

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN ERKEN AŞAMASINDA
KULLANILACAK ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARININ
GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

M. Çağdaş DURMAZOĞLU

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

HAZİRAN 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN ERKEN AŞAMASINDA
KULLANILACAK ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARININ
GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ**

DOKTORA TEZİ

**M. Çağdaş DURMAZOĞLU
(523082003)**

Bilişim Anabilim Dalı

Mimari Tasarımda Bilişim Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leman Figen GÜL

HAZİRAN 2023

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**A NEW APPROACH FOR DEVELOPMENT OF A MOBILE
AUGMENTED REALITY APPLICATION TO BE USED IN THE EARLY
PHASES OF THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS**

Ph.D. THESIS

**M. Çağdaş DURMAZOĞLU
(523082003)**

Department of Informatics

Architectural Design Computing Program

Thesis Advisor: Prof. Dr. Leman Figen GÜL

JUNE 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 523082003 numaralı Doktora Öğrencisi M. Çağdaş DURMAZOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN ERKEN AŞAMASINDA KULLANILACAK ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Leman Figen GÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU
Antalya Bilim Üniversitesi

Prof. Dr. Mine ÖZKAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP
Kocaeli Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 22 Haziran 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca değerli görüş ve katkılarını paylaşarak tezimin bu aşamaya gelmesinde büyük payı olan, her zaman daha iyisini yapabileceğime olan inancıyla bu süreçte doktora çalışmasının gerektirdiği yeni beceriler edinmemi sağlayan, beni destekleyen ve araştırmacı olarak gelişimimde büyük katkıları olan, her zaman anlayışlı ve hoşgörülü yaklaşımıyla beni motive eden çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Leman Figen GÜL'e;

Değerli zamanlarını ayırarak yapıcı eleştiri ve önerileriyle tez sürecime katkıda bulunan, her zaman kullandığım yöntemlerin ve değerlendirme araçlarının tezin amaçlarına uygunluğunu sorgulamamı ve tez konuma farklı açılardan bakmamı sağlayan tez izleme komitesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Gülen ÇAĞDAŞ'a ve Sayın Prof. Dr. Salih OFLUOĞLU'na, değerli yorumları ile tezimin son halini almasında büyük rolü olan tez savunma jürisindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Mine ÖZKAR'a ve Sayın Doç. Dr. Neşe ÇAKICI ALP'a;

Doktora çalışmama değerli zamanlarını ayırarak katılımcı olarak katkıda bulunan İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü ve Mimari Tasarımda Bilişim Programı öğrencileri ve mezunlarına; doktora çalışması ile ilgili öneri ve cesaret verici yorumlarıyla bana her zaman umut veren Mimari Tasarımda Bilişim Programı akademik kadro elemanlarına;

Hayatım boyunca öneri ve desteklerini esirgemeyen annem Meliha DURMAZOĞLU ve babam Salih DURMAZOĞLU'na;

En büyük destekçim, yolumdan sapmamamı sağlayan referans noktam, meslektaşım ve eşim Şehnaz CENANİ DURMAZOĞLU'na;

Bu süreçte katkılarını ve desteklerini esirgemeyen herkese;

Sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2023

M. Çağdaş DURMAZOĞLU

Mimar



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon.....	4
1.2 Araştırma Soruları	8
1.3 Tezin Amacı	11
1.4 Yöntem.....	11
1.4.1 Uygulamanın oluşturduğu iş yükünün hesaplanması.....	12
1.4.2 AG uygulamasından beklentilerin hesaplanması	13
1.4.3 Katılımcılar	15
1.5 Özgün Değer ve Yaygın Etki	18
2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK KAVRAMI	23
2.1 Artırılmış Gerçeklik	24
2.2 AG Sistemlerinin Bileşenleri	28
2.2.1 Görüntüleme bileşenleri	29
2.2.2 AG sistemlerinde kullanılan izleyici çeşitleri	44
2.2.3 AG uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılan yazılım geliştirme araçları.....	49
2.2.4 AG sistemlerinde veri girdi yöntemleri	57
2.3 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Uygulama Alanları	70
2.3.1 Tasarım alanına odaklanılan çalışmalar	73
2.3.2 Eğitim alanına odaklanılan çalışmalar	83
2.3.3 İnşaat, bakım ve onarım konularına odaklanılan çalışmalar	90
3. MİMAR ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMASININ GELİŞTİRİLME SÜRECİ.....	99
3.1 BMD kavramı ve BMD diyagramları	99
3.1.1 Kullanım durumu diyagramları.....	100
3.1.2 Sınıf diyagramları	103
3.1.3 Ardıl etkileşim diyagramları	104
3.2 “MimAR” AG Uygulamasında BMD Diyagramlarının Kullanımı	105
3.3 Uygulamanın Özellikleri ve Kısıtlamalar	118
3.4 Uygulamanın Sürümleri	122
3.4.1 Kullanıcı geri bildirimi.....	123
3.4.2 Ölçeklendirme komutunun iyileştirilmesi.....	124
3.4.3 Nesne görselleştirmesinin iyileştirmesi	125

3.4.4 Sanal nesnelerde renk seçimi	126
3.5 “MimAR” AG Uygulamasının Grafik Kullanıcı Arayüzü.....	128
4. “MimAR” UYGULAMASININ KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE YÖNTEM SEÇİMİ.....	137
4.1 Kullanılabilirlik Testleri	138
4.2 AG Sistemleri Ve Kullanılabilirlik Değerlendirmeleri	140
4.2.1 Kullanıcı arayüzü memnuniyeti anketi	143
4.2.2 NASA iş yükü endeksi	147
4.2.3 Yazılım kullanılabilirliği değerlendirme envanteri	150
4.2.4 Bilgisayar kullanıcısı menmuniyet envanteri	153
4.2.5 Sistem kullanılabilirlik ölçüsü.....	154
4.2.6 Mobil telefon kullanılabilirlik anketi	157
4.2.7 Mobil AG uygulamaları için kullanılabilirlik ölçüsü.....	159
4.3 Kullanılabilirlik testlerinin karşılaştırılması.....	163
5. MimAR UYGULAMASI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN NİCELİKSEL DENEYSEL ÇALIŞMALAR	167
5.1 Ön Çalışma: Uzman Katılımcı ile Kullanılabilirlik Çalışması.....	171
5.1.1 Kullanılabilirlik testi tasarımı ve izlenilen yöntem	173
5.1.2 Ön çalışmanın sonuçları	176
5.2 Pilot Çalışma 1: Acemi Katılımcılar İle Kullanılabilirlik Çalışması	178
5.2.1 Populasyon seçimi.....	179
5.2.2 Araştırma modeli.....	180
5.2.3 Deney süreci ve açıklayıcı analizlerin sonuçları	183
5.2.4 Sonuçlar.....	189
5.3 Pilot Çalışma 2: Acemi Katılımcılar ile Gerçekleştirilen İş Yüğü Çalışması	191
5.3.1 İş yükünün değerlendirilmesi	193
5.3.2 Acemi tasarımcılarla gerçekleştirilen iş yükü ön çalışması ve sonuçları	194
5.4 Pilot Çalışmalardan Sonra Yapılan Değişiklikler	201
5.5 Deneysel Çalışma Kurgusunda Yapılan Değişiklikler	205
5.6 Mimar katılımcılarla gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışması	208
5.6.1 Katılımcılar.....	210
5.6.2 Deney çerçevesi.....	211
5.6.3 Kullanılabilirlik değerlerinin yorumlanması	212
5.6.4 MAGKÖ anketi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları	216
5.6.5 Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) Anketi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları	224
5.7 “MimAR” Uygulamasının Kullanıldığı Tasarım Egzersizinde Algılanan İş Yükünün Değerlendirilmesi	229
5.7.1 Çalışma düzeneği	231
5.7.2 NASA iş yükü endeksi anketi sonuçları.....	234
5.8 Erken Tasarım Evresinde Kullanılacak Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri	249
5.8.1 Yöntem	250
5.8.2 Veri toplama yöntemi ve veri tipleri	251
5.8.3 Bulgular.....	253
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	259
6.1 AG Araçlarında Kullanılabilirlik	259
6.2 AG Araçlarında Kullanılması Tercih Edilen Özellikler	265
6.3 Kullanıcı İzlenimleri	269
6.4 Gelecek Çalışmalar	274

KAYNAKLAR	277
EKLER.....	293
ÖZGEÇMİŞ.....	337





KISALTMALAR

2B	: İki boyutlu
3B	: Üç boyutlu
AG	: Artırılmış Gerçeklik
AHS	: Analitik Hiyerarşik Süreç (AHP)
BBM	: Bina Bilgi Modelleri
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BMD	: Birleşik Modelleme Dili (UML)
CKS	: Coğrafi Konumlandırma Sistemi (GPS)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)
ÇKKVA	: Çok Kriterli Karar Verme Analizi (MCDA)
EZLH	: Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama (SLAM)
GKA	: Grafik Kullanıcı Arayüzü
HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
ISMAR	: Uluslararası Karma ve Artırılmış Gerçeklik Sempozyumu
KG	: Karma Gerçeklik (Mixed Reality)
MAG	: Mobil Artırılmış Gerçeklik
MAGKÖ	: Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü
NASA İYE	: NASA İş Yüğü Endeksi (NASA TLX)
PİH	: Paralel İzleme ve Haritalama (PTAM)
SG	: Sanal Gerçeklik
SKÖ	: Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü
UAG	: Uzamsal Artırılmış Gerçeklik (Spatial Augmented Reality)
URL	: Birörnek Kaynak Konumlayıcı
YGA	: Yazılım Geliştirme Aracı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : AG sistemlerinde kullanılan etkileşim yöntemlerinin karşılaştırılması.	69
Çizelge 4.1 : Türlerine ve yaklaşımlarına göre kullanılabilirlik testlerinin sınıflandırılması.....	139
Çizelge 5.1 : Pilot Çalışma Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü Sonuçları.	176
Çizelge 5.2 : Pilot Çalışma Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Sonuçları.....	177
Çizelge 5.3 : Araştırma kapsamında toplanacak veri çeşitleri ve veri toplama yöntemleri.....	181
Çizelge 5.4 : Deneysel çalışma deney ve kontrol grupları dağılımı.	187
Çizelge 5.5 : Kullanıcı çalışması sonuçları.....	188
Çizelge 5.6 : Katılımcıların sistemi değerlendirirken kullandıkları MAGKÖ ve SKÖ anketlerinin sonuçlarını gösteren çizelge.	191
Çizelge 5.7 : Deneysel çalışmada elde edilen verilerin özellikleri.	193
Çizelge 5.8 : A katılımcısının iş yükünü oluşturan değişkenler için oluşturduğu iş yükü ağırlıkları ve iş yükü değerleri.	196
Çizelge 5.9 : A katılımcısının aynı teste ilişkin ham ve ağırlıklı iş yükü değerleri.	197
Çizelge 5.10 : Pilot çalışma sonrasında anketlerde yapılan değişiklikler.....	202
Çizelge 5.11 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre yüzdeleri.....	211
Çizelge 5.12 : Kullanılabilirlik anketlerinden elde edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılan farklı kriterler.....	215
Çizelge 5.13 : MAGKÖ Anketi alt ölçüler ve genel anket puanları.....	217
Çizelge 5.14 : MAGKÖ Anketi ile elde edilen veri setine ilişkin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri.....	218
Çizelge 5.15 : MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin çeyrekler arası değerleri ve ayrıık değerlerin kontrolünün yapılmasında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri.	219
Çizelge 5.16 : MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin Jarque Bera testi sonuçları.	220
Çizelge 5.17 : Katılımcıların SKÖ puanları.	225
Çizelge 5.18 : SKÖ Anketi ile elde edilen veri setine ilişkin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri.	226
Çizelge 5.19 : SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin çeyrekler arası değerleri ve ayrıık değerlerin kontrolünün yapılmasında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri.	227
Çizelge 5.20 : SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin Jarque Bera testi sonuçları.	228
Çizelge 5.21 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre yüzdelik dağılımları.	234
Çizelge 5.22 : İş yükü değerleri.	236
Çizelge 5.23 : İş Yükü veri setinin medyan, alt ve üst çeyrek değerleri.	237
Çizelge 5.24 : Ham ve Ağırlıklı İş Yükü değerlerinin JB testi sonuçları.	241

Çizelge 5.25 : Ham ve Ağırlıklı İş Yüğü veri setlerinin histogram kutu değeri ve frekansları.	242
Çizelge 5.26 : Ham iş yüğü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen çift kuyruklu t-testi sonucu elde edilen değeri.	247
Çizelge 5.27 : Ham iş yüğü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucu elde edilen değeri.	248
Çizelge 5.28 : Ağırlıklı İş Yüğü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucu elde edilen değeri.	249
Çizelge 5.29 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketi değeri ve özellikleri.	252
Çizelge 5.30 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre dağılımları.	252
Çizelge 5.31 : Güncellenen anketin koşullu ve koşulsuz Cronbach α değeri.	254
Çizelge 5.32 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin bağımsız değerilerinden oluşan alt veri setleri arasında değeri sayısına göre en iyi modeller.	256
Çizelge 5.33 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin bağımsız değerilerinden oluşan alt veri setleri arasında değeri sayısına göre en iyi modellerin performans karşılaştırması.	256
Çizelge 6.1: Pilot çalışmada elde edilen sonuçlar.	262
Çizelge 6.2 : Kullanılabilirlik çalışması sonuçları (21 katılımcı).	264
Çizelge E.1: Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.	307

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Mitchell ve McCollough'nun tasarım sürecinde kullanılan temsil yöntemleri ile ilgili şemalarının adaptasyonu.	2
Şekil 2.1 : Milgram ve Colquhoun'un sanallık gerçeklik doğrusu.	26
Şekil 2.2 : Paylaşılan mekanların yapaylık ve taşımaya göre sınıflandırılması.	26
Şekil 2.3 : Artırılmış gerçeklik sisteminin teknolojik bileşenleri.	29
Şekil 2.4 : Video geçirgen HMD kavramsal diyagramı.	30
Şekil 2.5 : Optik geçirgen HMD kavramsal diyagramı.	31
Şekil 2.6 : Görüntüleme bileşeni olarak bilgisayar monitörünün kullanıldığı statik AG sistemi diyagramı.	34
Şekil 2.7 : Görüntüleme bileşeni olarak akıllı tahta veya projeksiyonun kullanıldığı çok kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.	35
Şekil 2.8 : Görüntüleme bileşeni olarak akıllı tahta veya projeksiyonun kullanıldığı çok kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.	36
Şekil 2.9 : Görüntüleme bileşeni olarak giyilebilen AG gözlüğünün kullanıldığı tek kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.	38
Şekil 2.10 : "Dolaşan Makine" prototipinin sahada kullanımı.	39
Şekil 2.11 : Kare kod örneği.	48
Şekil 2.12 : Seo ve diğerleri tarafından önerilen avuç içi duruş tahmini yöntemi. (a) kamera tarafından kaydedilen sahne, (b) el bölgesinin parçalara ayrılması, (c) el bölgesinin sınırlarını tanımlanması, (d) el bölgesinin ortalama yönü, (e) el bölgesinin baskın özel özelliklerinin tanımlanması, (f) ortalama noktaların yerel yönlerini gösteren iki dikey noktanın arasındaki uzaklığın bulunması, (g) ön kolun başlama noktasının bulunması, (h) avuç içi yönünün tayini, (i) baş ve işaret parmağı arasındaki ayırım noktasındaki tümseğin tanımlanması, (j) yansıtma modeli, (k) sanal nesnenin renderlanması.	61
Şekil 2.13 : Seo ve diğerlerinin geliştirdiği AG uygulamasında etkileşim akışı.	62
Şekil 2.14 : Dokunmatik ekran tabanlı etkileşimde solda nesne seçimi ve sağda nesne seçiminden sonra görselleşen menü seçimi görülebilmektedir.	65
Şekil 2.15 : Cihaz temelli etkileşimde nişangah ile nesne seçimi.	65
Şekil 2.16 : Parmak izleme yöntemi ile nesne seçimi.	65
Şekil 2.17 : Cihaz arkası etkileşimin kullanıldığı uygulamanın menü sürümleri.	68
Şekil 2.18 : Sırasıyla gerçek dünya etkileşim yöntemi, sanal nesne etkileşim yöntemi ve jest temelli uygulama kontrolü kullanım örnekleri.	68
Şekil 3.1 : BMD kullanım durumu (use case) diyagram örneği.	101
Şekil 3.2 : Kullanım durumları arasındaki "İçerir" ilişki tipinin gösterimi.	102
Şekil 3.3 : Küp örneğinde durum diyagramı.	102
Şekil 3.4 : Uygulamaya ait sınıf diyagramı.	103
Şekil 3.5 : Monopoly oyununda oynama sırası gelen bir oyuncunun eylemlerini gösteren ardıl etkileşim diyagramı.	105
Şekil 3.6 : AG uygulaması nesne üretimi ardıl etkileşim diyagramı.	107
Şekil 3.7 : AG uygulaması renk değiştirme işlemi sekans diyagramı.	108

Şekil 3.8 : AG uygulaması nesne çoğaltılması sekans diyagramı.	109
Şekil 3.9 : AG uygulaması nesne ölçekleme sekans diyagramı.	110
Şekil 3.10 : AG uygulaması nesne döndürme işlemi sekans diyagramı.	111
Şekil 3.11 : AG uygulaması nesne yer değiştirme işlemi sekans diyagramı.	112
Şekil 3.12 : AG uygulaması nesne birleştirme işlemi sekans diyagramı.	114
Şekil 3.13 : AG uygulaması nesne çıkartma işlemi sekans diyagramı.	115
Şekil 3.14 : AG uygulaması nesne gizleme işlemi sekans diyagramı.	116
Şekil 3.15 : AG uygulaması nesne görselleştirme işlemi sekans diyagramı.	117
Şekil 3.16 : AG uygulaması gruptama ve grup ayırma işlemi sekans diyagramı.	118
Şekil 3.17 : “MimAR” uygulamasının sistem mimarisi diyagramı.	120
Şekil 3.18 : “MimAR” uygulamasının temel seviye akış diyagramı.	121
Şekil 3.19 : Geliştirilen uygulamanın eski sürümünde renklerle kullanıcı geri bildirimi (a), yeni versiyonda renklerle ve yazı ile kullanıcı geri bildirimi (b).	124
Şekil 3.20 : Ölçeklendirme konutunun iyileştirilmesi.	126
Şekil 3.21 : Nesnelerde renk seçimi.	127
Şekil 3.22 : (a) MimAR uygulaması başlangıç ekranı, (b) Çalışma ortamı, kare kodlu işaretleyici üzerinde konumlandırılmış sanal nesne ve “Select” düğmesinin yer aldığı ana menü.	128
Şekil 3.23 : (a) Uygulamada seçilebilecek etkileşim yöntemleri, (b) seçilen sanal nesne ve bu nesne üzerinde dokunarak etkileşim yoluyla gerçekleştirilebilecek işlemler.	129
Şekil 3.24 : (a) Sanal nesnenin dokunarak etkileşim menüsünden “Rotate” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla sanal nesneye döndürme işleminin uygulanması.	130
Şekil 3.25 : (a) Sanal nesnenin dokunarak etkileşim menüsünden “Move” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla sanal nesneye yer değiştirme işleminin uygulanması.	131
Şekil 3.26 : (a) Dokunarak etkileşim menüsünden “Scale” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla seçili sanal nesneye boyut değiştirme işleminin uygulanması.	132
Şekil 3.27 : (a) Sanal düğmeler ile etkileşim ana menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde nesne üzerinde gerçekleştirilecek işlem seçilmeden önce işlem yapılacak sanal nesnenin seçilmesi.	133
Şekil 3.28 : (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile yönelim değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin yöneliminin değiştirilmesi.	133
Şekil 3.29 : (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile yer değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin yerinin değiştirilmesi.	134
Şekil 3.30: (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile boyut değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin boyutunun değiştirilmesi.	135
Şekil 4.1 : Kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri.	164
Şekil 5.1 : Pilot çalışma diyagramı.	168
Şekil 5.2 : (a) Katılımcı sanal nesnenin yerini, boyutlarını ve yönelimini sanal düğme yardımıyla değiştirmekte. (b) Katılımcı sanal nesnenin yerini, boyutlarını ve yönelimini dokunarak etkileşim yöntemiyle değiştirmekte.	175

Şekil 5.3 : (a) Katılımcı sayısı ve katılımcıların cinsiyetine bağlı yüzdelik dağılım. (b) katılımcıların yaşlarına göre yüzdelik dağılım.....	184
Şekil 5.4 : Katılımcıların günlük araç ve yöntem kullanım oranları.	185
Şekil 5.5 : Vandenberg ve Kuse zihinsel rotasyon testi ortalamaları.	186
Şekil 5.6 : 1/500 ve 1/200 ölçeklerinde proje alanı vaziyet planı.....	189
Şekil 5.7 : Kullanıcı çalışması katılımcılarının tasarım çözümleri.....	190
Şekil 5.8 : Hart ve Staveland'ın geliştirdiği NASA İş Yüğü Endeksi ile ağırlık hesabı ve alt ölçüler.....	192
Şekil 5.9 : AG uygulaması 1. İş Yüğü Testi sonuçları.	197
Şekil 5.10 : AG uygulaması 2. İş Yüğü Testi sonuçları.	198
Şekil 5.11: İş yüğü endeksi değişkenlerinde farklı testlerde (Test1xTest2) gözlenen, katılımcıya bağlı değişiklikler.	200
Şekil 5.12 : Pilot çalışma esnasında kullanılan grafiksel ölçü çizgisi (a). Güncellenen ve son çalışmada kullanılan grafiksel ölçü çizgisi (b).	201
Şekil 5.13 : Asıl çalışma kurgusunda gerçekleştirilen değişiklikler ve nedenleri. ...	206
Şekil 5.14 : MAGKÖ anketi anlaşılabilirlik ölçüsü grafiği.	222
Şekil 5.15 : MAGKÖ anketi kullanılabilirlik ölçüsü grafiği.	223
Şekil 5.16 : MAGKÖ anketi genel anket puanı grafiği.	224
Şekil 5.17 : SKÖ anketi sonuçlarını içeren grafik.	229
Şekil 5.18 : İş Yüğü Endeksi çalışması düzeneği.	232
Şekil 5.19 : Ham iş yüğü veri seti değerlerinin kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmesi.	239
Şekil 5.20 : Ağırlıklı iş yüğü veri seti değerlerinin kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmesi.	240
Şekil 5.21 : Ham İş Yüğü Değerlerinin dağılımını gösteren histogram grafiği.....	243
Şekil 5.22 : Ağırlıklı İş Yüğü Değerlerinin dağılımını gösteren histogram grafiği.	243
Şekil 5.23 : Katılımcıların kriterlere göre cevaplarının dağılımını gösteren kutu grafik.	244
Şekil 5.24 : Çalışmanın fazları ve ulaşılan hedefler.	251
Şekil 5.25 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin 11 ifadeden oluşan güncellenmiş versiyonun kriterler arası korelasyon grafiki.....	253
Şekil 5.26 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin 11 ifadeden oluşan güncellenmiş versiyonunun kriterler arası korelasyon değerleri.	255
Şekil I.1: 2 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	325
Şekil I.2: 3 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	325
Şekil I.3: 6 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	325
Şekil I.4: 7 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	325
Şekil I.5: 8 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	326
Şekil I.6: 9 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	326
Şekil I.7: 10 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	326

Şekil I.8:	11 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	326
Şekil I.9:	12 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	326
Şekil I.10:	13 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	327
Şekil I.11:	14 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	327
Şekil I.12:	15 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	327
Şekil I.13:	16 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	327
Şekil I.14:	17 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	327
Şekil I.15:	18 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	328
Şekil I.16:	19 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	328
Şekil I.17:	20 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	328
Şekil I.18:	21 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri.....	328

MİMARİ TASARIM SÜRECİNİN ERKEN AŞAMASINDA KULLANILACAK ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK UYGULAMALARININ GELİŞTİRİLMESİ İÇİN BİR YÖNTEM ÖNERİSİ

ÖZET

Kişinin dünyayı algılamasında en fazla öneme sahip duyularından birisi olan görme duyusunu kullanarak gerçeğe en yakın deneyimleri sunma yolu olarak tercih edilen sinema sektöründe, daha önce görülmeyen ve deneyimlenmeyi deneyimlemenin yollarını arayan Morton Heilig 1962 tarihinde geleceğin sineması olarak adlandırdığı izleyicilerinin tüm duyularına hitap edecek Sensorama adındaki ilk Sanal Gerçeklik deneyimini geliştirmiştir. Bu gelişmeden birkaç yıl sonra Uluslararası Bilgi İşlem Federasyonu Konferansında insanların mümkün olduğunca çok duyusuna hitap edebilecek, farkı veri girdi ve çıktı araçlarıyla uyumlu çalışabilen ve kullanıcısının bakış açısına göre görsel üretebilecek bir bilgisayar ekranının fiziksel dünyada deneyimleyemeyeceğimiz kavramları deneyimleyebilmemize olanak tanıyabileceği öne sürülmüştür. Bu öngörü günümüzde Karma Gerçeklik (KG) olarak tanımlanan ve Artırılmış Gerçeklik (AG) ve Sanal Gerçeklik (SG) alanlarını kapsayan, yapay/bilgisayar tarafından üretilmiş çevrelerin geliştirilmesinin temelini oluşturmuştur. Kullanıcılarını tamamen sarmalayan ve onların tüm duyularına hitap ederek yapay olarak üretilen bir ortamı deneyimlemelerine olanak tanıyan SG kavramı yıllar içerisinde alt bölümlere ayrılarak kullanıcıların yeni deneyimler edinebilecekleri farklı çevrelerin geliştirildiği bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu araştırma alanının alt başlıklarından birisi olan AG kavramı ise SG'nin aksine kullanıcıların tamamen yapay bir çevrede değil, gerçek mekanda bulunan nesnelerle ilgili farkındalıklarının, bilgisayar yardımıyla üretilen bilgi katmanlarının gerçek çevreye veya gerçek çevrede bulunan nesnelere eklenerek deneyimlenmesi ve artırılmasını sağlayan teknolojilerin açıklanmasında kullanılmaktadır.

Sağlık, turizm, eğlence, savunma, bakım ve onarım, eğitim, tasarım gibi birçok alanda kullanılan AG sistemlerinden kullanıcıların motivasyonunu artırmak, öğrenme deneyimlerini zenginleştirmek ve iyileştirmek, mekansal farkındalıklarını ve 3 boyutlu düşünme becerilerini artırmak, görevlerini daha verimli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlamak, fikirlerini hızlı bir şekilde görselleştirmelerine, değerlendirmelerine ve paylaşımlarına yardımcı olmak gibi amaçlarla faydalanılmaktadır. Tasarım sürecinde kullanıcıya avantaj sağlayacak bu özelliklere sahip olması nedeniyle AG teknolojisi geleneksel ve dijital tasarım yöntem ve araçlarının kendilerine özgü güçlü yanlarını bünyesine katarak özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında bu iki yöntemi birleştirebilecek bir köprü vazifesi görebilme potansiyeline sahiptir.

Bu doktora tezinde mimari tasarım sürecinin erken aşamasında kullanılacak AG uygulamalarının geliştirilme sürecinde kullanılabilecek yeni bir yöntem önerisi geliştirilmiştir. Önerilen yöntem izlenerek geliştirilen AG uygulamasının kullanıldığı tasarım egzersizlerinde elde edilen veri analiz edilerek geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin hangi yöntemler kullanılarak değerlendirilebileceği ve bu uygulamanın ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği araştırma sorularına cevap aranmıştır.

Tez altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde motivasyon, araştırma soruları, tezin amacı, metodolojisi ve tezin literatüre katkısı ve yaygın etkisi ele alınmıştır. İkinci bölümde AG kavramı ve teknolojik değişimlerin bu paradigmaya etkisi tasarım perspektifinden ele alınmıştır. Ek olarak, AG sistemlerinin bileşenleri ve bileşenlerin avantajları ve sınırlamaları bir geliştiricinin bakış açısıyla tartışılmaktadır. Daha sonra AG teknolojilerinin kullanım alanları, mimarlık disiplinine odaklanılarak yapılan literatür taraması üzerinden örneklerle tartışılmıştır.

Üçüncü bölümde “MimAR” uygulamasının geliştirme süreci anlatılmaktadır. Öncelikle Birleşik Modelleme Dili (BMD) kavramı seçilen diyagramlarla örneklendirilerek tanıtılmıştır. Ardından uygulamanın yer/yönelim değişimi ve nesne modifikasyonu gibi çeşitli özellikleri sunulmakta ve açıklanmaktadır. “MimAR” uygulamasının sürekli ve döngüsel geliştirme sürecinde gerçekleştirilen iyileştirmeler sonucu geliştirilen farklı versiyonlar, kullanıcı geri bildirimi ve görselleştirme gibi konularda yapılan iyileştirmelere odaklanılarak sunulmuştur. Son olarak “MimAR” uygulamasının Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, kullanılabilirlik kavramı ve kullanılabilirliği ölçmek için kullanılan farklı yöntemler açıklanmaktadır. Ayrıca farklı kullanılabilirlik yöntemleri karşılaştırılarak çalışma kapsamında Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ), Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) ve NASA İş Yükü Endeksi anketlerinin tercih edilme nedenleri açıklanmıştır.

Beşinci bölüm “MimAR”ın pilot çalışmalar ve deneysel çalışma ile değerlendirilme sürecinden oluşmaktadır. Ana çalışmadan önce, kullanılacak anketlerin anlaşılabilirliğini, uygulamanın kullanılabilirliğini ve deney kurgusunda herhangi bir değişikliğe gerek olup olmadığını değerlendirmek amacıyla pilot çalışmalar yapılmıştır. Pilot çalışmaların sonuçları ilgili bölümlerde açıklandıktan sonra, elde edilen sonuçlardan yola çıkılarak deneysel araştırmanın kurgusu ve anketlerde yapılan iyileştirmeler sunulmuştur. Bölümde daha sonra yer alan üç alt bölümde ise gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilen ana çalışma kapsamında yapılan kullanılabilirlik, zihinsel iş yükü ve kullanıcıların tercihlerini belirlemeye yönelik gerçekleştirilen regresyon analizi çalışmaları ve sonuçları sunulmaktadır.

Altıncı bölümde tez kapsamında elde edilen sonuçlar kullanılabilirlik, kullanıcı tercihleri ve nitel kullanıcı geri bildirimlerine odaklanılarak tartışılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, öncelikle doktora tezi sırasında izlenen uygulama geliştirme sürecinin başarılı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Uygulamanın kullanılabilirliğinin her zaman kabul edilebilir seviyede olması için geliştirme sürecinin sürekli ve döngüsel olması ve uygulamanın kullanılabilirliği ve iş yükünün süreç boyunca değerlendirilmesi gerekmektedir. İkinci olarak, araştırmacı tarafından tez kapsamında geliştirilen AG uygulaması, uygulamayı deneysel çalışma kapsamında erken tasarım evresinde kullanan katılımcılar tarafından MAGKÖ ve SKÖ anketleri kullanılarak kullanılabilirlik açısından değerlendirilmiş ve uygulamanın kabul edilebilir seviyede olduğu sonucu elde edilmiştir. Üçüncü olarak “MimAR”ın algılanan iş yükünün

katılımcılar tarafından kabul edilebilir seviyede olduğu sonucu elde edilmiştir. Son olarak ise, erken mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarından kullanıcıların beklentilerinin tanımlanması için gerçekleştirilen çoklu doğrusal regresyon analizi sonucunda elde edilen modeller değerlendirildiğinde işaretleyiciler, etkileşim yöntemleri, nesne özellik modifikasyonu, grafik kullanıcı arayüzü özellikleri ve yazılım özelliği temalarının kullanıcıların bu teknolojiyi kabullenmelerinde etkisinin bulunduğu sonucuna varılmıştır.





A NEW APPROACH FOR DEVELOPMENT OF A MOBILE AUGMENTED REALITY APPLICATION TO BE USED IN THE EARLY PHASES OF THE ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS

SUMMARY

Visual documentation methods such as drawing, photography and cinema were advanced because of people's desire to make sense of their environment, explain, and express it to others. They also made it possible for people to see new places and have new experiences without physically changing their location. While exploring new and exciting ways to entertain his audiences, Morton Heilig, improved upon the technology of moving pictures and built the first immersive system that could appeal to all senses of the audience called "Sensorama" in 1962. In a few years later, at the Conference of International Federation of Information Processing, it was suggested that a computer screen that appeals to as much senses as possible, that is compatible with different input-output devices, and that can generate visuals according to the direction of its user's gaze might allow us to experience the concepts that are impossible to experience in the physical world. That vision laid the foundation for the concept that is known today as Mixed Reality (MR) which comprises of both Virtual and Augmented Realities. Virtual Reality (VR) is a research area where immersive artificial/computer generated environments that are not bound by the limitations of the real world, are developed. On the other hand, Augmented Reality (AR), which is theorized as a branch of VR, is used to augment its user's perception of the real space by adding computer generated information to the real environment or objects in the environment. Progress in the MR related research has been steady. However, hardware and software technology became advanced enough to realize what has been proposed since the inception of these concepts. In addition, the increase in the number of contributions to literature on both national and international levels shows that MR has the capacity to be one of the most promising research fields in the following years.

In the field of architecture, we are at the threshold of another change much like the one that happened with the development and the large-scale use of Computer Aided Design (CAD) methods and tools. The previous technological revolution in architectural design happened much like the industrial revolution, with increasing efficiency by regulation and automation of repeated tasks. The next one might start with finding a way to capitalize on the already technologically literate user base by considering their preferences and tailor the new generation of CAD tools both according to the users' preferences and needs and, to be used as early as possible in the design process.

Since its inception, AR has been utilized in different fields such as medicine, military, education, assembly and fabrication, maintenance and repair, entertainment, tourism, advertisement, architecture, and has been reported to increase the motivation and

efficiency of its users, help with their learning processes and specifically increase their spatial awareness and decrease their mental task load. Having these traits that can be advantageous to the user during the design process, and the AR technology has the potential to bridge the gap between traditional and digital design methods by consolidating the strengths of both, especially when used in the early stages of the architectural design process. Moreover, the AR technology in both the hardware and software aspects has become advance enough to provide new and exciting opportunities to the users and the developers alike.

In this thesis, it is aimed to develop a framework that is going to be used in the development of mobile AR applications to aid designers in the early phases of the architectural design process. Decisions made in the early phases of the architectural design process are fundamental in the framing of the design problem and searching the solution space. Therefore, it is very important to provide designers the methods and the tools to help them develop their solutions and test them as early as possible.

Previous research in the literature showed that digital design environments and tools can be effectively used in design, evaluation, and representation of complex forms. In addition, they are regarded as beneficial in improving designers' 3D spatial perception, evaluation, and spatial cognitive capabilities. However, CAD tools and environments are also considered unsuitable to develop new ideas. Because they are developed to increase efficiency in drafting by automation of the routine tasks and they lack the facilities to support creative design process. In contrast, traditional design methods and tools are suggested to support creative thinking by allowing design ideas to be reinterpreted in new ways and create less cognitive load during. As a result, they are suggested to increase the quality and the amount of the design solutions while decreasing the total amount of time spent on the design process. Even though there are some studies into the effects of using traditional and digital design methods in the design process both as synchronized or in order, it was suggested that; first these two methods could be used to carry out similar tasks interchangeably; and second using those two methods at the same time would lead to reaching novel and high-quality design solutions. However, those research projects were done by utilizing commercial CAD tools.

This PhD thesis is concerned with investigating the possibilities that a CAD tool, which is specifically developed and critically targeted to be used in the early phases of the architectural design process together with traditional design methods and tools, would bring to the table. Therefore, this thesis' contribution to the literature is undertaking the task of uncovering "How would AR environment be leveraged to aid designers especially in the early phases of the architectural design process?", and answering research questions such as: "What kind of components and features an AR based CAD application that is developed to support the traditional design methods and tools in the early phases of the design process should have?", and "How should the adoptability of this tool be evaluated?". In order to answer those questions empirically, and to propose a new approach to develop AR-based design applications that are going to be used in the early phases of the architectural design, it was decided to develop a CAD application, that utilize AR technology to benefit from the strengths of both traditional and digital design tools and methods and not be limited by their shortcomings.

Developing a CAD tool, even if it is not for commercial use, that is easy to use, efficient and effective at the same time, is a demanding task. Because other than

ensuring the operability of the system, there are several other aspects that should be taken into consideration in the development process such as target user base, their preferences, application's usability and whether the tool hinders users' design process or not. Therefore, pilot studies were conducted with both expert and novice users to understand the needs and preferences of different user profiles, and through a focused literature study, various measurement and evaluation methods were inspected to decide the appropriate methods to evaluate the usability and the perceived workload of the application. In order to ensure the reliability of the results, the usability of the AR application was decided to be measured by two usability questionnaires that were frequently employed in the usability studies, namely Mobile Augmented Reality Usability Scale (MARUS) and System Usability Scale (SUS). In addition, a new questionnaire called "User expectations from an AR application" was developed. This questionnaire was developed to define the expectations and preferences of the users of this study from an AR application that is specifically designed to be used in the early phases of the architectural design process. Questionnaires that were curated and developed in the context of this PhD thesis were approved by the "Istanbul Technical University, Social and Human Sciences, Human Research Ethics Committee" under the Project Number: 196.

The thesis consists of six main chapters. The motivation, research questions, aim of the thesis, methodology and the contribution of the thesis will be covered in the first chapter.

In the second chapter, the concept of Augmented Reality, its beginnings, and the effect of technological changes on this paradigm is discussed from the perspective of design. Additionally, components of the AR systems and their advantages and limitations are discussed through a developer's viewpoint. Next, the use of AR technologies is discussed with examples related to architecture through a comprehensive literature review.

The third chapter presents the development process of the "MimAR" application. First the concept UML is discussed with selected sample diagrams. After the brief introduction to UML, various features of the application such as translation and modification are presented and explained. Because of the continuous and cyclical nature of the development process the different versions of the application is presented with focusing on the improvements made on issues such as user feedback and visualization. Lastly, the Graphical User Interface of the "MimAR" application is explained.

The fourth chapter explains the concept of usability and different methods to measure usability. Various measurement and evaluation methods that are used to determine the usability of different systems from hardware to software are explained in detail to paint a better picture about the domain of usability. Moreover, different usability methods are compared and the reasons behind choosing MARUS, SUS and NASA TLX questionnaires are explained.

The fifth chapter consists of the evaluation of the "MimAR" through pilot studies and the experimental study. Pilot studies are conducted for determining the usability of the "MimAR", to find out if the questionnaires regarding usability, mental task load, and experiment setup need final adjustments before the experimental study. After the results of the pilot studies are explained, the improvements to the experiment design and to the questionnaires are presented. In the next three sub-chapters, the usability,

the mental task load, and the regression analysis to determine users' preferences are presented.

The conclusion and the discussions are presented in the sixth chapter by discussing the results of the experimental study focusing on the usability, users' preferences, and users' qualitative feedback. The results of the experimental studies showed that first of all the development process that was employed during the PhD thesis is successful and applicable. In order to ensure that the usability of the application is always at an acceptable level, the development process of the AR application should be continuous and cyclical, and the usability and the workload of the application should always be evaluated throughout process. Second, the usability of the AR application that was developed by the researcher in this thesis following these principles was evaluated as acceptable by the participants. That means, after completing the given design experiment, the AR application "MimAR" was considered as a usable tool that could aid designers while they were developing their solutions in the early phases of the architectural design process by the participants. Third, the analysis of the data obtained during the experiments revealed that the perceived workload of the "MimAR" was considered acceptable by the participants. This result showed that the "MimAR", and by extension an AR application that was developed following the new approach proposed in this thesis, has the potential to provide a design environment to designers to focus their energy and attention to develop alternative design solutions instead of trying to figure out how to use the design tool itself. Lastly, the results of the multiple linear regression analysis showed that the adoptability of an AR application that is developed to be used in the early phases of the architectural process is mostly affected by the features that were linked to the marker technology, interaction methods, object modification, Graphical User Interface, and additional software capabilities.

1. GİRİŞ

Tasarım tasarlanan nesneye ilişkin farklı detay derecelerinde bilginin üretilip, ilgili kişiler arasında paylaşıldığı bir süreç olarak tanımlanabilir. Tasarım sürecinin modellendiği çalışmalarda süreç farklı aşamalara bölünerek incelenmiştir (Asimow, 1962; Sanoff, 2016). Goel, Asimow'un modelini geliştirerek tasarım sürecini; problem çerçevesini oluşturma, ön tasarım aşaması, tasarım iyileştirme ve detaylandırılmış tasarım olmak üzere dört aşamadan oluşacak şekilde tanımlamıştır (Goel, 1995). Göel'in tanımladığı tasarım sürecini, problem çerçevesi oluşturma ve ön tasarım aşamalarını bir arada değerlendirerek bu aşamalardan oluşan "kavramsal tasarım" (Gross, 1996; Suwa, Purcell, ve diğ., 1998), ve tasarım iyileştirme ve detaylandırılmış tasarım aşamalarından oluşan son tasarım evresi olmak üzere iki aşamada inceleyebiliriz. Kavramsal tasarım evresi son ürüne ilişkin üzerinde kesin karara varılmış en az miktarda bilgi içeren hem biçimsel hem de bağlamsal açıdan muğlaklığın hakim olduğu bir evredir. Ancak aynı zamanda tasarım nesnesinin şekillenmesini sağlayacak temel kararların alındığı aşama olması nedeniyle süreç içerisinde önemli bir yere sahiptir.

Göel (1995) tarafından temsillerin evrimi, Simon (1996) tarafından ise bir problem çözme aktivitesi olarak tanımlanan tasarım sürecinin farklı evrelerinde tasarım fikrini ifade edebilmek amacıyla farklı tipte görsel temsillerin kullanılması gerekmektedir (Do ve Gross, 1996). Bu amaçla ise süreç içerisinde farklı temsil yöntem ve araçları kullanılmaktadır (Şekil 1.1).

tasarım nesnesinin, dijital olarak kolaylıkla saklanması ve paylaşılmasına olanak tanımaktadırlar. Bunların yanı sıra BDT araçlarının tasarımcılara sunduğu önemli avantajlardan bir diğeri ise tasarım nesnesinin dijital ortamda üretilen temsilleri üzerinde çeşitli analizlerin ve bu analizler sonucunda gerekli görülen değişikliklerin hızla ve kolaylıkla yapılmasını sağlanmalarıdır.

BDT araçları geliştirildikleri yıllardan bu yana maliyet ve kullanım kolaylığı konularında büyük gelişmeler göstererek son kullanıcı tarafından ulaşılabilecek duruma gelmişlerdir. BDT araçlarının kullanıcı sayısı arttıkça bu araçların belirli eksikliklerini gidererek özel durumlarda kullanılmalarını sağlamak amacıyla kullanılacak çeşitli eklentileri geliştiren serbest geliştirici topluluğu da oluşmuştur. Çizim, modelleme, analiz vb. farklı karmaşıklıkta görevleri tamamlamak amacıyla başarıyla kullanılabilecek, geliştirilmesinden ve-kullanıcı istekleri ve memnuniyetleri doğrultusunda-sürekli olarak iyileştirilmesinden deneyimli ekiplerin sorumlu olduğu BDT araçları tasarımcıların tasarım sürecinde kolaylıkla ulaşıp kullanabilecekleri araçlar haline gelmişlerdir. Bu nedenle doktora tezi kapsamında arttırılmış gerçeklik (AG) teknolojisinden faydalananarak geliştirilen araç hali hazırda çok fazla sayıda kullanıcı tarafından ve güvenilirlikle kullanılan BDT araçlarının yerine kullanılmak için geliştirilmemiştir. Örneğin, geliştirilen aracın AutoCAD programı yerine teknik çizimlerin üretilmesi saklanması veya 3D Studio Max, MAYA ve Rhinoceros gibi 3 boyutlu modelleme, görselleştirme ve simülasyon işlerinde bu araçların yerine kullanılma gibi bir amacı bulunmamaktadır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen aracın tasarım sürecinin özellikle erken evrelerinde geleneksel tasarım araç ve yöntemleri ile birlikte kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla aracın geliştirilme sürecinde pratik açıdan:

- Etkin olarak kullanılabilmesi için uzun bir öğrenme sürecine ihtiyaç duyulmaması
- Anlaşılabilir bir grafik kullanıcı ara yüzüne sahip olup karmaşık olmayan komutlar kullanılarak istenilen eylemleri yerine getirmesi.
- Kullanıcıların önceden tanımlanmış belirli temel biçimleri kullanarak erken tasarım aşamasında hızlı ve kolay bir şekilde istedikleri formları üretilip kütle çalışmaları yapmalarına olanak tanınması,

gibi hedefler göz önünde bulundurulmuştur.

1.1 Motivasyon

Mimari tasarım sürecinde kullanılan araç ve yöntemlerin sürece ve tasarımcı davranışlarına olan etkilerine odaklanan çalışmalar incelendiğinde konunun;

- Geleneksel araç ve yöntemlerin kullanımının avantajları,
- Geleneksel ve dijital tasarım ortamlarının eş zamanlı ya da sıralı kullanımının avantajları ve
- Dijital tasarım ortam ve araçlarının tasarım sürecine olumlu etkileri

olmak üzere üç açıdan ele alındığı görülmektedir.

Bahsedilen araştırmalarda tasarım sürecinde kullanılan araçlar karşılaştırılmış ve kullanıcılarına sundukları avantajlar bakımından deneye dayalı çalışmalar yapılarak değerlendirilmişlerdir. Sashe Leinert ve Hacher (2001) çalışmalarında geleneksel tasarım araç ve yöntemlerinin kullanılmasının, tasarım çözümlerinin kalitesini arttırmanın yanında tasarım sürecinde harcanan süreyi genel olarak azalttığını belirtmişlerdir. Tasarım sürecinin, harcanan zaman ve oluşturulan/ geliştirilen tasarım alternatifleri açılarından verimli bir şekilde geçirilmesi ile ilgili Stones ile Cassidy (2007) ve Won'un (2001) yaptığı çalışmalarda süreç içerisinde geleneksel tasarım araç ve yöntemlerinin kullanılması sonucunda tasarımcıların bilgisayar destekli tasarım ortamı ve araçlarını kullanmalarına göre daha fazla tasarım fikri oluşturdukları belirtilmiştir.

Geleneksel tasarım ortamı ve araçları ile dijital tasarım ortamında bilgisayar destekli tasarım araçları olmak üzere her iki ortamın tasarım sürecinde eş zamanlı ya da sırayla kullanımının sürece etkilerinin değerlendirildiği çalışmalarda bu iki ortamın benzer görevleri yerine getirebilecekleri öne sürülmüştür (Shih ve diğ., 2017). Bu sonuçtan yola çıkarak bu ortamların tasarım sürecinde birbirlerinin yerine kullanılabilecekleri çıkarımı yapılabilse de bahsedilen ortam ve araçların eş zamanlı kullanımının avantajlarına değinilen çalışmalar da mevcuttur. Chen (2007) bahsedilen araçların tasarım sürecindeki verimlilikleri konusunda yaptığı çalışmasında her iki ortamın tasarım sürecinde eş zamanlı (senkronize bir şekilde) kullanılmasının daha yaratıcı tasarım çözümlerinin elde edilmesini ve bilişsel tasarım etkinlikleri açısından daha verimli bir tasarım ortamının oluşmasını sağlayacağını öne sürmüştür. İbrahim ve Rahimian (2010) tasarım sürecinde kullanılan farklı ortam ve araçları verimlilikleri

açısından değerlendirdikleri çalışmalarında benzer bir şekilde, yüksek kalitede tasarım çözümlerinin her iki ortamın eş zamanlı ya da sırayla kullanılması ile daha kısa sürede üretilebileceğini belirtmişlerdir.

Dijital tasarım ortamı ve araçları yıllar içerisinde teknoloji alanındaki ilerlemelerin etkisi ile daha kullanıcı, dostu, daha verimli ve daha etkin hale gelmişlerdir. Bu gelişmeler sonucunda bilgisayar destekli tasarım araçlarının geleneksel tasarım araçları ile benzer görevleri farklı ortamlarda (geleneksel x dijital) yerine getirebilen araçlar olmanın ötesinde kullanıcılarına 3B düşünme, üretim ve temsil açılarından avantajlar sağladığı görülmeye başlanmıştır. Lin'e (2001) göre geleneksel mimari tasarım araç ve yöntemleri her ne kadar tasarım sürecinin belirli alanlarında etkin olarak kullanılabilirler de, karmaşık biçimlerin üretilmesi, değerlendirilmesi ve temsilinde kullanılmak için yeterli yöntemler olarak görülmemektedirler. Karmaşık formların üretimi ve değerlendirilmesindeki etkinliklerinin yanında bilgisayar destekli tasarım araçlarının 3B mekan algısı ve değerlendirmesi konusunda da tasarımcılara çeşitli faydalar sağladığı belirtilmektedir. Bu çalışmalardan birisi olan Knight ve diğerlerinin (2005) araştırması sonucunda BDT araçlarının, tasarımcıların tasarladıkları hacimleri 3B olarak etkin bir şekilde görselleştirip değerlendirmelerini sağlayarak bu mekanların kalitesine ilişkin doğru izlenimler edinmelerine katkıda bulundukları belirtilmiştir. Rahimian ve İbrahim'in (2011) tasarım sürecinde kullanılan araçları karşılaştırdıkları çalışmalarında da benzer bir şekilde bilgisayar destekli araçlarının geleneksel tasarım araçlarına göre tasarımcıların mekana ilişkin bilişsel yetkinliklerinin gelişmesinde daha etkin rol oynadıkları öne sürülmektedir.

Bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımları tasarımcılara bahsettiğimiz avantajları sağlamasının yanında çeşitli kısıtlamaları da getirmektedir. Örneğin, Rauhala (2003) ve Suwa ve Tversky (1997) BDT araçlarının fikir üretmek için değil daha önceki aşamalarda üretilen fikirleri görselleştirmek için kullanılmaları gerektiği önermektedirler. Benzer bir şekilde Jonson (2005) BDT araçlarının rutin görevlerin otomasyonu ve çizim eyleminde verimliliği arttırmak için geliştirildiklerini belirtmektedir. Verstijnen ve diğerleri (1998) BDT araçlarının fikir üretmek için kullanılamamalarının nedenini, bu araçların yaratıcı tasarım sürecini destekleyecek eylemleri gerçekleştirebilecek bileşenlere sahip olmamaları olarak açıklamaktadırlar. Bunun yanında BDT araçlarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve bu araçlarla verimli bir tasarım sürecinin yürütülebilmesi için kullanıcıların araçlarla ilgili belirli

bir düzeyde deneyime sahip olmaları gerekmektedir. BDT araçlarını kullanmakla ilgili yeterli deneyime sahip olmayan tasarımcıların bu araçları kavramsal tasarım aşamasında kullanmaları Lawson'a (1999) göre tasarımcıların yaratıcılıklarının kısıtlanmasına ve kötü tasarım seçimleri yapmalarına neden olabilmektedir. Başka bir deyişle, Coyne ve diğerlerinin (2002) belirttiği gibi yeterli deneyime sahip olmayan kişilerin BDT araçlarını kullanmaları tasarım süreçlerini genel olarak olumsuz bir şekilde etkileyebilmektedir.

Alandaki yaklaşımlar kronolojik olarak değerlendirildiğinde tasarım sürecinde geleneksel tasarım araç ve yöntemlerinin süreç ve tasarımcı davranışları üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalardan, teknolojik gelişmeler sonucu yıllar içerisinde etkinlikleri artan bilgisayar destekli tasarım araç ve yöntemlerinin tasarım süreci üzerindeki olumlu etkilerinin raporlandığı çalışmalara doğru değişen bir yönelim görmekteyiz. Gül (2007) farklı tasarım ortamlarının, kullanılan araçlarla da ilişkili olarak, farklı tipte fikir üretimlerine ve farklı tasarım eylemlerinin gerçekleştirilmesine olanak tanıdığını belirtmektedir. Buradan yola çıkarak tasarım sürecinde kullanılan araçlar ve ortamlarla süreç içerisinde bir denge oluşturmaya çalışabiliriz. Tasarım sürecinde sadece belirli bir ortam ve aracın kullanılması, diğer araçların kullanılmasının getireceği farklı fikir üretimleri ve tasarım eylemlerinden faydalanılamamasına yol açacaktır.

Literatürün taranması sonucunda kavramsal tasarım aşamasında geleneksel tasarım yöntemlerini destekleyecek şekilde kullanılmak üzere bilgisayar destekli bir tasarım aracının geliştirilmesi için Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisiinden faydalanılabileceği düşünülmüştür. Fikir olarak ilk kez Sutherland (1968) tarafından ortaya atılan ve Caudel ve Mizell (1992) tarafından "arttırılmış gerçeklik" olarak adlandırılan AG kavramı, sanal bir imgenin gerçek ortamda üretilerek ortama eklenmesi ve etkileşime uygun bir hale getirilmesi olarak açıklanmaktadır (Azuma, 1997; Azuma ve diğ., 2001). AG teknolojisi kullanılarak geliştirilecek bir tasarım uygulamasının geleneksel tasarım yöntem ve araçlarının sahip olduğu esneklik, hız muğlaklık, içgüdüsellik ve kullanıcıya az bilişsel yük getirmek gibi özelliklere sahip olacak şekilde geliştirilebileceği ön görülmektedir.

Elimizdeki bilgilerin doğrultusunda mimari tasarım sürecinin erken aşamasında geleneksel tasarım yöntem ve araçlarını destekleyecek bilgisayar destekli bir tasarım aracının geliştirilip kullanılmasının bu evredeki üretkenliği ve sonuç olarak geliştirilen

tasarımların kalitesini arttırabileceği düşünülmektedir. Tasarım sürecinde bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımının avantajlarına değinilen çalışmaların sayısı, son yıllarda görülen teknolojik gelişmelerle ilişkili bir şekilde artmıştır. Bilgisayar destekli tasarım araçlarının erken tasarım aşamasında kullanımının fikir üretimlerine ve kullanıcıların bilişsel aktivitelerine nasıl etkilerinin olduğu konusunda gerçekleştirilecek bir çalışmanın bu konudaki çalışmalara ihtiyaç duyulan alana katkısının olacağı düşünülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda geleneksel tasarım yöntem ve araçlarını destekleyecek biçimde kurgulanmış bir bilgisayar destekli tasarım uygulamasının tasarım süreci ve tasarımcı davranışları üzerindeki olumlu etkisinin gözlenmesi ile tasarım sürecinde kullanılabilecek yeni bir iş akışı önerisi geliştirilmiş olacaktır. Bu durumda geliştirilen bilgisayar destekli tasarım uygulamasının erken tasarım sürecine olan katkıları ve bu katkıları aracın hangi özelliklerinin sağladığı arasındaki ilişkilerin tanımlanabilmesi alanda gerçekleştirilecek yeni çalışmalara yön göstermek açısından aynı ölçüde önem taşımaktadır. Uygulamanın geliştirilme aşamasında uygulamanın bahsedilen amaçla kullanılabilmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği ve bahsedilen amaçla kullanılabilmek potansiyelinin nasıl değerlendirilebileceği konularında literatür araştırması sonucunda elde edilen bilgilerden faydalanılmıştır. Sonuç olarak çalışmanın ana motivasyonu tasarım sürecinin erken aşamasında geleneksel tasarım araçları ile birlikte kullanılabilecek arttırılmış gerçeklik teknolojisinden faydalanan bir bilgisayar destekli tasarım uygulamasının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi olarak özetlenebilir.

Gerçekleştirilen çalışma ile elde edilmesi planlanan verinin teorik alanda mimari tasarım sürecinin özellikle erken aşamalarında bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımına etki eden faktörlerin tanımlanmasını sağlayacağı düşünülmektedir. XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Sempozyumu'nda sunulan bildiride (Durmazoğlu ve Gül, 2019) değinilen Türkiye'de mimarlık alanında tamamlanan Yüksek Lisans ve Doktora seviyesindeki tez çalışmaları (S:9), incelendiğinde bu çalışmaların % 67' sinin kullanım senaryolarının arttırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılarak geliştirilen uygulamaları, kullanıcılarına uygulamanın kullanıldığı ortama ilişkin yazılı ya da görsel ek bilgi vermek üzerine kurulduğu görülmektedir. Farklı konularda gerçekleştirilen çalışmalarda geliştirilen bu önerilerde kavramsal model aşamasının ötesine geçilmediği, teorik çerçevenin dışına çıkılan çalışmalarda ise kullanım

senaryolarını açıklayan diyagramlar ve olası ekran görüntüsü önerilerinin üretildiği görülmüştür. Doktora çalışmasının, mimarlık ve mühendislik ara kesitinde konumlanan Mimari Tasarımda Bilişim araştırma alanına, uygulamanın geliştirilmesi ve kontrollü bir ortamda denenmesi ile elde edilecek sonuçlarla iki konuda katkısının olacağı düşünülmektedir. Bu konulardan ilki AG teknolojisinden faydalanılarak geliştirilen bir BDT uygulamasının tasarımcılar tarafından kabul görmesi için ne gibi özelliklere sahip olması gerektiği sorusunun irdelenmesidir. İkincisi ise uygulamanın beklentilere ne ölçüde cevap verebildiğinin belirlenmesi amacıyla hangi yöntemler kullanılarak nasıl değerlendirilebileceğinin araştırılması ve elde edilen bilginin geliştirilen uygulamanın değerlendirilmesinde kullanılmasıdır. Çalışma kapsamında uygulamanın geliştirilmesi sürecinde özellikle kullanılabilirlik, uygulamanın kullanımının değerlendirilmesinde ise iş yükü kavramlarına odaklanılmıştır.

1.2 Araştırma Soruları

Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda tasarım sürecinde bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımının, tasarımcıların mekana ilişkin bilişsel yetkinliklerin gelişiminde oynadığı olumlu etki ile tasarımların 3B olarak daha etkin bir şekilde geliştirilmesi ve değerlendirilmesini sağladığı yönünde sonuçların elde edildiği görülmektedir (Knightve diğ., 2005; Rahimian ve Ibrahim, 2011). Bu nedenle, tasarım sürecinde bilgisayar destekli tasarım araçlarının kullanımının tasarımcı ve süreç üzerindeki olumlu etkilerinin tamamen göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Bu noktadan yola çıkarak mimari tasarım sürecinde kullanılması tercih edilen araç ve yöntemleri destekleyecek yeni bir aracın geliştirilmesi ve bu şekilde “geliştirilmiş/arttırılmış” bir tasarım ortamı (iş akışının) ya da yönteminin tanımlanması sonucunda tasarım sürecinin daha etkin bir şekilde yürütülebileceği düşünülmüştür. Doktora çalışması kapsamında önerilen “artırılmış” tasarım ortamı (iş akışı) için erken tasarım evresine odaklanılarak:

- Erken tasarım evresinde kullanımı tercih edilen geleneksel tasarım yöntem ve araçlarını destekleyecek, AG teknolojisinden faydalanarak geliştirilen bir BDT uygulamasının ne gibi özelliklere sahip olması gerektiğinin ve
- Bu aracın tasarım sürecinde kullanımının tercih edilebilirliğinin hangi yöntemler kullanılarak değerlendirilebileceğinin

tanımlanması hedeflenmiştir.

Bu hedefler doğrultusunda öncelikle tasarımcıların tasarım sürecinin erken evrelerinde AG teknolojisinden faydalanılarak geliştirilen bir tasarım aracını kolaylıkla ve verimli bir şekilde kullanılıp kullanılamayacağı sorusuna cevap aranmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca tasarımcıların tasarım sürecinin erken aşamalarında geleneksel tasarım yöntem ve araçları ile birlikte kullanabilecekleri bir mobil AG uygulamasından beklentilerinin neler olduğu sorusunun cevabı da aranmıştır. Birinci araştırma sorusuna cevap bulmak amacıyla tasarımcıların geliştirilen AG uygulamasını kullanarak yürüttükleri tasarım süreçlerinde ölçülen algılanan iş yükleri ile iş yükü konusunda yapılan araştırmalarda (Geng ve diğ., 2020; Silva ve diğ., 2019; South ve diğ., 2017) kabul edilebilir iş yükü değeri olarak kullanılan değer ile karşılaştırılacaktır. İkinci araştırma sorusunun incelenmesi için ise kullanıcılarla, Rauschnabel ve Ro (2016) tarafından akıllı gözlüklere olan ilginin nedenlerini açıklamak amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada kullandıkları regresyon modelinden faydalanılarak, bir anket çalışması ile elde edilen verilere dayalı bir regresyon modeli geliştirilecektir.

Gerçekleştirilecek deneysel çalışma sonucunda, AG uygulaması kullanılarak yürütülen tasarım sürecinde algılanan iş yükü ile kabul edilebilir iş yükü puanı arasında anlamlı bir fark bulunmaması durumunda geliştirilen AG aracının kullanıcılarına kabul edilebilir düzeyde bir iş yükü oluşturduğu sonucuna varılmış olacaktır. Böylelikle doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının tasarım sürecinin erken evresinde geleneksel tasarım araç ve yöntemlerini destekleyecek biçimde kullanımı ile yeni bir çalışma modelinin tanımlanabileceği düşünülmektedir.

Tanımlanacak yeni çalışma modelinin özgün yanı, alanda gerçekleştirilen çalışmaların sonuçlarına ek olarak, geliştirilme aşamasında kullanılabilirliği ve oluşturduğu iş yükü göz önünde bulundurularak geliştirilen bir AG uygulamasının tasarım sürecinin erken evrelerinde kolaylıkla kullanılabileceğinin deneye dayalı bir şekilde kanıtlanmış olması olacaktır.

Tasarım süreci içerisinde temel kararların verildiği kavramsal tasarım evresinde daha fazla tasarım alternatifinin geliştirilmesi ve değerlendirilebilmesi ile sürecin verimli bir şekilde yürütülebilmesi ve sonuç olarak geliştirilen tasarımın genel olarak kalitesinin arttırılabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla kavramsal tasarım evresinde

kullanılan yöntem ve araçların eksikliklerinin tespit edilip bu yönde iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Kavramsal tasarım evresinde tasarımcıya yardımcı olacak yeni yöntem ve araçların geliştirilmesinin tasarım disiplinine iki açıdan faydası bulunmaktadır. Geliştirilen araçların kullanımı sonucunda daha fazla sayıda tasarım alternatifin üretilip değerlendirilmesi ile ilgili bağlama en uygun tasarım alternatifinin seçilmesi ve geliştirilmesi olasılığının artacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu alanda yapılacak çalışmalar sonucunda tasarımcıların sürecin erken aşamalarında tasarım problemleri çözümlerine yaklaşımları ile ilgili bilgiler edinilebilecektir. Mimari tasarım sürecinde kullanılma amacıyla BDT aracı geliştirme konusunda çalışan araştırmacıların ise bu bilgiyi mevcut araçların iyileştirilmesi ve yeni tasarım araçlarının geliştirilmesi yönünde kullanabilecekleri ön görülmektedir. Bu nedenle bu konuda yapılacak bir çalışma ile tasarım disiplinin teorik ve pratik alanlarda gelişmesini sağlayacak faydalı bulguların edinileceği düşünülmektedir.

Kavramsal tasarım aşamasında yeni fikirler üretmeye yardımcı olmak amacıyla çok az sayıda dijital tasarım aracı geliştirilmiştir (Dorta, 2008). Bu durumun nedeni olarak geleneksel tasarım yöntemlerinin kullanıcılarına sundukları avantajları bünyesinde barındırabilecek bilgisayar destekli bir tasarım aracı geliştirmenin zorluğu gösterilebilir. Bu zorluğa rağmen bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli üretim araçlarının kavramsal tasarım aşamasında başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlayacak sistemlerin geliştirilmesi güncel ve anlamlı araştırma alanlarından birisi olarak görülmektedir (Aliakseyeuve diğ., 2006). Bu alanda yapılacak çalışmalarda kavramsal tasarım aşamasında yoğun bir şekilde kullanımı tercih edilmeye devam eden geleneksel tasarım yöntem ve araçlarının yerine geçecek ya da onları taklit etmeye çalışan araçların geliştirilmesi yerine, bilgisayar destekli tasarım araçlarının güçlü yönlerini kullanarak kavramsal tasarım evresinde nasıl katkılarının olabileceği konusunun araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Geliştirilen AG uygulaması kullanılarak mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde tasarımcıların kütle çalışmalarını geliştirip değerlendirebilecekleri verimli bir tasarım sürecinin yürütülmesi hedeflenmektedir. Geliştirilen AG uygulamasının ayrıca sanal nesnelerle kütle çalışmalarının yapılmasına olanak veren yapısı sayesinde uzaktan iletişim ve çalışmanın zorunlu olduğu durumlarda, fiziksel maket malzemesi edinmeye ihtiyaç duyulmadan kütle çalışmaları yapılmasına olanak vererek “kütle çalışmalarının genellikle gerçekleştirildiği” (Gül, 2017a) ortam olan fiziksel çevreye

alternatif bir kavramsal tasarım ortamında çalışılmasına imkan sağlayacağı düşünülmektedir.

1.3 Tezin Amacı

Çalışmanın hedefi, genellikle geleneksel ortam ve araçların kullanımının tercih edildiği mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen bir uygulamanın kullanılmasının tasarımcıların süreçteki iş yüküne etkisinin ve geliştirilen uygulamanın tasarım sürecinde kullanılabilirliğinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla geleneksel ortam ve araçların yetersiz olduğu alanlarda tasarımcıların faydalanabilecekleri bir AG tabanlı bir bilgisayar destekli tasarım aracı/uygulamasının geliştirilebileceği düşünülmüştür. Çalışma kapsamında AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen uygulamanın erken tasarım evresinde geleneksel tasarım araç ve yöntemleri ile kullanılabilmesi için ne tip özelliklere sahip olması gerektiğini ve bu özelliklerin deneye dayalı bir şekilde nasıl değerlendirilebileceği konusu ayrıca araştırılmıştır.

Tasarımcıların AG uygulaması kullanarak yürüttükleri tasarım sürecinde algıladıkları iş yükü ile kabul edilebilir iş yükünün karşılaştırılması sonucunda anlamlı bir fark bulunmaması durumunda ya da uygulamanın kullanıldığı süreçte algılanan iş yükünün daha az olması durumunda tasarım sürecinde kullanılmak amacıyla geliştirilen AG uygulamasının kullanıcıya az iş yükü oluşturduğu sonucuna varılmış olacaktır. Bu durumda geliştirilen AG uygulamasının tasarım sürecinin erken evrelerinde rahatlıkla kullanılabileceği kanıtlanmış olacaktır. Ancak gelecek çalışmalarda, tez kapsamında geliştirilen AG uygulamasının iş yükü açısından farklı tasarım araçlarıyla karşılaştırılmasının daha net bir sonuçlara ulaşılması açısından faydalı olacağı düşünülmektedir. Geliştirilen AG uygulamasının tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanımının katılımcılar tarafından öznel bir şekilde değerlendirildiği bir anket çalışması ile elde edilen verinin uygulamanın genel olarak etkinliğinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

1.4 Yöntem

Doktora tezi kapsamında değerlendirilecek araştırma sorularını cevaplamak amacıyla Unity oyun motorunda Vuforia AG eklentisi kullanılarak, Android işletim sistemine

sahip mobil akıllı cihazlarda çalışabilen bir AG uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın kullanım kolaylığının değerlendirilmesi amacıyla lisans eğitimini tamamlamış olan bir ve mimarlık eğitimine devam eden 4 kullanıcı ile pilot kullanılabilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Uygulama test edilip, kullanılabilirlik açısından kabul edilebilecek bir düzeyde olduğunun görülmesinden sonra, uygulamanın mimari bir tasarım egzersizinde kullanıcıların AG araçlarını kullanırken algıladıkları iş yüklerinin hesaplanması amacıyla yapılacak deneysel çalışmada kullanılabileceğine karar verilmiştir.

1.4.1 Uygulamanın oluşturduğu iş yükünün hesaplanması

Deneysel çalışmada deneye dayalı araştırma deseni kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma sınıflandırma kriterlerine göre; denek sayısına göre çok denekli, değişken sayısına göre tek faktörlü, deneme koşullarına göre ise gruplar arası desenin kullanıldığı bir deneysel araştırma olarak tanımlanabilir. Katılımcıların doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını bir tasarım oturumu süresince kullanmaları ve bu deneyimleri sonrasında uygulamayı NASA İş Yüğü Endeksi değerlendirme anketini (Ek A) kullanarak algıladıkları iş yükü açısından değerlendirmeleri istenmiştir. Katılımcılardan ayrıca uygulama ile ilgili öznel bir değerlendirme anketini cevaplamaları istenmiştir.

Önerilen çalışma çerçevesinde katılımcılardan elde edilen değerler katılımcıların diğer tasarım araçlarını kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım süreçleri sonrasında araçları değerlendirmeleri sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılmak yerine kabul edilebilir iş yükü değeri olarak çeşitli araştırmalarda (Gengve diğ., 2020; Silvave diğ., 2019; Southve diğ., 2017) kullanılan 60 puanla karşılaştırılmıştır. Grier (Grier, 2015) tarafından gerçekleştirilen, NASA İş Yüğü Endeksinin kullanıldığı yaklaşık 200 yayında yer alan 1000'e yakın analizin değerlendirildiği araştırmada kabul edilebilir olarak değerlendirilebilecek puanla ilgili kesin bir değer verilmemektedir. Ancak araştırma kapsamında incelenen analizlerin %70'inden fazlasının 58 puanın üzerinde bulunduğu belirtilmiştir. Grier'in çalışmasından sonra iş yükü ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalarda kabul edilebilecek NASA İş Yüğü Endeksi puanı olarak 60 ya da 50 puanın altındaki puanlar kabul edilmekte hatta bazı durumlarda 70 puanın altının da kabul edilebilir bir puan olarak değerlendirildiği görülmektedir. Sonuç olarak Grier'in gerçekleştirdiği ve literatürde bulunan diğer çalışmalar referans alınarak katılımcıların

NASA İş Yüğü Endeksi anketi kullanarak uygulamayı değerlendirmeleri sonucu elde edilen iş yüğü değerleri ve kabul edilebilir iş yüğü değeri bağımsız T – Testi yapılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca katılımcıların uygulamayı öznel olarak değerlendirebilmeleri amacıyla bir memnuniyet testi uygulanmıştır.

1.4.2 AG uygulamasından beklentilerin hesaplanması

Rauschnabel ve Ro (2016), giyilebilen teknolojilerden olan akıllı gözlüklerin kullanımına olan ilgiye ve bu teknolojiyi kullanmaya başlama isteğinde etkin olan değişkenleri regresyon analizi ve açıklayıcı istatistik yöntemlerini kullanarak incelemiştir. Doktora çalışması kapsamında tasarımcıların tasarım sürecinde kullanılacak AG uygulamalarda bulunmasını istedikleri bileşenler ve özelliklerin belirlenmesi için benzer bir şekilde regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır. Araştırmacı tarafından belirlenmiş olan:

- AG aracında bulunması gereken özellikler,
- İzleyici özellikleri,
- Görüntüleme teknolojileri konusundaki tercihler,
- Cihazların ulaşılabilirliği,
- Uygulamanın karmaşıklığı

gibi AG uygulamalarda kullanımı tercih edilebilecek özelliklerin kullanıcıların bu tip cihazları kullanma tercihlerine ne derece etkisinin olduğunun belirlenmesi amacıyla yapılacak istatistiksel analizde kullanılacak veri, araştırmacı tarafından geliştirilen ve katılımcıların tercihlerini Likert ölçeği ile belirleyebilecekleri bir anketi (Ek B) cevaplamaları sonucunda elde edilmiştir.

Toplanan cevaplar sayısallaştırılarak her katılımcının AG uygulamalarında bulunmasını istediği özelliklere ilişkin sayısal değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinden sonra öncelikle belirlenen özelliklerin AG uygulamalarının tercihine etki edip etmediklerinin analizi korelasyon matrisi oluşturularak incelenmiştir. Kullanıcıların AG uygulamalarında bulunmasını tercih ettikleri özelliklerin AG kullanım tercihlerine ne ölçüde etkilerinin bulunduğunu regresyon analizi yöntemi sayısal olarak ifade eden modellere ulaşılmıştır.

Çalışmanın sonucunda farklı deneyim seviyelerine sahip mimarların AG uygulamalarını kullanma tercihleri ve eğilimleri ile ilgili rasyonel modellerin oluşturulması ile belirli seviyede deneyime sahip kullanıcıların kullanacakları AG uygulamalarının kullanıcıların tercihleri göz önünde bulundurularak geliştirilebilmesi ve böylelikle kullanıcıların araçlardan beklentilerini daha iyi karşılayabilecek AG teknolojisini kullanan BDT araçlarının geliştirilmesinin sağlanacağı öngörülmektedir. Bu çalışmanın kullanıcı beklentilerinin tanımlanması sayesinde AG uygulamalarını kullanarak hangi özgün davranışları gerçekleştirmeyi amaçladıkları bilgisinin edinilmesini sağlayacağı ve sonuç olarak AG uygulamalarının kullanıcı davranışlarına etkilerine de ışık tutacağı ön görülmektedir.

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilecek regresyon analizinde K ile tanımlanan her bir kullanıcı için AG uygulamalarında bulunmasını tercih ettikleri özelliklerin sayısal karşılıklarının toplamından oluşan tercih puanı (Tp_{Kn}) elde edilmiştir. Bu durumda kullanıcıların tercih puanları aşağıdaki şekilde ifade edilecektir.

$$Tp_{Kn} = \text{Kullanıcı Tercih Puanı}$$

Anket çalışması sonucunda elde edilecek tercih puanları regresyon analizinde bağımlı değişken olarak, tercih puanlarının oluşturan farklı özelliklerin bağımsız puanları ise bağımsız değişkenler olarak kullanılacaklardır. Bu durumda tercih puanını ve bu puanı oluşturan bağımsız değişkenler aşağıdaki gibi ifade edilmişlerdir.

$$Tp_{Kn} = \{Bd_1, Bd_2, Bd_3, Bd_4, Bd_5, Bd_n\}$$

Her kullanıcı için bağımsız değişkenlere ilişkin puanlar (Bd_n) ve bu puanların toplamından oluşan toplam tercih puanları (Tp_{Kn}) elde edildikten sonra regresyon analizinde kullanılacak anket çalışmasına katılan kişi sayısı kadar satır ve tanımlanan bağımsız değişken sayısı kadar sütundan oluşan ve hesaplamada kullanılacak aşağıda görülebilecek “hesap matrisi” (M^h) elde edilmiştir.

$$M^h = \begin{bmatrix} Tp_{K1} & Bd_1 & Bd_2 & Bd_3 & Bd_4 & Bd_5 & Bd_n \\ Tp_{K2} & Bd_1 & Bd_2 & Bd_3 & Bd_4 & Bd_5 & Bd_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Tp_{Kn} & Bd_1 & Bd_2 & Bd_3 & Bd_4 & Bd_5 & Bd_n \end{bmatrix}$$

Elde edilen hesap matrisi kullanılarak kullanıcıların mimari tasarım alanında geliştirilmiş arttırılmış gerçeklik uygulamalarında bulunmasını tercih ettikleri özelliklerin toplam tercihlerini nasıl etkilediğini ifade eden model regresyon analiz

yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Y, bağımsız değişken; X, bağımlı değişken; a, denklem sabiti ve b, Y değişkeninin katsayısı olmak üzere iki değişkenli basit bir regresyon modeli:

Y = Bağımlı Değişken

a = Denklem Sabiti

b = Bağımsız Değişken Kat Sayısı

X = Bağımsız Değişken

$Y = a + bX$

şeklinde ifade edilmektedir.

Bu durumda doktora çalışması kapsamında oluşturulacak çok değişkenli regresyon modeli denklem 1.1’de görüldüğü şekilde ifade edilmektedir.

AG_{TTP} = Arttırılmış Gerçeklik Toplam Tercih Puanı

S = Denklem sabiti

${}^n_{Bd}k$ = n Bağımsız Değişkenine ait Katsayı

Bd_n = n Bağımsız Değişkeni

$$AG_{TTP} = \{S + {}^1_{Bd}k Bd_1 + {}^2_{Bd}k Bd_2 + {}^3_{Bd}k Bd_3 + {}^n_{Bd}k Bd_n\} \quad (1.1)$$

Regresyon analizi sonucunda kullanıcıların tercihlerinin ifade eden ana model elde edilmiştir.

1.4.3 Katılımcılar

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmanın hedef popülasyonu mimari tasarım alanında temel düzeyde bilgi ve birikime sahip bireylerin seçilebilmesi amacıyla mimarlık alanında lisans düzeyindeki eğitimlerini tamamlamış kişiler olarak belirlenmiştir. Çalışmanın katılımcılarının seçileceği örneklem ise nicel araştırmalarda kullanılan olasılıksız örneklem yöntemlerinden uygunluk örneklem yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Uygunluk örneklem yöntemi, araştırmanın örneklemine hedef popülasyonu temsil etme ihtimali yüksek olan ve gerçekleştirilecek çalışmaya katılmaya istekli katılımcılardan oluşturulması olarak açıklanmaktadır (Creswell, 2012, p. 145).

1.4.2 Çalışmanın kısıtları

Çalışmada kullanılan tasarımcı kavramı geniş anlamı ile tasarım aktivitesi ile ilgilenen tüm disiplinleri kapsamamakta, ancak aksi belirtilmediği sürece sadece mimarlık disiplininde lisans düzeyinde yetkinliğe sahip kişileri ifade etmektedir. Çalışma kapsamında geliştirilen BDT uygulaması, son kullanıcılar tarafından kolaylıkla ulaşılabilir olması ve genel popülasyonun bu tür cihazları günlük hayatlarında bir süredir yaygın olarak kullanıyor olmaları sonucu donanımın sunduğu etkileşim biçimlerine alışkın olduklarının düşünülmesi nedeniyle mobil akıllı cihazlarda kullanılabilecek şekilde geliştirilmiştir. Giyilebilen görüntüleme cihazları, maliyetleri son kullanıcının yaygın olarak kullanabileceği düzeye henüz gelmediğinden ve elde edilmelerindeki zorluklardan dolayı çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Mimarlık disiplininde lisans düzeyinde eğitime devam eden bireylerin pilot çalışmaların haricinde çalışmanın iş yükü ve AG uygulamalarından beklentilerin tanımlanması amacıyla gerçekleştirilecek deneysel araştırma bölümündeki katılımları, bireylerin mimari tasarım sürecinin yürütülüşü ile ilgili yeterli deneyime sahip olmamaları nedeniyle kısıtlanmıştır.

1.4.5. Deneysel araştırmada kullanılan araçlar

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının deneysel çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilmesi için kabul edilebilir bir performans düzeyinde çalışabildiğinin doğrulanması amacıyla deneyden önce pilot çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, Unity oyun motorunda Vuforia AG eklentisi kullanılarak Android işletim sistemi kullanılan akıllı mobil cihazlarda kullanılmak üzere geliştirilen MimAR AG uygulaması kullanılabilirlik açısından mimarlık alanında lisans eğitimini tamamlamış 1 ve mimarlık alanında lisans eğitime devam eden 4 katılımcının katıldığı bir çalışmayla değerlendirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinden sonra uygulamanın bir tasarım aracı olarak kullanıldığı deneysel çalışma kapsamında katılımcıların farklı tasarım araçlarını kullanarak yürüttükleri tasarım oturumlarında algıladıkları iş yükleri NASA İş Yükü Endeksi anketi kullanılarak hesaplanmıştır.

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliği Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ) (Santos ve diğ., 2015) ve Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) (Brooke, 1996) anketleri kullanılarak

değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında SKÖ (Ek C) anketinin kullanılmasına, kullanılabilirliğin bağlamdan bağımsız olarak genel bir şekilde ölçülebilmesine olanak sağlayacak bir biçimde geliştirilmiş olması ve anketin hassasiyetinin yüksek olması nedenleriyle karar verilmiştir (Bangor ve diğ., 2008; Tullis ve Stetson, 2004). İncelenen sistemlerin kullanılabilirliği ile ilgili genel bir değerlendirme puanı elde edilmesi amacıyla kullanılan SKÖ anketi ile elde edilen sonuçlarının geçerliliğini sağlamak ve değerlendirilen sistemin kullanılabilirliğine ilişkin daha kapsamlı sonuçlar alınabilmek amacıyla Mobil Arttırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ) anketi kullanılmıştır. Anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik ölçeği olmak üzere iki alt ölçüden oluşan MAGKÖ anketi (Ek D) ile değerlendirilen sistemin genel kullanılabilirliği, kullanıcıya sunulan bilginin anlaşılmasının kolaylığı ve sistemin kullanıldığı cihazın kullanım kolaylığı konuları değerlendirilebilmektedir.

Deneysel araştırmanın bağımlı değişkeni olarak tanımlanan katılımcıların mimari bir tasarım egzersizini tamamlarken algıladıkları iş yüklerinin hesaplanmasında NASA İş Yükü Endeksi anketinin (Hart ve Staveland, 1988) kullanılmasına karar verilmiştir. Geliştirildiği yıldan bu yana AG uygulamalarında:

- Etkileşim (Blattgerste ve diğ., 2018; Gheisari ve diğ., 2016; Piumsomboon ve diğ., 2014), AG ara yüz geliştirilmesi (Maiti ve diğ., 2017),
- Eğitim ve montaj (Funk ve diğ., 2017; Funk ve diğ., 2016; Hou ve diğ., 2013; Lin ve diğ., 2015),
- Sağlık (van der Meulen ve diğ., 2016), turizm (Střelák ve diğ., 2016),
- Görüntüleme araçları teknolojileri (Beitzel ve diğ., 2016; Bolton ve diğ., 2015; Cidota ve diğ., 2016; Rehman ve Cao, 2016)

gibi konularda gerçekleştirilmiş araştırmalarda kullanılmış olan NASA İş Yükü Endeksi, öznel iş yükü deneyimleri ile ilişkili tanımlayıcı etkenlerin deneye dayalı olarak ortaya çıkartılması ve farklı aktivitelerle ilişkili olarak iş yükü kavramının biçimsel olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Hart ve Staveland, 1988).

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel araştırmada kullanılan NASA İş Yükü Endeksi anketi kullanılarak asıl araştırmanın öncesinde, mimarlık alanında Lisans seviyesinde eğitimlerine devam etmekte olan 4 kişinin katılımı ile kullanıcıların

karşılaşılabilecekleri problemlere ilişkili bilgi edinilmesi amacıyla bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. NASA İş Yüğü Endeksi anketi kullanılarak gerçekleştirilen pilot çalışmada test süreleri, test sorularının anlaşılabilirliği, test sonuçlarının ağırlıklı ve ham ölçümler olarak hesaplanması ile ilgili gözlemler yapılmıştır. Gerçekleştirilen pilot çalışma sonucunda endeksi oluşturan alt ölçeklerden: çaba, düşünsel (bilişsel) beklenti ve kaygı seviyesi gibi kavramların katılımcılar tarafından anlaşılmasında problem yaşandığı gözlenmiştir. Asıl testte benzer problemlerin yaşanmaması için alt ölçekler, anlaşılabilir bir hale gelecek şekilde kavramların açıklanması ve kullanılan kelime seçimlerinde değişiklikler yapılarak güncellenmiştir.

1.5 Özgün Değer ve Yaygın Etki

Tasarım nesnesinin şekillenmesinde büyük etkisi olan temel kararların alındığı etken tasarım aşamasında genellikle geleneksel tasarım araçları, tasarımların detaylandırıldığı ve iyileştirildiği son tasarım evresinde ise BDT araçları kullanılmaktadır. BDT araçlarının üç boyutlu mekan algısı ve değerlendirilmesi konusunda çeşitli faydaları bulunmaktadır. Knight ve diğerlerine (2005) göre BDT araçları tasarımcıların tasarladıkları biçimleri üç boyutlu olarak hızlı ve etkin bir şekilde görselleştirip değerlendirmelerini sağlayarak tasarladıkları hacimler hakkında doğru izlenimler edinmelerine katkıda bulunmaktadır. Bahsedilen nedenlerden dolayı BDT araçlarının kullanımının tasarımcıların mekanı oluşturmak ve anlamakla ilişkili bilişsel yeteneklerinin gelişmesinde etkin rol oynadığı belirtilmektedir (Rahimian ve Ibrahim, 2011).

Tasarım sürecinin son aşamalarında yukarıdaki paragrafta bahsedilen avantajları sağlaması nedeniyle tasarımcılar tarafından kullanılması tercih edilen BDT araçlarının erken tasarım sürecinde kullanılmasının çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. BDT araçlarının tasarımın erken evrelerinde kullanılmasının oluşturduğu dezavantajların birincisi bu araçların yeni fikirlerin geliştirilmesine olanak tanımadıkları görüşüdür. Rauhala (2003) ve Suwa ve diğerlerine (1997) göre BDT araçları tasarım fikirleri ve çözümlerinin üretilmesi yerine daha önceki aşamalarda üretilen fikirleri hızlı, etkili ve verimli bir şekilde 2B veya 3B olarak temsil etmekte kullanılmalıdır. Verstijnen ve diğerleri (1998) BDT araçlarının yaratıcı tasarım sürecini destekleyecek eylemlerin gerçekleştirilebileceği bileşenlere sahip olmamaları nedeniyle fikir üretmek için kullanılamayacağını öne sürmektedirler. Bunun nedeni Jonson'a (2005) göre BDT

araçlarının asıl geliştirilme amacının temsil sürecindeki rutin görevlerin optimizasyonunu sağlayarak verimliliği arttırmak olmasıdır. BDT araçlarının tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılmasının oluşturduğu ikinci dezavantaj ise bu araçların etkin bir şekilde kullanılabilmesi için kullanıcının araçla ilgili belirli düzeyde deneyine sahip olması gerekliliğidir. BDT araçlarının bu araçları kullanmakla ilgili yeterli deneyime sahip olmayan kullanıcılar tarafından erken tasarım aşamasında kullanılması Lawson'a (1999) göre tasarımcıların yaratıcılıklarının kısıtlanmasına ve kötü tasarım çözümleri geliştirmelerine neden olmaktadır. Coyne ve diğerleri (2002) de Lawson ile benzer bir şekilde, yeterli deneyime sahip olmayan kullanıcıların BDT araçlarını kullanmalarının tasarım sürecini olumsuz etkileyeceğini belirtmektedir.

Tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılmak üzere yeterli deneyime sahip olmayan kullanıcıların bile kolaylıkla kullanabileceği, kullanıcıların tasarım fikirlerini 3B olarak verimli bir şekilde görselleştirebilecekleri ve sonrasında değerlendirebilecekleri bir BDT aracının geliştirilmesi daha önce bahsedilen sorunların çözülmesi yönünde atılan bir adımdır. Bu amaçla AG teknolojisinden faydalanılarak bir BDT aracı geliştirilmiş ve geliştirilen aracın tasarım sürecinin erken aşamalarında kolaylık ve memnuniyetle kullanılıp kullanılamayacağı ve kullanıcıların bu tip bir araçtan beklentileri tanımlanmıştır.

AG alanının da bir parçası olduğu Karma Gerçeklik araştırma alanının temellerinin atıldığı 1960'ların ortalarından günümüze yaklaşık 60 yıl geçmesine rağmen, diğer araştırma alanlarındaki kadar hızlı bir gelişme kaydedilmeyen AG çalışma alanı son yıllarda hız kazanmakta ve popülerliğini arttırmaya devam etmektedir. AG teknolojisi kullanıcıların mekansal algılarını geliştirmesine olanak tanıyan yapısı sayesinde kendilerinden beklenen görevleri daha etkin ve verimli bir şekilde yerine getirmelerine olanak tanımaktadır (Nee ve diğ., 2012). Aynı zamanda kullanıcılarına gerçekleştirdikleri eylemlere ilişkin gerçek zamanlı geri besleme olanağı tanıdığından dolayı, onların bilişsel yüklerini azaltmakta (Liou ve diğ., 2017; Theodoropoulos ve Lepouras, 2021) ve gerçekleştirilen işlemlerin doğruluğunun (accuracy) artmasını sağlamaktadır (Theodoropoulos ve Lepouras, 2021). Bahsedilen özelliklerin yanında geliştirilen tasarım önerilerinin 2B'ta kalmanın dışında 3B olarak ifade edilmelerine ve üretilen kütlelerin kendi içlerinde ve, arazi ve birbirleri ile olan ilişkilerinin irdelenip değerlendirilmesine olanak tanıyarak Shelton ve Hedley'e göre (2002) tasarımcıların yeni bilgiler edinmelerine yardımcı olması gibi özellikle sahip olması

nedeniyle geliştirilen BDT aracında AG teknolojisinden faydalanılmasına karar verilmiştir.

Doktora çalışması mevcut araştırmalardan aşağıda açıklanan açılardan farklılaşmaktadır:

- Çalışma kapsamında geliştirilen uygulama, kullanıcıların mimari tasarım sürecinde görselleştirme, bilgi edinme/sorgulama ve öğrenme amacıyla edilgen bir şekilde etkileşim içerisinde olacakları şekilde değil tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanıcı tarafından 3B kütle çalışmaları yapmak amacıyla etkin bir şekilde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.
- Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılmak üzere geliştirilen BDT aracı doktora çalışmasında kullanılma amacıyla AG uygulamasının geliştirildiği oyun motoru hariç tüm yazılım bileşenleriyle sıfırdan kurgulanıp geliştirildiğinden dolayı doktora çalışması ile raporlanan süreç bu alanda yapılacak yeni araştırmalarda izlenebilecek bir yöntem tanımlamaktadır.
- Doktora çalışması kapsamında geliştirilen BDT aracı kullanılarak AG teknolojisinden faydalanılarak mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanıcının etkin bir şekilde kullanması amaçlanarak geliştirilen bir aracın kullanıcıya oluşturduğu iş yükü incelenmiştir.
- Doktora çalışması kapsamında geliştirilen BDT aracı kullanılarak mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir MAG uygulamasından kullanıcıların beklentileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilerin benzer amaçlarla kullanılacak AG uygulamalarının geliştirilme süreçlerinde araştırmacılar ve uygulama geliştiricilerine faydalı olacağı düşünülmektedir.

Doktora çalışmasının konusu TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı tarafında yapılan TÜBİTAK ÖNCELİKLİ AR-GE ve Yenilik Konuları 2021-2022 çağrısında¹, Bilgi ve İletişim Teknolojileri ana başlığı altında bulunan “Modelleme, Simülasyon ve Oyun Teknolojileri” öncelikli teknoloji alanına ait “Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AG) Uygulamaları” öncelikli Ar-Ge ve yenilik konusu ile ilişkili olduğundan dolayı ülke öncelikleri arasında bulunmaktadır. Ayrıca, doktora çalışmasında elde edilen AG teknolojisi kullanılarak

¹ TÜBİTAK Öncelikli AR-Ge ve Yenilik Konuları ile ilgili çağrıya TÜBİTAK kurum web sitesinden ulaşılabilir (https://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/21566/tubitak_cp2021.pdf).

geliştirilen bir BDT aracının erken tasarım sürecinde kullanıcılarına kabul edilebilir bir düzeyde iş yükü oluşturduğu sonucu temel alınarak özellikle mimari tasarım alanında AG teknolojisinden daha etkin bir şekilde faydalanma yöntemlerinin incelendiği yeni projelerin üretilme imkanı bulunmaktadır. Doktora çalışması evrensel ve yerel düzeyde alana ve bilimsel birikimine, çalışma süresince kaydedilen gelişmeler ve gerçekleştirilen deneysel çalışmaların aktarıldığı biri yabancı dilde yayın yapan ve bilimsel dergi sıralaması Q1 olan bilimsel bir dergi, 3 adet ulusal sempozyum bildiri kitabında yayın olmak üzere toplam 4 yayın ile katkıda bulunmuştur.





2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK KAVRAMI

Teknolojideki gelişmelerin pozitif etkilerinin en rahat izlenebileceği sağlık, savunma, mühendislik gibi disiplinlerden birisi olan mimarlık disiplininde bu etkiler uygulama ve mimari tasarım aşamasında kullanılan yöntem ve araçlardaki gelişmelerden izlenebilmektedir. Geçtiğimiz çeyrek yüzyılda gerçekleşen teknolojik gelişmelerin mimarinin uygulama alanındaki etkilerine örnek olarak; önceki yıllarda teorik olarak önerilebilen kinetik yapı elemanlarından oluşan yapıların ve büyük ölçekli serbest formlu hacimlerin inşa edilebilmesi; yapı elemanları olarak akıllı malzemeler ve merkezi HVAC (ısıtma, havalandırma ve soğutma) sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen aktif iklimlendirme çözümleri verilebilir.

Teknolojik gelişmelerin mimari proje alanındaki yansımalarını ise en açık şekilde, kullanılan görselleştirme araçları ve yöntemlerindeki değişimi izleyerek görmek mümkündür. Ülkemizde doksanlı yılların ortalarından itibaren mimarlık eğitimine başlayanların deneyimledikleri, kendilerinden önceki kuşağın yaşadığından daha hızlı bir biçimde ve büyük ölçüde kişisel/mobil bilgisayarların ulaşılabilir bir hale gelmesi ile gerçekleşen mimarlıktaki dijital devrim ile mimari proje sınıflarına giren bilgisayarlar, grafik ve plastik temsil yöntemlerini köklü bir biçimde değiştirmişlerdir.

Daha önce bahsedilen değişimin devamında proje ve uygulama alanlarında kullanıcılarına sağladıkları kolaylıklardan ötürü mobil ve kişisel bilgisayarların mimarlık disiplininde kullanımlarının arttığı görülmektedir. Donanım ve yazılım alanlarındaki gelişmelerden sonra, ağırlıkla sunum, eğitim, pazarlama ve eğlence amaçlı kullanılan Sanal (SG) ve Arttırılmış Gerçeklik (AG) teknolojilerinin yeni ve farklı uygulamalarda kullanılmaya başlanmaları ile mimarlıkta farklı tasarım senaryolarının deneyimlenmesi ve değerlendirilmesi çok daha kolay hale gelmiştir. Örneğin, Second Life uygulaması sosyal bir platform olarak da kullanılabilmesinin yanında kullanıcılarına sunduğu hizmetlerden dolayı insan davranışlarını incelemek amacı ile kurgulanan araştırma ve eğitim odaklı çalışmaları da destekleyebilmektedir. 2003 yılında Linden Lab tarafından geliştirilen çevrimiçi bir sanal dünya uygulaması olan Second Life uygulaması ile kullanıcılar:

- Avatar olarak adlandırılan dijital temsillerini oluşturup sanal dünya içerisindeki çeşitli davranış özelliklerine sahip olan nesneler ve diğer avatarlar ile etkileşime geçebilmekte,
- Grid adı verilen sanal dünyayı gezebilmekte,
- Bireysel ya da grup aktivitelerine katılıp, sanal mülkler oluşturup satabilmektedirler.

Second Life gibi sanal gerçeklik uygulamalarının kullanılması ile (senkronize ve asenkronize) işbirlikli eylemlerin gerçek dünyada yapılmasında karşılaşılan uygun lokasyon, ve gün bulma gibi kısıtlamalarına bağlı kalmadan bu işlerin gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Ek olarak sanal gerçeklik uygulamalarında oluşturulan çevrelerde/dünyalarda kullanıcıların farklı olgular ve kurallar ile deney yapabilmelerini sağlayan benzetim tabanlı aktiviteler desteklenmektedir. Böylelikle sanal gerçeklik uygulamalarının kullanımı ile kullanıcılara gerçek dünyada karşılaşılabilecekleri ya da yaşadıkları kısıtlamalara bağlı olmadan sanal dünya içerisinde kurgulanmış güvenli ve kontrollü ortamlarda farklı deneyimler (Li ve diğ., 2018; Suyanto ve diğ., 2017) edinebilmektedirler. Örneğin mimarlık bağlamında kullanıcılar tasarladıkları hacim ve nesneleri benzetim tabanlı ortamlarda çeşitli senaryolar çerçevesinde deneyimleyebilmektedirler (Paes ve diğ., 2017). Kullanıcıların dış dünya ile iletişimlerini koparmadan gerçek dünya deneyimlerinin daha zengin olmasını sağlayan uygulamalardan olan AG uygulamaları ise SG uygulamalarından en fazla kullanıcılarına sağladıkları hareket serbestliği, kullanım kolaylığı ve donanımsal açıdan az maliyetli sistemlerin geliştirilebilmesi ile ayrılmaktadırlar.

2.1 Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik, dijital içeriğin gerçek dünyada mevcut görsel veri ile gerçek zamanlı entegrasyonunu sağlayan, dijital imge işleme, bilgisayar grafiği, yapay zeka, çoklu medya teknolojisi ve diğer teknolojik alanları bünyesinde barındıran kapsayıcı bir bilgi teknolojisidir. Metnin bundan sonraki bölümlerinde kısaca AG olarak tanımlanacak artırılmış gerçeklik uygulamaları, bir bilgisayar aracılığıyla işlenen dijital bilginin gerçek dünyada bulunan görsel veri ile gerçek zamanlı olarak uygun bilgisayar ara yüzleri kullanılarak birleştirilmesine olanak tanımaktadır.

AG teknolojisi en temel şekliyle kullanıcıların bakış açısının kendilerinden istenen herhangi bir görevi tamamlamaları için gerekli bilginin eklenerek “artırıldığı” bir teknoloji olarak açıklanabilir. Bilgisayar grafiği alanına ait teknolojiler olan AG ve SG teknolojileri bilgisayar yardımıyla üretilen bileşenlere sahip olmak gibi ortak özelliklere sahiptir. Ancak kronolojik olarak incelendiğinde AG teknolojisinin SG teknolojinin bir türeği olarak (Azuma, 1997) ortaya çıkarak gelişimini sürdürdüğü görülmektedir.

AG teknolojileri, gerçek mekanda sanal bilginin geçirgen görsel araçlar ya da video projeksiyonu yolu ile üst üste okunabilir bir şekle getirilmesi olarak açıklanabilen, çevreye ilişkin daha gelişmiş bir farkındalık ve anlayış sağlama potansiyeline sahip teknolojilerdir. Bazı araştırmacılar, artırılmış gerçekliğin giyilebilen artırılmış gerçeklik görüntüleme cihazlarının (*Head Mounted Display*) kullanımını gerektiren uygulamalar olarak tanımlamaktadırlar. Ancak bu tanım, giyilebilen AG görüntüleme cihazları dışındaki monitör tabanlı ara yüzler ya da tek gözün kullanıldığı ara yüzler gibi teknolojilerin kullanımını sınırlamaktadır. Azuma (1997), artırılmış gerçekliği sadece belirli teknolojilerin kullanıldığı bir alan olarak sınırlamamak adına daha geniş bir artırılmış gerçeklik tanımı yapmakta ve artırılmış gerçekliği gerçek ve sanal birleştiren; gerçek zamanda etkileşimli olarak kullanılabilen ve 3 boyutlu olarak tanımlanabilen sistemler olarak tanımlamaktadır. Basitçe söylemek gerekirse, AG çevremizdeki fiziksel dünyayı anlamak ya da onunla etkileşime girme yardımcı olacak ek bir bilgi katmanının bilgisayar destekli grafikler kullanarak eklenmesini sağlamaktadır. AG’nin kabul gören tanımı (Azuma, 1997; Azuma ve diğ., 2001) gerçek bir imge üzerine sanal bir imgenin üretilmesi, gerçek zamanda etkileşime izin verilmesi ve üç ya da iki boyutlu sanal nesnelerin gerçek nesnelerle fark edilmeyecek şekilde birleştirilmesini temel almaktadır.

Milgram ve Colquhoun’un (1999) geliştirildiği sanallık – gerçeklik doğrusu üzerinde (Şekil 2.1) gerçekliğe daha yakın bir noktada konumlanan AG teknolojisi, gerçek dünya ve sanal dünyada bulunan nesnelerin aynı bakış açısında birleştirilmesinin sonucunda elde edilen olasılıkları kapsamaktadır. Bahsedilen teorik doğru üzerindeki AG ve SG teknolojilerinin tümünü kapsayabilecek ve doğru üzerinde bulunan herhangi bir noktayı ifade etmek için ise karma gerçeklik kavramı kullanılmaktadır.



Şekil 2.1 : Milgram ve Colquhoun'un sanallık gerçeklik doğrusu (Milgram ve Colquhoun, 1999).

AG, Milgram tarafından gerçek dünyaya ait imgelerin bulunduğu çoğunlukla sentetik sistemleri açıklamak için kullanılmış bir terimdir. Milgram'a göre sanal gerçeklik ise, kullanıcıların sanal dünya ile tamamen çevrelendiği ve çevresindeki gerçek dünyayı deneyimleyemediği ortamları tanımlamak için kullanılmaktadır. AG uygulamalarının SG uygulamalarından ana farkı, kullanıcının her ne kadar bilgisayar, akıllı telefon, özel gözlük ya da başka tür bir görüntüleme cihazına ihtiyaç duysa da gerçek dünya üzerine konumlanmış sanal nesneleri görebilmesi ve aynı zamanda çevresi ile ilişkisinin de tamamen kopmamasıdır.

Şekil 2.2'de görülebileceği gibi AG yapaylık açısından bilgisayar verisi ile üretilmiş olduğundan dolayı sentetik, kullanıcının fiziksel dünyada konumlanması bakımından ise aynı yerel olarak tanımlanmaktadır (Benford ve diğ., 1998).



Şekil 2.2 : Paylaşılan mekanların yapaylık ve taşımaya göre sınıflandırılması (Benfordve diğ., 1998).

Yukarıdaki paragraflarda da değinildiği gibi SG teknolojilerinin bir alt kolu olarak gelişen ve tanımlanmasında dahi SG teknolojisine ilişkin kavramlardan faydalanılan

AG konusunda uzun yıllardır farklı alanlarda araştırmalar gerçekleştirilmektedir. 1990'lı yılların sonunda arttırılmış gerçeklik alanında yapılan çalışmaların paylaşılması amacıyla gerçekleştirilmeye başlanan Uluslararası Arttırılmış Gerçeklik Sempozyumu ve Uluslararası Karma Gerçeklik Sempozyumları 2002 yılından itibaren Almanya'da Uluslararası Karma ve Arttırılmış Gerçeklik Sempozyumu (ISMAR) adıyla birleşerek ortak olarak organize edilmeye başlanmışlardır. Shin ve Dunston'a göre, alandaki nc çalışmaların araştırmacılarla paylaşıldığı 1990'lı yıllarda gerçekleşen ilk sempozyumlardan 2010 yılına kadar mühendislik, mimarlık ve inşaat endüstrisinde kullanılan arttırılmış gerçeklik uygulamalarının çoğu erken araştırma ve değerlendirme aşamalarında kullanılmıştır (Do Hyounğ ve Dunston, 2010). AG konusunda yapılan araştırmalar sonucunda gelişmiş sonuç ürünlerin alınmaya başlanması uzun zaman almasının nedeni, AG sistemlerinin teknolojik gereksinimlerinin SG çevrelerinin teknolojik gereksinimlerinden daha yüksek olmasıdır (van Krevelen ve Poelman, 2010).

Sutherland (1965) Uluslararası Bilgi İşleme Federasyonu Konferansında (*International Federation of Informaton Processing / IFIP*) fiziksel dünyanın özelliklerine alışkın olduğumuzdan dolayı ve bu dünyadaki deneyimlerimiz sayesinde, fiziksel dünyanın özellikleri ve bu dünyada yer alan nesnelerin davranışlarına ilişkin tahminlerde bulunabildiğimizi söylemiştir. Fiziksel dünyada deneyimlenemeyecek kavramları deneyimleme şansını ise ancak yeni geliştirilecek-farklı özelliklere sahip-bilgisayara bağlı bir ekranın bize sunabileceğini ne sürmüştür. Sutherland bu ekranın; mümkün olduğunca çok duyguya hitap edebilmek, farklı veri girişi ve çıkışına olanak tanıyabilecek tipte araçlarla uyumlu bir şekilde kullanılabilmek ve ekranın kullanıcısının baktığı yönü algılayarak bu yöne uygun bir şekilde görüntüleri oluşturmak gibi özellikleri ile kullanıcılara farklı deneyimleri yaşatabileceğini düşündüğünü belirtmiştir.

Sutherland'ın 1965 yılında ortaya koyduğu ngr SG ve AG alanında şimdiye kadar yapılan çalışmalarda ulaşılmaya çalışılan noktanın temelini oluşturmaktadır. SG teknolojileri kullanıcılarını bilgisayar yardımıyla üretilen sanal nesneler ve evre ile tamamen sararken, AG teknolojisinde kullanıcı gerçek dünyanın içerisinde bulunmakta, ancak dünyayı/çevreyi bilgisayar yardımıyla üretilen nesneler, yazılar, videolar, görseller gibi ek bir bilgi katmanının gerçek zamanlı olarak ortama eklenmiş

biçimi ile deneyimlemektedir. Azuma (1997) AG teknolojisinin en önemli 3 özelliğini, bu teknolojiyi kullanmak için gerekli cihazlarla ilişkilendirerek sınırlandırmadan:

- Gerçek ve sanal olanı birleştirmesi
- Gerçek zamanda etkileşimli olarak kullanılabilmesi ve
- 3 boyutlu olarak kayıt altına alınması olarak tanımlamıştır.

Klopfer (2008) ise AG teknolojisini kullanıcılarına sunduğu sanal bilgi miktarını temel olarak hafif ve yüksek AG ortamlarını barındıran bir ölçek üzerinde tanımlamayı önermiştir. Bu sınıflandırma biçimine göre kullanıcıların sanal bilgiye kısıtlı erişimlerinin olduğu ve fazlasıyla yoğun bir şekilde fiziksel gerçeklikle çalıştıkları ortamlar hafif AG, çalışma ortamında yüksek derecede sanal bilgi girdisinin olduğu ortamlar ise yüksek AG ortamları olarak sınıflandırılmaktadırlar.

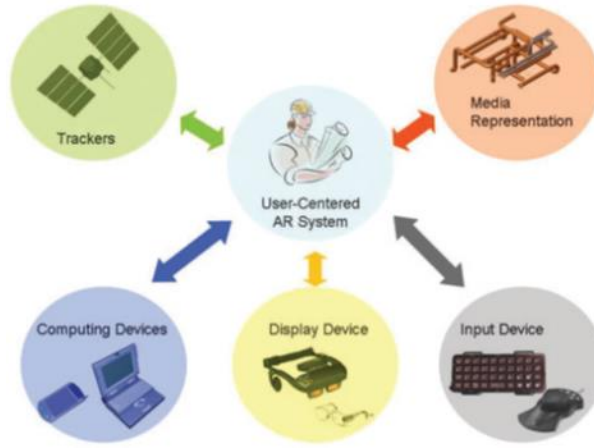
Gerçek ve sanal aynı ortamda birleştirebilen, gerçek zamanda etkileşimli olarak kullanılabilen ve 3 boyutlu olarak daha sonra hızlı bir şekilde ulaşıp kullanılmak üzere kaydedilebilen AG teknolojisinden faydalanılarak geliştirilen sistemlerin kendilerinden beklenenleri yerine getirebilmelerine olanak tanıyan sistem bileşenlerine aşağıdaki bölümde değinilmektedir.

2.2 AG Sistemlerinin Bileşenleri

Artırılmış gerçeklik sistemlerinin bileşenlerini donanımsal ve yazılımsal bileşenler olarak iki ana başlıkta inceleyebiliriz. AG sistemlerinin donanımsal bileşenleri ise:

- Ortam temsilinden sorumlu bileşenler
- İzleyiciler,
- Görüntüleme bileşenleri,
- Hesaplama bileşenleri ve
- Veri girdi bileşenleri

olmak üzere 5 ana başlıkta incelenebilirler. (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Artırılmış gerçeklik sisteminin teknolojik bileşenleri (Wang, 2009).

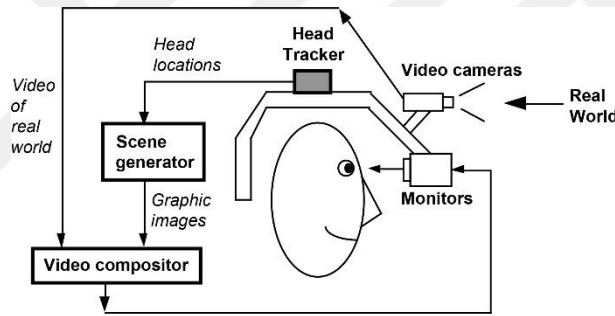
AG sistemleri, sistem içerisinde gerçekleştirilen eylemler göz önünde bulundurularak basitçe tanıma, izleme ve artırma olmak üzere üç ana görevi gerçekleştiren bileşenlerden oluşmaktadırlar. Tanıma görevini yerine getirecek bileşenler sanal nesnenin süperimpoze edileceği imge, nesne, yüzey, hacim ya da ortamı tanımaktadırlar. Tanıma işlevinde veri girdi bileşenlerinden gerçek çalışma ortamına ilişkin veriyi sisteme gerçek zamanlı video görüntüsü olarak ileten kameralar, kameralar yardımıyla sisteme tanıtılan bilgiyi işleyerek anlamlandıran yazılımlar ve tüm bu işlemlerin yapılmasını sağlayan hesaplama cihazları görev almaktadırlar. İzleme işlevini yerine getiren bileşenler çalışma ortamında etkileşime girilecek imge, nesne, yüzey ya da hacmin gerçek zamanlı yerinin saptanması görevini üstlenmektedirler. İzleme işleminde etkileşime girilecek veya sisteme tanıtılacak nesnelere ilişkin bilginin gerçek zamanlı ve kesintisiz olarak sisteme aktarılmasında kameralar ve izleyiciler kullanılmaktadırlar. Son olarak gerçek çalışma ortamına video, 2 ya da 3 boyutlu nesne ya da yazı olarak süperimpoze edilme işlemi yazılım, ortam temsilinden sorumlu bileşenler ve görüntüleme araçları tarafından gerçekleştirilerek artırma eylemi tamamlanmaktadır.

2.2.1 Görüntüleme bileşenleri

AG teknolojisi önceki paragraflarda da belirtildiği gibi kullanıcıların gerçek dünyayı sanal nesneler ve bilgilerden oluşan bir katmanın eklenmesi ile zenginleştirilmiş/artırılmış bir şekilde deneyimlemelerine bağlı olduğundan dolayı bu deneyimin gerçekleşmesini sağlayan görselleştirme cihazları AG uygulamalarının bileşenleri arasında büyük öneme sahiptir. Azuma (1997) AG uygulamalarını optik geçirgen ve video geçirgen görüntüleme cihazlarının kullanılmasına göre ikiye

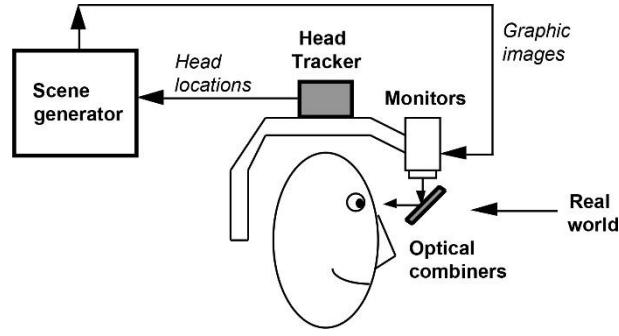
kategoride incelemektedir. Ancak van Krevelen ve Poelman (2010) tarafından görüntüleme cihazlarına göre yapılan sınıflandırmada video geçirgen ve optik geçirgen sistemlere yansıtılan sistemleri de ekleyerek üç temel yöntem olduğu kabul edilmektedir.

Görüntüleme bileşenleri incelendiğinde sanal gerçekliğe en yakın yöntem olan video geçirgen görüntüleme yönteminde gerçek çalışma ortamının video görüntüsünün kullanıcıların görüş alanlarına kesintisiz olarak ve bilgisayar yardımıyla üretilen sanal nesneler ve bilgi katmanının eklenmesinden sonra yansıtıldığı görülmektedir (Şekil 2.4). Video geçirgen görüntüleme yönteminin sanal gerçekliğe yakın olduğu nokta bu yöntem kullanıldığında sanal gerçeklik ortamına benzer bir şekilde kullanıcı içerisinde bulunduğu çalışma ortamını aracısız olarak deneyimlemekte, çalışma ortamının video kaydını kullanarak ortamla etkileşimde bulunmaktadır.



Şekil 2.4 : Video geçirgen HMD kavramsal diyagramı.

Optik geçirgen sistem olarak tanımlanan diğer yaklaşımda ise kullanıcı çalışma ortamını bir başka bir araç kullanmadan bilgisayar yardımıyla üretilmiş arttırılmış gerçeklik üst katmanının geçirgen ayna ve lenslere yansıtılmasıyla gerçek dünya ve arttırılmış gerçeklik katmanını aynı anda bir gözlük merceğinden bakarmış gibi deneyimlemektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Optik geçirgen HMD kavramsal diyagramı.

Görüntüleme cihazları teknolojileri göz önüne alınarak yapılan sınıflandırmanın son üyesi olan üçüncü yaklaşımda ise arttırılmış gerçeklik üst katmanının gerçek nesnelerin, çalışma ortamının veya çalışma ortamını gösteren perde veya yüzeylere yansıtılmasından ibaret olan yansıtılan görüntüleme sistemleridir. Çalışma ortamının kullanıcının karşısında sabit bir şekilde duran bir görüntüleme cihazı ile görselleştirildiği statik AG sistemleri ayna metaforu kullanılarak açıklanabilir. Bu sistemlerde görüntüleme cihazı, kullanıcının çevresini ve bu çevreye eklenen bilgi katmanını kullanıcının karşısında duran aynadan izliyormuş gibi bir deneyim yaşamasına olanak tanımaktadır. Bu şekilde kullanılmak üzere kurgulanmış sistemler giyilebilen görüntüleme araçlarının kullanılmasını gerektirmediklerinden dolayı düşük maliyetli ve hızlı bir şekilde kurulabilen sistemlerdir.

Bahsedilen teknikler farklı uzaklıklardan uygulanabilmekte olup bu yöntemlerin kendilerine özgü avantajları bulunmaktadır. Optik görüntüleme sistemleri video görüntüleme sistemlerine göre daha az maliyetli ve daha az karmaşıktırlar. Sadece üretilen grafik ile işlem yapmaları gereken optik sistemlerde gerçek dünya başka bir araç kullanılmaksızın birleştiriciler yardımı ile görüntülendiğinden görüntüdeki gecikme yok denecek kadar azdır. Ayrıca optik teknolojilerin kullanılması ile görüntüler arasındaki senkronizasyon problemi minimuma indirilmekte ve kullanıcıların dünyayı minimum görüntü çarpıklığı ile deneyimlemesi sağlanabilmektedir. Video görüntüleme teknolojilerinin kullanıldığı yansıtılan görüntüleme sistemlerinde bu olumsuzlukları minimuma indirmek amacıyla AG sistemlerine ek ve pahalı donanımların kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Son kullanıcıya sunulacak gerçek 3 boyutlu gösterim araçlarının üretimi ve uygulaması ihtiyaç duyulan teknolojinin maliyeti ve henüz olgunlaşmamış olması nedeniyle henüz yeteri kadar yaygınlaşmamıştır.

Azuma'nın AG sistemlerinin görüntüleme bileşenlerini görüntüleme bileşenlerinde kullanılan teknolojiye göre sınıflandırdığı 1997 yılında büyük ve kullanıcıyı engelleyen bir yapıya sahip olan optik geçirgen görüntüleme sistemleri günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde çok daha mobil ve güçlü hale gelmişlerdir. Ancak AG kullanımının yaygınlaşması ve daha büyük sayıda son kullanıcıya ulaşp günlük hayatı engellemeden kullanılması için daha ekonomik ve pratik sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tablet, akıllı mobil telefonlar gibi mobil cihazlar, AG uygulamasında kullanılan izleyicilerin gerçek zamanda takip edilmesine olanak tanımaktadırlar (Wagner ve Schmalstieg, 2007). Teknolojik gelişmeler sonucunda daha güçlü, daha hafif ve mobil hale gelen giyilebilir görüntüleme cihazlarına göre kullanıcıların ellerinden birisinin sürekli meşgul olması nedeniyle daha pratik bulunmayan mobil AG cihazları van Krevelen ve Poelman'a (2010) göre düşük maliyetleri ve kullanım kolaylıkları nedeniyle henüz popülerliklerini tamamen yitirmemişlerdir.

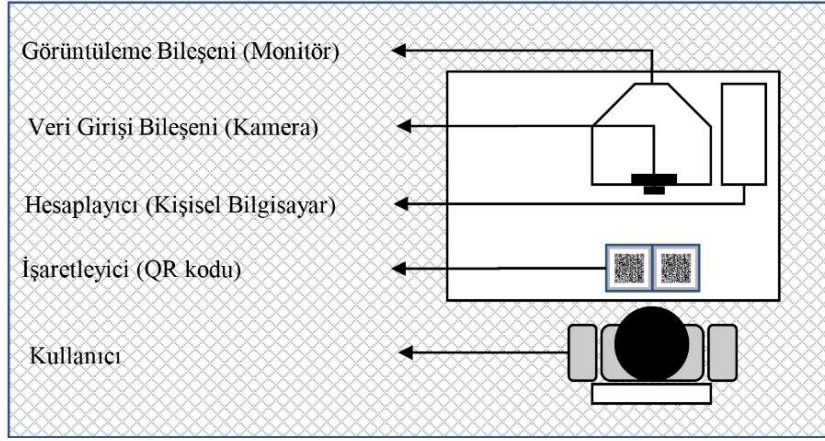
AG uygulamalarını bu uygulamaların görüntüleme bileşenlerinin çalışma prensiplerine göre sınıflandırmanın yanında kullanılacakları alana göre sınıflandırmak da mümkündür. AG uygulamalarının kapalı veya açık alanlar olmak üzere kullanılacakları alanlara göre farklı gereksinimleri bulunmaktadır. Başka bir deyişle AG teknolojisinden faydalanılarak geliştirilen AG uygulamalarının kullanılacağı mekanlar uygulamada hangi bileşenlerin kullanılabileceğini ve uygulamanın kullanımını etkilemektedir. Örneğin, aydınlatmasının, AG sistemi bileşenlerinin birbirleri ile iletişim kurması için ihtiyaç duyulan internet bağlantısının optimum düzeyde sağlanabileceği kontrollü kapalı bir mekanda kullanılacak uygulamanın bileşenleri ve bu uygulama ile yapılabilecekler ile, açık havada yapılacak bir çalışmada kullanılacak bileşenler ve bu uygulama ile yapılabilecekler farklıdır. Bu nedenlerle AG uygulamaları kullanılacakları yerler ve kullanım amaçlarına göre mobil ve statik uygulamalar olarak ikiye ayrılabilirler.

2.2.1.1 Statik ve mobil AG sistemleri

Statik sistemlerde AG uygulaması bileşenlerinden görüntüleme cihazı, hesaplama cihazı olarak kullanılan kişisel bilgisayarlar ve veri giriş cihazı olarak kullanılan bileşenlerden kameralar çalışma ortamında sabit bir şekilde kullanılacak şekilde kurgulanmışlardır. Bu şekilde kurgulanan uygulamalarında kullanıcının AG teknolojisi kullanılarak bilgi katmanı eklenmiş çalışma ortamını deneyimlemesine ve

sanal nesnelerle etkileşime girmesine yardımcı olan görüntüleme cihazları olarak monitörler, projeksiyon cihazları ve giyilebilen görüntüleme cihazları kullanılabilmektedirler. Görüntüleme bileşeni olarak kullanılabilen tüm bileşenlerin ortak noktası görüntüleme cihazlarının hesaplama cihazına bağlı olmaları ve bu nedenle AG uygulamasının diğer bileşenleri ile aynı çalışma mekanında ve fiziksel olarak birbirlerine yakın bir konumda bulunmalarıdır. Aşağıdaki bölümlerde statik AG uygulamalarının ana çalışma prensipleri ve bu uygulamaların kullanıldığı belirli alanlar statik AG uygulamalarının kullanıldığı araştırma projelerinden örneklerle açıklanmaktadır.

AG teknolojisinin eğitim alanında kullanıcıya kazandıracağı avantajların incelendiği araştırma kapsamında geliştirilen “Sihirli Kitap” (Billinghurst ve diğ., 2001) uygulaması statik bir AG uygulaması olarak kurgulanmıştır. Bu uygulamada geliştirilen kullanıcı ara yüzü, normal kitapların sayfalarına AG sisteminin izleyicilerinin tanıyıp bilgisayar yardımıyla üretilen sanal nesneleri yerleştireceği fiziksel işaretleyicilerinin eklenmesi şeklinde geliştirilmiştir. Bu şekilde kullanıcılar kitapları sayfalarını çevirerek ve sayfalardaki imajlara bakarak normal bir şekilde okuyabildikleri gibi, kitaplara AG uygulamasının yüklü olduğu kişisel bilgisayara bağlı kamerayı kullanarak baktıklarında sayfalarda ilgili 3 boyutlu nesneleri görebilecekleri şekilde yeni bir okuma deneyimi yaşayabilmektedirler. AG teknolojisi kullanılarak geliştirilmiş basit kitapların kullanılabilmesi için sadece uygun yazılımın yüklendiği kişisel bilgisayarlar ve bu bilgisayara bağlanmış bir kameraya ihtiyaç duyulmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Görüntüleme bileşeni olarak bilgisayar monitörünün kullanıldığı statik AG sistemi diyagramı.

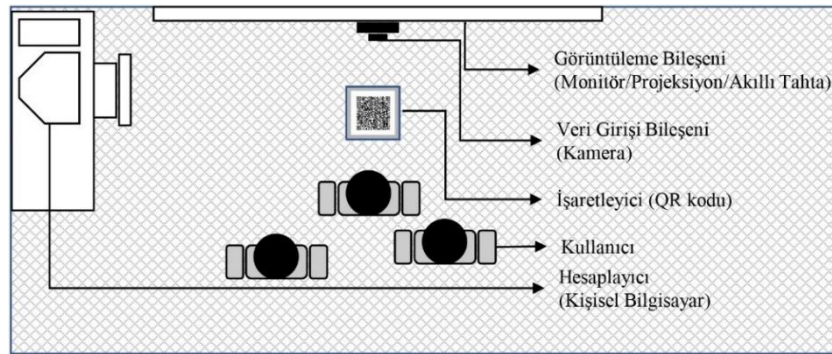
Martin-Gutierrez, Saorin, Contero ve diğerleri (2010) de AG teknolojisini kullanarak mühendislik öğrencilerinin mekansal becerilerinin geliştirilmesini inceledikleri araştırmalarında statik AG sistemlerinden faydalanmışlardır. Araştırmacıların çalışma kapsamında geliştirdikleri AR-Dehaes adındaki AG uygulaması kullanıcıların fiziksel işaretleyicileri barındıran egzersiz kitabından ilgili sayfayı veri girişi yöntemi olarak kullanılan web kamerası yardımıyla okutmaları sonucunda işaretleyicinin üzerinde sanal 3 boyutlu nesnelerin görselleştirilmesi şeklinde çalışmaktadır. Kullanıcılar fiziksel işaretleyicileri barındıran kitabın yönelimini değiştirdiklerinde 3 boyutlu sanal nesneleri farklı bakış açılarından inceleyebilmektedirler. Araştırmacıların geliştirdikleri AG uygulamasının bileşenlerini:

- 3 boyutlu sanal nesneleri barındıran yazılım,
- Görüntüleme cihazı olarak kullanılacak kişisel bilgisayar monitörü
- Hesaplama aracı olarak kullanılan kişisel bilgisayar
- Fiziksel işaretleyiciler ve
- Görüntüleme ekranı ile birlikte sisteme gerçek ortamdan veri girişi amacıyla kullanılacak kamera oluşturmaktadır.

Maliyet açısından da oldukça elverişli olan bu konfigürasyonda görüntüleme bileşeninin farklılaştırılmasıyla, başka bir deyişle görüntüleme bileşeni olarak bilgisayar monitörü kullanmak yerine akıllı tahta veya projeksiyon cihazı kullanılarak, birden fazla kullanıcının kolaylıkla faydalanabileceği bir çalışma kurgusu oluşturulabilmektedir.

Kerawalla, Luckin, Seljeflot ve diğerleri (2006) çalışmalarında tek kişinin kullanabileceği bir monitörü görüntüleme bileşeni olarak kullanmak yerine birden fazla kullanıcının kullanabileceği bir görüntüleme bileşeni kullanmayı tercih etmişlerdir. Araştırmacıların geliştirdiği statik AG uygulaması, kullanılacak çalışma malzemelerini eş zamanlı olarak birden çok kullanıcının incelemesine olanak tanımaktadır. Araştırmacılar bu kurgunun sınıf mevcudunun büyük olduğu dersliklerde işbirlikli öğrenme aktivitelerinde kullanılmak için avantajlı bir tercih olduğunu belirtmektedirler (Şekil 2.7). Araştırma kapsamında geliştirilen statik AG uygulamasının sistem bileşenlerini:

- AG uygulamasının geliştirilmesi için kullanılan ARAraçKiti (*ARToolKit*) yazılımı ve 3 boyutlu sanal nesnelerin üretilmesi için kullanılan 3 boyutlu modelleme programı,
- Görüntüleme cihazı olarak kullanılacak ekran, akıllı tahta, projeksiyon perdesi ve projeksiyon,
- Görüntüleme ekranı ile birlikte sisteme gerçek ortamdan veri girişi amacıyla kullanılacak kamera oluşturmaktadır.



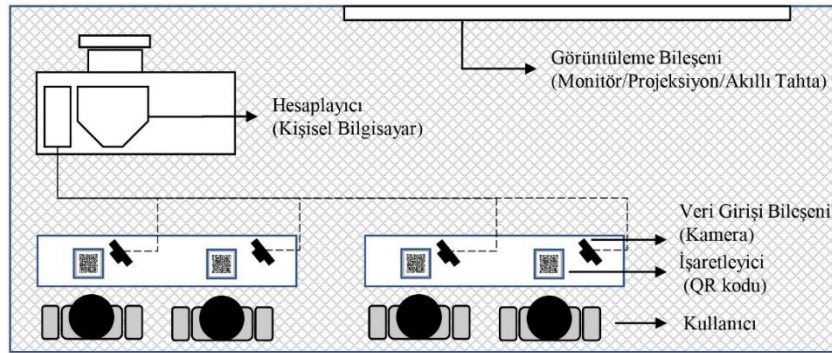
Şekil 2.7 : Görüntüleme bileşeni olarak akıllı tahta veya projeksiyonun kullanıldığı çok kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.

Geliştirilen statik AG sistemi kullanılırken birden fazla katılımcının çalışma ortamını incelemesine olanak tanımak amacıyla görüntüleme bileşeni olarak projeksiyon kullanmayı tercih eden Nunez, Quiros, Nunez ve diğerleri (2008) inorganik kimya alanında lisans seviyesinde eğitim gören öğrencilerin bu alanda karşılaşılabilecekleri problemleri daha rahat bir şekilde çözmek için ihtiyaç duyacakları farklı malzeme ve birleşik yapılarla ilgili bilgi dağarcıklarını bu yapıları 3 boyutlu olarak incelemelerini sağlayarak geliştirmeyi hedeflemişlerdir.

Araştırmacıların geliştirdikleri AG uygulaması kullanıcıların fiziksel işaretleyicileri sisteme tanıtmalarından sonra sistem tarafından 3 boyutlu sanal nesnelerin işaretleyiciler üzerinde görselleştirilmelerine ve kullanıcıların görselleştirilen 3 boyutlu yapıları farklı bakış açılarından incelemelerine olanak tanımaktadır. AG uygulamasının bileşenlerini:

- AG uygulamasında işaretleyicilerin tanınması ve ilişkili 3 boyutlu sanal nesnelerin görselleştirilmesi için kullanılan AR Araçkiti (*ARToolKit*) yazılımı,
- Görüntüleme cihazı olarak kullanılacak projeksiyon ekranı,
- Hesaplama cihazı olarak kullanılan ve ders yürütücüsünün masasında bulunan kişisel bilgisayar ve,
- AG sistemine gerçek ortamdan veri girişi amacıyla kullanılacak öğrencilerin çalışma masalarında bulunan kameralar oluşturmaktadır.

AG uygulamasının kullanıldığı çalışma ortamı, katılımcıların ikili gruplar haline kendilerine verilen işaretleyicileri masalarında bulunan kameralar yardımıyla sisteme tanıtmaları ve sisteme tanıtılan işaretleyicilerin üzerinde görselleştirilen ilgili 3 boyutlu sanal nesnelerin çalışma ortamında bulunan tüm katılımcılar tarafından incelenebileceği projeksiyon perdesine yansıtılabileceği şekilde kurgulanmıştır (Şekil 2.8).

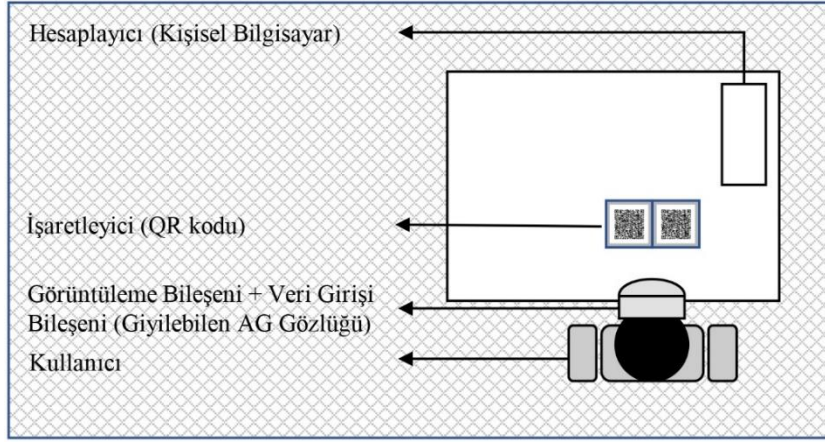


Şekil 2.8 : Görüntüleme bileşeni olarak akıllı tahta veya projeksiyonun kullanıldığı çok kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.

Statik bir şekilde kullanılmak üzere kurgulanmış AG sistemlerinde görüntüleme bileşeni olarak kişisel bilgisayara bağlı bir monitör, akıllı ekran, veya projeksiyon kullanılmasının dışında giyilebilen görüntüleme cihazı olan AG gözlükleri de kullanılabilir. Giyilebilen görüntüleme cihazları, sınıf ortamında birden fazla kullanıcının gözlemci veya katılımcı olarak işbirliği veya ortak çalışma yapmasına statik AG sistemlerinden görüntüleme bileşeni olarak kullanılan diğer donanımlar kadar imkan tanımamaktadır.

Shelton ve Hedley (2002) Washington Üniversitesi'nde lisans seviyesinde coğrafya eğitimi alan öğrencilerin derslerde işlenen konuları anlayışlarının AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen bir uygulamayı kullandıklarında ne şekilde değiştiğini incelemiştir. Kullanıcıların AG sistemini durağan bir şekilde çalışma masalarında kullanmaları planlanarak geliştirilen AG uygulamasının (Şekil 2.9) bileşenlerini:

- ARArçKiti yazılımı kullanılarak geliştirilen AG uygulaması,
- Görüntüleme cihazı olarak kullanılan giyilebilen AG gözlüğü,
- Hesaplama cihazı olarak kullanılan ve AG gözlüğünün bağlı bulunduğu kişisel bilgisayar,
- Veri girişi yöntemi olarak kullanılan ve AG gözlüğüne takılarak kullanılan web kamerası ve,
- Fiziksel işaretleyiciler oluşturmaktadır.



Şekil 2.9 : Görüntüleme bileşeni olarak giyilebilir AG gözlüğünün kullanıldığı tek kullanıcı statik AG uygulaması diyagramı.

Bu bölümde değinilen örnekler değerlendirildiğinde statik AG sistemlerinin aydınlatma, kameraların çalışma ortamına uzaklığı, AG sistemini oluşturan farklı donanımların haberleşme protokollerinin kesintiye uğramaması gibi AG sistemlerinin performansını etkileyebilecek kriterlerin kontrol edilebileceği kapalı mekanlarda kullanılmak üzere geliştirildiği görülmektedir. Ayrıca statik AG sistemlerinde görüntüleme bileşeni olarak akıllı tahtalar, büyük ekranlar ve projeksiyonların kullanılabilmesi sebebiyle bu şekilde kurgulanmış sistemlerin tekil kullanıcıların yanında küçük kullanıcı grupları veya çok sayıda kullanıcının da sistemle etkileşim içerisinde bulunabileceği senaryolarda kullanımının tercih edildiği görülmüştür.

2.2.1.2 Mobil AG

AG teknolojisinin kullanıcılarına sunduğu avantajlardan dış mekanlarda faydalanma yollarının araştırılmaya başlanması ile mobil AG sistemlerinin ilk örnekleri geliştirilmeye başlanmıştır. İlk geliştirilen uygulamalar, geliştirildikleri dönemin teknolojik imkanlarının el verdiği ölçüde kullanıcının AG sistemini kullanırken dış mekanda özgürce dolaşmasına olanak tanımaktaydı. Bahsedilen uygulamalarda mobil AG sisteminin bileşenleri kullanıcının dış mekanda AG teknolojisinden faydalanmasına olanak tanısa da günümüzdeki mobil AG sistemlerinin bileşenleri kadar hafif olmadıklarından kullanıcılarına sağladıkları konfor ve serbestlik açılarından günümüz standartlarından oldukça uzakta bulunmaktaydılar.

Bahsedilen şekilde dış mekanda kullanılmak üzere geliştirilen ilk AG uygulamalarından birisi olan Feiner, McIntyre, Hollerer ve diğerlerinin (1997) geliştirdiği “dolaşan makine” adlı AG uygulaması, mobil hesaplama ve AG kavramlarını birleştirerek insanların dünyadaki günlük etkileşimlerini kolaylaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Uygulama, geliştirildiği zamanın teknolojisine uygun olarak kullanıcıların sırt çantalarında taşıdıkları bilgisayar ve farklı sensörlerden oluşmaktadır. Geliştirilen uygulamanın kullanıcıların bulundukları çevre ile ilgili;

- Kullanıcının konumu
- Yakın çevrede bulunan binaların isimleri, binaların işlevleri ve bu binalarda bulunan ofisler,
- Yakın çevrede bulunan ilgi çekici diğer konumlar,
- Ulaşılmak istenen konuma nasıl gidilebileceğini gösteren yön bulma araçları gibi

gerekli bilgilere ulaşmalarını sağlayarak kullanıcının kişisel dolaşım aracı olarak kullanılması planlanmıştır. Araştırmacılar prototipi, harcadıkları maliyet efor ve zamanı minimumda tutmak amacıyla geliştirildiği dönemde kolaylıkla ulaşılabilen donanımlar kullanarak geliştirilmiştir. Araştırmacıların kullanıcıya olabildiğince esnek ve hafif bir kullanım deneyimi sunabilme amacıyla geliştirdikleri uygulamanın kullanılması için gerekli olan ve kullanıcının üzerinde taşıması gereken donanımın ağırlığı yaklaşık 18 kilogramdır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : “Dolaşan Makine” prototipinin sahada kullanımı (Feiner ve diğ., 1997).

Statik AG sistemlerinin kısıtlamalarına bağı kalmamak ve kullanıcıları AG sistemlerini dış mekanlarda da kullanmalarını sağlayabilmek için geliştirilen mobil AG sistemleri yukarıdaki paragraflarda verilen örnekte olduğu gibi kullanıcının sistemin çalışması için gerekli tüm donanımı üzerinde taşıdığı, ağır, dikkat çekici ve kısıtlayıcı halinden esnek, hafif ve gerçek anlamda mobil olma özelliklerine yıllar içerisinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler sayesinde ulaşabilmiştir. Günümüzde yazılım ve donanım alanındaki teknolojik gelişmeler sayesinde karmaşık işlemleri gerçekleştirebilecek hesaplama araçları olarak mobil AG sistemlerinin ilk kurgulandığı zamanlardaki hesaplama araçları ile karşılaştırıldığında aralarında oldukça dramatik farkların bulunduğu güçlü, hafif ve küçük donanımlar kullanılabilmektedir. Aynı zamanda eskiden hesaplama aracı ile iletişimi dışarıdan yapılan bir bağlantı ile sağlanan ayrı sensörler, veri girdi bileşenleri ve görüntü yakalama araçları teknolojik gelişmeler sayesinde özellikleri ve yetenekleri artırılan donanımlarda standart olarak donanımın üzerinde bulunabilmektedir. AG sistemlerinin farklı bileşenlerinin belirli bir donanımda entegre olarak bulunması, bu donanım genellikle hesaplama aracı olarak kullanılan donanım olmaktadır, sistemde kullanılan farklı donanımların uyumlu bir şekilde çalışıyor olması gerekliliğini ve bu farklı donanımların birbirleri ile iletişim halinde olmaları için gerekli olan fiziksel veya kablosuz veri iletişimini sağlayan ve sistemi hem fiziksel hem de yazılımsal olarak hantallaştırabilecek farklı yöntemlerin kullanılması gerekliliğini ortadan kaldırması bakımından sistemlerin kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Mobil AG sistemlerinde görüntüleme cihazı olarak sistemin hesaplama cihazı da olan akıllı mobil cihazın ekranı veya kullanıcının iki elini de serbest bir şekilde kullanmasına olanak sağlayan giyilebilir görüntüleme cihazları kullanılmaktadır. Mobil akıllı cihazların ekranlarının görüntüleme cihazı olarak kullanımının tercih edildiği sistemlerde bu tercihin nedeni kullanıcıların benzer cihazları kullanma alışkanlığına sahip olmaları, son kullanıcıya yaygın bir şekilde ulaşmış olması, güçlü işlemci, kamera lensleri ve yüksek çözünürlükte dokunmatik ekrana sahip olmalarıdır. Giyilebilen görüntüleme cihazları ise daha gelişmiş ve karmaşık uygulamaların ve kullanıcı etkileşimlerinin geliştirilmesine olanak tanımaları, kullanıcının iki elini de kullanmasına olanak sağlamaları, eğlence faktörünün yüksek olması, kullanıcının cihazı kullanırken ilgisini uzun süre koruyabilmesi nedeniyle tercih edilmektedirler.

Görüntüleme cihazı olarak farklı firmaların geliştirdikleri optik geçirgen arttırılmış gerçeklik gözlüklerinin bir kısmı geliştirici sürümü olarak bir kısmı ise son kullanıcıya odaklı geliştirilmiş ve piyasaya sürülmüşlerdir. Epson firması tarafından geliştirilen Moverio BT-300, firmanın kullanıma akıllı gözlük olarak sürdüğü BT-100 ve BT-200 modellerinden sonra geliştirdiği güncel AG gözlüğü modelidir. Geçirgen ve gözlük üstü kullanım için geliştirilen AG gözlüğü çift lensli olarak geliştirilmiştir. Android tabanlı uygulamaların kullanımına uygun bir mimari ile geliştirilen BT-300 AG gözlüklerinin bağımsız bir kayıt cihazından yapılan ses ve video kayıtlarını ve görüntüleme cihazının bağlı olduğu hesaplama cihazının hafızasındaki video kayıtlarının kullanıcının bakış açısına yansıtabilmektedirler. Kameraya sahip olmamalarından dolayı kullanıcının bulunduğu çevre verilerinin okunup işlenmesine olanak tanınamaları nedeniyle kullanım alanları bakım ve tamir ile eğlence ile sınırlı olan Epson giyilebilir gözlüklerin popüler bir diğer kullanım alanı ise insansız hava aracı pilotajıdır. Epson markasının geliştirdiği giyilebilir görüntüleme araçlarının insansız hava aracı (IHA) pilotlarının IHA'nın kamerasından aldıkları video kaydını eş zamanlı olarak gözlüklerinde izleyerek araçlarını kontrol etmek için kullanıldığı kullanım senaryosu bahsedilen giyilebilir görüntüleme araçlarının açık mekanda da kabul edilebilir performans verdiğini göstermektedir. Kablolu olarak gözlükle beraber kullanılan kumanda ile içeriğe ulaşım ve kullanım sağlanmaktadır.

Giyilebilir görüntüleme aracı geliştiren firmalardan bir diğeri olan Vuzix firması optik geçirgen tek lensli (M400, M4000) ve çift lensli (Vuzix Blade2, Vuzix Shield) giyilebilir görüntüleme cihazlarını üretmektedir. Tek lensli giyilebilen görüntüleme cihazlarında lens kullanıcının sağ veya sol gözünde bulunacak şekilde konumlandırılabilir. Vuzix firmasının ürettiği modellerin en alt segmentinde bulunan M400 modeli ve Vuzix Shield modellerinde entegre izleyiciler ve sensörler bulunmamaktadır. Modellerin tümünde en düşüğü Vuzix Blade2 modelinde (8 MP) olmak üzere kamera bulunmaktadır. Bu firmanın ürettiği giyilebilir görüntüleme cihazlarında M400 ve M4000 modelinde Android 9, Vuzix Blade2 modelinde Android 11 ve Vuzix Shield modelinde ise Android 10 işletim sistemi kullanılmaktadır. Giyilebilir görüntüleme gözlüklerinde görüntülenen içeriklerle etkileşim M400 modelinde ses kontrolü ve iki akslı dokunulabilen kontrol yüzeyi, M4000 modelinde ses kontrolü, iki akslı dokunulabilen kontrol yüzeyi ve 3 adet kontrol düğmesi ile, Vuzix Blade2 modelinde ses kontrolü, iki akslı dokunulabilen kontrol yüzeyi ve akıllı

mobil cihazlara yüklenebilen kontrol uygulaması ile, Vuzix Shield modelinde ise ses kontrolü ve gözlüğün iki tarafındaki saplarında bulunan sağ, sol, yukarı ve aşağı yönlü kaydırma jestleri ve tek ve çift tıklamayı tanıyabilen dokunulabilen kontrol yüzeyi ile sağlanmaktadır. Vuzix firmasının ürettiği giyilebilir görüntüleme gözlüklerinde Epson firmasının ürettiği gözlüklerden farklı olarak bluetooth ve wi-fi teknolojilerini kullanarak kablosuz bağlantı sağlamak mümkün olmaktadır. Vuzix firmasının ürettiği gözlükler Epson firmasının ürettiği giyilebilir gözlükler gibi AG teknolojisinden önceden üretilmiş içerikleri incelemek amacıyla kullanıcının sadece izleyici konumunda bulunduğu senaryolarda, sağlık, üretim, bakım ve onarım ve depolama alanlarında kullanılmaktadırlar.

Giyilebilir görüntüleme cihazı üreten firmalardan bir diğeri olan yazılım ve donanım firması Microsoft'un ürettiği HoloLens cihazı ikinci versiyonu ile son kullanıcıya sunulmuştur. Arkasındaki üretici firma Microsoft'un kaynakları ile yazılım ve donanım alanında teknolojiye en son yenilikleri bünyesinde barındıran HoloLens2 giyilebilir görüntüleme cihazı piyasadaki en güçlü görüntüleme cihazlarından birisidir. Giyilebilir görüntüleme cihazının üreticisi olan Microsoft firmasının ve pazardaki gücünün de etkisiyle HoloLens cihazı benzer teknolojileri kullansalar da piyasada bulunan diğer cihazlar gibi giyilebilir AG gözlüğü olarak değil, kendilerinin tanımladığı bir ifade olan "karma gerçeklik" cihazı olarak konumlandırmaktadır. Microsoft firmasının HoloLens cihazını piyasada giyilebilir görüntüleme cihazı üreten diğer üreticilerden farklı bir pozisyonda konumlandırma ve kendine rakipsiz olacağı yeni bir alan açma isteği nedeniyle HoloLens cihazının tanıtımlarında AG terimi neredeyse hiç geçmemekte ve cihazın tanıtımı holografik bir cihaz olarak yapılmaktadır.

HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı daha önce de bahsedildiği gibi yazılım ve donanım alanındaki en son teknolojik gelişmelerden faydalanılarak geliştirildiği, arkasında Microsoft gibi teknoloji alanında uzun yıllardır hizmet veren ve güvenilen güçlü bir şirket bulunduğu ve kullanıcılarına yüksek düzeyde kullanıcı desteği sağlayabildiğinden dolayı:

- Airbus, Lockheed Martin gibi havacılık,
- Audi, Toyota, Renault, Mitsubishi, Mercedes Benz gibi otomotiv,

- Carnegie Mellon Üniversitesi, Nagazaki Üniversitesi, Friesland Koleji, Jagiellonian Üniversitesi gibi yüksek öğretim kurumları ve
- Medlab, Mount Sinai, NHS Imperial Collage Healthcare gibi sağlık kurumları

olmak üzere birçok farklı alanda hizmet veren dünyaca tanınmış kurumlarca kullanılmaktadır.

HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı optik geçirgen lenslere sahip olup çevre verisini almak için kullanıcının kafasının konumunu tayin etmekte kullanılan 4 ışık kamerasına, göz hareketlerini takip etmek için 2 kızıl ötesi kameraya, nesnelerin derinliğini ve birbirlerine uzaklığını hesaplamakta kullanılan bir derinlik sensörüne, nesnelerin çevresindeki manyetik alan kuvvetini hesaplayan bir manyetometreye, kullanıcının hızını hesaplamaya yarayan bir akseloremetreye, kullanıcının konumunu ve eğikliğini hesaplayan bir gyrometreye ve 8 MP çözünürlüklü bir kameraya sahiptir. Bu sensörlerin dışında HoloLens donanımı üzerinde bulunan mikrofon ile sisteme sesli olarak komut vermek de mümkün olmaktadır. HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı içerisinde bulunan işletim sistemi, belleği (4 GB), hafıza kapasitesi (64 GB), Wi-fi ve Bluetooth kablosuz bağlantı protokolleri sayesinde başka bir hesaplama cihazına bağlanması gerekmeden 2-3 saat boyunca aktif olarak kullanılabilir. HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı optik geçirgen lenslere sahip olup çevre verisini almak için kullanıcının kafasının konumunu tayin etmekte kullanılan 4 ışık kamerasına, göz hareketlerini takip etmek için 2 kızıl ötesi kameraya, nesnelerin derinliğini ve birbirlerine uzaklığını hesaplamakta kullanılan bir derinlik sensörüne, nesnelerin çevresindeki manyetik alan kuvvetini hesaplayan bir manyetometreye, kullanıcının hızını hesaplamaya yarayan bir akseloremetreye, kullanıcının konumunu ve eğikliğini hesaplayan bir gyrometreye ve 8 MP çözünürlüklü bir kameraya sahiptir. Bu sensörlerin dışında HoloLens donanımı üzerinde bulunan mikrofon ile sisteme sesli olarak komut vermek de mümkün olmaktadır. HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı içerisinde bulunan işletim sistemi, belleği (4 GB), hafıza kapasitesi (64 GB), Wi-fi ve Bluetooth kablosuz bağlantı protokolleri sayesinde başka bir hesaplama cihazına bağlanması gerekmeden 2-3 saat boyunca aktif olarak kullanılabilir.

Araştırma projesi kapsamında geliştirilecek AG uygulamasında görüntüleme cihazı olarak kullanılma potansiyeli taşıyan görüntüleme cihazlarının araştırmasında karşılaşılan örneklerden Epson ve Vuzix markalarına ait sırasıyla Moverio BT-300 ve M4000 modelleri kullanım örneklerinde de görülebileceği gibi yoğunlukla dış ortamda kullanım için tasarlanmış navigasyon ve ticari işletmelerle ilgili bilgi edinme ve iha pilotajında kullanılmak üzere geliştirilmiş uygulamalarla kullanılmaktadır.

Microsoft HoloLens geçirgen görüntüleme cihazı ise kullanım süresince herhangi bir cihaza bağlı olmayı gerektirmemesi nedeni ile kullanıcıya esneklik ve hareket özgürlüğü sağlamakta ve yoğunlukla iç mekanda kullanılmaktadır. HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı farklı işletim sistemlerinde çalışabilecek uygulamaların geliştirilmesine olanak tanıyan esnek kullanım imkanlarına sahip olması ve AG uygulamalarında kullanımı hızla artan ve oyun ve görüntüleme endüstrisinde de yoğun bir şekilde kullanılan Unity oyun motorunun uygulama geliştirme işinde kullanılabilmesi özellikleri ile diğer giyilebilir görüntüleme cihazlarından ayrılmaktadır.

2000’li yıllarda maliyetli ve hantal bulunan (Kerawallave diğ., 2006) giyilebilir görüntüleme cihazlarının kullanımında derinlik problemlerinin rapor edildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Rolland ve Fuchs, 2000). Giyilebilir görüntüleme cihazlarının hantallıkla ilgili problemi teknolojiadaki gelişmeler sayesinde daha güçlü donanımların geliştirilmesi ve bu donanımların boyutlarının giderek küçülmesi nedeniyle çözülmüş durumdadır. Ancak maliyetle ilgili problem halem devam etmektedir. Giyilebilen görüntüleme cihazlarının (özellikle Hololens) günümüzdeki en önemli dezavantajları insanlarınkinden daha geniş olan görüş alanı ve donanımın fiyatıdır. Donanımın fiyatı akademik araştırmalar için kabul edilebilir seviyede olsa da son kullanıcı seviyesine kolaylıkla yayılabilmek için henüz çok yüksektir (Thees ve diğ., 2020). Bu nedenle HoloLens cihazının sağlık, bakım ve onarım ve araştırma geliştirme amaçları dışında son kullanıcı tarafından kolaylıkla erişilebilir ve kullanılabilir olması için daha fazla zaman geçmesi ve maliyetinin düşmesi gerektiği düşünülmektedir. Geniş kullanıcı kitleleri tarafından kabul edilebilir bir maliyetle ulaşılabilecek ve günlük hayatta kolaylıkla ve sıklıkla kullanılabilecek mobil görüntüleme cihazları olarak birçok kullanıcının zaten günlük hayatının bir parçası haline gelmiş olan akıllı mobil cihazların kullanılması daha uygun bir çözüm olarak kabul edilmektedir.

AG sistemlerinde kullanılan izleyici çeşitleri

AG uygulamalarının geliştirilmesinde giyilebilir bilgisayar, akıllı mobil tablet veya telefon gibi bilgisayar donanımlarının dışında, kamera, kablosuz internet bağlantısı gibi yazılım tabanlı özelliklere ve izleme ve tanıma teknolojileri gibi bileşenlere ihtiyaç duyulmaktadır. Azuma’nın sınıflandırmasından farklı bir şekilde Pence (2010) AG uygulamalarını uygulamalarda kullanılan izleyici teknolojisine göre işaretleyicisiz ve işaretleyici tabanlı olmak üzere iki başlıkta incelemektedir. İzleyici teknolojisindeki son gelişmelerden sonra işaretleyicisiz izleyicilerin bir alt kolu olarak kabul edilebilecek hibrid temelli-çeşitli sensörlerden elde edilen verilerin, özellikle de lokasyon verisinin kullanıldığı-izleyicilerin kullanıldığı AG sistemlerinin geliştirilmeye başlanmasından itibaren AG uygulamalarında ağırlıklı olarak bu üç yaklaşımın kullanıldığı görülmektedir (Cheng ve Tsai, 2013; Ibáñez ve Delgado-Kloos, 2018).

Cheng ve Tsai’ye (2013) göre AG teknolojisi kullanılırken uygulamada kullanılacak işaretleyici seçiminde imaj tabanlı veya lokasyon tabanlı işaretleyiciler olmak üzere iki önemli yaklaşımdan hangisinin kullanılacağına karar vermek çok önemli bir

seçimdir. AG uygulamasında kullanılacak izleyicilerin kullanıcılara sunduğu kullanım olanakları birbirinden farklıdır. İmge tabanlı izleyicilerin kullanıldığı AG uygulamaları kullanıcıların mekânsal yetkinlikleri, pratik becerileri ve kavramsal anlayışları yönlerinden değerlendirmelere, lokasyon tabanlı izleyicilerin kullanıldığı AG sistemleri ise araştırma tabanlı bilimsel aktivitelerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

İşaretleyici (*marker*) tabanlı AG sistemlerinde, bilgisayar grafiklerinin kaplanacağı referans noktası olarak gerçek dünyada bulunan fiziksel nesneler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kamera sürekli olarak hedef nesne olan işaretleyicinin görüntüsünü kayıt altında tutarak ve bu nesneyi referans olarak “arttırılacak” imgenin pozisyonu, hareketi ve yönelimini hesaplamaktadır. Örneğin, 2 boyutlu bir işaretleyici kameranın önüne yerleştirildiğinde bilgisayar bu iki boyutlu sembol ile ilgili hesaplamaları yaptıktan sonra bilgisayar yardımıyla üretilen 3 boyutlu bilgiyi çalışma ortamında bulunan işaretleyicinin üzerine yerleştirmektedir. AG sistemlerinde işaretleyici olarak sisteme tanıtılmak üzere bir veya birden fazla imge, barkod veya geometrik şekil kullanılabilir. İşaretleyici tabanlı AG sistemlerinin performansını en fazla işaretleyicilerin sistem tarafından tanınmasını etkileyen faktörler olan, işaretleyicinin çözünürlüğü, çalışma ortamının aydınlatma seviyesinin yetersiz olması, AG sisteminin donanım bileşenlerinden olan kameraların odaklanma problemleri ve benzeri faktörler etkilemektedir.

Artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanan sistemlerde sanal nesnelerin gerçek dünyadaki pozisyonlarına karar vermek için kullanılan işaretleyiciler (*marker*) olarak kare kodların (*Quick-response/QR*) kullanımına sıklıkla başvurulmaktadır. İki boyutlu kodlar olan işaretleyiciler sistemdeki hesaplama cihazının kontrol ettiği kamera tarafından tarandıktan/okunduktan sonra ilgili program tarafından okunan kodla ilişkilendirilerek sisteme kaydedilmiş 2 veya 3 boyutlu model veya başka bilgilerin görüntülenmesi amacıyla yorumlanırlar. Sonrasında ise görüntüleyici yardımıyla bu bilgi görselleştirilir.

Kare kod tabanlı işaretleyicilerden ilaç, bakım ve montaj, turizm, müzecilik, reklam ve pazarlama gibi değişik alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarında faydalanılmaktadır. İşaretleyici teknolojisinin kullanıldığı AG uygulamalarında

kullanıcılar işaretleyicinin basılı bulunduğu kağıdı sisteme okutarak ve kağıdı farklı açılardan inceleyerek sistem tarafından oluşturulan 3 boyutlu sanal nesneleri farklı açılardan algılama fırsatını elde etmektedirler.

İşaretleyici kullanılmayan AG sistemlerinde bilgisayar yardımıyla üretilen bilginin görselleştirileceği konum hibrid temelli, doğal özellik temelli veya model temelli olarak belirlenebilmektedir.

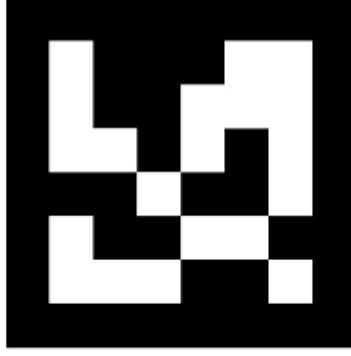
İşaretleyici kullanılmayan AG sistemlerinde faydalanan hibrid temelli izleme yöntemi, AG sisteminde bulunan farklı sensörlerle elde edilen çevre verisinin işlenmesi sayesinde gerçekleşmektedir. AG uygulamalarının yüklendiği cihazlarda halihazırda bulunabilen, AG sistemlerinin belirli görüntüleme bileşenlerinde entegre olarak bulunabilen veya belirli AG sistemlerine ise dışarıdan eklenebilen sensörler yardımıyla kullanıcının belirli bir sürede kat ettiği mesafeye ilişkin (akselerometre), kullanıcının coğrafi yönelimine ilişkin (pusula), kullanıcının coğrafi konumuna ilişkin (GPS) verilerle sınırlı kalmamak üzere bir çok farklı veri elde edilebilmektedir. Örneğin lokasyon temelli işaretleyicilerin kullanıldığı AG uygulamalarında cihazda bulunan GPS (*Global Positioning System*) bileşeni, kablosuz ağlar veya telefon hücre verisi kullanılarak kullanıcının bulunduğu konum ve pusula verisi kullanılarak elde edilen kullanıcının yönelimine ilişkin veriler AG sistemiyle ilişkilendirilmiş veritabanıyla karşılaştırılıp istenen konumda bilgisayarda üretilmiş grafikler gerçek ortamda süperimpoze edilerek görüntülenebilmektedir. Daha önceden bahsedildiği gibi güncel mobil AG uygulamalarının bileşenleri olarak kullanılabilen mobil akıllı telefon veya tabletler veya görüntüleme cihazları akselerometre, gyroskope ve GPS ve daha farklı sensörlerden faydalanılmasına olanak tanımaktadır.

İşaretleyici kullanılmayan AG sistemlerinde kullanılan doğal özellik veya model temelli izleme yöntemlerinde ise AG sisteminde bulunan GPS, hız, yönelim, gibi sensörler yerine görüntü işlemede kullanılabilecek derinlik ölçer, kızıl ötesi ve Lidar (ışık ve menzil tespiti/*Light Detection and Ranging*) özellikli kameralar gibi sensörler kullanılmaktadır. Bahsedilen sensörler sayesinde elde edilen fiziksel çevredeki düzlemler kenarlar ve köşeler gibi çalışma ortamını tanımlayan ve ortamın sınırlarını belirleyen doğal özellikler AG sisteminin kamerası tarafından tanımlanmaktadır. Çalışma alanına ilişkin özelliklerin AG sistemi tarafından tanımlanmasının ardından AG katmanı istenen konumda gerçek nesnelerle birlikte görselleştirilmektedir. Sistem çalışma ortamının sınırlarını ve özelliklerini tanımladıktan sonra kullanıcı tarafından

veya sistem tarafından otomatik olarak uygun yerlere sanal nesneler yerleştirilebilmektedirler. Teknolojik gelişmeler sayesinde donanım alanındaki gelişmeler ve hesaplama kapasiteleri daha gelişmiş cihazların kullanıma sunulması AG sistemlerinde fiziksel işaretleyicilerin kullanılma zorunluluğunu bir miktar hafifletmiş ve işaretleyicisiz izleyicilerin kullanılmasının yolunu açmıştır. Ancak işaretleyici kullanılmayan sistemler hesaplama süresi bakımından masraflı algoritmalar kullandığından dolayı bu sistemleri kullanmanın zor olduğu belirtilmektedir (Oufqir ve diğ., 2020).

2.2.2.1 İşaretleyici temelli izleme yöntemi

AG sistemlerinde bilgisayar yardımıyla üretilen 3 boyutlu sanal nesne, video, ek bilgiler gibi çalışma ortamına eklenecek bilgi katman(lar)ının kullanıcı tarafından başarılı bir şekilde gerçek çalışma ortamında bulunan nesnelerle aynı ortamı paylaşıyor gibi algılanması amacıyla en çok kullanılan izleyici yöntemi, işaretleyici tabanlı izleme yöntemidir. İşaretleyici tabanlı izleyicilerin kullanıldığı AG uygulamalarında işaretleyici olarak seçilen imgelerin AG sistemi tarafından çalışma ortamında kolaylıkla tanınabilmeleri için yüksek kontrasta sahip olmaları izleme ve görselleştirme süreçlerinde daha az problemle karşılaşılmasını sağlamaktadır. İşaretleyici temelli izleyicilerin kullanıldığı AG sistemlerinde sadece işaretleyicinin çalışma alanındaki konumu değil, işaretleyiciye olan uzaklık ve işaretleyiciye bakılan açı da hesaplanabilmektedir. AG sistemlerinde genellikle kullanılan Şekil 2.11’de görülebileceği gibi, geometrik figürler barındıran siyah-beyaz karelerden oluşan kare kodların kullanımı tercih edilmektedir.



Şekil 2.11 : Kare kod örneği.

İşaretleyicilerde farklı renklerin de kullanılması mümkündür ancak siyah ve beyaz renklerin kullanılması ile arka planda bulunan çevre ile yüksek derecede zıtlık sağlanmakta ve böylelikle işaretleyicilerin sistem tarafından tanınması kolaylaştırılmaktadır. AG sistemlerinde işaretleyici temelli izleyicileri kullanmanın olumsuz yanlarından en ciddi olanı işaretleyicilerin sürekli olarak bu görünür bir pozisyonda olmasının gerekmesidir. İşaretleyicilerin net bir şekilde görülmesinin başka işaretleyiciler veya çalışma ortamında bulunan diğer nesneler tarafından engellenmesi durumunda AG sistemi tarafından bilgisayar yardımıyla üretilen AG katmanının çalışma ortamıyla birleştirildiği “arttırılma” aşamasında AG katmanının çalışma ortamında doğru konumda ve doğru bir şekilde görselleştirilmesi ile ilgili problemler yaşanabilmektedir. Bu problem, işaretleyici pozisyonunun sistem tarafından hatırlanması ve işaretleyicinin bulunduğu pozisyonun cihaz hareketine uygun olarak yenilenmesi ile kısmi olarak çözülebilmektedir.

2.2.2.2 Hibrid temelli izleme yöntemi

Bu tür izleyicilerin uygulaması genellikle Global Pozisyonlama Sistemi (GPS), pusula, hızlanma göstergesi (akselerometre) gibi bir ya da daha fazla veri kaynağının gerçek pozisyon ve yöneliminin tayin edilmesinde ortak olarak kullanılması ile olmaktadır. Global Pozisyonlama Sistemi ile AG sisteminde kullanılan cihazın anlık pozisyonu temin edilir ve bu bilgiyle cihazın bulunduğu bölgede AG sisteminde kullanılacak nesneler bulunur. Pusulanın kullanımı ile cihazın yönelimi tayin edilip yol üzerinde arttırılmış gerçeklik sistemi dahilinde yeni bir katman eklenecek nesnelerin varlığı kontrol edilebilir. Bütün bu bilginin ortak şekilde kullanılması ile görüntü alanında neyin “arttırılacağı” gerçek imgeye ihtiyaç duyulmadan hesaplanabilmektedir. Ancak “arttırılacak” katmanın yerleştirilmesi için gerçek imgeye yine de ihtiyaç vardır.

2.2.2.3 Model temelli izleme yöntemi

Model temelli yaklaşımda çevredeki 3 boyutlu nesneler ve nasıl göründüklerine ilişkin önceden elde edilmiş bilgi kullanılmaktadır. 3B nesnelerin geometrik temsillerini kullanarak bu nesnelerin görüntü alanındaki karşılıklarına uygun olacak şekilde pozisyon ve yönelimleri manipüle edilebilir. Model yaklaşımı, 3 boyutlu nesnelerin üretilmesi için sınır tespiti kullanılmakta, bazı durumlarda ise model çevredeki nesneyle ilişkili benzerliğinin izlenmesi için kullanılmaktadır. Örneğin bir caddede hareket eden bir aracın izlenmesinde olduğu gibi, ancak bu yaklaşım genellikle yüksek işlemci gücüne ihtiyaç duymaktadır.

2.2.2.4 Doğal özellik izleme yöntemi

Bu yöntemin uygulamasında gerçek dünyadaki nesneler doğal özelliklerinin tanımlanması sayesinde işaretleyici olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle, bir imgenin genellikle bir matematiksel algoritmaya bağlı olarak tanımlanan yüksek derecede fark edilebilir özellikleri bulunmaktadır. Özellik açıklayıcı ismi verilen bir modül daha sonraki dönemlerde tanımlama yapılabilmesi amacıyla bu imgeyi veri tabanında saklamaktadır. Bahsedilen özellikler seti göz önünde bulundurularak, aynı imge farklı uzaklıklardan, yönelimlerden ve ışıklandırma seviyelerinden bu yöntem kullanılarak tanınabilmektedir.

2.2.3 AG uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılan yazılım geliştirme araçları

AG sistemlerinde Yazılım Geliştirme Araçları (YGA/*Software Development Kit*) uygulamalarda bulunan: tanıma, izleme, görselleştirme gibi birçok bileşenin çalışmasına olanak sağlarlar. Tanıma (recognition) bileşeni, AG uygulamasının beyni gibi çalışmaktadır. İzleme bileşeni uygulamanın gözleri gibi çalışmakta ve görselleştirme bileşeni ise gerçek zamanlı bilginin sanal nesneler ve sahneler şeklinde ifade edilmesini sağlamaktadır. YGA'lar sayesinde tanıma, izleme ve renderlama gibi AG uygulamasının etkin bir şekilde çalışması için gerekli bileşenler yazılım geliştiricilerin hizmetine sunulmaktadır.

AG uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılan YGA'lar, coğrafi lokasyonlu AG browserları, işaretçi temelli ve doğal özellik temelliler olmak genel olarak üzere üç kategoride incelenebilirler. AG browserlarını kullanan YGA'ları kullanıcılarının günümüzde birçok mobil akıllı telefon ve tabletlerde mevcut olan GPS ve Atalet

Ölçme Üniteleri (AÖÜ/*Inertial Measurement Unit*) servislerini kullanmalarını sağlamaktadırlar. İşaretçi temelli yazılım geliştirme kitleri özel imgeler, işaretçiler, kullanarak arttırılmış gerçeklik deneyimi yaşanmasını sağlarlar. Doğal özellik izleme temelli yazılım geliştirme kitleri, çevrede hali hazırda bulunan özellikleri kullanarak, Eş Zamanlı Konum ve Haritalama (EZK/*Simultaneous Location and Mapping*) ya da iki boyutlu imgelerin izlenmesi yaklaşımı ile arttırılmış gerçeklik sistemi deneyimi kullanıcılara sunulmaktadır.

Piyasada AG uygulamalarının geliştirilme süreçlerinde faydalanılabilecek farklı işaretleyici teknolojilerini kullanan ve farklı işletim sistemleri ile uyumlu uygulamaların geliştirilmesine olanak tanıyan çeşitli YGA'lar bulunmaktadır. Bahsedilen YGA'lar içerisinde belirli bir büyüklükte kullanıcı topluluğuna sahip ve bu nedenle geliştirici desteği almaya devam eden güncel YGA'ların özelliklerine ilerleyen paragraflarda değinilmiştir.

Vuforia

Vuforia (URL-1) uygulama geliştiricileri ve işletmelerin yüksek sadakatli, mobil tabanlı ve kullanıcıyı saran AG uygulamaları geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Vuforia YGA bilgisayar görüntüleme teknolojisini kullanarak imge hedeflerinin ve 3B nesnelerin gerçek zamanlı olarak tanınmasını ve takibini yapabilmektedir.

Vuforia platformu, geliştirici bölümünde bulunan hedef düzenleme sistemi, bulut tabanlı hedef veritabanı, araç hedef veritabanı ve Vuforia motoru olmak üzere farklı bileşenlerden oluşmaktadır. Geliştiriciler izlemek istedikleri hedefle ilişkili imgeyi sisteme yükler, bu adımdan sonra sisteme yüklenen hedef kaynaklara mobil cihazlardan bulut bağlantısı ile veya mobil uygulamaların yüklü bulunduğu cihazların dahili hafızalarından ulaşılmaktadır.

Vuforia yazılım geliştirme kiti, hem IOS ve Android için yerel uygulama geliştirmeye uygun olup aynı zamanda her iki platforma da aktarılması kolay olan Unity motoru içerisinde AR uygulamalarının geliştirilmesini desteklemektedir. Vuforia platformu, 2 ve 3 boyutlu olmak üzere, çoklu hedef konfigürasyonları, silindirik hedefler, “VuMark” olarak tanımlanan işaretleyicisiz hedefleri, çerçeve işaretçileri ve bulut tanıma hedefleri olmak üzere farklı tipte hedeflerin izlenmesini desteklemektedir.

Platform ayrıca, yerel üst üste gelme (*occlusion*) tanımlaması, gerçek zamanlı imge hedef seçimi ve farklı senaryolar uyarınca hedef setlerinin tekrar tanımlanması ve yaratılmasına olanak sağlamaktadır.

Wikitude

Wikitude (URL-2) özellikle AR uygulamaları ve prototiplerinin geliştirilmesinde kullanılmak üzere 2008 yılında Salzburg Avusturya’da geliştirilmiştir. Wikitude YGA, AG uygulaması geliştiricilerinin Wikitude Dünya Tarayıcısını (Wikitude World Browser) kullanarak lokasyon tabanlı AG deneyimleri geliştirmelerini hedeflemektedir. Wikitude kullanılarak 3 boyutlu modellerin görselleştirilmesi, lokasyon tabanlı AG ve video katmanlarının gerçek dünyada kullanılması gibi fonksiyonlar yerine getirilebilmektedir. Wikitude yazılım geliştirme kiti, hibrid izleme sağlamak için coğrafi temelli ve imge tanıma özelliklerini birleştirmekte ve yoğun bir biçimde web teknolojilerine bağlı geliştirilmesi nedeniyle birden fazla platformda AG uygulamaları yazılmasına olanak sağlamaktadır.

Ayrıca uygulama içerisinde SLAM teknolojisinden faydalanılarak işaretleyici kullanmadan nesne takibi yapılabilmektedir. Wikitude Windows, iOS ve Android işletim sistemlerinde ve uyumlu giyilebilen görüntüleme cihazlarında kullanılabilmektedir.

Wikitude yazılım geliştirme kiti ticari bir çözüm olmasına rağmen, çeşitli kısıtlamalarla birlikte deneme versiyonu da mevcuttur. Wikitude’un Wikitude Studio isimli programlama bilgisine ihtiyaç duyulmadan ekranda nesneleri taşıyarak uygulama geliştirmeye yarayan bir ek programı da mevcuttur.

D’Fusion

D’Fusion (URL-3) YGA gerçek zamanlı ve etkileşimli 3 boyutlu grafik içeriği canlı bir video akışı ile birleştirmeyi amaçlamaktadır. Masaüstü, mobil ve flash plug-in olmak üzere farklı platformlarda kullanılabilen D’Fusion YGA bünyesindeki bileşenlerden olan D’Fusion Exporter kullanılarak 3 boyutlu nesneler üretilebilmekte ve farklı tasarım ortamlara aktarılabilmektedir. D’fusion Studio ise AG projelerinin tasarımı ve aktarımı için kullanılmaktadır.

Onirix

Onirix (URL-4) YGA, uygulama geliştiricilerinin fazla çaba harcamadan hızlı ve içgüdüsel AG deneyimleri oluşturmalarına yardımcı olmayı vadetmektedir. YGA bulut tabanlı platformu kullanarak geliştiricilerin lokasyona bağlı olarak ilgi çekici alanları, rotaları, 3 boyutlu modelleri ve başka bilgileri sistemlerine eklemelerini sağlamaktadır. Bu YGA'nı kullanarak IOS ve Android platformları için AG sistemleri geliştirilebilmektedir. Unity oyun motoru ile kullanılabilen YGA giyilebilen görüntüleme araçlarını da desteklemektedir. Onirix YGA'nın ücretsiz bir versiyonu bulunmamaktadır.

DeepAR

DeepAR (URL-5) YGA uygulama geliştiricilerinin Facebook ve Snapchat gibi sosyal medya platformlarında daha sık kullanılan 3 boyutlu lensler, maskeler, ve özel görüntü efektlerini IOS, Android, HTML5 ve Unity platformlarında geliştirmelerine olanak tanımaktadır. DeepAR YGA yüz tanıma teknolojisinde ağırlıklı olarak faydalanarak eş zamanlı duygu tanımlama özelliği ile kızgınlık, mutluluk, üzüntü, şaşırma gibi farklı duyguları derin öğrenme ve yapay sinir ağları modellerini kullanarak tanımlayabilmektedir.

EasyAR

EasyAR (URL-6) YGA uygulama geliştiricileri ve şirketler için bedava ve ücretli olmak üzere iki ayrı paket sunmaktadır. YGA'nın ücretsiz versiyonu ile Android işletim sistemi kullanan sistemlerde Java kullanılarak, IOS işletim sistemi kullanan sistemler için Swift dili kullanılarak uygulama geliştirmek mümkündür.

YGA Windows işletim sistemlerini kullanan uygulamaları da desteklemektedir. Temel pakette video oynatma, QR kodu okuma ve gelişmiş Unity entegrasyonu özellikleri bulunmaktadır. Ücretli versiyonda ise ücretsiz versiyonda bulunan özelliklere ek olarak SLAM, 3 boyutlu nesne takibi ekran kaydı ve çoklu işaretleyiciler için eş zamanlı izleme özellikleri bulunmaktadır.

Kudan

Kudan (URL-7) YGA kullanılarak işaretleyici tabanlı ve işaretleyicisiz sistemlerde kullanılmak üzere iOS ve Android işletim sistemlerine sahip araçlarda uygulamalar geliştirilebilmektedir. Hızlı nesne tanıma özelliğine sahip bu uygulama poster veya

sticker gibi nesnelerin koordinatlarını tanımlayarak bu nesnelerin üzerine sanal nesnelerin eklenmesini sağlamaktadır. Programın kısıtlamalarından birisi olarak yüz tanıma fonksiyonu yeteri kadar başarılı çalışmadığı belirtilmiştir. Uygulamanın ücretsiz, orta büyüklükte ve büyük işletmeler için farklı ücretlendirme planları bulunmaktadır.

MaxST

MaxST (URL-8) YGA MacOS ve Windows gibi işletim sistemlerinin yanında IOS ve Android gibi mobil işletim sistemleri ve Unity 3D gibi popüler oyun geliştirme motorları ile uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. MaxST YGA'nın giyilebilir görüntüleme cihazı desteği de bulunmaktadır.

MaxST YGA AG uygulaması geliştiricilerine:

- Yatay ve dikey yüzeylerin tanımlanmasına olanak tanıyan anında izleme,
- Uygulamanın yüklendiği donanımın kamerasını kullanarak çevrenin yapay bir haritasının oluşturulmasının sağlandığı görsel SLAM,
- 3 boyutlu içerik, video ve imgelerin gerçek ortamla süperimpoze edilmesini sağlayan imge izleme ve
- İstenen içeriğin sisteme daha önceden tanımlanmış olan işaretleyicilerin üzerinde görselleştirilmesini sağlayan işaretleyici takibi

olmak üzere farklı izleyici yöntemlerinin kullanma özgürlüğünü sunmaktadır.

ARToolKit

ARToolKit (URL-9) açık kaynaklı, 3 boyutlu sanal nesnelerin dijital kameralar tarafından çekilen AG işaretçisinin üzerine ayrı bir katman olarak eklenmesini sağlayan arttırılmış gerçeklik uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılan bir program kitaplığıdır. Sanal nesnenin pozisyon ve yönelimi, AG işaretçisinin pozisyon ve yöneliminin bilgisayar görüntü algoritmaları tarafından tanınması ile tanımlanmaktadır.

ARToolKit, işaretçi izleme rutinlerini, kalibrasyon ve parametre toplaması işlerini bünyesinde barındıran AG modülü, video rutinleri ve video girdi çerçeveleri ile OpenGL ve GLUT kitaplığı temelli grafik rutinlerin toplanmasından sorumlu video modülü gibi modüllerden oluşmaktadır. ARToolKit YGA kullanılarak geliştirilen AG uygulamaları kişisel bilgisayarlarda kullanım için uygun olup mobil cihazlarda kullanılamamaktadır.

Lumin (MagicLeap)

YGA'nı geliştiren ana şirketin ürettiği Magic Leap One adlı giyilebilir görüntüleme cihazını kullanan Lumin YGA (URL-10) gerçek dünyada bulunan nesnelerle sanal nesneleri aynı ortamı paylaşıyor gibi kullanıcının görüş açısına yerleştirebilmektedir. Lumin YGA Unity oyun motoru kullanan geliştiricilerin tüm gereksinimlerini karşılamaktadır. Uygulama simülatör kullanılarak giyilebilen görüntüleme cihazına sahip olmadan uygulama geliştirilebilmesine imkan tanımaktadır. Ancak Lumin YGA kullanılarak geliştirilen AG uygulamalarının sadece aynı şirket tarafından üretilen Magic Leap 2 giyilebilir görüntüleme cihazında kullanılabilmesi YGA'nın geniş kullanıcı kitlelerine ulaşma ihtimalini fazlasıyla kısıtlamaktadır.

ARmedia

ARmedia (URL-11) YGA 2 boyutlu, yüzeysel imgelerin yanında karmaşık 3 boyutlu nesneleri boyut ve geometrilerinden bağımsız olarak tanıyabilen 3 boyutlu model izleme yaklaşımını kullanmaktadır.

Yazılım geliştirme kitinin mimarisi 3 boyutlu modelleri görselleştirmekte kullanılan render motoru, hedefi izleyen izleyici, araç kamerasından sahneleri kaydedecek kaydedici ve Android ve IOS ara yüzünden oluşmaktadır ARmedia yazılım geliştirme platformu platformlar arası çalışmayı desteklemekte ve bu YGA kullanılarak geliştirilen uygulamaların C ve C++ dilinde geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

AG uygulaması, son kullanıcının etkileşimde bulunacağı nesnenin fotoğrafının çekilip 3 boyutlu modelin hazırlanması ve SDK sunucularında yaratılan izleyicinin üzerine kaplanması ile gerçekleşmektedir.

ARmedia yazılım geliştirme platformu iç ve dış mekan AG uygulamalarında başarı ile kullanılabilir. ARMedia YGA kullanılarak geliştirilen AG uygulamaları mobil cihazlar, uyumlu akıllı gözlükler ve Windows ve MacOS işletim sistemi kullanan kişisel bilgisayarlarda kullanılabilir.

Pikkart AR SDK

Pikkart YGA (URL-12) AG uygulaması geliştiricilerine hafif, kolay kullanılabilen, dayanıklı ve yüksek hesaplama gücü gerektirmeyecek bir şekilde kullanılan araçta gerçekleştirilen tanımlama ve izleme özelliklerini sağlamaktadır. Pikkart YGA'nın ücretsiz versiyonu kullanıcıları sınırsız sayıda yerel işaretleyici, 20 adet bulut tabanlı izleyici ve IOS ya da Android işletim sistemini kullanan cihazlardan birisine yüklenecek bir demo uygulama kullanmasına olanak tanımaktadır. Ücretli versiyonlarda bulut üzerinden kullanılacak işaretleyici sayısı ve kullanıcılara sunulan destek artmaktadır. Uygulama iOS ve Android platformlarında çalışacak eklentilerin yanında mevcut Unity ve Xamarin projelerinde de kullanılabilir.

Google ARCore

Teknoloji firması Google tarafından geliştirilen ARCore (URL-13) YGA, uyumlu tablet ve telefonların yanı sıra IOS işletim sistemini kullanan araçlarda da kullanılabilme özelliğine sahip olmasından dolayı uygulama geliştiricilere farklı platformlarda kullanılacak uygulamaları geliştirme özgürlüğünü tanımaktadır. ARCore YGA kullanılarak geliştirilen AG sistemlerinde sanal nesnelerin gerçek ortamda görselleştirilmesi YGA'nın kullanıcılarına sunduğu AG katmanının ekleneceği hedefleri gerçek zamanlı olarak güvenilir bir şekilde takip edebilme özelliği ve uygulamanın yüklendiği cihazın lokasyonunun GPS teknolojisi kullanılarak belirlenmesi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Tamamen ücretsiz olan ARCore YGA kullanılarak geliştirilecek AG uygulamalarının yükleneceği uyumlu mobil cihazların son teknolojiye dayanarak geliştirilen güçlü sensörlerinden faydalanılarak AG katmanının doğru şekilde görselleştirilmesini sağlamak amacıyla cihazın konumunun, oryantasyonunun ve kullanıcının hareket edip etmediğinin takibi yapılabilmektedir. ARCore YGA benzer bir şekilde geliştirilen AG uygulamalarının yükleneceği donanımın gücünü kullanarak farklı tipteki yüzeyleri, yüzeylerin büyüklüklerini ve konumlarını tanıyabilme ve kullanıcılara olabildiğince gerçekçi bir deneyim sunmak amacıyla sanal nesnelerin aydınlatmalarının gerçek

ortamdaki aydınlatma seviyesi ile uyumunu sağlayabilme imkanını kullanıcılarına sunmaktadır. Google ARCore YGA ayrıca Unreal ve Unity gibi üçüncü parti yazılım ve oyun geliştirme araçları ile kullanılabilir.

Apple ARKit

Özellikle donanım alanında birçok önemli gelişmede payı bulunan teknoloji firması Apple 2015 yılında AG alanında YGA geliştiricisi olarak hizmet veren Metaio firmasını bünyesine katmasından sonra AG teknolojisi ile ilgili çalışmalarını hızlandırmış ve 2017 yılında firma bünyesinde geliştirdiği Apple ARKit (URL-14) YGA'sını kullanıcıların hizmetine sunmuştur. Kendi bünyesinde ürettiği donanımlar kullanılarak çalışabilecek AG uygulamalarının üretilmesinde faydalanılacak YGA'yı yine kendi bünyesinde geliştirmeyi tercih eden Google ve Microsoft firmalarının yaptığı gibi Apple firması da güncel teknolojinin tüm imkanlarından faydalanılarak, kullanıcı memnuniyeti ve cihaz optimizasyonu göz önünde tutularak geliştirilmiş kendi ürettiği donanımlarda kullanılacak uygulamaların geliştirilmesinde kullanılacak YGA'yı da kendisi geliştirmiştir.

Apple ARKit YGA Google'ın geliştirdiği ARCore YGA ile benzer özelliklere sahiptir. ARKit YGA kullanılarak sanal nesnelerin bulundukları gerçek ortamın aydınlatma seviyesi ile uyumlu bir şekilde aydınlatıldığı gerçekçi sahneler oluşturmak mümkündür. YGA 2 ve 3 boyutlu güvenilir imge tanıma ve izleme özelliğinin yanında akıllı mobil cihaz üreticisi olan Apple firmasının kullanıcılarının yüzlerini tanıma ile ilgili çalışmaları sonucu başarılı bir şekilde kullanılmaya başlanan yüz tanıma ve izleme teknolojilerinin de kullanılmasına olanak tanımaktadır. ARKit YGA VIO teknolojisini kullanarak çevreye ilişkin bilgileri kesintisiz olarak ve yüksek doğrulukta edinebilmektedir. Uygulama geliştiriciler bu teknolojisini kullanarak Core Motion ve kamera sensörlerinden edinilen veriyi birleştirerek yatay ve düşey yüzeyleri tanımlayabilmektedirler.

ARKit YGA, AG uygulaması geliştiricilerinin doğal özellik temelli izleyici yöntemlerinin dışında hibrit izleme yöntemlerinden EZKH'yi (Eş Zamanlı Konum ve Haritalama/SLAM) kullanılabilmelerine olanak tanımaktadır. AG uygulamalarının yükleneceği uyumlu donanımlarda bulunan gelişmiş sensörler kullanılarak nesnelerin boyutlarının tahmin edilmesi, kullanıcının ve donanımın hareketlerinin dengeli ve hızlı bir şekilde takibi yapılabilmektedir.

ARkit YGA'nın uygulama geliştiricilere sunduğu gelişmiş özellikleri nedeniyle göreceli olarak daha yeni donanımlar olan, A9 veya daha yeni bir işlemci kullanan uyumlu Apple telefon ve tabletlerde kullanılmak uygulama geliştirilebilmektedir.

Mixed Reality Toolkit (HoloLens)

Mixed Reality Toolkit (URL-15) YGA AG uygulamalarının geliştirilme sürecini hızlandırma amacıyla kullanılabilecek birden çok program parçası ve bileşenden oluşmakta ve özellikle Microsoft firmasının geliştirdiği HoloLens giyilebilir görüntüleme cihazı ile kullanılmak üzere uygulamaların geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Mixed Reality Toolkit YGA'yı kullanarak Microsoft HoloLens, Microsoft tarafından üretilen diğer giyilebilir görüntüleme cihazları, Steam SG, HTC Vive/ Oculus Rift ve Quest ve Open XR gibi platformlarda çalışabilecek uygulamalar geliştirilebilmektedir. Mixed Reality Toolkit YGA Windows işletim sistemlerinde çalışmaktadır. Mixed Reality ToolKit YGA uygulama geliştiricilerine Microsoft HoloLens cihazının sahip olduğu sensörleri kullanarak kullanıcının göz takibi, el takibi ve çalışma ortamı ve bu ortamda bulunan yüzeylerin 3 boyutlu olarak tanımlanmasına ve geliştirilecek uygulamalarda kullanılmasına yarayan mekansal farkındalık gibi özelliklerin kullanma imkanı tanımaktadır.

Ayrıca YGA uygulama geliştirirken Unity 3D gibi oyun motorları gibi üçüncü parti yazılımlarla çalışılabilmesine ve Visual Studio 2017 gibi entegre geliştirme çevrelerinde (IDE/*Integrated Development Environment*) YGA için kod yazılmasına imkan tanımaktadır.

2.2.4 AG sistemlerinde veri girdi yöntemleri

AG alanında mobil teknolojilerdeki teknolojik ilerlemelerin donanım piyasasına yansması sonucunda mobil AG sistemleri, çok fazla kullanıcı sayısına ulaşmış akıllı mobil cihazlarda kullanılabiliyor olmaları nedeniyle büyük potansiyele sahiptirler. Herhangi bir bilgisayar programında olduğu gibi AG uygulamalarında da kullanıcılar ile uygulama arasındaki iletişimi, kullanıcıların isteklerini bilgisayar programının anlayacağı bir şekilde ifade edilmesi ve yerine getirilmesini kullanıcı ara yüzleri sağlamaktadırlar. Kullanıcı ara yüzleri tarafından gerçekleştirilen bu işlemin en önemli kısmını kullanıcıdan ve çevreden geliştirilen programda kullanılacak verileri almak oluşturmaktadır.

Programlara doğru bir şekilde yapılandırılmış veri girdisi sağlamak programların öngörülen biçimde çalışması için programın geliştirilme aşamasında programdan beklenenlerin ve bu eylemlerin nasıl gerçekleştirileceğinin net bir şekilde tanımlanması ile birlikte en önemli gerekliliklerden birisini oluşturmaktadır. AG uygulamalarında veri girdisi için daha önceki bölümlerde de bahsedilen fare, klavye, sanal klavye, kamera, dokunmatik ekranlar gibi yöntemler kullanılmaktadır. Veri girdisi sağlamak için hangi yöntemin kullanılacağı çoğunlukla sistem mimarisine bağlı olmaktadır. Son yıllarda geliştirilen AG uygulamalarında teknolojiye paralel olarak mobil AG sistemlerin geliştirilmesi yönünde bir eğilim görülmektedir. Bu nedenle mobil cihazların yazılım ve donanım özelliklerine uygun geliştirilen AG uygulamalarında veri girişi için farklı çözümlerin geliştirilmesi gerekliliği doğmuştur. Yüksek sayıda kullanıcıya ulaşma potansiyeli ve mobil teknolojilerin son yıllardaki hızlı gelişimi ile AG uygulamalarında kullanılacak etkileşim yöntemlerinin geliştirilmesi ve mevcut yöntemlerde iyileştirmeler yapmak amacıyla yürütülen çalışmaların sayısında artış görülmeye başlanmıştır. Her ne kadar tamamen ekrandan oluşan akıllı cihazlar kadar tercih edilmeseler de tuş takımına ve kolay gezinme (navigasyon) tuşuna sahip eski tip mobil cihazlarda bu yöntemlerle veri girişi sağlamak mümkündür. Ancak, bu tip bir veri girişi yöntemi kullanmak mobil cihazların kullanımının sağladığı özgürlüğü kısıtlamakta ve bu cihazlar günümüz teknolojisinin gerisinde kaldığından dolayı günümüz teknolojisinin sağladığı tüm olanaklardan yararlanamayacak bir sistem geliştirmek tercih edilebilir bir durum değildir.

Sonuç olarak teknolojiye en son gelişmelere sahip akıllı mobil cihazlarda çalışması için geliştirilen mobil AG uygulamalarında sisteme kullanıcının isteklerine uygun bir şekilde ileten kullanıcı ara yüzlerine veri girişini sağlayacak etkileşim teknikleri geliştirilmektedir. Bu etkileşim teknikleri dokunulabilen etkileşim teknikleri ve dokunulamayan etkileşim teknikleri olarak iki başlıkta incelenmiştir. **AG sistemlerinde dokunulabilen etkileşim yöntemleri**

Bu bölümdeki değinilecek çoğu etkileşim yöntemi 2 boyutlu, araç tabanlı etkileşimlerdir. Literatürde akıllı mobil cihazlar üzerinde çalışan ve geliştirilmesinde dokunulabilen etkileşim çeşitlerinden faydalanılmış çeşitli AG uygulamaları bulunmaktadır (Bai ve diğ., 2012; Henrysson ve diğ., 2005; Wagner ve diğ., 2010). Dokunulabilen etkileşim çeşitleri arasında en fazla kullanılan yöntemler ekrana

dokunma tabanlı ve cihaz tabanlı olanlardır. Ekran dokunma tabanlı etkileşim çeşidi kullanılarak geliştirilen AG uygulamalarında nesne ile etkileşim, kullanılan mobil cihazın dokunulabilen ekranı yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Bu tür sistemlerden tüm seçim ve nesne üzerindeki manipülasyon işlemleri ekrana dokunulduktan sonra aktive edilen menü üzerinden gerçekleştirilmektedir. Cihaz tabanlı dokunulabilen etkileşim çeşitlerinde ise AG uygulamasının kullanıldığı mobil cihazın akseloremetre, pusula, gyroskop gibi donanım temelli özelliklerinden yararlanılmaktadır.

Bai ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen AG uygulamasında kullanılmak üzere önerilen dokunulabilen etkileşim yöntemi daha önceki çalışmalarda önerilen etkileşim yöntemlerinde karşılaşılan mobil cihazı tutarken ellerin titremesi nedeniyle oluşan problemlerin üstesinden gelmek için geliştirilen “Sahneyi Dondurma” etkileşim yöntemi kullanım kolaylığı sağlaması nedeniyle önemli bulunmaktadır. Bu yöntem ile kullanıcı üzerinde işlem yapmak istediği nesnenin bulunduğu yöne doğru mobil cihazı tuttuğunda nesnenin doğru bir şekilde tanımlanıp izlenmesinden sonra ekranda “Dondur” komutu belirlemektedir. Sahne dondurulduktan sonra görsel izleme bir süreliğine durdurulmakta ve çeşitli etkileşim tiplerinden oluşan kullanıcı menüsü ekrana gelmektedir. Başarılı bir seçim işleminin ardından kullanıcı ekranın dondurulmasını aktif halde olmaktan çıkarıp izlemeyi tekrardan başlatabilmektedir.

2.2.4.2 AG sistemlerinde dokunulamayan etkileşim yöntemleri

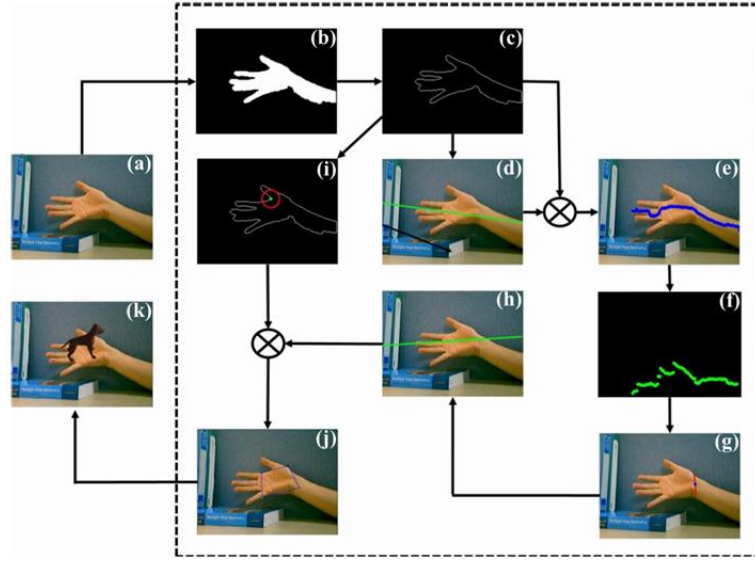
Dokunulamayan etkileşim çeşitleri jest ya da konuşma gibi kullanıcının cihazdan kesin fiziksel ayrımının olduğu etkileşim çeşitleridir. Dokunulamayan etkileşim çeşitleri, işaretçilerin kullanıcının parmaklarında bulunduğu işaretçi tabanlı veya işaretçisiz olarak iki sınıfta incelenebilirler.

Bai ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada sanal nesnelerin fiziksel nesnelerle bir bağlantısı olmadan uzayda serbest biçimde yer aldıkları ve nesnelerin fiziksel nesnelerle bağlantılarının bulunduğu iki ayrı test gerçekleştirilmiştir. Sanal nesnelerin fiziksel nesnelerle bağlantısı olmadığı birinci deney kapsamında kullanıcıların tırnağı ya da parmaklarının iç bölgesine yerleştirilmiş bir izleyici kullanılmış, nesne ve kullanıcı menüsü seçiminde nesnelerin tamamen seçildiğinin ifade edilmesi için bir seçim süresince ilerleyen durum barı görselleştirilmiştir.

İkinci test kapsamında ise kullanıcıların baş ve işaret parmaklarında bulunan sırasıyla yeşil ve kırmızı renkte işaretleyiciler arasında üretilen bir dikdörtgenin sahnedeki sanal nesne çevresinde bulunan dikdörtgen ile kesişmesi durumunda etkileşim tanımlanmaktadır. Araştırmacılar testleri yer değiştirme, ölçek değiştirme ve döndürme işlemleri olmak üzere üç etkileşim kavramı üzerinde uygulamışlardır. Birinci test kurgusunda tüm kullanıcıların tüm görevleri tamamlamak için harcadıkları ortalama süre performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Ayrıca kullanılan dokunulabilen, cihaz ve dokunulamayan olmak üzere farklı etkileşim tekniklerinin performans, eğlence ve ikisi birden olmak üzere karşılaştırması yapılmıştır. Birinci test sonucunda dokunulabilen etkileşim yöntemlerinin performans açısından en tatmin edici yöntemleri olduğu görünürken, dokunulamayan etkileşim tekniklerinin kullanan sistemlerin kullanılmasından en fazla keyif alınan sistemler olduğu sonucuna varılmıştır.

Seo ve diğerleri çalışmalarında (2008) sanal nesnelerin kullanıcının serbest elinin avucunda görselleştirildiği ve tek elin kullanıldığı bir etkileşim yöntemi önerilmiştir. Önerilen sistemde hem görsel hem de dokunulabilen etkileşim tekniklerinden yararlanılmaktadır. Sistemde önerilen görsel etkileşim yönteminde etkileşimde bulunan sanal nesnenin kullanıcının avucunun kapanması ya da açılması gibi değişikliklere karşılık vermesi nedeniyle dışarıdan herhangi bir görsel işaretleyicilere (kare kod vb.) ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak sistemde kullanılması önerilen dokunulan etkileşim yönteminde etkileşim, sanal nesneden geri besleme alınması yoluyla ve kullanıcının giydiği titreşim sensörlü eldiven sayesinde gerçekleşmektedir.

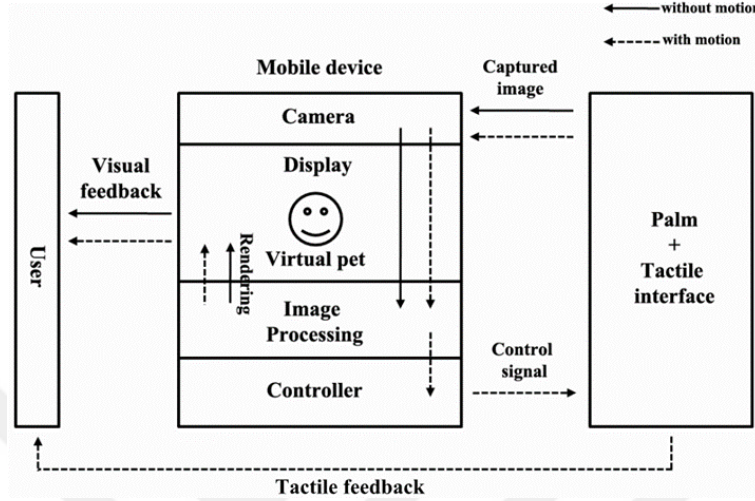
Araştırmada kullanılan yaklaşım sanal nesnenin duruşuna karar verilmesi için avuç içi duruş tahmini yöntemini kullanmaktadır. Önceki araştırmalarda kullanılmış 3 boyutlu model tabanlı ya da modelden bağımsız olarak yapılan el duruş tahmini yöntemine Seo ve diğerleri tarafından önerilen alternatif, kullanıcının parmak hareketlerinden etkilenmeyen doğal fizyolojik özellikleri (avuç içi yönü, ön kolun başlama noktası, baş ve işaret parmağı arasındaki tümsek) temel alan bir avuç içi poz tahmini yöntemidir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : Seo ve diğerleri tarafından önerilen avuç içi duruş tahmini yöntemi. (a) kamera tarafından kaydedilen sahne, (b) el bölgesinin parçalara ayrılması, (c) el bölgesinin sınırlarını tanımlanması, (d) el bölgesinin ortalama yönü, (e) el bölgesinin baskın özel özelliklerinin tanımlanması, (f) ortalama noktaların yerel yönlerini gösteren iki dikey noktaların arasındaki uzaklığın bulunması, (g) ön kolun başlama noktasının bulunması, (h) avuç içi yönünün tayini, (i) baş ve işaret parmağı arasındaki ayırım noktasındaki tümseğin tanımlanması, (j) yansıtma modeli, (k) sanal nesnenin renderlanması (2008).

Seo ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen araştırmada sanal nesne ile etkileşim, AG uygulamasının kullanıldığı mobil cihazın kamerası ile kullanıcının elinin imgesinin dijital olarak elde edilmesi ve imge işleme ünitesi tarafından kullanıcının elinin bölümlere ayrılması ile başlamaktadır. Sonrasında yakalanan el imgesinin üzerinde doğal özellikler kullanılarak gerçekleştirilen avuç içi duruşu tahmini yapılır ve kullanıcının avucunun içine sana nesne renderlanarak eklenir. Kullanıcının eli ve parmaklarının hareket etmesi durumunda bu hareketler tanımlanıp görsel ve dokunma temelli etkileşim olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Görsel etkileşim yöntemi kullanıldığına karar verildiği durumlarda sanal nesne kullanıcı tarafından gelen ve sistem tarafından tanınan hareketlere göre kullanıcıya görsel geri beslemede bulunur. Sanal nesnelerin kullanıcıya ne gibi görsel geri beslemede bulunduğundan ya da kullanıcının elini açması ve kapaması dışında hangi görsel hareketlerin geliştirilen AG sisteminde tanımlı olduğundan çalışma kapsamında bahsedilmediğinin ve bu nedenle Seo ve diğerleri tarafından önerilen sistemin nesne etkileşimi problemlerini nasıl çözdüğü ile ilgili sistemi değerlendirebilecek daha kapsamlı bilgiye ihtiyaç durulduğunun altını çizmek gerekmektedir.

Sistem tarafından dokunulabilen etkileşim olarak tanınan istekler geldiğinde ise sanal nesnenin davranışları ile senkronize bir biçimde verilen kontrol sinyalleri tarafından kontrol edilen dokunulabilen ara yüz ile kullanıcıya geri besleme sağlanmakta ve önerilen mobil AG uygulamasının etkileşim akışı Şekil 2.13’te görülebilmektedir.



Şekil 2.13 : Seo ve diğerlerinin geliştirdiği AG uygulamasında etkileşim akışı.

Dokunulamayan etkileşim tekniklerinin kullanıldığı AG uygulamalarından bir diğeri ise Choi ve diğerlerinin (2011) çalışmalarının konusu olan, mobil telefonlar üzerinde çalışan ve sanal nesnelerle doğal el temelli etkileşim yönteminin kullanıldığı bir uygulamadır. Önerilen uygulama da Seo ve diğerlerinin geliştirdikleri uygulama gibi sisteme dışarıdan eklenen bir sensör veya işaretleyiciye ihtiyaç duyulmaması nedeniyle kullanıcıların sanal nesnelerle istedikleri zaman ve mekanda özgürce etkileşime girmelerine olanak tanımaktadır. Choi ve diğerlerinin mobil cihazlarda kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarında kullanılan donanım temelli ara yüz kullanmaktan kaçınmalarını nedeni bu tip uygulamalarda gereksinim duyulan ek cihazlar ve fiziksel sensörlerin kullanışlı olmamaları ve göreceli olarak istenilen kesinlikte çalışmamaları olarak açıklanmıştır. Seo ve diğerlerinin çalışmalarında önerdikleri dokunulamayan etkileşim yöntemini geliştiren Choi ve diğerleri tüm olası avuç içi duruş pozisyonlarını eski yöntemden daha etkin bir şekilde tanımlayabilen çıplak el temelli (kullanıcının elinde sabitlenmiş bir işaretleyici bulunmayan) bir ara yüz önerisinde bulunmuşlardır.

Choi ve diğerkleri tarafından önerilen yöntem el tanımlaması, avuç içi duruş tahmini ve parmak jesti tanınması olmak üzere üç adım içermektedir. Öncelikle kullanıcının eli veri girdi imgesinden renk ve uzaklık değışiklikleri göz önünde bulundurularak ayrıştırma işlemi uygulanmaktadır. İkinci olarak kullanıcının avuç içi duruşu tahmini, avuç içi pozlarının bulunduğu bir veri tabanı ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Bir önceki uygulamada bulunmayan bu veri tabanı ile karşılaştırma yapma işlemi tekrarlı ve zaman gerektiren hesaplamalardan oluştuğundan bu işlem uygulamanın arka planında eş zamanlı bir şekilde sürdürölmektedir. Son olarak da şekil dekompozisyonu ve bağlam tabanlı karar mekanizmaları kullanılarak parmak jestleri tanımlanmaktadır. Sistemin geçirdiğı optimizasyonlar sonucu geliştirilen mobil cihazlarda çalışan ara yüzün, bir önceki versiyonundan üç kat daha hızlı çalıştığı ve 5 parmak, 16 avuç içi pozisyonunu da içerisinde barındıran 800 imge ile gerçekleştirilen deneyde %83 ortalama ile tanıma yüzdesine erişildiğı belirtilmiştir. Önerilen ara yüz kullanıcının parmakları, el pozisyonları ve avuç duruşuna göre davranış değıştiren ve kullanıcının avuç içine sanal nesne yerleştirebilen bir AG uygulamasında kullanılmıştır.

Henrysson ve diğerkleri tarafından (2007) gerçekleştirilen araştırma projesinde mobil cihazlar özelinde geliştirilen AG uygulamalarında sanal nesnelerin pozisyonlarının değıştirilmesi ve nesnelerin döndürölmesinde kullanılan değışik teknikleri değerkendirilmiştir. Araştırmacılar bu bölümde dokunulamayan etkileşim çeşitleri başlığında incelenen jest girdisini arttırılmış gerçeklik bağlamında karmaşık döndürme ve yer değıştirme işlemleri yerine getirilirken fiziksel girdi, klavye etkileşimi ve telefonun eğimli olarak kullanılması gibi dokunulabilen etkileşim çeşitleri kullanılması ile gerçekleştirilen girdiler ile karşılaştırmışlardır.

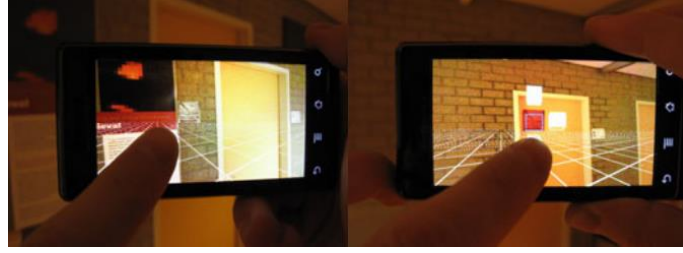
Araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen kullanılabilirlik testleri sonucunda dokunulabilen etkileşim çeşitlerinin kullanıldığı uygulamalarda yer değıştirme ve döndürme işlemlerinde bu etkileşim çeşitlerinin kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği ancak bazı döndürme görevlerinde telefonu eğerek yapılan işlemlerin en az klavye girdisi ile gerçekleştirilen işlemler kadar başarı ile tamamlandığı görölmüştür. Ayrıca jest ve fiziksel nesne kullanılan görevlerde görevin tamamlanması için gereken zaman açısından anlamlı bir fark görölmediğı ortaya çıkmıştır.

Gerçekleştirilen yer değiştirme görevinin tamamlanmasında kullanıcıların kullanım alışkanlıkları nedeniyle klavye girdi yöntemini diğer yöntemlere göre tercih ettikleri sonucu alınmış ancak jest ve fiziksel yöntem gibi kullanıcıya yeni iki yöntemin kullanıcılar tarafından uygulama sırasında belirgin bir zorluk yaşatmadıkları fark edilmiştir. Katılımcılar jest ya da fiziksel girdi yöntemini klavye girdisine göre kullanımının özellikle kötü olmadığını belirtmişler ayrıca jest girdi yönteminin zamanlanmış testlerde farklı sonuç verse de diğer yöntemlerden daha yavaş bulunmadığı ortaya çıkmıştır.

Sanal nesnelere yapılan döndürme işlemi sonucunda klavye girdisi yönteminin kullanımı kolay, hızlı ve kesin sonuçlar alınabilen bir yöntem olarak öne çıktığı görülmüştür. Araştırmacılar telefonu eğerek gerçekleştirilen girdi yönteminin daha etkin olarak kullanılabilecek bir düzeye getirildiğinde kullanımından klavye girdisi yönteminden daha fazla keyif alınan bir yöntem olarak benimsenebileceğı sonucuna varmışlardır. Sonuç olarak nesne yer değiştirmesi ve döndürölmesi gibi eylemlerin gerçekleştirileceğı mobil arttırılmış gerçeklik uygulamalarında fiziksel girdi yöntemleri ile klavye girdi yöntemlerinin ortak bir şekilde kullanıldığı bir durumun kullanıcılar açısından daha içgüdüsel bir deneyim sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

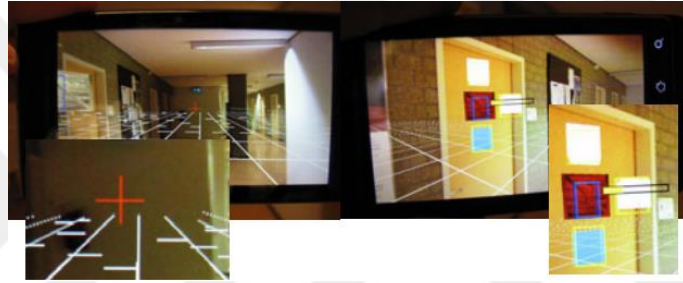
Dokunulmayan etkileşim çeşitlerinin AG uygulamalarında kullanımını incelerken Hürst ve Wezel'in gerçekleştirdikleri çalışmalara (2011, 2013) da dokunulmayan etkileşim çeşitlerinin kullanıldığı uygulamaları ile diğer etkileşim çeşitlerinin kıyaslamasını değerlendirebilmek amacıyla değinilmiştir. Araştırmacılar tarafından 2011 yılında daha zengin, karmaşık ve ilgi çekici etkileşim deneyimi sağlayabilmek amacıyla çoklu sensör (kamera, akseloremetre, pusula vb.) girdisine dayanan farklı etkileşim yöntemlerinin araştırıldığı çalışmada, bu yöntemlerin kullanılşlılığı, kullanılabilirliğı ve sınırları ile olasılıklarının incelendiğı bir kullanıcı çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar çalışma kapsamında standart dokunmatik ekran temelli etkileşim yöntemlerini mobil AG sistemlerinde kullanılan: Birincisi kullanılan mobil cihazın akselerometre ve pusula sensörleri kullanılarak nasıl hareket ettirildiğıne bağılı, diğeri ise kamera sensörünün kullanıldığı kullanıcının parmak ucunun takip edildiğı iki farklı etkileşim kavramı ile karşılaştırmışlardır.

Standart haline gelmiş dokunmatik ekran tabanlı etkileşimin değerlendirilmesi için nesne seçimi, menü seçimi ve yer değiştirme olmak üzere üç görevin uygulaması yapılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Dokunmatik ekran tabanlı etkileşimde solda nesne seçimi ve sağda nesne seçiminden sonra görselleşen menü seçimi görülebilmektedir.

Cihazın pozisyonu ve yönelimini kullanan ikinci etkileşim yönteminin aynı görevlerle uygulaması yapılmış bu sefer seçme menü ve değiştirme işlemleri için ekranın ortasında bulunan bir hedef noktasının belirli bir süre sanal nesnenin üzerinde hareketsiz kalması ile bu görevler gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Cihaz temelli etkileşimde nişangah ile nesne seçimi.

Kullanıcı parmağını izlemeyi temel alan üçüncü etkileşim yönteminde ise aynı görevler kullanıcının sistem tarafından izlenen parmağının sanal nesnelerle etkileşimi ile seçim ve yer değiştirme işlemlerinin yapılması ile uygulanmıştır (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Parmak izleme yöntemi ile nesne seçimi.

Çalışmanın sonunda her ne kadar dokunulmayan etkileşim yöntemi olarak sınıflandırabileceğimiz parmak izleme yöntemi kullanıcılar tarafından eğlenceli ve ilgi çekici bulunmuş olsa da dokunma temelli etkileşim yöntemleri ve cihaza bağlı etkileşim yöntemlerinin birlikte kullanıldığı yaklaşımların içerik üzerinde kesin kontrol ve yerleştirmenin gerektiği uygulamalarda kullanımlarının daha başarılı sonuçlar vereceği ortaya çıkmıştır.

Hürst ve Wezel'in 2011 tarihli çalışmalarında karşılaştırdıkları üç farklı etkileşim yönteminden birisi olan, jest temelli etkileşim yöntemi olarak önerdikleri parmak izleme yönteminin potansiyelini araştırdıkları çalışmalarında (2013) bu dokunulamayan etkileşim yöntemini sanal nesneler üzerinde gerçekleştirilen AG literatüründe kabul edilmiş yer değiştirme, döndürme ve ölçekleme işlemlerindeki performansının değerlendirildiği iki deney gerçekleştirilmiştir. Daha önceden gerçekleştirdikleri araştırmada her ne kadar performans açısından tatmin edici sonuçlar vermese de kullanıcılar tarafından ilgi çekici bulunan bu yöntem, araştırmacılar tarafından mobil oyun ve eğlence uygulamalarında gelecek vadeden bir etkileşim yöntemi olarak kabul edilmiştir (2011).

Araştırmacıların sanal nesnelerin 3 boyutlu uzayda serbest bir şekilde bulundukları AG uygulaması ortamında gerçekleştirdikleri deneyde mobil cihazlarda parmak izleme yöntemini kullandıkları jest temelli etkileşim yöntemi ile üst düzey kullanıcı ilgisi ve kullanım sırasında alınan keyif açısından kullanıcılardan olumlu geri dönüşler alınmıştır. Ancak yöntem performans açısından başarılı kabul edilemeyeceğinden gerçekçi uygulamalarda kullanılması uygulanabilir görülmemiştir.

Gerçekleştirilen ikinci deney ortamı, AG kavramının kullanıldığı bir masa üstü oyun olarak kurgulanmış ve hem bir önceki deneyde elde edilen uygulamanın kullanımı sırasında edinilen yüksek eğlence ve ilgi kullanıcılar tarafından rapor edilmiş hem de etkileşim yönteminden gerçek bir oyun esnasında kullanışlı kabul edilebilecek düzeyde performans elde edilmiştir. Ancak deneyler kapsamında gerçekleştirilen görevler bağlamında parmak izleme etkileşim yönteminin uygulamaları incelendiğinde bu yöntemin her zaman en iyi etkileşim performansını sağlamadığı görülmüştür.

Örneğin, ölçekleme görevinde kullanıcılar farklı parmak izleme yöntemlerini kullanmaktansa dokunulabilen ekran temelli etkileşim yöntemlerini tercih ettikleri görülmüştür. Sonuç olarak dokunulamayan etkileşim yöntemlerinden birisi olan araştırmacıların önerdikleri parmak izleme yöntemi performans açısından başarılı sonuçlar vermese de belirli kısıtlamalar dahilinde kullanıcının ilgisini sürekli yüksek düzeyde tutabilecek ve eğlenceli kabul edilebilecek bir etkileşim yöntemi olarak görülmüş, potansiyel kullanım alanları olarak ise mobil oyun uygulamalarını dışında müzeler ya da turist çeken noktalarda elektronik-öğrenme uygulamaları önerilmiştir.

Mobil cihazlarda çalışmak üzere kurgulanmış AG uygulamalarında cihazdan bağımsız, dokunulamayan etkileşim yöntemleri ile etkileşimin sağlandığı uygulamaların potansiyellerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada Baldauf ve diğerleri (2011) ses ve jestlerin kullanımı ile kullanıcılar ve cihazlar arasında daha direkt ve içgüdüsel bir etkileşim olanaklarını araştıran Doğal Kullanıcı Ara yüzleri konusunda görüntü temelli parmak ucu tanıma motoru(engine) ve yeni etkileşim yöntemlerinin araştırılması yönünde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada geliştirilen parmak ucu tanıma motoru temel alınarak geliştirilen kullanım durumları ve örnek uygulamalar incelenmiştir.

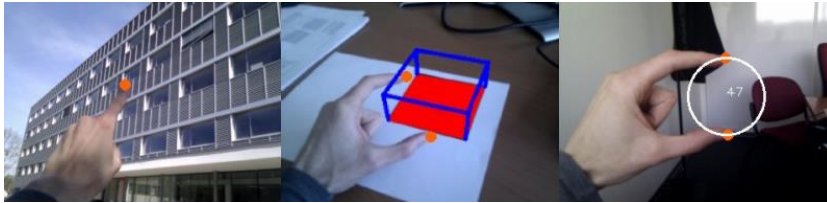
Geliştirilen parmak ucu tanıma motoru Android işletim sistemi kullanan mobil cihazlarda çalışmakta ve imge işleme görevi için yaygın olarak kullanılan açık kaynak kodlu OpenCV bilgisayar görüntüsü kitaplığından faydalanılmaktadır.

Geliştirilen motor temel alınarak geliştirilen örnek uygulamalardan cihaz arkası etkileşimi olarak adlandırılan yöntem ile uygulamanın çalıştığı mobil cihazla herhangi bir teması gerek duyulmadan etkileşime girilmesi sağlanmakta ve Şekil 2.17’de görülebilen yarı geçirgen grafik ara yüzde kullanıcı girdisi alınabilmektedir. Cihaz arkası etkileşimin kullanıldığı bu uygulamanın kullanıcılara daha tanıdık gelebilecek geleneksel cursor ile görselleştirilmiş ve dikkat dağıtıcı olarak tanımlanabilecek yarı geçirgen menü görüntüsü ile geleneksel menü ekranının birlikte kullanıldığı başka bir sürümü de bulunmaktadır.



Şekil 2.17 : Cihaz arkası etkileşimin kullanıldığı uygulamanın menü sürümleri.

Baldauf ve diğerlerinin geliştirdiği örnek uygulamalardan bir diğerinde kullanılan gerçek dünya etkileşimi olarak adlandırılan yöntem geleneksel AG uygulamalarının kullandığı gerçek zamanlı video görüntülerinin üzerine ilişkili katmanların eklenmesi olarak açıklanabilecek sihirli lens metaforunu kullanmaktadır. Bu yöntem kullanılarak uygulamada görsel tanınması gerçekleşen el jesti ile gerçek dünyadaki nesnelerin seçimi ve ilişkili bilgilerin ekrana aktarımı gerçekleştirilmektedir. Gerçek dünyada bulunan nesnelerle etkileşimin gerçekleştirilmesi için araştırmacılar tarafından önerilen parmak ucu tanımlaması yöntemi ile gerçek dünyaya eklenmiş sanal nesnelerin üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirmek de mümkün olmaktadır. Bu kullanım durumunda sahnede bulunan çeşitli sanal nesneler arasında üzerinde işlem yapılmak istenen nesne jest yolu ile seçilebilmekte ve yine jestler ile nesnelerin boyutlarında oynamalar yapılabilmektedir. Araştırmacıların inceledikleri son kullanım durumu senaryosunda ise jسته duyarlı bir müzik çalar uygulaması geliştirilmiş ve bu uygulama ile etkileşim tanımlanmış jestler aracılığıyla başarı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil. 2.18).



Şekil 2.18 : Sırasıyla gerçek dünya etkileşim yöntemi, sanal nesne etkileşim yöntemi ve jest temelli uygulama kontrolü kullanım örnekleri.

Dokunulamayan etkileşim yöntemlerinin potansiyellerinin incelendiği güncel çalışmalardan birisi olan Kopinski ve Handmann'ın çalışmasında (2016) mobil cihazlar için gelişmiş İnsan Makine Etkileşimi sağlayan hafif uygulanabilir bir 3B jest tanıma sistemi önerisi getirilmiştir. Mobil cihaza eklenen bir sensörden elde edilen uçuş zamanı verisinin (Time of Flight) ve jest tanıma sisteminin iki farklı cihaz üzerinde alışıcaak şekilde kurgulandığı uygulamada veri kaydı ve yayınlanması sonucu

kısımında, veri işleme ve jest tanıma işlemleri mobil bölümünde çözülmektedir. Çalışma ile dokunulmayan etkileşim sistemlerinin kullanıldığı bir uygulamada benzer uygulamalarda karşılaşılan sınırlamalardan birisi olan imge tanıma açısından zorlu bir ortam olan dış mekanda bu işlemlerin ToF sensörlerinin kullanılması ile mobil cihazlarda başarılı bir şekilde kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

Yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği gibi araştırmacıların büyük çoğunluğu mobil AG uygulamalarının geliştirilmesi ve bu uygulamalardaki insan makine etkileşimi için yeni ve içgüdüsel yöntemler geliştirmek üzere araştırmalarına yön vermişlerdir. Göreceli olarak daha yeni bir teknoloji olması kullanıcılar tarafından eğlenceli olarak tanımlanması, çeşitli görevlerin tamamlanmasında cihaz etkileşimi ile yakın puanlar alması ve araştırmacılar tarafından daha doğal bir etkileşim çeşidi olarak tanımlanması nedeniyle dokunulmayan etkileşim sistemlerinden olan jest temelli etkileşim yöntemleri konusunda araştırmalar güncel olarak da devam etmektedir. AG sistemleri ile ilgili araştırmalarda dönülen son dönemde karşımıza gözlük biçimindeki giyilebilen görüntüleme cihazları ile çalışacak bir şekilde ve etkileşim yöntemi olarak dokunulmayan etkileşim yöntemlerinin kullanılmasının seçildiği çalışmalar çıksa da bu tipteki AG sistemlerinin potansiyellerinin yanında ciddi sınırlamalara da sahip olduklarını gözden çıkarmamak gerekmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : AG sistemlerinde kullanılan etkileşim yöntemlerinin karşılaştırılması.

Dokunulabilen Etkileşim Yöntemleri		Dokunulamayan Etkileşim Yöntemleri	
Olanaklar	Sınırlamalar	Olanaklar	Sınırlamalar
Kullanım alışkanlığı.	Sanal nesne ölçek problemleri.	Eğlenceli.	Etkin olmaması.
Etkinlik	Sanal nesneleri yanında gerçek nesnelerle etkileşim.	İlgi çekici	İşlemciye ek yük getirmesi.
Hız		Yenilikçi	Hız.
Kullanım kolaylığı			Kamera görüntü alanı genişliği
			İç/dış Mekan aydınlatma tanımlama problemleri.
			Kullanıcı elinin nesnelerle üst üste binmesi

Dokunulabilen etkileşim yöntemlerini kullanarak AG sistemlerine veri girişi sağlamak kullanıcı açısından bakıldığında günümüzde bir eski teknolojiye bağlı ve sıkıcı görünebilse de tamamlanması gereken görevler ve geliştirilen uygulamanın ne kadar kesin ve etkili çalıştığı göz önüne alındığında dokunulabilen etkileşim yöntemlerinin kullanılmasının tercih edilme nedenleri daha rahat açıklanabilmektedir. Geliştirilecek AG uygulamasının eğlence ya da mobil oyun alanında olduğu ve uygulama kullanımı ve sonuçlarında kesinlik aranmadığı durumlarda rahatlıkla kullanılabilecek yenilikçi dokunulmayan etkileşim yöntemlerinin sürdürülen doktora tez çalışması kapsamında geliştirilecek AG uygulamasında kullanılması bu nedenlerle uygun görülmemiştir. Ayrıca uygulamanın geliştirilme hızına ve kullanıcıların hali hazırda kullanımına alıştıkları bir platformda kullanım sonucunda etkinlik ve performans konusunda olumlu etkileri olacağı düşünüldüğü için AG uygulamasının öncelikle mobil bir platformda geliştirilmesinin çalışma açısından daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yukarıda bahsedilen sınırlamalardan minimum şekilde etkilenmek ve kullanıcılara etkin, eğlenceli ve kullanımı kolay bir AG uygulaması kullanımı deneyimi sunabilmek adına Unity oyun motorunda Vuforia AG eklentisi kullanarak dokunulan etkileşim yöntemleri kullanılarak veri girişi sağlanacak, öncelikle Android işletim sistemine sahip mobil cihazlar üzerinde çalışabilecek bir AG uygulaması geliştirilmesi yönünde çalışmalara devam edilmesine karar verilmiştir.

2.3 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Uygulama Alanları

AG teknolojisinden eğitim, sağlık, turizm, üretim, bakım ve montaj, eğlence, havacılık, savunma ve tasarım gibi birçok farklı alanda faydalanılmaktadır. Kullanıcıların bilgisayar yardımıyla üretilen bilgi katmanını gerçek dünyada deneyimlemesine olanak tanıyan AG teknolojisi ile kullanıcıların:

- Bilgisayarla üretilen nesnelerle etkileşime girmelerine olanak tanıyan yani başka bir deyişle kullanıcının AG deneyiminde etken veya değiştirici bir rol oynadığı veya,
- Bilgisayarla üretilen nesneler ve bilgi katmanları ile etkileşimde edilgen, başka bir deyişle gözlemci rolünü üstlendiği iki farklı kullanım deneyimi sunulmaktadır.

AG teknolojisi gerçek ve sanal dünyaların ve bu dünyalarda bulunan nesnelerin kesintisiz etkileşimini mümkün kılarken (Billinghurst, 2002), mekânsal ilişkilerin ve bileşenler arası etkileşimlerin 3 boyutlu uzayda gözlemlenebilmesini de sağlamaktadır (Shelton ve Hedley, 2004). AG teknolojisi daha önceki bölümlerde de değinildiği gibi kullanıcılarına tanıdığı imkanlarla onların yeni deneyimler edinmelerini sağlamaktadır.

Shelton ve Hedley'e (2002) göre AG teknolojisi özellikle öğrencilerin gerçek dünyada birinci elden deneyimleyemeyecekleri konularda onları bilgilendirme konusunda ve onların ders malzemelerini birçok farklı açıdan incelemelerini sağlamak için dikkatlerini çekme ve motive etme açılarından büyük potansiyele sahiptir. Rutten ve diğerleri (2012) de benzer bir şekilde bilgisayar yardımıyla oluşturulan benzetimlerin görülemeyen fenomenlerin görselleştirilmesi ve deneysel değişkenlerin manipüle edilebilmesine olanak tanıyan yapısı sayesinde öğrenme üzerinde pozitif etkilere sahip olduklarını  ne sürmektedirler. AG teknolojisi de kullanıcıların evre ile etkileşimlerini ve deneyimlerini zenginleştiren yapısı sayesinde kullanıcılarının zihinsel olarak etkin ve aktif bir şekilde çalışma ortamında bulunmalarını mümkün kılarak özgün deneyimler yaşamasına, bilimsel değerlendirmeler yapabilmesine, iş birliğinde bulunabilmelerine imkan vermektedir (Dunleavy ve diğ., 2009).

Üretim, bakım ve tamir konularında örneğin otomotiv ve havayolu gibi sektörlerde AG teknolojisinden özellikle çalışanların eğitimi için faydalanılmaktadır. AG teknolojisi sunduğu çoklu-ortam yetkinlikleri sayesinde eğitim alan kişilerin öğrendikleri konulara ilgilerini artırarak motivasyonlarını ve sonuç olarak yaptıkları işlerdeki etkinliklerini yükseltebilir. Bunun dışında AG teknolojisi kullanıcılarına gerçek ortamda sanal nesnelerle etkileşimde bulunma fırsatı veren yapısıyla tehlikeli ortam ve görevlerin eğitiminin güvenli ve kontrollü alanlarda yapılmasına olanak tanımaktadır. AG teknolojisi işbirliği konusunda sağladığı imkanlar sayesinde AG teknolojisiyle geliştirilmiş bir donanım/yazılımı kullanan bir operatörün görüntü akışına erişerek onu yönlendirmek veya herhangi bir cihazın ölçüm verilerine bakım amacıyla ulaşmak gibi kontrol, takip ve kılavuzluk amaçlarıyla da kullanılabilmektedir.

Eğitim konusunda da AG teknolojisinden birçok farklı alanda faydalanılmaktadır. Mekansal becerilerin önemli yetkinlikler olduğu mühendislik ve mimarlık eğitimi konusunda da AG teknolojisinin kullanımı birçok potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır.

Bahsedilen yeni deneyimlerin ve AG teknolojisinin kullanıcılarına sunduğu imkanların nasıl incelendiğini gözlemlemek amacıyla AG teknolojisinin kullanımının taşıdığı potansiyellerin değerlendirildiği farklı alanlarda gerçekleştirilmiş araştırma projeleri taranmıştır (Ek - E). Konuyla ilişkili aramalar öncelikle Web of Science ve Scopus veri tabanlarında “artırılmış gerçeklik”, “tasarım”, “eğitim”, “bakım”, “üretim” ve “sağlık” anahtar kelimeleri kullanılarak yapılmıştır. İncelenen çalışmaların öncelikle son 10 yıl içerisinde yayınlanmış deneye dayalı veri sunan ve yayın içeriğinde çalışma kapsamında geliştirilen veya kullanılan AG uygulamasına ilişkin bilgi içeren çalışmalar olmalarına dikkat edilmiştir. Bunun dışında kartopu yöntemi kullanılarak, seçilen makalelerde referans verilen araştırmalar arasından seçilip incelenen çalışmalar olmuştur.

AG teknolojisinden tasarım alanında mimari tasarım, kentsel tasarım, iç mimarlık, kültürel mirasın korunması gibi konularda faydalanılmaktadır. Mimari tasarım disiplininde AG teknolojilerinin kullanımı tasarım, inşaat ve eğitim olmak üzere 3 başlıkta gruplanabilmektedir. Tasarım başlığında incelenebilecek çalışmalarda AG uygulamaları genellikle görselleştirme ve değerlendirme (Fonseca ve diğ., 2012; Haynes ve diğ., 2018; Joklova ve Budreyko, 2019), tasarım, mekansal düşünme ve tasarım becerilerinin geliştirilmesi (Fonseca ve diğ., 2013), motivasyonun artırılması amaçlarıyla kullanılmaktadır. Böylelikle tasarımcılar sanal nesneler ve mekansal organizasyona ilişkin veri ile etkileşime girip tasarım önerilerini değerlendirebilmektedirler.

İnşaat alanında genellikle BBM ile birlikte kullanılan AG uygulamaları BBM kullanılarak geliştirilen bina bileşenlerinin inşaat sektörü çalışanlarına imalat süreçlerinde yardımcı olmak için arazide görselleştirilmesi veya bina bileşenleri ile ilgili bilgilere kolay erişimin sağlanması yoluyla inşaat sürecinin kolaylaştırılması amacıyla kullanılmaktadırlar (Mutis ve Ambekar, 2020).

Eğitim başlığında incelenebilecek çalışmalarda AG teknolojileri mimarlık ve inşaat konularında mobil öğrenme platformlarının geliştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar. Gerçek çalışma ortamlarının AG teknolojisi kullanılarak bilgisayar ortamında üretilmiş sanal nesneler ve bilgi ile zenginleştirilmesi sayesinde çalışılan çevreye ilişkin farkındalığın artırılabilmesi ve çalışma alanının daha iyi anlaşılmasının sağlanacağı belirtilmektedir (Riera ve diğ., 2014).

2.3.1 Tasarım alanına odaklanılan çalışmalar

Tasarım konusuna odaklanılan çalışmalarda AG teknolojinin, tasarım önerilerinin görselleştirilmesi için kullanımının (AlFadlat ve Al-Azhari, 2022; Carrasco ve Chen, 2021; Fukuda ve diğ., 2019; Nasman ve Cutler, 2013), tasarım ve görselleştirme ortamı olarak kullanılmasının avantajlarının (Bayraktar ve Çağdaş, 2020), ve tasarım sürecinde aktif olarak kullanılmasının kullanıcılara sağladığı avantajlar (Gül, 2017b) ile işbirlikli tasarım çalışmalarının yürütülebileceği ortamlarda dijital teknolojilerin kullanılmasının tasarımcıların tasarım sürecinde kullandıkları farklı temsil yöntemleri ile etkileşimlerini ve bu temsil yöntemlerinin tasarımcı davranışlarına etkilerinin (Gül, 2020) incelendiği araştırmaların yürütüldüğü görülmüştür.

Al Fadalat ve Al Ahzari (2022), Amman şehrindeki mevcut konut stoğunu vaka olarak kabul ederek, biçim grameri temelli prosedürel modelleme ve AG teknolojisini kullanarak bölgedeki mevcut mimari dil ile uyumlu yeni tasarım olasılıklarının üretilmesini sağlayan bir uygulamanın genel çerçevesini önermişlerdir. Önceden tanımlanan belirli birtakım parametrelere göre otonom veya yarı otonom bir şekilde belirli bir içeriğin üretilmesini sağlayan üretken teknikler olarak tanımlanan prosedürel modelleme yöntemi kullanılan uygulamada AG teknolojisinden uygulama kullanılarak geliştirilen tasarımların ticari olarak piyasada bulunan “Augin” adlı AG uygulaması kullanılarak yapıları çevrede görselleştirilmesi sağlanmıştır. Böylelikle geliştirilen tasarım alternatiflerinin inşa edilmeleri planlanan gerçek arazilerinde çevreleriyle uyumlu olup olmadıkları değerlendirilmiştir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen sistemin etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla Ürdün Üniversitesinde Lisans seviyesinde mimarlık eğitimlerine devam eden 4. ve 5. sınıf öğrencileriyle (S:30) toplamda 135 dakika süren bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılarla gerçekleştirilen çalışma sonucunda uygulama kullanılarak geliştirilen tasarımların 24’ünün sistemde Amman şehrinin konut tipolojisi olarak tanımlanan mimari

yaklaşımı %90 ile %100 arasındaki oranlarda uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışma kapsamında geliştirilen tasarımların ortalama olarak % 92,5 oranla sisteme önceden tanımlanan mimari yaklaşıma göre çevrelerinde bulunan yapılarla uyumlu oldukları sonucu elde edilmiştir. Katılımcıların kullanılan uygulama ile ilgili yaklaşımları ve tercihlerini belirlemek amacıyla yapılan anket çalışmasına göre katılımcıların tümünün geleneksel yöntemlere göre kullanılan aracın yaratıcı tasarım alternatifleri geliştirme becerilerini artırdığını düşündükleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca katılımcıların 26'sının AG teknolojisinin tasarım süreçlerine olumlu bir etkisinin olduğunu düşündükleri sadece 4 katılımcının ise bu konuda belirli bir fikrinin olmadığı sonucu elde edilmiştir.

Teknolojide yaşanan gelişmelerin bilgisayar destekli tasarım alanındaki yansımaları sonucunda mimarların daha önceden ifade etmekte zorlanacakları veya geleneksel yöntemlerle ifade etmek için çok uzun zaman harcayacakları çok karmaşık biçimler artık kolaylıkla ifade edilebilmektedir. Ancak mimarların zihnindeki karmaşık biçimlerin kağıda veya ekrana aktarılmasından sonra gelen bu biçimlerin inşa edilme aşamaları inşaat alanında deneyimli ustalara ihtiyaç duyulan çok uzun zaman alabilen ve maliyetli bir süreç olmaya devam etmektedir.

Mimari tasarım sürecinde geliştirilen tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesi amacıyla AG teknolojisinden faydalanılmasının avantajlarının incelendiği Nasman ve Cutler'in (2013) çalışmalarında gün ışığı analizi yapmakta kullanılmak amacıyla somut kullanıcı arayüzü değerlendirilmiştir. Değerlendirilen araç mimar ve mimar olmayan kullanıcıların katıldığı tasarım ve analiz egzersizlerinin kullanıldığı bir kullanıcı çalışması ile değerlendirilmiştir. Mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanılmak amacıyla geliştirilen sistemde Uzamsal Artırılmış Gerçeklik (UAG/*Spatially Augmented Reality*) yöntemi kullanılmıştır. UAG yöntemi kullanılan sistemlerde bilgisayar yardımıyla üretilen görüntüler kullanıcının izlediği bir ekrana veya giyilebilen görüntüleme cihazının ekranına değil, gerçek ortamda mevcut nesnelere yansıtılmaktadır.

Piyasada bulunan yazılımlar kullanılarak gün ışığı benzetimi yapmak, tasarımcının güncel tasarımı yansıtan ve doğru ve etkin bir benzetim yapılabilmesine olanak verebilecek kalitede bir dijital model hazırlanmasını gerektirdiğinden dolayı çok uzun zaman alabilmektedir. Ayrıca bu benzetimler genellikle tasarım sürecinin son aşamalarında yapılmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar tasarım sürecinin erken

aşamalarında bina performansının değerlendirilmesinde kullanılacak bir modeli üretmek veya model üzerinde değişiklik yapmanın çok kısa süreler içerisinde mümkün olduğu somut kullanıcı ara yüzünün kullanılmasının potansiyellerini incelemişlerdir. Araştırma kapsamında Sheng, Yapo, Young ve diğerlerinin (2011) geliştirdiği mimari gün ışığı benzetimi ara yüzü değerlendirilmiştir. Gün ışığı benzetimini yapan sistem, çalışma alanında bulunan projektörlerle benzetim sonuçlarını çalışma ortamında bulunan fiziksel nesnelerin üzerine yansıtarak yapmaktadır.

Araştırma kapsamında yapılan değerlendirme mimari tasarımda kullanılmak üzere geliştirilmiş somut kullanıcı ara yüzünün hedef kullanıcıları ile ilgili fikir sahibi olmak, sistemin etkinliğini değerlendirmek ve sisteme eklenebilecek yeni özellikler için fikir sahibi olmak amacıyla yapılmıştır. Araştırmacılar değerlendirdikleri sistemin hedef kullanıcıları olarak profesyonel mimarlar, mimarlık öğrencileri, diğer tasarım alanlarında çalışan kişiler ve bu alanların müşterileri olarak tanımlamışlardır. Geliştirilen sistemin kullanılması için önceden çok fazla eğitim alınması gerekmediğinden dolayı doğal gün ışığı kullanılarak aydınlatma yöntemlerinin öğrenilebilmesi için kolaylıkla kullanılabileceği düşünülmüştür. Araştırmacılar bu hipotezlerin test etmek için en az iki yıllık mimarlık eğitimi almış olan altı mimarlık öğrencisi ve başka disiplinlerde eğitim alan yedi öğrencinin katılımıyla birbirini takip eden dört ayrı görevden oluşan bir çalışma kurgulamışlardır. Kullanıcılardan tamamlamaları beklenen birinci görev kullanıcıyı doğal gün ışığından yararlanma ile ilgili düşünmeye sevk etmek ve kullanıcının konuyla ilgili bilgisini ve iç güdülerini değerlendirmeyi hedeflemektedir. Diğer üç görevde ise kullanıcıdan somut kullanıcı ara yüzünü kullanarak gün ışığı benzetimi yapmaları beklenmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü görevler bilişsel gezinti yöntemi kullanılarak ve araçla etkileşim için çalışma gözlemcilerinden yardım alınarak gerçekleştirilmiştir.

Birinci görevde kullanıcılardan gerçek bir odayı doğal ışık alması bakımından incelemesi ve eskizini çizmesi istenmiştir. İkinci egzersizde kullanıcıdan eskizini yaptığı ve incelediği odanın fiziksel modelini yaparak ve somut kullanıcı ara yüzünü kullanarak farklı benzetimlerle mekanı analiz etmesi istenmektedir. Üçüncü egzersizde kullanıcıdan mevcut hacmin doğal ışık alma durumunu iyileştirmek için minör bir revizyon önermesi beklenmektedir. Sonuncu egzersizde ise kullanıcıdan benzer bir programa uygun şekilde doğal aydınlatma öğelerini de kullanarak tamamen yeni bir tasarım önerisi geliştirmesi beklenmektedir.

Kullanıcılardan her görevin tamamlanmasının ardından görev ve performansları ile ilgili düşüncelerini ifade edebilecekleri anketleri tamamlamaları istenmiştir. Tüm çalışma 1 veya 2 saatte tamamlanacak şekilde kurgulanmıştır.

Kullanıcıların büyük çoğunluğu doğal aydınlatmanın etkisini görmekten heyecan duyduklarını belirtmişlerdir. Kullanıcılar somut kullanıcı ara yüzünü kullanmaktan ve araçla gerçekleştirilen benzetimleri görmekten etkilenmiş olsalar da kullanıcıların önerilerindeki doğal ışık farklılıkları, kullanıcıların sistemi kullanma sürecinde mekanın hani durumlarda çok fazla veya çok az doğal ışık alacağı konusunda sayısallaştırılabilecek şekilde doğru bilgi almadıkları görülmüştür. On üç kullanıcıdan 11'i benzetimlerin sonuçlarının beklemedikleri şekilde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Kullanıcıların büyük çoğunluğu geliştirilen sistemi kullanarak tasarım yapmanın ve tasarımlarını revize etmenin kolay ve sezgisel olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu sonuçlardan yola çıkarak geliştirilen sistemin ana avantajının, tasarım yapmanın ve tasarımları ardışık bir şekilde geliştirmenin kolaylığı olduğu sonucuna varmışlardır.

AG teknolojisinden mimari tasarımların analiz edilmesi ve yapılan analizlere göre geliştirilmesi konusunda faydalandığı başka bir çalışmada Fukuda, Yokoi, Yabuki ve diğerleri (2019) yeni restorasyon projelerinin geliştirilebilmesi amacıyla iç mekanların termal performanslarına göre değerlendirilebileceği bir AG tabanlı yöntem önerisinde bulunmuşlardır. mekanların enerji tasarrufu seviyelerinin ve bu mekanlarda yaşayacak olan kişilerin sağlıklarını iyileştirmek amacıyla kullanılacak uygulama anlaşılması kolay görselleştirmeler kullanarak kullanıcıların geliştirdikleri tasarım alternatiflerini termal performansları açısından değerlendirmelerine yardımcı olma amacı taşımaktadır.

Araştırmacılar tarafından önerilen sistem, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD/ Computational Fluid Dynamics) ve AG teknolojisi kullanılarak, BBM modelinin üretilmesi, yüzey üretilmesi, sınırların belirlenmesi, HAD benzetiminin yapılması ve AG görselleştirmesinin üretilmesi olmak üzere beş adımda geliştirilmiştir. Benzetimlerin gerçek ortamda görselleştirilmesini sağlayacak AG uygulamasında kullanıcıların görselleştirme ortamında etkileşimli bir şekilde uygulamayı kullanmaları ve gerek duyulduğunda görselleştirme parametrelerini değiştirmeleri için kullanılacak veri girişi bileşeni olarak bilgisayar oyunu kumandası kullanılmıştır. AG uygulamasında işaretleyici bileşeni olarak çalışma alanı iç mekan olduğundan ve işaretleyici tabanlı izleyiciler kullanım kolaylığı sağladığından dolayı işaretleyici

tabanlı tanıma yöntemi kullanılmıştır. Sistemde kullanılan 0.72x 0.72 m boyutlarındaki işaretleyici odanın merkezinde bulunmaktadır. Ayrıca uygulamayı geniş iç mekanlarda rahatlıkla kullanabilmek ve kullanıcılara hareket özgürlüğü tanımak için sensör tabanlı tanıma sistemi de kullanılmıştır. Görüntüleme bileşeni olarak sistemin AG versiyonunda Oculus Rift, VR versiyonunda ise HTC Vive giyilebilir görüntüleme cihazları kullanılmıştır. Bilgisayar yardımıyla üretilen 3 boyutlu modeller Unity oyun motorunda Ovrvision Pro YGA eklentisi kullanılarak görselleştirilmektedir. Geliştirilen ve bileşenleri açıklanan sistemin hesaplama bileşeni olarak masaüstü bilgisayar kullanılmıştır.

Araştırma kapsamında geliştirilen uygulamanın değerlendirilmesi için kurgulanan vaka çalışmasında ele alınan iç mekanın termal performansını değerlendirilmesinde:

- Bitki kullanılmayan,
- Pencerenin bulunduğu kısımda bitki kullanılan
- Tavanda bitki kullanılan ve
- Bölücü elemanlar olarak bitki kullanılan

olmak üzere dört farklı senaryo incelenmiştir.

Deneyisel çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde iç mekanın termal performansının AG uygulaması kullanılarak değerlendirilmesi önerisinin bir analiz yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. İşveren, mimar veya mühendis olarak tanımlanan kullanıcıların geliştirilen sistemi kullanarak iç mekanın termal performansını incelemek için bir benzetim oluşturabileceği ve oluşturulan benzetimi tasarım alternatiflerinin performanslarını kolaylıkla karşılaştırmak için kullanılabileceği görülmüştür. AG uygulaması sayesinde gerçek çalışma ortamında görselleştirilebilen HAD sonuçlarının kolaylıkla anlaşılabilirdiği ve uygulamanın, tasarım alternatiflerinin daha iyi termal performans sağlayıp sağlamadıkları ile ilgili bilgiyi kullanıcılara aktarabildiği sonucuna varılmıştır. Araştırmanın kullanıcıları kısıtladığı bir nokta olarak HAD analizlerinin hazırlanma süresinin beklenenden uzun olması belirtilmiştir.

Çalışmada değerlendirilen senaryolardan birisi için HAD analizinin hazırlanma süresi 3 saati bulmuş, bu analizin günün farklı saatleri için yapılıp görselleştirilmesinin ise yaklaşık 15 saati aldığı rapor edilmiştir. Alternatif olarak HAD yönteminden daha az doğru sonuç veren ancak hesaplamaların daha kısa sürede yapılabilmesini sağlayan Hızlı Akışkanlar dinamiği yönteminin kullanılabileceği önerisi getirilmiştir.

AG, SG ve Karma Gerçeklik (KG/*Mixed Reality*) gibi genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinde yaşanan gelişmeler mimarlık da dahil olmak üzere birçok endüstriyi etkilemektedir. Her ne kadar genişletilmiş gerçeklik teknolojilerinin tümü kullanıcılarını sarmalayan dijital dünyaların oluşturulmasına olanak tanısalar da gerçek dünyaya ait nesnelerle bilgisayar yardımıyla üretilmiş dijital/holografik 3 boyutlu nesnelerin bir arada deneyimlenebilmesi ve kullanıcılarının çalışma alanlarıyla içgüdüsel ve doğal bir şekilde etkileşime girmesini sağlayan tek teknoloji KG teknolojisi. Araştırmacılar AR sistemlerini gerçek ortamda bulunan nesne veya mekanın üzerine dijital bilginin süperimpoze edilmesi olarak tanımladıktan sonra Karma Gerçekliği kullanıcının görüntüleme cihazı olarak kullandığı giyilebilir görüntüleme cihazları sayesinde bilgisayar yardımıyla üretilen dijital nesnelerin kullanıcının bakış açısında gerçek dünya ile bir aradaymış gibi görselleştirilmesi olarak tanımlamışlardır. Yapılan AG ve KG tanımları arasındaki fark temel olarak kullanılan görüntüleme bileşeninin giyilebilir olması sayesinde kullanıcının bütün görüş açısını kaplayabilecek şekilde olmasıdır.

Carrasco ve Chen (2021) mimari tasarımların geliştirilme aşamasında mimari proje önerilerinin geleneksel 2 boyutlu yöntemler kullanılarak değerlendirilmelerine göre KG teknolojisi kullanılarak değerlendirilmelerinin etkinliğini, kontrol ve deney olmak üzere iki gruba ayırdıkları katılımcılarla (S:42) gerçekleştirdikleri deneysel çalışma ile incelemişlerdir. Katılımcılar, rastgele örneklem seçimi yöntemine göre, araştırmacıların çalışma ile ilgili yayınladıkları reklama olumlu yanıt veren kişilerden oluşmaktadır. Araştırmada tasarımcılar ve işveren arasındaki sohbet biçimindeki görüşmeleri olabildiğince doğru bir şekilde yansıtabilmek için, kısmi olarak düzenlenmiş bir röportaj şeklinde kurgulanan anket soruları kullanılmıştır. Araştırma kapsamında değerlendirilecek mimari proje olarak ofis tipolojisine uygun olan 66 m² büyüklüğünde bir oda kullanılmıştır.

Araştırmada elde edilen veri incelendiğinde tasarımların KG temelli yöntemlerle değerlendirilmesi ile tasarım tercihleri ile ilgili bilgilerin müşteriye % 85 oranında aktarılabildiği, geleneksel 2 boyutlu yöntemler kullanıldığında ise tasarım tercihleri ile ilgili bilgilerin sadece %70'inin müşterilere aktarılabildiği sonucu elde edilmiştir. Aynı zamanda KG teknolojisinin kullanılmasının müşterinin tasarımda kullanılması tercih edilen malzemelerin estetik özellikleri ile ilgili anlayışlarını artırma potansiyelini barındırdığı ve bu sayede inşaat sürecinin son aşamalarında malzeme tercihlerinin müşteriye fiziksel malzeme örneklerinin kullanılması ile açıklanması yönteminin yerine kullanılabileceği belirtilmiştir.

Güncel tasarım ve modelleme programlarının tasarımcılara özellikle erken tasarım aşamasında fikirlerini kolayca paylaşma ve alternatif tasarım olasılıklarını hızlı bir şekilde üretmede destek olma konusundaki eksiklikleri giderebilecek bir teknoloji olarak AG teknolojisinin taşıdığı potansiyelleri inceledikleri çalışmalarında Bayraktar ve Çağdaş (2020) mobil bir AG uygulaması geliştirmiş ve uygulamayı değerlendirmişlerdir. Araştırma projesi kapsamında geliştirilen uygulama Unity oyun motoru ile Google ARCore eklentisi kullanılarak geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirilme sürecinde Google ARCore eklentisinin kullanılmasına karar verilmesindeki ana etken bu eklenti ile işaretleyici kullanılmadan sanal nesnelerin çalışma ortamına tanıtılması ve konumlandırılmasının mümkün olmasıdır. Uygulamada nesne modelleme ve eskiz işlemleri olmak üzere iki ana aktivite gerçekleştirilmektedir. Kullanıcılar biçim üretimi için kendi başlangıç senaryolarını seçebilmekte ve 3B nesne üretimi çalışmalarını üzerinde çalıştığı nesnenin ölçeği ile ilgili daha doğru kararlar verebilmek için gerçek proje alanında yürütebildiği gibi tamamen boş sanal bir alanda da gerçekleştirebilmektedirler. Uygulama kullanılarak 3 boyutlu sanal nesnelerin üretilmesinde tasarım sürecinde değiştirilebilen:

- 3 Boyutlu eskiz (Dijital serbest el çizim ile modelleme)
- Sanal tuğlalar kullanılarak modelleme (Voxel tabanlı modelleme)
- Sanal model yapımı (Kütle modelleme)

olmak üzere üç ana yöntem kullanılabilmektedir.

Geliştirilen uygulamanın değerlendirilmesi için profesyonel deneyime sahip 10 mimar ile gökdelen tipolojisine ait örnek proje listesinden bir proje seçerek, seçtikleri projedekine benzer bir formu modellemeleri istenen bir kullanıcı çalışması gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı çalışmasının tamamlanmasından sonra kullanıcıların süreçle ilgili geri bildirimleri, 5’li Likert ölçeğine göre cevaplanacak 9 soruluk bir ankete verdikleri cevaplar göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Katılımcıların uygulamayı kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım süreci ve sonuç ürünler kullanılan cihazlardan ekran görüntülerinin alınması ile kayıt altına alınmıştır.

Katılımcılardan elde edilen cevapların yorumlanması sonucunda uygulamanın hızlı ve etkin kullanılabilir olması ile ilgili beklentinin karşılandığı görülmüştür. Ayrıca sanal nesnelerin oluşturulma yöntemlerinin karşılaştırıldığı anket ifadeleri değerlendirildiğinde, mimarların daha çok alışık oldukları dijital kalem ile eskiz yapma yönteminin diğer yöntemlere göre daha yüksek puanlar aldığı sonucu elde edilmiştir. Elde edilen sonuç kullanıcıların farklı modelleme yöntemlerinin kullanılması ile ilgili ifadeler ortalamasının üzerinde cevap vermelerine rağmen alışık oldukları metodu kullanmaya yatkın oldukları şeklinde yorumlanabilir.

AG teknolojisinin tasarım sürecinde sadece görselleştirme aracı olarak kullanılmasının ötesinde başka hangi amaçlarla kullanılabileceği ve tasarım sürecinde aktif olarak kullanılmasının diğer tasarım yöntemlerine kıyasla kullanıcılarına nasıl avantajlar sağladığı konusu da mimarlık alanında incelenen konulardan bir diğeridir. Gül (2017b) işaretleyici tabanlı mobil AG uygulaması ve SG uygulaması “Second Life” olmak üzere iki farklı dijital tasarım teknolojisini tasarım süreçlerinde kullanan tasarımcıların kütle üretme stratejilerini protokol analizi yöntemini kullanarak incelemiştir. Katılımcılardan tasarım egzersizlerinde AG ve SG olmak üzere farklı tasarım ortamlarında benzer karmaşıklığa ve benzer inşaat alanına sahip karma kullanım işlevli iki farklı tasarım programına uygun tasarım (ofis ve konut ve ticari) gerçekleştirmeleri istenmiştir. Her tasarım egzersizi 30 dakika sürmüş ve video ile kayıt altına alınmış ve tasarımcıların eylem ve konuşmalarından protokoller üretilmiştir. Üretilen protokoller çalışma için özel olarak geliştirilen kodlama şeması kullanılarak incelenmiş ve kodlanmıştır.

Lisans düzeyinde mimari tasarım eğitimlerinin son yılında olan katılımcılarla (S:6) gerçekleştirilen çalışmanın birinci fazında Unity oyun motorunda Vuforia eklentisi kullanılarak geliştirilen işaretleyici tabanlı bir mobil AG uygulaması kullanılmıştır.

Katılımcıların araştırmanın ikinci fazında kullandığı tasarım ortamı ise çok kullanıcıli işbirliği ne olanak tanıyan 3 boyutlu “Second Life” sanal dünyasıdır. SG ortamında tasarımcılardan SG programının kendilerine sağladığı temel 3 boyutlu geometrileri kullanarak bir ofis kulesi tasarımları istenmiştir.

Gerçekleştirilen analizler sonucunda, kullanılan AG ve SG tasarım ortamlarının işbirlikli kütle çalışması yapma aktivitesinde kullanımında çeşitli farklılıklar gözlenmiştir. AG ortamının kullanıldığı tasarım egzersizinde katılımcıların hizalama ve kütlenin bütünü oluşturur parçaların düzenlenmesi ile ilgilenmek yerine kendilerine verilen mimari programın işlevsel olarak geliştirilmesine, geliştirilen tasarım önerisinin temsili üzerinde jestler kullanılarak etkileşimde bulunmak, kendilerine verilen mimari programda belirtilen parametreler ve bağlamın çerçevesinin oluşturulması ve yeniden ele alınması konularına odaklandıkları görülmüştür.

AG ve SG teknolojilerinin kullanıldığı tasarım araçları ve ortamlarının karşılaştırılmasıyla incelenen ortamların kullanıcılarına sağladığı imkanlar nedeniyle tasarım yapılan ortamın tasarımcının kütle oluşturma stratejisi üzerinde etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Tasarımcıların işbirlikli çalışmalar yürütebilecekleri ortamlarda dijital teknolojilerin kullanılmasının, tasarım sürecinde kullanılan farklı temsil yöntemleri ile etkileşimi ve tasarımcı davranışlarına etkisinin incelendiği çalışmada Gül (2020) dört farklı çalışma ortamını incelemiştir. Analog eskiz yapımı, uzaktan erişimli eskiz, çalışma kapsamında geliştirilmiş MAG uygulaması ve sanal dünyada 3 boyutlu modelleme yaparak gerçekleştirilen tasarımdan oluşan bu dört çalışma ortamı kullanılarak mimarlık bölümü son sınıf öğrencileri ve mimarlık alanında yüksek lisans eğitimlerine devam eden katılımcılarla (S:41) toplam 83 deney gerçekleştirilmiştir.

İki kişilik gruplarla her biri 30 dakika süren deneyler video ve ses kayıt cihazlarıyla kayıt altına alınmış ve katılımcıların tasarım süreçlerine ilişkin toplam 2490 dakikalık kayıt analiz edilmiştir. Farklı çalışma ortamlarında gerçekleştirilecek deneyler için benzer zorlukta fakat farklı bağlamlarda tasarım problemleri tanımlanmıştır. Farklı tasarım problemlerinin ve çalışma ortamlarının uygunluğu gerçekleştirilen pilot çalışmalarla test edilmiştir.

Çalışma kapsamında karşılaştırılan dört farklı çalışma ortamından analog eskiz ortamında katılımcılar aynı masada geleneksel çizim gerçekleri, kalem ve kağıt kullanarak tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir. Uzaktan erişimli eskiz ortamında tasarımcılar aynı ortamda fakat birbirlerini görmeyecek şekilde konumlandırılmış, Groupboard beyaz tahta uygulamasını kullanarak katılımcılardan birisi dijital kalemli geniş ekranlı bir tableti diğeri ise yine dijital kalemle çalışma ara yüzünün yansıtıldığı cam masada tasarımlarını yapmışlardır. MAG ortamında tasarım sürecinde tasarımcılar aynı ortamda fiziki maket ve çalışma ortamının ekran görüntüsü yansıtılan cam masa etrafında çalışmalarını tamamlamışlardır. Katılımcılar ekran görüntüsü paylaştırılan tabletleri kullanarak MAG uygulaması ile gerçekleştirdikleri tasarımlarını fiziksel işaretleyici olarak karekodlar kullanılan MAG yardımıyla fiziksel maket üzerinde gözlemlemişlerdir. Son çalışma ortamı olan sanal dünyada tasarım ortamında ise katılımcılar Second Life programını kullanarak aynı ortamda fakat birbirlerini görmeyecek şekilde konumlandırılarak tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir. Katılımcıların farklı yerde eşzamanlı çalışma kurgusunda aynı yerde fakat birbirlerini görmeyecek şekilde konumlandırılarak çalışmaları kararının alınmasının nedeni, katılımcıların fiziksel olarak farklı mekanlarda çalışmaya katılmaları durumunda gerçekleşebilecek olası bağlantı problemlerinden etkilenmemelerini sağlamaktır.

Farklı çalışma ortamlarında kendilerine verilen tasarım problemine çözüm önerileri geliştiren katılımcıların tasarım süreçleri nitel bir araştırma yöntemi olan protokol analizi kullanılarak incelenmiştir. Aynı yerde ve farklı yerde olmak üzere sırasıyla analog eskiz ve dijital eskiz yöntemlerinin kullanıldığı tasarım süreçlerinin benzer bir şekilde ilerlediği ancak uzaktan erişimli ortamda (dijital eskiz) bireysel çalışmanın daha fazla gerçekleştiği görülmüştür. MAG ve Sanal dünyada tasarım olmak üzere 3 boyutlu modellemeye imkan tanıyan çalışma ortamlarında işbirliği süreçlerinde farklılıklar gözlenmiştir.

Sanal ortamın kullanıcılarına, kullanıcıyı sanal ortamda temsil eden avatarın da çalışma ortamında olması sayesinde sağladığı bedensel sarmalanma olarak da tanımlanan çalışma ortamının içinde olma deneyimi, görsel değerlendirme imkanları ve eylem farkındalığı olarak bu çalışma ortamının sunduğu farklı imkanlar olarak öne çıkmıştır.

Dijital eskiz veya sanal dünyada tasarım olmak üzere uzaktan erişimli ortamların çalışma ortamlarından bağımsız olarak benzer şekillerde işbirlikli tasarım sürecini desteklediği gözlenmiştir.

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde genel olarak çalışma ortamlarının sundukları imkanlar ve barındırdıkları tasarım ve iletişim potansiyellerinin işbirliği yapılan bireylerle ve tasarlanan nesnelerle olan etkileşimi etkilediği görülmüştür. Araştırma sonucunda tasarım sürecinde gelişmiş teknolojik tasarım araçlarının kullanılması ile tasarımı somutlaştırma eyleminin niteliğinin tasarım sürecinde kullanılan ortamın niteliğine göre değiştiği sonucu elde edilmiştir. Başka bir deyişle, 2 boyutlu temsillerin tasarımda temsilin ifadesi ve üretilmesinin öne çıkmasının yanında işleve yönelik ve davranışsal tasarım unsurlarının ve önerilerinin irdelenmesine imkan verdiği, 3 boyutlu temsillerin ise taşıyıcı sistemle ilişkili ve 3 boyutlu modellemenin üretilmesi ve dönüştürülmesi ile ilgili konuların irdelendiği bir temsil ortamı sunduğuna değinilmektedir. Ayrıca aynı ortamda ve uzaktan işbirliği yapma durumlarının kullanılan tasarım ortamından bağımsız olarak tasarımcıların etkileşimlerini etkilediği sonucuna varılmıştır. Aynı mekanlarda çalışmanın bireysel çalışmaya imkan tanıdığı, çevrim içi olsa bile yüz yüze çalışmanın ise işbirliği sürecini desteklediği ve kesintisiz ortak çalışma imkanı sağladığı belirtilmiştir.

2.3.2 Eğitim alanına odaklanılan çalışmalar

Eğitim konusuna odaklanılan çalışmalarda AG teknolojisinin kullanımının tasarım alanındaki geleneksel eğitim yöntemlerine göre avantajlarının ve peyzaj mimarlığı alanında eğitim alan öğrencilerin (Hussein, 2022; Kerr ve Lawson, 2020), mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitimi alan öğrencilerin (Rierave diğ., 2014), ve iç mimarlık alanında (Chang ve diğ., 2020) eğitim gören öğrencilerin eğitim süreçlerine etkilerinin incelendiği görülmektedir.

Hussein (2022) AG teknolojisinin peyzaj mimarlığı eğitimi alan öğrencilere ilgi çekici bir öğrenme ortamı sunarak öğrencilerin çevre tasarımı konusundaki bilgilerini artırmalarına yardımcı olabileceği öngörüsünden yola çıkarak araştırmasını kurgulamıştır. Araştırma kapsamında geliştirilen mobil AG uygulamasında çalışmanın gerçekleştirildiği peyzaj mimarlığı alanı dış mekanla ilgili bir alan olduğundan dolayı, dış mekanlarda kullanılmaya elverişli olan fiziksel olmayan işaretleyicilerin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen AG uygulaması ticari olmayan amaçlarla bedelsiz olarak kullanılabilen akıllı telefon ve tabletlerde kullanılabilecek uygulamaların geliştirilmesine olanak tanıyan Unity oyun motorunda C++, C# ve Javascript yazılım dilleri kullanılarak geliştirilmiştir. AR-Scape adı verilen uygulama ARCore eklentisi kullanılarak, sadece yatay düzlemleri tanıyan işaretleyicisiz bir AG uygulamasıdır. Geliştirilen uygulama arka kameraya sahip Android işletim sisteminin kullanan akıllı tablet ve telefonlarda çalışmaktadır.

Araştırma kapsamında geliştirilen mobil AG uygulaması, Mısır'da bulunan Port Said Üniversitesi 4. Sınıf mimarlık öğrencilerinin (S:29) katıldığı ve ön test-son test kurgusunun kullanıldığı bir deneysel çalışma ile test edilmiştir. Çalışmanın katılımcılarından AG uygulamasını kullanarak peyzaj mimarlığı eğitiminin etkinliğinin geliştirilmesinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilen egzersizleri tamamlamaları beklenmiştir. Bu egzersizlerde katılımcıların farklı tasarım elemanlarının ve tasarım yaklaşımlarının mekan organizasyonlarında kullanılmalarının mekan ve kullanıcılar üzerindeki etkilerini değerlendirmeleri beklenmiştir. Katılımcılar değerlendirmelerinde ilki öğrencilerin uygulamayı kullanmadan önce ve sonra peyzaj tasarımına ilişkin bilgilerinin karşılaştırıldığı, ikincisi geliştirilen uygulamanın peyzaj tasarımında kullanılmasının avantaj ve dezavantajlarının tanımlanmasında kullanılan ve üçüncü bölümü de öğrencilerin eğitimlerinde AG uygulamalarını kullanmakla ilgili düşüncelerinin elde edilmesi için hazırlanmış üç bölümden oluşan 11 soruluk anketi kullanmışlardır. Çalışma gözlemci tarafından kontrol edilen katılımcıların gelişimleri ve ankete verdikleri cevapların değerlendirmesi ile ölçülmüştür.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre AG teknolojisi ile birlikte geleneksel öğrenme yöntemlerinin kullanılmasının peyzaj mimarlığı eğitiminde faydalı olarak algılandığı ve genel olarak eğitime pozitif bir katkısının olduğu belirtilmektedir.

Artırılmış gerçeklik teknolojisinden mimarlık ve inşaat mühendisliği eğitimi konusunda faydalanılması üzerine yapılan çalışmalardan bir diğeri olan Riera, Redondo ve Fonseca'nın çalışmalarında (2014) eğitimsel içeriklerin gerçek ortamda görselleştirilmesinin öğrencilerin kendi ürettikleri mimari tasarım önerilerini değerlendirmelerinde ve mekansal becerileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırmacıların kullanılmasını önerdikleri yöntem 3 boyutlu çoklu ortam içeriğinin mobil cihazlarda kullanımını ve bu içeriğe farklı kullanıcıların erişmesini kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında geliştirilen uygulama açık mekanda sanal bilginin kullanılması için Layar platformunda Coğrafi Konumlandırma Sisteminden (CKS) (*Geographical Positioning System/GPS*) faydalanmaktadır. İşbirliğinin kullanıldığı yeni öğrenme yöntemleri eğitim için çoklu ortam içeriğinin kullanılmasında yeni potansiyeller barındırmaktadır. Bu nedenlerle araştırmacılar çalışmalarında AG teknolojisinden paylaşılan fiziksel çalışma alanını zenginleştirmek ve 3B bilgisayar destekli işbirliğini destekleyecek ortak bir arayüz geliştirmek amacıyla faydalanmışlardır.

Araştırma kapsamında geliştirilen araçta kullanıcılara sunulacak bilginin yönetilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) (*Geographical Information System/GIS*), yüz yüze ve uzaktan gerçekleştirilecek işbirliğinin sağlanması için AG teknolojisi ve etkileşim için farklı mobil cihazlar kullanılmıştır. Yazılım olarak ise bahsedilen tüm özellikleri destekleyecek kapasitedeki açık kaynaklı Layar yazılımı kullanılmıştır. Yazılım seçiminde Layar yazılımının tüm mobil işletim sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışabiliyor olması ve açık alanlarda yeterince kesin bir şekilde çalışabilmesini sağlayan CKS'yi destekliyor olması etkili olmuştur.

Araştırma kapsamında Barcelona Teknik Üniversitesi'nde Mimarlık ve Kentsel Planlama bölümünde "Mekansal Analizde Bilgi ve İletişim Teknolojileri Uygulamaları" dersini alan öğrencilerin katılımıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan proje yürütücülerinin kendilerine temin ettiği teknik çizimleri ve SketchUp ve 3dsMax programlarının ücretsiz sürümlerini kullanarak kütsel modeller yapmaları ve gerçek bina bileşenlerinin malzemelerini kullanarak bu modellere malzeme atamaları istenmiştir. Üç gruba ayrılan

katılımcılardan birinci gruba dahil katılımcılar kampüsteki mevcut binaları, ikinci ve üçüncü gruba dahil olan katılımcılar ise üçer adet yeni projeyi modellemişlerdir. 3B modelleri dijital olarak hazırlanan tasarım önerileri AG uygulamasında görselleştirilecek biçimde “.obj” uzantısına sahip olarak hazırlanmış ve kampüs içerisinde bulunan proje alanlarının koordinatları ile ilişkilendirilmiştir. Katılımcılar AG uygulamasını ve görselleştirilecek içeriği mobil cihazlarına yükledikten sonra her grup diğer grubun çalışmalarını ait oldukları proje arazilerinde incelemişlerdir.

Katılımcılar diğer grupların projelerini inceledikten sonra araştırmacıların oluşturduğu anketleri cevaplayıp, inceledikleri tasarım önerilerinin görünüşü, çevreye etkisi ve ölçeği gibi özellikleri ile ilgili yorumlarını sisteme kaydetmişlerdir. Araştırmada kullanılan birinci ankette katılımcılar AG teknolojisinin kullanımı ve sistemin kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. İkinci anket kapsamında ise yeni tasarlanan binaların farklı özellikleri değerlendirilmiştir. Geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için faydalanan ankette kullanılan ifadeler, ISO-9241-11 standartları temel alınarak arazide cevaplanmak üzere geliştirilmiştir.

Araştırmanın tüm katılımcıları (S:11) 3 boyutlu modellerini ürettikleri tasarım önerilerini kendilerine tanımlanan proje alanlarında mobil cihazlarını kullanarak görselleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda öncelikle mobil cihazlarda gözlenen gelişmeler sayesinde bu araçların AG teknolojisinin mimarlık ve inşaat sektöründe kullanılması için faydalı araçlar haline geldiği belirtilmiştir. Kullanılabilirlik çalışmasının sonuçları mobil cihazların sağladıkları düşük seviyedeki sarmalanma hissi ve bu cihazların ekranlarının boyutlarının ufak olmaları nedeniyle kullanıcılara kısıtlı etkileşim imkanı tanımalarına rağmen bu cihazların yeteri kadar kullanılabilir kabul edilebileceğini göstermiştir.

AG teknolojisinin görselleştirme konusunda kullanıcılarına sunduğu avantajlardan tasarım eğitimi konusunda faydalandığı Kerr ve Lawson'ın (2020) çalışmalarında peyzaj tasarımı konusunda Lisans düzeyinde eğitimlerinin birinci yılındaki öğrenciler ve tasarım disiplininin dışındaki kişilerin peyzaj mimarlığı konusundaki temel prensipleri öğrenmeleri amacıyla “Master of Time” adını verdikleri bir AG uygulaması geliştirmişlerdir. Geliştirilen uygulamanın kullanılacağı proje arazisi olarak Queensland Teknoloji Üniversitesi (QTÜ) kampüsüne yakınlığı ve tarihsel öneme sahip peyzaj tasarımı nedeniyle Brisbane Botanik Bahçeleri seçilmiştir. Araştırma projesi kapsamında geliştirilen uygulamanın olabildiğince fazla kullanıcıya

ulaşabilmesi, özellikle sadece QT ’de eēitim gören birincil kullanıcı gurubunun yanında ulusal ve uluslararası turistler ve peyzaj bölümünde eēitim almayı düşünen kişilerin de uygulamayı kullanma fırsatı bulmalarını saēlamak için uygulama Google ve Apple uygulama maēazalarından mobil cihazlara yüklenebilir hale getirilmiştir. Uygulamanın geliştirilmesinden sorumlu ekip, sıfırdan tüm özellikleri özgün bir şekilde tasarlanıp geliştirilmiş bir uygulama geliştirmektense kendini kanıtlanmış ve kullanılabilir olduēu bilinen bir uygulama platformunu kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu nedenle daha önceden geliştirilmiş ve kullanımda olan “Story City” adlı uygulamanın tasarım prototipi kullanılmıştır. Uygulamanın geliştirilmesi amacıyla öykü anlatıcılıēı deneyimi ve özgün, birden fazla duyuya hitap eden kullanıcı deneyimi sunulması konularına odaklanmış iki  alıştay düzenlenmiştir. Çalıştaylar sonucunda geliştirilen uygulamanın kullanıcıya altı farklı konumda kısa hikaye tabanlı videoları izleme imkanı sunan bir kullanıcı deneyimi vermesine karar verilmiştir. Kullanıcıları belirlenen konumlara mobil cihazlarını kullanarak uygulama içerisinde bulunan anlatıcının yönlendirmeleri ile ulaşmaktadırlar. Uygulama kullanıcının istenen konuma ulařtıēını doēruladıēında hikayenin bir sonraki bölümünü aktif hale getirmekte ve hikaye ilerlemektedir. Uygulama kullanıcılara videoların yanında yazı yoluyla da destek vermektedir.

Uygulama prototipinin çalışır hale gelmesinden sonra uygulamanın deēerlendirilmesi uygulamayı geliştiren ekip, QT   alışanları ve  ērencilerden oluşan gönüllü katılımcılar tarafından bireysel veya gruplar halinde gerçekleştirilmiştir. Toplamda 7 kullanıcı ile gerçekleştirilen çalışmada kullanıcıların uygulamayı kullanma deneyimleri sözlü olarak kayıt altına alınmış ve bu kayıtlar uygulamanın daha sonraki sürümlerinin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Katılımcıların geri bildirimleri deēerlendirildiēinde tüm katılımcıların uygulamayı özgün ve ilgi çekici bir  ērenme temelli uygulama olarak başarılı buldukları sonucu elde edilmiştir. Katılımcıların tümü uygulamayı kullanarak farklı konumlar arasında yaptıkları gezintiden büyük keyif aldıklarını belirtmişlerdir. Elde edilen geri bildirimlerine göre katılımcıların uygulamayı kullanmanın  ērenim için deēerli bir yöntem olarak gördükleri ve uygulamanın kendilerine saēladıēı sarmalayıcı deneyim sayesinde doēal mekanlar ve bu mekanların nasıl tasarlandıēı ile ilgili düşüncelerinin deēiřtiēi sonucuna varılmıştır. Peyzaj mimarlıēı alanında eēitim almayan katılımcıların peyzaj mimarlıēında faydalanılan temel prensipleri anlamaya

başladıklarını belirtmeleri uygulamanın kullanıcıların eğitimi konusunda olumlu bir etkisinin olduğu sonucunu desteklemektedir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde AG teknolojisinde eğitim alanında faydalanılması ile gerçekleştirilebilecek eğitim modelinin öğrenciler için ilgi çekici olacağı ve teorik bilgilerin alanda uygulanmasını daha başarılı bir hale getireceği öne sürülmüştür.

AG teknolojisinin tasarım eğitiminde kullanılmasının barındırdığı potansiyellerin incelendiği çalışmada Chang, Hu, Chiang ve diğerleri (2020) AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen bir mobil AG uygulamasının iç mimarlık alanında eğitim gören öğrencilerin öğrenme süreçlerine katkısını incelemişlerdir. Araştırma kapsamında geliştirilen Mobil Artırılmış Gerçeklik (MAG) uygulaması kullanıcıların tasarım önerisi olarak geliştirdikleri 2 boyutlu teknik çizimlerin üzerine sandalye veya masa gibi 3 boyutlu sanal nesnelerin yerleştirilmesine ve bu nesnelerle çeşitli etkileşimlerde bulunulmasına olanak vermektedir. Geliştirilen uygulama ile kullanıcıların alternatif tasarım önerilerinde bulunmak için verdikleri kararları gerçek zamanlı bir şekilde deneyimleyebilmeleri ve kullanıcıların iç mekan tasarımı ile ilgili mekansal algılarını /farkındalıklarını geliştirmeleri ön görülmektedir. Araştırma kapsamında geliştirilen uygulamanın doğrulaması, John Keller'ın (1987) geliştirdiği Dikkat (*Attention*), Alaka (*Relevance*), Güven (*Confidence*) ve Memnuniyet (*Satisfaction*) öğrenme motivasyon modeli kullanılarak yapılmıştır. Böylelikle öğrencilerin istekleri ve MAG uygulamasının öğrencilerin öğrenme becerilerini ne derece geliştirdiği incelenmiştir.

Araştırma kapsamında geliştirilen uygulamanın AG teknolojisinin potansiyellerinden geniş bir kullanıcı kitlesinin faydalanabilmesi amacıyla akıllı telefon ve tabletlerle kullanılabilecek bir şekilde MAG uygulaması şeklinde geliştirilmesine karar verilmiştir. AG uygulaması benzer araştırma projelerinde de kullanılması tercih edilen Unity oyun motoru ve Vuforia eklentisi kullanılarak geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirilme sürecinde Grafik Kullanıcı Arayüzü (GKA) bileşenlerinin Unity programı kullanılarak düzenlenmesine ve Unity programı kullanılarak yazılan kodlarla kullanıcının uygulamayı kullanarak 3 boyutlu sanal nesnelerle etkileşim içerisinde bulunabileceği bir kullanıma deneyimi sağlanmasına önem verildiği belirtilmektedir. MAG uygulamasının izleyici bileşeni olarak 2 boyutlu teknik çizimlerin tanınmasında daha başarılı olacağına karar verilen işaretleyici tabanlı bir sistem kullanılmıştır.

Kontrol (S:48) ve deney (S:52) olmak üzere iki gruba ayrılan katılımcılarla yapılan deneysel çalışmada öğrenmenin göstergeleri olarak, öğrenmeye karşı ilgi, güven, memnuniyet ve etkinlik parametreleri kullanılarak MAG uygulamasının etkinliği ölçülmüştür. Katılımcılarla gerçekleştirilen deneysel çalışma kontrol ve deney gruplarının homojenliğini kontrol etmek için kullanılan anket değerlendirmesi ve çalışma tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen bir anket değerlendirmesi şeklinde kurgulanmıştır. Anket değerlendirmelerinde öğrencilerin (katılımcıların) iç mimarlık planlarına ilişkin bilişsel farkındalık dereceleri, iç mimarlık projelerinde kullanılan sembollerini tanıma becerileri ve iç mimarlık projelerinin planlarını tanıma ve yorumlama becerileri ölçülmüştür.

Geliştirilen MAG uygulamasının katılımcıların DAGM öğrenme motivasyon modeli kullanılarak öğrenme süreçlerine etkisinin değerlendirilmesi için ise 5'li Likert ölçeğine göre hazırlanan 20 soruluk anket kullanılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirildiğinde MAG uygulamasını kullanan deney grubu katılımcılarının öğrenme etkinliklerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Gerçekleştirilen korelasyon ve regresyon analizlerinin sonuçlarına göre MAG uygulamasının tasarım yöntemleri ve eğitiminde kullanılmasının öğrencilerin eğitime olan ilgilerine (dikkat), öğrenim davranışlarına (güven), öğrenim memnuniyetlerine (memnuniyet) ve öğrenim çıktılarına pozitif etkisinin olduğu sonucu elde edilmiştir. Bu nedenle MAG teknolojisinin öğrencilerin doğru tasarım kararları vermelerinde faydalı olduğu ve öğrencilerin iç mimarlık öğrenme becerilerini geliştirdiği sonucuna varılmıştır.

2.3.3 İnşaat, bakım ve onarım konularına odaklanılan çalışmalar

İnşaat, bakım ve onarım konularına odaklanılan çalışmalarda ise; modüler bina bileşenlerinin imalatı (Fazel ve Izadi, 2018; Mitterberger ve diğ., 2020); AG teknolojisinin BBM yazılımları ile birlikte kullanılmalarının kullanıcılarına sunduğu avantajların incelenmesi (Rohil ve Ashok, 2022); BBM ile entegre çalışan AG uygulamalarının tasarım ve inşaat sürecinde şantiye çalışanlarının görevlerini gerçekleştirirken etkinliklerine etkilerinin incelenmesi (Chu ve diğ., 2018), ve AG teknolojisinden faydalanılarak inşaat sürecinin farklı aşamalarında bina bileşenlerinin arazide görselleştirilmesinin karar verme süreçlerine etkilerinin (Sangiorgio ve diğ., 2021) incelendiği görülmektedir.

Tasarım alanında geliştirilen önerilerin görselleştirilmesi amacıyla AG teknolojisinden faydalanılan çalışmalardan Rohil ve Ashok (2022) tarafından gerçekleştirilen araştırmada BBM yazılımları kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu modellerin kent dokusu içerisinde görselleştirilmesi için kullanılan yaklaşımlar incelenmiştir. Araştırmacılar kentsel planlama alanında AG teknolojisinin kullanımının göz alıcı ve ilgi çekici sunumlar oluşturma ötesinde proje alanının mekânsal özelliklerinin okunmasını kolaylaştırması nedeniyle planlama ve tasarlama etkinliklerinin etkileşimli bir şekilde yürütülmesini sağlayacağını, yükleniciler açısından inşaat süreci başlamadan önce projenin kontrolünde kolaylık sağlayacağını, binalarda tahmin edilemeyen tehlikelerin direkt insan etkileşimi gerektirmeden çözümünün sağlanmasıyla iş alanında güvenliği artırabileceğini ve yeni çalışanları tehlikeli ekipmanlarla birebir çalışma zorunluluğu olmadan eğitebilme imkanı verebileceğini öne sürmüşlerdir. Çalışma kapsamında araştırmacılar tarafından BBM yazılımı kullanılarak geliştirilen 3 boyutlu bina modeli gerçek çevrede AG uygulaması kullanılarak görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir.

Fazel ve Izadi (2018) araştırmalarında gündelik kullanımda olan ulaşılabilir cihazlarda çalışabilen interaktif ve çok işaretleyicili AG uygulaması kullanılarak modüler serbest biçimli yüzeylerin düşük maliyetli bir şekilde üretilme olasılığını incelemişlerdir. Çalışmanın hedefine uygun olarak serbest biçimli yüzeylerin tuğla gibi modüler elemanlar kullanılarak üretilmesi için modüllerin uzaydaki belirli pozisyon ve yönelimlerinin belirlenmesinde kullanılacak inşaat planlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen inşaat planları geleneksel çizim yöntemleri kullanılarak elle veya endüstriyel robotlar kullanılarak dijital olarak üretilmektedir. Ancak bu planların

üretilmesinde bu yöntemlerin kullanılmasının; geleneksel yöntemlerle bu planların üretilmesinin işlemin kabul edilebilir bir maliyetle yapılması mümkün olmamasından dolayı; endüstriyel robotlar kullanılmasının ise robotların ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek olmasından dolayı, çeşitli kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu kısıtlamalardan ve yüksek maliyetlerden etkilenmeden serbest biçimli yüzeylerin inşa edilebilmesi için araştırmacılar, AR teknolojisinin potansiyelinden yararlanarak, giyilebilen görüntüleme cihazı ile her modülün sanal olarak kullanıcıya inşaat planında nerede konumlanması gerektiği bilgisini aktarmayı önermişlerdir.

Araştırma projesi kapsamında geliştirilen AG uygulaması “ARToolKit” YGA kullanılarak “Processing 3.0.1” yazılım dilinde yazılmıştır ve OpenCV kitaplığından faydalanmaktadır. Ayrıca yapılan ilk testlerde elde edilen sonuçları geliştirmek ve sistemin doğruluk ve hızını iyileştirerek insan hatalarını azaltmak amacıyla “Canny” köşe belirleme tekniği temel alınarak bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen AG sisteminin donanım bileşenleri temel olarak, veri girişi için kullanılan kayıt cihazı, görselleştirme cihazı ve işaretleyicilerden oluşmakta ve sistem telefon gibi kompakt akıllı mobil cihazlarda kullanılabilmektedir. Son olarak geliştirilen sistemin doğruluğu beş bire bir ölçekli prototip üzerinde denenerek analiz edilmiştir.

AG uygulamasında veri girişi aracı olarak diğer AG uygulamalarından farklı olarak biri hesaplama cihazı olan bilgisayarın üzerinde, diğer ise giyilebilen görüntüleme cihazının üzerinde olmak üzere iki farklı kamera aynı anda kullanılmıştır. Bilgisayarın üzerinde bulunan sabit kameranın inşaat alanını tamamen görebilecek bir noktaya yerleştirilerek mobil kameranın (dolayısıyla kullanıcının) ve sanal nesnelerin bulunduğu lokasyon ve yönelimlerini hesaplamaktadır. Geliştirilen AG sisteminde 100x100 mm boyutlarında sistemin bulunduğu koordinatları tanımlamaya yarayan İşaretleyici1 ve 50x50 mm boyutlarındaki giyilebilen görüntüleme cihazının üzerinde bulunan İşaretleyici2 olmak üzere QR kodlarının kullanıldığı iki ayrı boyutta işaretleyici kullanılmıştır. Sistemde kullanıcının ellerini serbest olarak kullanmasını sağlamak amacıyla düşük maliyetli giyilebilen görüntüleme cihazı kullanılmıştır. Sistemin AG kodlarının çalıştırılmasından sorumlu hesaplayıcısı standart bir dizüstü bilgisayardır. Bilgisayar ortamdaki görsel veriyi analiz ederek kablosuz internet ağı üzerinden görselleştirme cihazına aktarmaktadır.

Geliştirilen AG sisteminin üretim hızı ve doğruluğu açısından mimarlık alanında uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla vaka çalışması olarak iki duvar ve üç kolon olmak üzere toplamda beş adet, serbest biçimli gerçek yapı bileşenleri tuğladan inşa edilmiştir. İnşa edilecek serbest formlu yapı bileşenlerinin yapı malzemesi olarak kullanılan tuğlaların konum ve yönelimlerdeki farklar ve her tuğla sırasındaki kendine özgü örüntü nedeniyle bu formları geleneksel çizim veya şablonları kullanarak inşa etmek hem çok maliyetli hem de bir çözüm etkin değildir. Her vaka çalışmasında bir kişi çalışacak şekilde, 2'si lise 3'ü üniversite mezunu olan ve bu şekilde bir formu inşa etme konusunda hiç veya kısıtlı deneyime sahip toplam 5 kişi çalışmaya katılmıştır.

Geliştirilen sistemin doğruluğu inşa edilen bina bileşenini oluşturan katmanlarda bulunan tuğlaların pozisyonlarının, 3 boyutlu modelleme programı kullanılarak üretilen modelde bulunan sanal nesnelerin pozisyonlarının karşılaştırılması ile değerlendirilmiştir. Beş ayrı vaka çalışmasında inşa edilen 1416 modüldeki hatalarının %91'inin yatay yerleştirme için 6mm, yönelim için ise 2°'den az olduğu belirtilmiştir.

Araştırma kapsamında AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen sistemin, benzer sistemlere göre 5–10 kat daha ucuz olduğu, dijital mimari fabrikasyon standartlarına göre hata payı kabul edilebilir sınırların içerisinde kalarak imalat yapabildiği ve inşaat süresi açısından robot kullanılan fabrikasyon yöntemlerinden bir miktar daha hızlı olduğu sonuçları elde edilmiştir.

Benzer bir şekilde Mitterberger, Dörfler, Sandy ve diğerleri (2020) robotik fabrikasyon yöntemi kullanılarak imalatlarda elde edilebilen geometrik karmaşıklık ve kesinliğe AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen bir sistemle ulaşılabileceği hipotezini test etmişlerdir. Bina ölçeğinde dijital imalat konusunda geleceğin tekil görevlerin tamamen otomatik hale gelmesi olmadığına, aksine insanlarla makinelerin aynı çalışma ortamında çeşitli görevleri ortak amaçlara ulaşmak için paylaşarak ve iş birliği yaparak tamamlamaya çalışmaları olduğu görüşünü paylaşan araştırmacılar işaretleyici kullanmadan nesne takibi için pozisyon tahmini yapabilen bir AG sistemi geliştirmişlerdir. Araştırma projesi kapsamında geliştirilen AG sistemi Yunanistan'da bulunan bir bağ evinin cephesinin tuğla kullanılarak inşa edilmesinde kullanılarak test edilmiştir. AG sisteminin geliştirilmesinde Fazel ve Izadi'nin geliştirdiği AG sisteminde de kullanılan ve nesnelerin konumlarının takip ve tahmin edilmesinde faydalanan sınır tahmini yöntemi kullanılmıştır. AG sisteminde kullanılan kesinliği

yüksek nesne tanımlama ve takip sistemi sayesinde planlanan ve inşa edilen nesnelere ilişkin veriler gerçek zamanda tahmin edilerek kullanıcılara dinamik olarak inşaat talimatları özel olarak tasarlanmış kullanıcı ara yüzü kullanılarak iletilebilmektedir. Başlangıçta tek kişinin kullanacağı giyilebilen bir AG sistemi olarak tasarlanan sistem kullanıcının sürekli hareket halinde olması ve kamera tarafından sisteme beslenen imgenin kullanıcının elinin görüş açısına girmesi nedeniyle engelleniyor olması gibi teknik zorluklar nedeniyle yeniden kurgulanmıştır. Son aşamada AG sistem tuğla ören kullanıcı ve operatörden oluşan iki kişilik bir takımın kullanacağı şekilde güncellenmiştir. Operatör tuğla ören kullanıcıyı yönlendirecek biçimde AG sistemini taşımakta ve kullanmaktadır. Operatör ve tuğla örme işiyle görevli kullanıcı görselleştirme platformu olarak kullanılan mobil ekranı ortak olarak kullanmakta ve süreç boyunca iletişim halinde bulunmaktadır. Operatör el kamerası ve atalet ölçüm ünitesini (*inertial measurement unit*) kullanarak kullanıcının dinamik olarak konumunu takip etmekte ve veri girdi bileşeni olarak; yerleştirilen tuğla, yerleştirilen tuğlayı silme ve yerleştirilen tuğlayı geri alma gibi işlemleri yapmakta kullanılan kumandayı kullanmaktadır. Hesaplama bileşeni olarak operatörün sırtında bulunan dizüstü bilgisayar ve sadece görselleştirme işlemi için kullanılan ikinci bir dizüstü bilgisayar kullanılmaktadır. Hesaplama ve görselleştirme işlemlerinin ayrı bilgisayarlar tarafından üstlenilmesi ile hesaplama ve görselleştirme işlemleri arasındaki gecikme azaltılmış ve ayrıca operatörün serbestçe hareket etmesi sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda oluşturulan görsel, sahada bulunan ekran üzerine aktarılmaktadır.

Araştırma kapsamında geliştirilen AG uygulamasının başarı ile kullanılabilmesindeki en önemli etken olan kullanıcı arayüzü, uygulamaya özel olarak tuğla örmekle görevli kullanıcının alışkın olduğu jestlerin temel alındığı oyunlaştırma yaklaşımı kullanılarak geliştirilmiştir. AG uygulaması kullanılarak tuğla cephe elemanının inşa edilmesi görevinde öncelikle kullanıcıya boş, yarı dolu ve dolu olarak görselleştirilen sanal mala ikonlu ile kullanması gereken harç miktarı AG sistemi üzerinde görselleştirilmektedir. İkinci adım olarak tuğlanın yerleştirilmesi gereken konumu kırmızı bir dış çizgi şeklinde kullanıcıya aktarılmaktadır. Son olarak ise kullanıcının tuğlayı istenilen konuma getirmesi için tuğlaların hangi bölgelerine hangi şiddette vurması gerektiği görselleştirilmektedir. Tuğla istenen konuma gelene kadar bu bilgi ekranda dinamik olarak gerekli düzeltmeler yapılarak görselleştirilmektedir.

Geliştirilen AG sistemin sahada kullanılabilmesi için farklı tabletler ve giyilebilen görselleştirme araçları denenmiş ancak uygulanmasına karar verilen saha çalışmasında en etkin kullanılacak görselleştirme yönteminin ekran tabanlı bir görselleştirme yöntemi olduğuna karar verilmiştir.

Geliştirilen sistemin değerlendirildiği saha çalışmasında 5x5 ve 5x3 olmak üzere iki farklı boyutta tuğlalardan oluşan ve toplam 13596 tuğlanın kullanıldığı, binaya ısı ve havalandırma sağlaması için delikli olarak tasarlanan bir cephe inşa edilmiştir. İnşaat sürecinde iki takım iki ayrı AG sistemini kullanmışlardır. Takımlar biri tuğla örmekle görevli kullanıcı, biri operatör ve biri de asistan olan üçer kişiden oluşmaktadır. Tuğla örücü ve operatör tuğlaları yerleştirip sistemi kullanırken, yardımcı harç hazırlamak ve birleşim yerlerindeki fazla harçları temizlemekle görevlendirilmiştir. Toplamda üç ay süren inşaat süreci sonunda kullanıcı ara yüzü, çalışma sonrası kurgusuyla gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışması ile analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre uygulamayı kullanırken yardım almayan acemi kullanıcılar uygulamayı kullanırken yardım alan kullanıcılardan daha kötü bir deneyime sahip olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca kullanıcıların performanslarının uygulamayı kullanma sürelerinin artmasıyla doğru orantılı olarak arttığının gözlemlendiği belirtilmiştir.

AG teknolojisinin görselleştirme konusunda kullanıcılarına sunduğu avantajların incelendiği Sangiorgio, Martiradonna, Fatiguso ve diğerlerinin (2021) çalışmalarında AG teknolojisi, büyük miktarda görsel veriden faydalanılarak karar verme aşamasında kullanılmıştır. Araştırmacılar inşaat sürecinin farklı aşamalarında karar vericiler tarafından performans kriterlerinin nesnel bir şekilde değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Analizi (MCDA/Multi-Criteria Decision Analysis) ve özellikle Analitik Hiyerarşi Süreç (AHP/Analytic Hierarchy Process) yöntemlerini desteklemek için AG teknolojisinde etkin bir şekilde faydalanılabileceği düşüncesini incelemişlerdir. Araştırma kapsamında karar verme sürecinde kullanılacak kriterlerin ağırlıklarına karar vermek için yapılacak değerlendirmede görsel bir yaklaşım kullanılması olarak açıklanan Simos-Roy-Figuera (SRF) yöntemi (Figueira ve Roy, 2002) AG uygulaması ile birlikte kullanılacak şekilde adapte edilmiştir.

Araştırma kapsamında geliştirilen yaklaşım kullanılarak tanımlanan kriterleri en iyi şekilde karşılayacak bina bileşenlerinin seçilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Vaka çalışması olarak Güney İtalya’da bulunan bir binanın cephesinin termal performansı yüksek yeni nesil deneysel prekast beton panellerle yenilenmesi yapılmıştır. Çalışmanın geçerliği araştırma kapsamında geliştirilen AG temelli Karar Verme Aracı, klasik Analitik Hiyerarşik Süreç ve onun iyileştirilmiş iki farklı sürümü karşılaştırılarak sağlanmıştır.

Araştırmacıların kullanılmasını önerdikleri yöntemin dört adımı bulunmaktadır. AG temelli Karar Verme Aracı olarak tanımlanan uygulamanın (AG-KVA) kullanılmasında birinci adımını, Analitik Hiyerarşik Süreç izlenerek problemin içerdiği makro-kriterler, kriterler ve alternatifler olarak alt bölümlere ayrılan parametrelerin akış diyagramı kullanılarak ifade edilmesi oluşturmaktadır.

Uygulamayı kullanmanın ikinci adımında bilgisayar yardımıyla sanal 3 boyutlu modellerin geliştirilmesi için gerekli AG ortamı hazırlanmaktadır.

Uygulamayı kullanmanın üçüncü adımında karar verici geliştirilmiş SRF temelli yöntemi kullanarak parametreleri aşağıdaki bölümde açıklanan üç aşamaya göre değerlendirmektedir:

- Birinci AG aşamasında karar verici 3 boyutlu modelleri ön sıralamaya sokmaktadır.
- İkinci AG aşamasında karar verici 3 boyutlu modelleri çiftler halinde değerlendirmektedir.
- Üçüncü AG aşamasında ise yerel ağırlık değerlendirmesi yapılarak elde edilen sonuçlar SRF teorisi ve yerel tutarlılık testi kullanılarak doğrulanmaktadır.

Üçüncü aşama tüm parametrelerin ağırlıklarına karar verilinceye kadar tekrarlanmaktadır. Üçüncü adımda gerçekleştirilen tüm değerlendirmeler bilgisayar tarafından üretilmiş 3 boyutlu sanal modelleri kullanılarak AG çalışma ortamında yapılmaktadır.

Uygulamayı kullanmanın dördüncü aşamasında tüm parametrelerin ağırlıklarına karar verilmiş ise önceliklerin sentezi yapılarak genel ağırlıklar elde edilmektedir.

Uygulamayı kullanmanın ikinci adımında analiz için üretilen 3 boyutlu modeller; değerlendirilmesi planlanan parametrelerin isimleri, 3 boyutlu modelin planı, parametrenin daha iyi anlaşılabilmesi için gerekli niteliksel açıklamalar, tipolojik, karakteristik, işlevsel veya ekonomik olabilecek niteliksel veri, ürünün avantajları ve dezavantajları gibi bilgileri barındırmaktadır.

Önerilen sistemin etkinliğinin değerlendirilmesi için yapılan vaka çalışması 258 m² taban alanına sahip, bir bodrum kat ve iki kattan oluşan içerisinde 4 bağımsız bölüm bulunan 1958-1963 yılları arasında inşa edilmiş bir konut yapısının prekast beton paneller kullanılarak yenilenmesi projesidir. Araştırmacılar tarafından kullanılması önerilen yöntemin birinci adımında seçilen vaka çalışması özelinde tanımlanan parametreler, estetik etki; inşaat için gerekli araçlar; yenilemenin gerçekleştirilmesinin karmaşıklığı; ısı performansı; ısı eylemsizlik ve maliyet olarak seçilmiştir. Bunun dışında prekast beton panellerin kaplama malzemesi olarak, brüt beton; ahşap kaplama; tuğla kaplama; seramik kaplama; taş kaplama ve alçı olmak üzere altı kaplama malzemesi alternatifi tanımlanmıştır.

Araştırma kapsamında geliştirilen AG-KVA'nın klasik Analitik Hiyerarşi Süreci ve onun iki geliştirilmiş sürümünü kullanılarak karşılaştırılması aşamasında aynı karar verme problemi kullanılarak aynı kullanıcı grubu bahsedilen yöntemleri karşılaştırmışlardır. Yapılan karşılaştırma değerlendirildiğinde karşılaştırılan yöntemlerle benzer sonuçlar alındığı görülmüştür. Ancak araştırma kapsamında geliştirilen AG-KVA kullanılarak klasik Analitik Hiyerarşik Süreç yöntemi ile benzer sonuçların daha hızlı ve içgüdüsel bir şekilde elde edilebileceği görülmüştür. Vaka çalışması katılımcıları karar verme sürecinde görsel bilgi gerektiren niteliksel parametrelerin değerlendirilmesi için AG çalışma ortamının olağanüstü derecede destekleyici ve faydalı bulmuşlardır.

AG teknolojilerinden mimarlık disiplininde faydalanılan alanlardan bir diğeri de bu teknolojilerin Bina Bilgi Modelleri (BBM) ile birlikte kullanımının etkilerinin araştırılmasıdır. Bu teknolojilerin BBM ile birlikte kullanılmasının bina bilgi modellerinden bilginin elde edilme sürecini geliştirerek çalışanların yerine getirmeleri gereken görevleri daha etkin bir şekilde tamamlamalarını kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Chu, Matthews ve Love (2018) bu amaçla bulut tabanlı depolama özelliğine sahip bir BBM AG uygulaması geliştirerek uygulamanın etkinliğini mobil masaüstü bir deneyle test ederek değerlendirmişlerdir. Wikitude YGA kullanılarak

geliştirilen AG uygulaması kullanılarak 3 boyutlu BBM nesne modelleri AG uygulaması içerisinde kendileriyle ilişkili 2 boyutlu QR kodları kullanılarak görselleştirilebilmektedirler. AG uygulaması içerisinde tanımlanan 2 boyutlu işaretleyiciler 3 boyutlu kapı ve pencere nesnelerinin yanı sıra nesnelere özel bilgileri yazı ve grafik biçiminde ulaşmaya yarayan düğmeleri gösterecek şekilde programlanmışlardır. Tüm bilgilerin bulunduğu veri tabanına Wikitude mobil uygulamasının kullanıldığı mobil akıllı cihazlar üzerinden erişilebilmektedir. Kullanıcılar kendileri için tanımlı kullanıcı hesaplarıyla uygulamaya bağlandıktan sonra platformun mobil verisinin senkronizasyonu sağlanmakta ve 2 boyutlu işaretleyiciler tanımlanabilir ve üzerlerindeki 3 boyutlu nesneleri gösterebilir hale gelmektedirler.

Araştırmacılar mobil BBM AG uygulamasının inşaat endüstrisinde günümüzde de bilgi iletim yöntemi olarak yaygın bir şekilde kabul gören 2 boyutlu kağıt tabanlı bilgi iletim yöntemine göre etkinliğini değerlendirmek adına geleneksel 2 boyutlu çizimler kullanan kontrol grubu ve BBM AG uygulamasını kullanan deney grubu olarak iki gruba ayrılan katılımcılarla (S:20) bir deney gerçekleştirmişlerdir. Deney kapsamında:

- Listelenen kapılar için her kapıda kaç menteşe kullanılması gerektiği ve bu görevle ilgili kendilerine verilen dokümanlardaki açıklamanın temin edilmesi,
- Nesne kodu verilen kapı için yangına dayanıklılık değerini ve kapının kaplama malzemesinin tanımlanması,
- Belirli bir nesne kütüphanesinde bulunan bir nesnenin temini için kabul edilen üreticilerin listesinin temin edilmesi ve,
- Belirli bir nesnenin montajı için hangi Avustralya standartlarının geçerli olduğunun belirtilmesi

olmak üzere 4 görevin gerçekleştirilmesi değerlendirilmiştir.

İnşaat endüstrisinden en az 1 yıl çalışma deneyimine sahip, Lisans eğitimlerinin son yılında olan ve akademik kadro elemanlarından oluşan 20 kişilik katılımcılar rastlantısal olarak kontrol veya deney gruplarına atanmışlardır. Katılımcılara deney süresince kendilerinden beklenenler yazılı olarak verildikten sonra katılımcılar görevleri bireysel olarak tamamlamışlardır. Gözlemciler katılımcıların her görevi tamamlama sürelerini kaydetmişlerdir. Dört görevin tamamlanmasından sonra

katılımcılardan deney sonrası anketini cevaplamaları istenmiştir. Elde edilen veri tanımlayıcı istatistiksel analiz kullanılarak değerlendirilmiş, deney ve kontrol gruplarının performansları incelemiştir.

Bilgi edinme sürecinde BBM AG uygulamasının kullanılması deney grubundaki katılımcılar tarafından “kolay” olarak tanımlanırken, kontrol grubundaki katılımcılar bilgi edinmenin “orta” zorlukta olduğunu belirtmişlerdir. Araştırma kapsamında geliştirilen AG uygulamasını kullanan katılımcılar inşaat sektöründe AG uygulamalarının işbirlikli iletişim ve “planlanan” ve “imal edilen” arasındaki karşılaştırma yapılabilme olasılıklarının inşaat sürecindeki görevlerin etkinliğini ve yeterliğini geliştirebileceğini düşündüklerini belirtmişlerdir.

Kontrol ve deney gruplarının görev tamamlama süreleri karşılaştırıldığında deney grubundaki katılımcıların (1 saat 42 dk.), kontrol grubundaki katılımcılara (3 saat 8 dk.) göre görevleri neredeyse yarısı kadar hızlı tamamladıkları görülmüştür. Deney grubunun kendilerine verilen görevleri daha hızlı bir şekilde tamamladıkları sonucunun elde edilmesiyle mobil BBM AG uygulamasının bilgi edinme sürecini desteklediği sonucuna varılmıştır.

3. “MİMAR” ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMASININ GELİŞTİRİLME SÜRECİ

Doktora tezi kapsamında incelenecek araştırma sorularının cevaplanması için gönüllü katılımcılarla yapılacak deneysel çalışmalarda kullanılmak amacıyla AG teknolojisinden faydalanılarak akıllı mobil cihazlarda çalışan bir uygulama geliştirilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde öncelikle uygulama geliştirme sürecinin başlangıcında uygulamanın kavramsal olarak tasarlanmasında faydalanılan Birleşik Modelleme Dili (BMD) kavramından bahsedilecektir. BMD kullanılarak uygulamada hangi görevlerin gerçekleştirileceği, bu görevlerin hangi adımlar izlenerek gerçekleştirileceği, uygulamanın farklı bileşenlerinin birbirleri ile olan ilişkilerinin tanımlanması ve bu ilişkilerin düzenlenmesi gibi konularda uygulama geliştirilmeden önce verilmesi gereken kararlar irdelenmiş ve grafik olarak temsil edilmiştir.

3.1 BMD kavramı ve BMD diyagramları

İngilizce kullanımında kısaca UML (Unified Modelling Language) olarak adlandırılan Birleşik Modelleme Dili yazılım geliştirirken yazılımın analizi ve tasarımını tarif etmek için kullanılan uluslararası endüstri standardı olarak kabul edilen grafik gösterim şeklidir. Bu grafik dilin kullanım nedeni standartlaşmış ve çoğunluk tarafından kabul edilmiş bir gösterimin kullanımı ile farklı paydaşların iletişimlerinde yanlış anlaşılmaların ve muğlaklığın ortadan kalkması, ve bu nedenlerle oluşabilecek hataların aza indirilebilmesi ile sonuçta daha hızlı bir iş akışının ve net bir iletişimin sağlanabilmesidir.

UML kısaltmasındaki birleşik anlamına gelen U kısaltmasının nedeni güncel olarak kullanılan UML dilinin Booch Rumbaugh, Jackson, Mellor, Shlaer, Coad, Wirf-Brock ve diğer araştırmacıların geliştirdikleri daha erken modelleme gösterimlerinin birleşimi ve bir standarda ulaştırılmış hali olmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.1 Kullanım durumu diyagramları

Kullanım durumu diyagramları yazılım gerekliliklerinin analizi ve tanımlanması aşamasında geliştirilecek sistemin fonksiyonel gerekliliklerinin grafiksel temsili için kullanılmaktadırlar. Kullanım durumları yazılımın gerekliliklerinin tanımı sırasında geliştirilmekte ve analiz esnasında paydaşlar tarafından gözden geçirilip düzeltilmekte ve sadeleştirilmektedirler. Kullanım durumlarının başka bir kullanım şekli de kabul test durumlarının oluşturulmasıdır. Test planlayıcıları kullanım durumlarından test durumu olmak üzere çeşitli senaryolar oluşturabilmekte ve kullanım durumu diyagramları ile birlikte olayların/eylemlerin kullanım durumu akışlarının yazılı olarak anlatıldığı bir doküman oluşturulmaktadır.

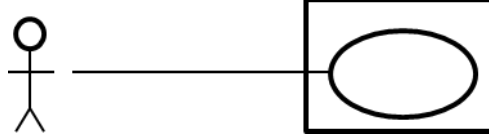
Kullanım durumu kavramı, Jacobson ve diğerleri (1992) tarafından geliştirilen, belirli bir aktör için görülebilir ve ölçülebilir bir sonuçla noktalanmış, bir sistem tarafından gerçekleştirilen işlem sırasını ifade etmektedir. Bir kullanım durumu genellikle başlangıcından sonucuna kadar bütün bir ana işlevselliği temsil etmektedir (Bruegge ve Dutoit, 1999).

Bir yazılımdaki kullanım durumları BMD (Birleşik Modelleme Dili) kullanılarak bir elips ile ifade edilmektedir. Örneğin, çalışma kapsamında geliştirilecek uygulamadaki bazı kullanım durumları: Üret Nesne/(*), Yer Değiştir Nesne/(*), Seç Nesne /(*) olarak örneklendirilebilirler. Kullanım durumlarına birkaç kelime ile ifade edilebilecek özgün isimler vermek gerekmektedir. Bu birkaç kelime genellikle geniş zaman kipinde bir eylem ile başlar.

Sistemle etkileşime giren kişi veya makine aktör olarak adlandırılmaktadır. Aktörler sistemin parçaları olmayıp, sisteme bilgi girişi yapmak; sistemden bilgi almak; ya da sisteme hem bilgi girişi yapmak hem de bilgi almak amacıyla sistemle etkileşime giren kişi ya da nesneyi temsil ederler.

Bir kullanım durumu modelindeki toplam aktör sayısı sistem ile etkileşime girip veri alışverişi yapacak her şeyi temsil etmektedir. BMD kullanımında aktörler çöp adam şeklinde temsil edilmektedirler. Daha önce de bahsettiğimiz gibi aktörler kişi ya da diğer sistemler olabilmektedirler. Gösterim şeklinde aktörün ismi her zaman isimdir ancak bu ismin belirli bir kişinin ismi olması yerine aktörlerin bir ya da birden fazla kullanım durumunda üstlendikleri rol ya da rolleri tanımlaması daha uygun olmaktadır.

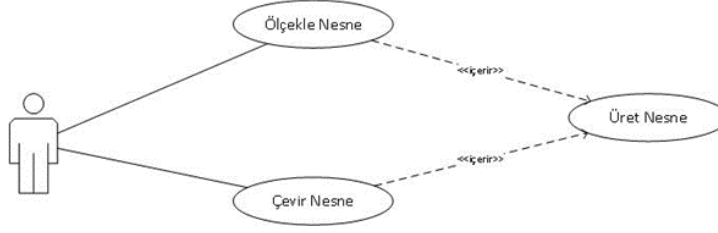
Bir kullanım durumu diyagramı sistemin istenen davranışını tanımlayan, aktör ve kullanım durumlarının ilişkilerinin görsel bir temsilidir. Aktörler ve kullanım durumları arasındaki ilişkiler oklar ve çizgiler ile gösterilmektedir. Aktör ve kullanım durumu arasındaki varsayılan ilişki, Şekil 3.1’de BMD ile kullanılarak bir çizgi ile gösterilen “iletişim halindedir ” ilişkisidir.



Şekil 3.1 : BMD kullanım durumu (use case) diyagram örneği.

Aktörler ve kullanım durumları arasında farklı türden ilişkiler kurulabilmektedir. İletişim halindedir ilişkisi, ilişki içerisindeki nesnelerden birisinin diğerlerine bir istek iletme durumunda olduğunu belirtmektedir. Aktörler kullanım durumları ile ölçülebilen sonuçlara ulaşma amacı ile iletişime geçmektedirler. Kullanım durumları da açıkça gözlemlenemese de diğer kullanım durumları ile diğer kullanım durumlarından bilgi isteme durumunda ya da diğer kullanım durumu ile ilişkili bir eylemi başlatmak adına iletişim içerisinde olabilirler. Bir diyagramda üzerinde belirli bir isimlendirme bulunmayan bir ok ya da çizgi bulunmakta ise bu ok ya da çizgi varsayılan şekilde “iletişim halindedir” ilişkisini temsil etmektedir.

Kullanım durumları arasında “içerir” (include) ve “genişler” (extend) olmak üzere varsayılanın dışında iki tür ilişki mevcuttur. İçerir türünden ilişkiler bir davranışın birden fazla kullanım durumunda benzer şekilde kullanıldığı ve bu davranış için açıklamanın kopyalanmasının istendiği durumlarda kullanılmaktadır. Örnek olarak araştırma kapsamında geliştirilecek arttırılmış gerçeklik uygulamasında oluşturulan bir nesne üzerinde gerçekleştirilecek işlemlerin gerçekleştirilmesi için öncelikle bu nesnenin oluşturulması gerektiğini göz önünde bulundurursak, bu kullanım durumlarının Üret Nesne durumuna “içerir” ilişkisi ile bağlı olduğunu görebiliriz. İçerir ilişkisi varsayılan bir ilişki tipi olmadığından, bir kullanım durumunun başka bir kullanım durumundan faydalandığı durumlarda bu iki kullanım durumu arasındaki ilişki okla “içerir” olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.2’de görülebileceği gibi Çevir Nesne ve Ölçüle Nesne kullanım durumlarının ikisi de Üret Nesne kullanım durumundan faydalanmaktadır.



Şekil 3.2 : Kullanım durumları arasındaki “İçerir” ilişkisi tipinin gösterimi.

Kullanım durumları arasındaki genişler ilişkisi ise sadece belirli, önceden tanımlanmış durumlarda geçerli olan ya da normal bir davranışın bir çeşitlemesi durumunu tanımlarken kullanılmaktadır.

Geliştirilen mobil arttırılmış gerçeklik uygulamasında bulunan durumlar küp nesnesi örneği üzerinden aşağıdaki şekilde açıklanabilir. Uygulama ile etkileşimde bulunan kullanıcı küp nesnesi ürettikten sonra nesneyi değiştirebilecek özellikleri olan ölçekleme, başka bir nesne ile birleştirme, başka bir nesneden çıkarma gibi özellikler ve nesneyi değiştirmeyen kopyalama, renk değiştirme, gruplama, yer değiştirme, çevirme, görünür ve gizli yapma olmak üzere 10 eylem gerçekleştirebilmektedir. Tamamı örnek bağlamında seçilen küp nesnesi ile ilişkili olan bu eylemler konu olan nesnenin üretilmesinden sonra gerçekleştirileceği ve bahsedilen eylemlerin gerçekleştirilmesi için üzerinde işlem yapılacak nesnenin veya yüzeyin seçilmesini sağlayan nesne/ yüzey seç ve küp/(*) üret durumunu da içerisinde barındırmaktadır (Şekil 3.3).

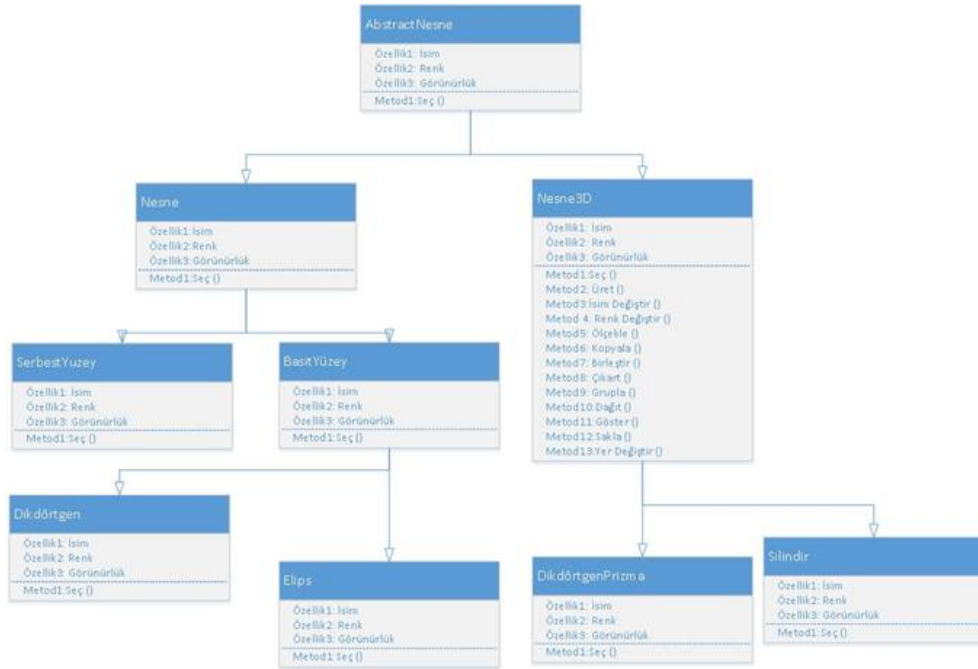


Şekil 3.3 : Küp örneğinde durum diyagramı.

3.1.2 Sınıf diyagramları

Sınıf diyagramları hem analiz hem de tasarım aşamasında kullanılmaktadır. Analiz aşamasında üst düzey kavramsal bir tasarım üretilir, bu aşamada sınıf diyagramları sadece sınıf isimlerinin gösterildiği veya sınıfların görevlerinin basitçe açıklandığı kod benzeri kelimelerin eklenmesi ile üretilebilirler. Analiz aşamasında üretilen bir sınıf diyagramı sınıfları ve problem alanı içerisindeki ilişkileri açıklamak için kullanılmakta ve sistemde bu bileşenlerin nasıl uygulanacağını açıklamaktadır. Sistemin nasıl çalışacağını açıklayan sınıf diyagramlarının tasarım aşamasının sonuna kadar geliştirilmesinin beklenmektedir. Tasarım aşamasından sonra üretilen sınıf diyagramlarının; sınıf ismi; sınıfa ait metod ve özellikler ve sınıflar arası ilişkiler gibi uygulamaya ilişkin detaylı bilgilere sahip olması beklenir.

Sınıf diyagramları, sistem içerisindeki nesnelerin cinslerini ve aralarındaki çeşitli ilişkileri tanımlamaktadır (Bruegge ve Dutoit, 1999). BMD kullanımında sınıflar bir veya daha fazla yatay bölmeye sahip dikdörtgenler olarak temsil edilmektedirler. Bu dikdörtgenin üst bölümünde bir sınıf diyagramındaki tek zorunlu alan olan ve genellikle büyük harfle başlayan sınıf ismi bulunmakta, sınıf dikdörtgeninin opsiyonel olan bir sonraki orta bölümünde sınıf üyeleri ve veri özellikleri bulunmakta, yine opsiyonel olan alt bölümde ise sınıfa ait metodlar sıralanmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Uygulamaya ait sınıf diyagramı.

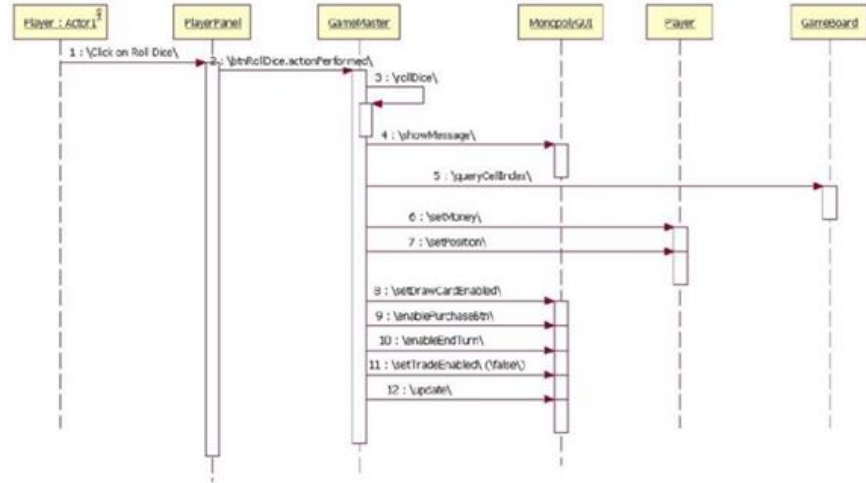
3.1.3 Ardıl etkileşim diyagramları

Ardıl etkileşim (sekans) diyagramları analiz ve tasarım aşamalarında kullanılırlar. Ardıl etkileşim diyagramlarının üretilmesi ile kullanım durumlarına katılan nesneler tanımlanmaktadır. Bu şekilde diyagramla ilişkili kullanım durumu, nesnelerden istenen davranışların belirlenmesi ile daha net bir şekilde ifade edilebilmektedir.

Ardıl etkileşim diyagramları özgün bir kullanım durumu ya da kullanım durumunun sadece bir bölümünün detaylı bir şekilde akışının gösterildiği diyagramlardır. Ardıl etkileşim diyagramları genellikle mutlak ve bir senaryoyu açıklayacak şekilde kurgulanmışlardır. Burada bahsedilen senaryo bir davranışı açıklayan eylemlerin ardıl etkileşimini (dizilimini) belirtmektedir. Rumbaugh ve diğerlerine göre bir senaryo bir etkileşim veya kullanım durumunun çalıştırılmasını göstermek için kullanılabilir (Rumbaugh ve diğ., 2004). Bu diyagramlar ardıl etkileşim içerisinde bulunan farklı nesneler arasındaki ya da nesnelerden diğer nesnelere yapılan çağrılar (call) detaylı bir şekilde gösterirler. Ardıl etkileşim diyagramlarının iki seviyesi bulunmaktadır: Dikey düzlem mesajlar ya da çağrılar sekanslarını oluştukları sıraya göre göstermekte, yatay düzlem ise mesajların gönderildiği nesne örneklerini (instances) göstermektedir.

Ardıl etkileşim diyagramlarının hazırlanmasında diyagramın üst kısmına sınıf nesnelerinin her birinin ayrı kutulara eklenmesi ile başlanılmaktadır. Kutuların içerisine sınıf örnek isimleri ve sınıf isimleri önünde ve arkasında boşluk bırakılan iki nokta üst üste ile ayrılır (“ : “). Bir sınıf örneğinin diğer bir sınıf örneğine mesaj yolladığı durumlarda mesajı alan sınıf örneğini işaret eden açık ok çizilir ve okun üzerine ilgili mesaj ya da yöntem yazılır. Ayrıca önemli mesajlar için mesajın asıl kaynağını işaret eden kesik çizgili okla gösterilir ve okun üzerine mesajın dönüş değeri yazılabilir.

Monopoly oyunu örneğinde bir oyuncunun kendine sıra gelmesi durumunda yapacakları Şekil 3.5’de gösterilen ardıl etkileşim diyagramında görülebilmektedir.



Şekil 3.5 : Monopoly oyununda oynama sırası gelen bir oyuncunun eylemlerini gösteren ardıl etkileşim diyagramı.

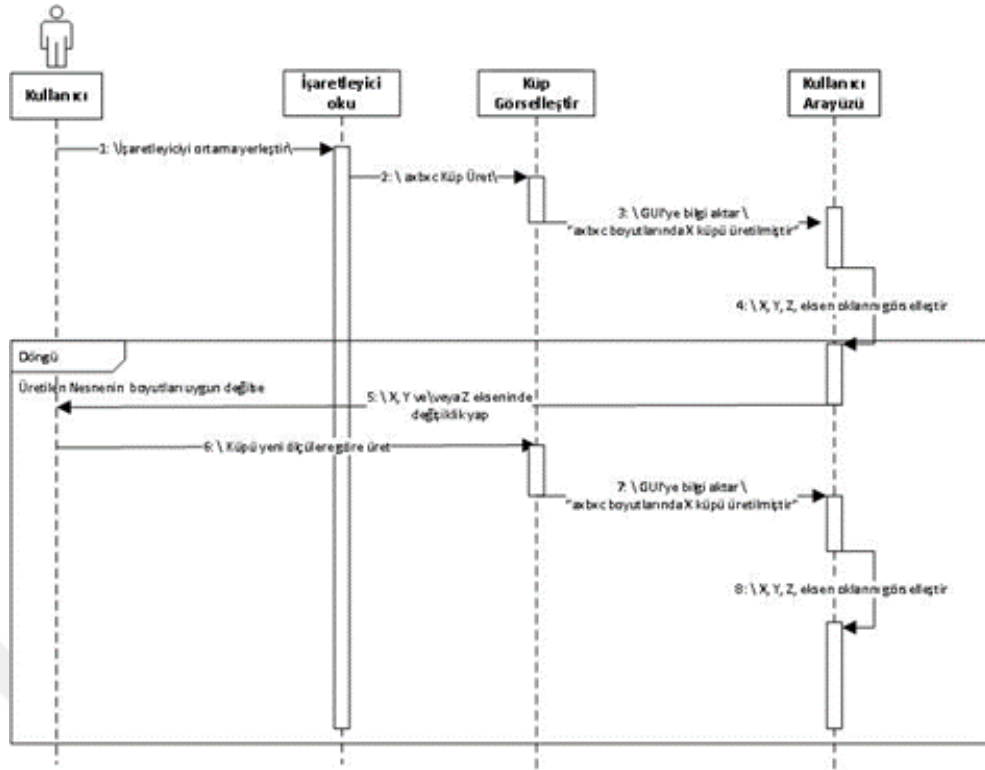
3.2 “MimAR” AG Uygulamasında BMD Diyagramlarının Kullanımı

Bu bölümde, geliştirilen AG uygulaması kullanılarak sanal nesnelerin üretilmesi, bu nesnelerin renklerinin değiştirilmesi, nesnelerin çoğaltılması, nesnelerin ölçeklendirilmesi, nesnelerin yönelimlerinin değiştirilmesi, nesnelerin yerlerinin değiştirilmesi, nesnelerin birleştirilmesi, nesnelerin birbirlerinden çıkartılması, nesnelerin gizlenmesi, nesnelerin görselleştirilmesi ve nesnelerin gruplanması gibi eylemlerin nasıl gerçekleştirileceği ardıl etkileşim diyagramlarından faydalanılarak açıklanmaktadır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulamanın bileşenlerinin, ve bahsedilen bileşenlerden beklenen davranışların tümü ilk önce kavramsal olarak geliştirilmiş ve BMD kullanılarak oluşturulmuş ardıl etkileşim diyagramları ile grafik olarak ifade edilmişlerdir. Bu şekilde uygulamanın geliştirilme sürecinde hangi eylemin nasıl gerçekleştirileceği ve hangi bileşenlerin birbirleri ile etkileşim içerisinde olmaları gerektiği bilindiğinden dolayı uygulamanın geliştirilme süreci hızlı bir şekilde tamamlanmıştır. Nesnelerin çoğaltılması, birleştirilmesi, birbirlerinden çıkartılmaları, gizlenmeleri ve gruplanmaları eylemlerinin nasıl yapılacağı teorik olarak geliştirilmiş ve ardıl etkileşim diyagramları kullanılarak grafiksel olarak ifade edilmiş ancak uygulamanın güncel sürümüne kullanılabılır eylemler olarak eklenmemişlerdir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının tasarımcıların erken tasarım evresinde AG uygulamalarını etkin bir şekilde kullanıp kullanmayacaklarının incelenmesi amacıyla kullanılması planlandığından uygulamanın güncel sürümü erken tasarım sürecinde nesne oluşturma, nesnelerin yönelimini boyutlarını, yerlerini ve renklerini değiştirmek gibi temel eylemlerin kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi hedefi göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Böylelikle kullanıcıların, uygulamanın ya da uygulamanın ara yüzünün karmaşıklığı nedeniyle uygulamaya karşı olumsuz bir ön yargı oluşturmalarının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen AG uygulamasının güncel sürümünde aktif olarak kullanılmayan diğer eylemler önceden BMD ile ifade edilen ardıl etkileşim diyagramları kullanılarak kolaylıkla geliştirilip uygulamanın gelecekteki sürümlerine eklenebilirler.

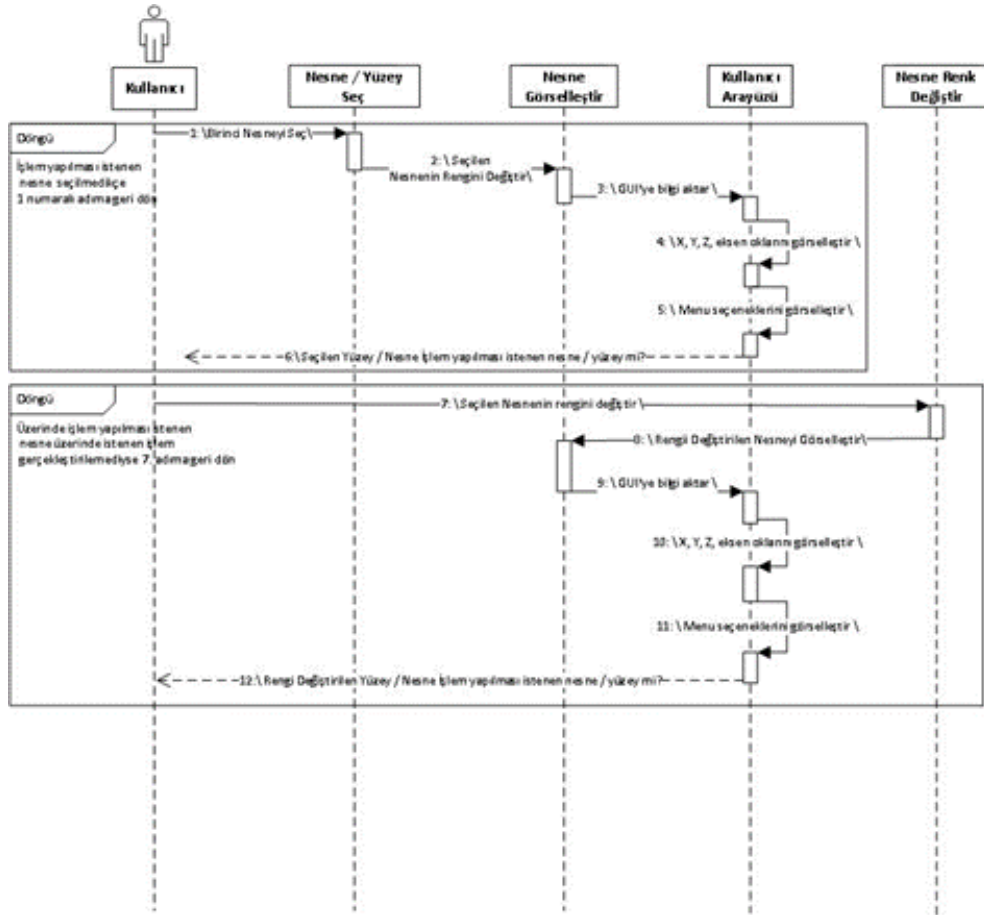
Tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulama kullanılarak dikdörtgenler prizması şeklinde bir sanal nesnenin üretilmesinin kullanım durumunun ardıl etkileşim diyagramı ile temsili Şekil 3.6'da görülebilmektedir. Kullanıcı AG uygulamasını kullanarak dikdörtgenler prizmasını oluşturmak için öncelikle ilgili işaretleyiciyi (karekod) sisteme tanıtmak durumundadır. Üretilcek nesnenin ilgili işaretleyicisi sisteme tanıtıldıktan sonra sistemin görsel veri girişi bileşeni olan kamera ortama eklenen işaretleyiciyi okur. İlgili işaretleyicinin görsel veri girişi bileşeni tarafından okunmasından sonra dikdörtgenler prizması üretilir ve sistem tarafından görselleştirilir. Nesnenin görselleştirilmesinin ardından uygulama grafik kullanıcı ara yüzüne “a x b x c boyutlarında “P1” nesnesi üretilmiştir” bilgisini aktarır. Grafik kullanıcı ara yüzüne bu bilginin aktarılmasından sonra GKA (Grafik Kullanıcı Ara yüzü) X Y ve Z eksen oklarını görselleştirir ve kullanıcıya bu bilgiyi dönüş (return) mesajı olarak döner. Bu noktada kullanıcı üretilen nesnenin boyutlarından memnunsa işlem başarıyla sona erdirilir, aksi durumda kullanıcı nesnenin X, Y ya da Z ekseninde boyutlarında değişikliğe giderek nesne istenilen boyutlara gelene kadar aynı döngü içerisinde işleme devam edebilir.

Geliştirilen uygulamanın güncel sürümünde sanal nesne üretilme sürecinde GKA'nın kullanıcıya iletilmesi planlanan “a x b x c boyutlarında P1 nesnesi üretilmiştir” bilgisi ve üretilen sanal nesnenin üzerinde eksen oklarının görselleştirilmesi özelliklerinin nasıl gerçekleştirileceği ile ilgili metodlar uygulamanın kodunda inaktif olarak bulunmaktadır.



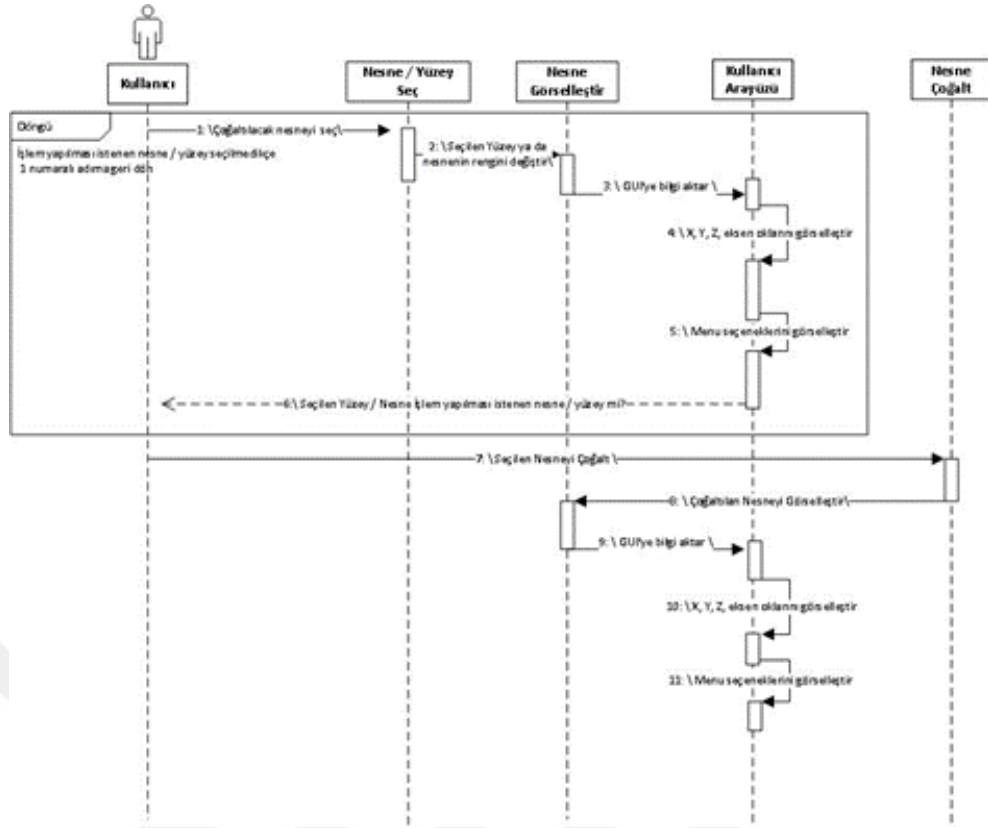
Şekil 3.6 : AG uygulaması nesne üretimi ardıl etkileşim diyagramı.

Geliştirilen AG uygulamasında kullanıcılara ürettikleri nesnelerin renklerini değiştirme seçeneği de sunulacaktır. Uygulamada üretilen nesnenin rengini değiştirmek için kullanıcının öncelikle üzerinde işlem yapmak istediği nesneyi seçmesi beklenmektedir. Kullanıcı seçimini yaptıktan sonra seçilen nesnenin rengi değiştirilip nesne görselleştirilir ve bu bilgiler GKA'ya aktarılır. GKA kendine gelen bilgiler doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menü seçeneklerini görselleştirir. Bu aşamada kullanıcının üzerinde işlem yapmak istediği nesnenin seçili olmaması durumunda kontrol döngüsü içerisinde birinci adıma geri dönülüp seçim işlemi tekrarlanır. Aksi durumda seçilen nesnenin rengi değiştirilir ve rengi değiştirilen nesne görselleştirilip bu bilgi GKA'ya aktarılır. GKA'nın kendine gelen bilgiler doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirmesinden sonra kullanıcı üzerinden işlem yapmak istediği nesne üzerinde renk değiştirme işlemini gerçekleştirdiyse kontrol döngüsünden çıkılır. Aksi halde döngü içerisindeki yedinci adıma geri dönülür (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : AG uygulaması renk değiştirme işlemi sekans diyagramı.

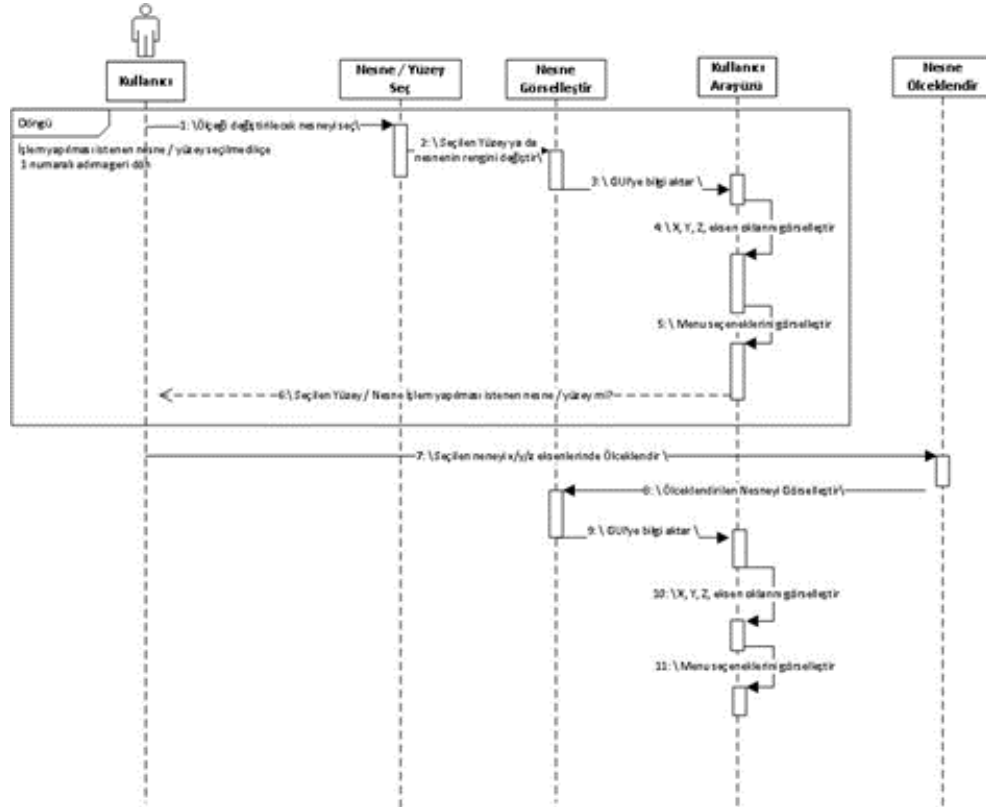
Geliştirilen arttırılmış gerçeklik uygulamada nesne çoğaltma işlemi kullanıcı tarafından çoğaltılması istenen nesnenin seçilmesi ile başlayan bir döngü ve döngü sonucunda nesnenin başarı ile çoğaltılması ile sonuçlanan bir işlemlerden oluşmaktadır. Kullanıcı tarafından istenen nesnen ya da yüzeyin seçilmesi ile uygulama ilgili nesne ya da yüzeyin rengini değiştirerek seçim işleminin sonucunu görselleştirip GKA'ya aktarır. GKA kendisine gelen çağrı doğrultusunda ekranda X Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada kullanıcı tarafında üzerinde işlem yapılması istenen nesne ya da yüzeyin doğru seçilmediği durumu ile karşılaşıldığında döngü içinde birinci adıma geri dönlmektedir. Aksi durumda Kullanıcı GKA tarafından görselleştirilen kullanıcı menüsünden seçilen nesneyi çoğaltmayı seçer. Bu adımda GKA uygulamaya çoğaltılan nesneyi görselleştirmesi için bir çağrıda bulunur. Bu çağrıdan sonra çoğaltılan nesne görselleştirilir ve GKA'ya gerekli bilgi aktarılır. GKA tarafından eksen oklarının ve menü seçeneklerinin görselleştirilmesi ile nesne çoğaltma işlemi sonlandırılmaktadır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : AG uygulaması nesne çoğaltılması sekans diyagramı.

Geliştirilen uygulamada üretilen nesnelerin istenilen boyutlarda olmaması durumunda kullanıcıların nesneyi tekrardan üretmek yerine üretilen nesnelerin x, y ve z koordinatlarında boyutlarını bağımsız olarak ya da ölçekli bir biçimde değiştirmeleri de mümkündür. Bu işlem dizgisi kullanıcının boyutları değiştirilecek nesne ya da yüzeyin istenilen şekilde seçildiğinin kontrolünün yapıldığı bir döngü ve seçim aşamasının başarı ile tamamlanması durumunda ölçekleme işleminin yapılması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu senaryoda kullanıcı tarafından öncelikle kullanıcı ölçeğini değiştirmek istediği nesneyi seçme isteğini sisteme iletmektedir. Kullanıcı tarafından iletilen istek sonucu belirtilen yüzey ya da nesnenin rengi sistem tarafından değiştirilerek nesne bu haliyle görselleştirilip GKA'ya bu bilgi aktarılır. Ardından GKA kendisine gelen ilgili bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu adımda seçilen yüzey ya da nesnenin kullanıcı tarafından üzerinde işlem yapılması istenen nesne/yüzey olmaması ya da kullanıcının fikir değiştirmesi durumunda kontrol döngüsünde birinci adıma dönülerek üzerinden işlem yapılması istenen nesne tekrardan seçilmektedir.

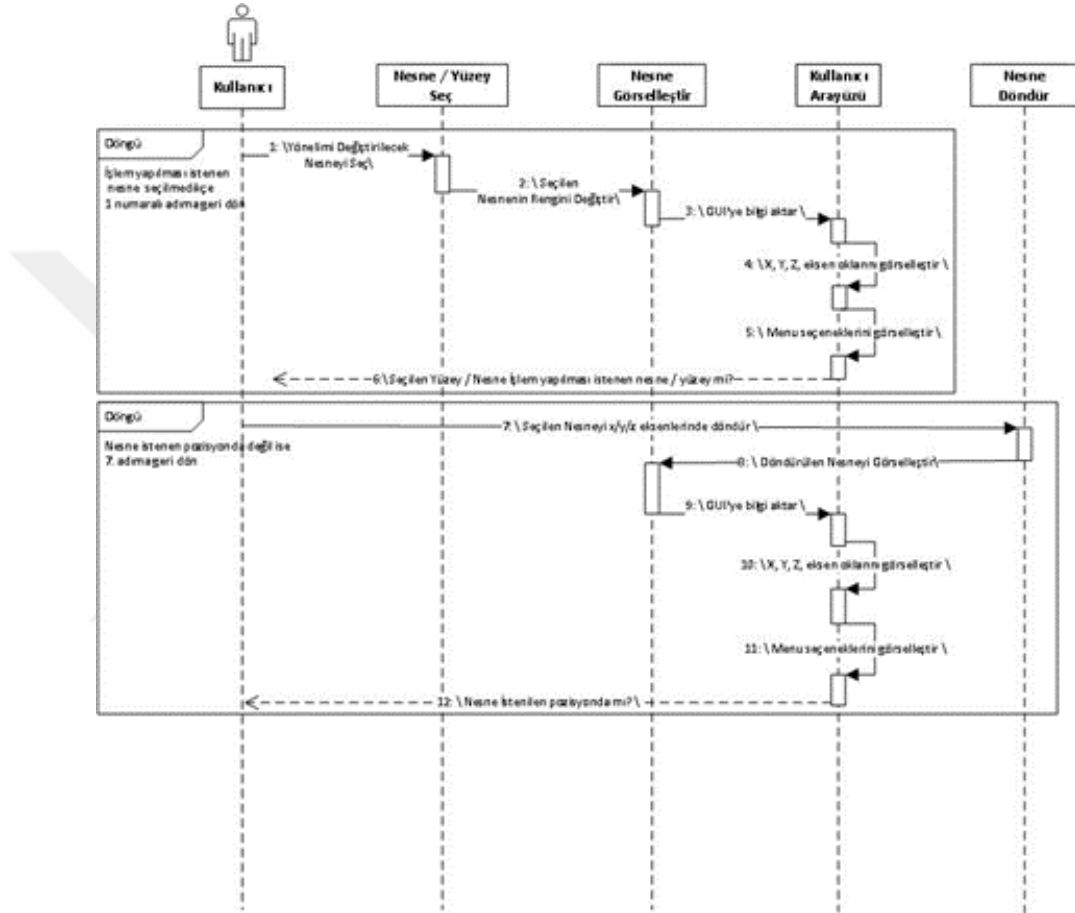
Seçim işleminin başarılı olması durumunda kontrol döngüsünde çıkılmakta ve kullanıcı tarafından seçimi yapılan nesne kullanıcının belirttiği boyutlarda tekrardan ölçeklendirilmektedir. Tekrardan ölçeklendirilen nesne uygulama tarafından görselleştirilmekte ve bu bilgi GKA'ya aktarılmaktadır. Bu noktada GKA kendisine iletilen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirmekte ve işlem tamamlanmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : AG uygulaması nesne ölçekleme sekans diyagramı.

Kullanıcıların uygulama içerisinde ürettikleri nesnelerin yönelimlerini değiştirmek istemeleri durumunda bu işlem yönelimi değiştirilecek nesne seçilerek başlatılmaktadır. Yönelimi değiştirilecek nesnenin kullanıcı tarafından seçilmesinden sonra sistem tarafından seçilen nesnenin rengi değiştirilir ve bu haliyle nesne görselleştirilir. GKA'ya rengi değiştirilip görselleştirilen nesne bilgisi ulaştıktan sonra X, Y ve Z eksen okları ve menü seçenekleri görselleştirilmektedir. Bu noktada kullanıcının üzerinde işlem yapmak isteğini nesnenin seçilmemesi durumunda birinci nesne seçimi kontrol döngüsü içerisinde ilk işleme geri dönülerek nesne tekrar seçilir. Üzerinde döndürme işleminin yapılacağı nesnenin başarılı bir şekilde seçilmesi durumunda birinci kontrol döngüsünden çıkılarak nesne kullanıcının belirttiği ölçüde X, Y ya da Z ekseninde döndürülür. Üzerinde döndürme işlemi gerçekleştirilen nesne

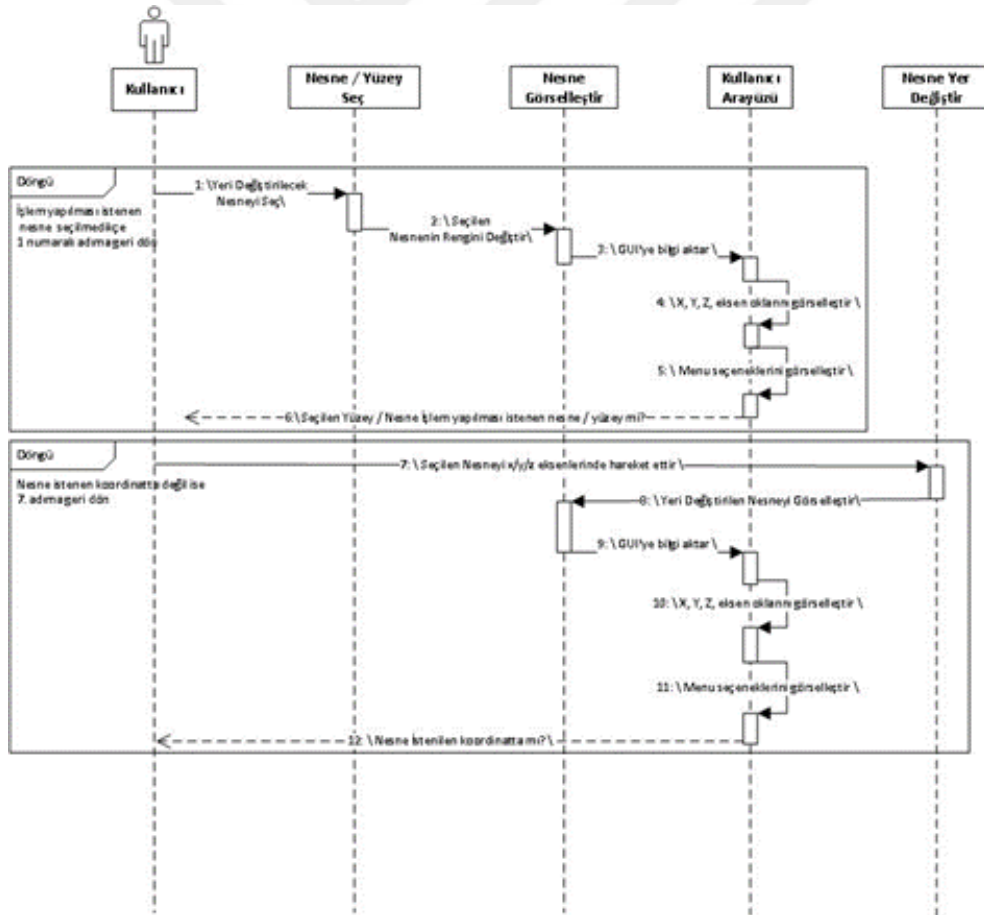
tekrardan görselleştirilecek GKA'ya bu bilgi aktarılır. Sonraki adımda GKA X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menü seçeneklerini görselleştirir. Bu adımda yönelimi değiştirilmek istenen nesne eğer kullanıcı için tatmin edici bir noktada bulunuyorsa işlem başarılı bir şekilde sonlandırılır. Aksi durumda sekans içerisindeki ikinci kontrol döngüsü içerisinde bulunan yedinci adıma dönülmesi ile seçilen nesne üzerinde tekrardan döndürme işlemi uygulanır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : AG uygulaması nesne döndürme işlemi sekans diyagramı.

Geliştirilen AG uygulamasında kullanıcıların ürettikleri nesnelerin yerini değiştirmek istemeleri durumunda iki kontrol döngüsü tarafından hem seçim hem de yer değiştirme işlemlerinin kontrollerinin yapıldığı bir işlem gerçekleşmektedir. Sanal nesnelerin yerlerinin değiştirilmesi işlemi yeri değiştirilmek istenen nesne/yüzeyin seçilmesi ile başlatılmaktadır. Nesne seçimi ile ilgili olan ilk kontrol döngüsü içerisinde üzerinde işlem yapılacak nesne/yüzey seçildikten sonra nesnenin rengi değiştirilerek nesne görselleştirilmekte ve sonrasında GKA'ya ilgili bilgi aktarılmaktadır. GKA aldığı bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini kullanıcıya sunar. Birinci kontrol döngüsü içerisindeki son işlem olan bu noktada kullanıcı tarafından

üzerinde işlem yapılması istenen nesne/yüzeyin seçilememesi durumunda döngü içerisinde birinci adıma dönülmektedir. Kullanıcının sanal nesneyi başarılı bir şekilde seçmesi durumunda kullanıcı ikinci kontrol döngüsü içerisinde işlem yapmaya başlamaktadır. Bu aşamada kullanıcı seçtiği nesneyi X, Y veya Z ekseninde hareket ettirir ve bu işlemin sonucunda nesne yer değiştirir, yer değiştirmesi tamamlanan nesne görselleştirilir. Üzerinde yer değiştirme işlemi tamamlanıp görselleştirilen nesnenin bilgisi GKA'ya aktarılmakta ve sonrasında GKA tarafından X, Y ve Z eksen okları ile menü seçenekleri görselleştirilmektedir. Bu aşamada nesnenin üzerinde istenilen işlemin gerçekleştirildiğini kontrol eden senaryodaki ikinci döngü içerisinde işlem yapan kullanıcı, üzerinde işlem yapılan nesnenin istediği koordinatta olmadığı fikrine sahipse ikinci döngü içerisinde bulunan sekanstaki yedinci adıma geri döner. Aksi durumda işlemin başarı ile tamamlandığı varsayılarak işlem sona ermektedir (Şekil 3.11).

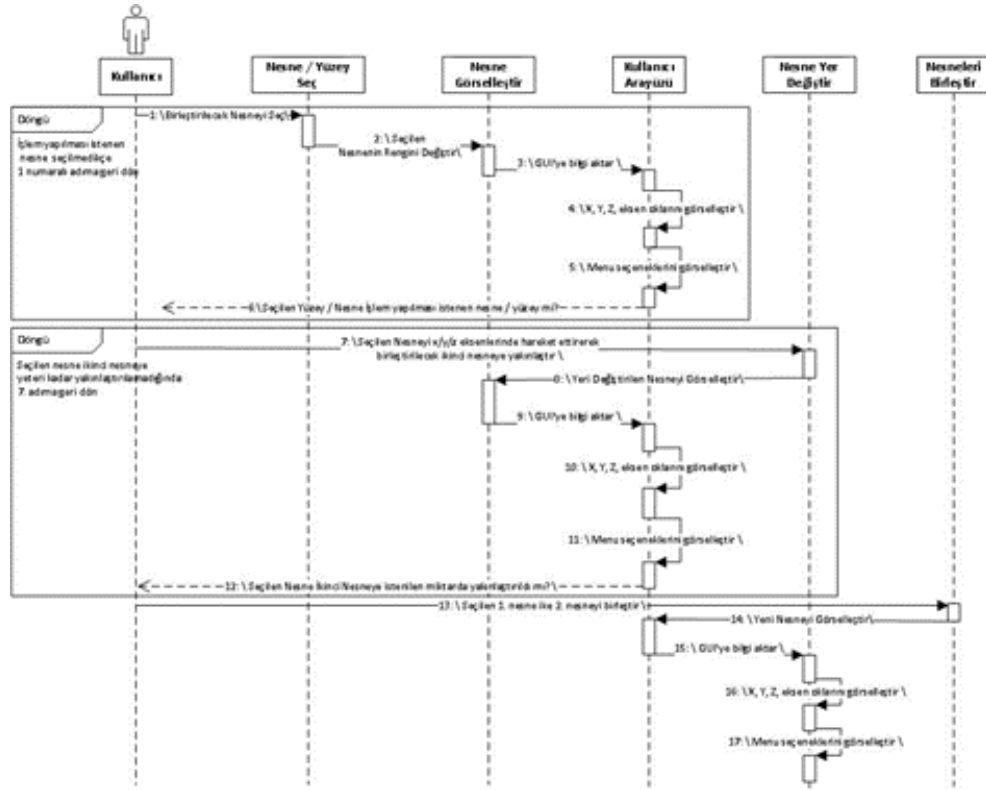


Şekil 3.11 : AG uygulaması nesne yer değiştirme işlemi sekans diyagramı.

Geliştirilen AG uygulamasında kullanıcıların tasarım fikirlerini 3B ifade ederlerken önceden tanımlı temel nesnelerle çalışmalarının yanında, uygulama içerisinde ürettikleri nesnelerin birleşimlerinden oluşan yeni nesneler üretebilecekleri esnek bir ortamda çalışmalarının faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu kullanım senaryosunda kullanıcılar uygulama içerisinde ürettikleri nesneleri, nesnelerin seçilmesi aşamasında iki kontrol döngüsü içerisinde ilerleyen bir sekans kapsamında birleştirebilmektedirler.

Bu işlem sekansı kullanıcının birleştirilmesi istenen birinci nesneyi seçmesi ile başlamaktadır. Birinci nesnenin seçilmesi ile içerisinde bulunan birinci kontrol döngüsünde seçilen nesnenin rengi değiştirilip rengi değiştirilen nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır. GKA kendisine iletilen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada kullanıcı tarafından üzerinden işlem yapılması istenen nesnenin doğru seçiminin yapılmaması halinde birinci kontrol döngüsü içerisindeki birinci adıma geri dönülür. Kullanıcı tarafından üzerinde işlem yapılması istenen nesnenin seçilmesi durumunda birinci döngü tamamlanıp ikinci kontrol döngüsü içerisinde ilk, tüm sekans içerisinde yedinci işlem olan, üzerinde işlem yapılmak için seçilen nesne X, Y veya Z eksenlerinde hareket ettirilerek birleştirilecek ikinci nesneye yaklaştırılması işlemi gerçekleştirilir. Uzayda yeri değiştirilen nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır. Kendisine iletilen bilgi doğrultusunda GKA X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menüsünü görselleştirir. Kullanıcı üzerinden işlem yapmak için seçtiği birinci nesnenin birleştirme işleminin uygulanacağı ikinci nesneye yeteri kadar yakınlaştığını düşünmemesi durumunda ikinci kontrol döngüsü içerisinde bulunan yedinci adıma geri dönülerek nesneye yer değiştirme işleminin uygulanması tekrarlanır. Başarılı bir şekilde kullanıcı tarafından yeri değiştirilip birleştirilecek ikinci nesneye yaklaştırılan nesne ikinci nesne ile birleştirilir.

Birleştirme işleminde sonra yeni nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır. Kendisine iletilen bilgi doğrultusunda GKA'nın X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menüsünü görselleştirmesi ile işlem başarılı bir şekilde sonlandırılır (Şekil 3.12).

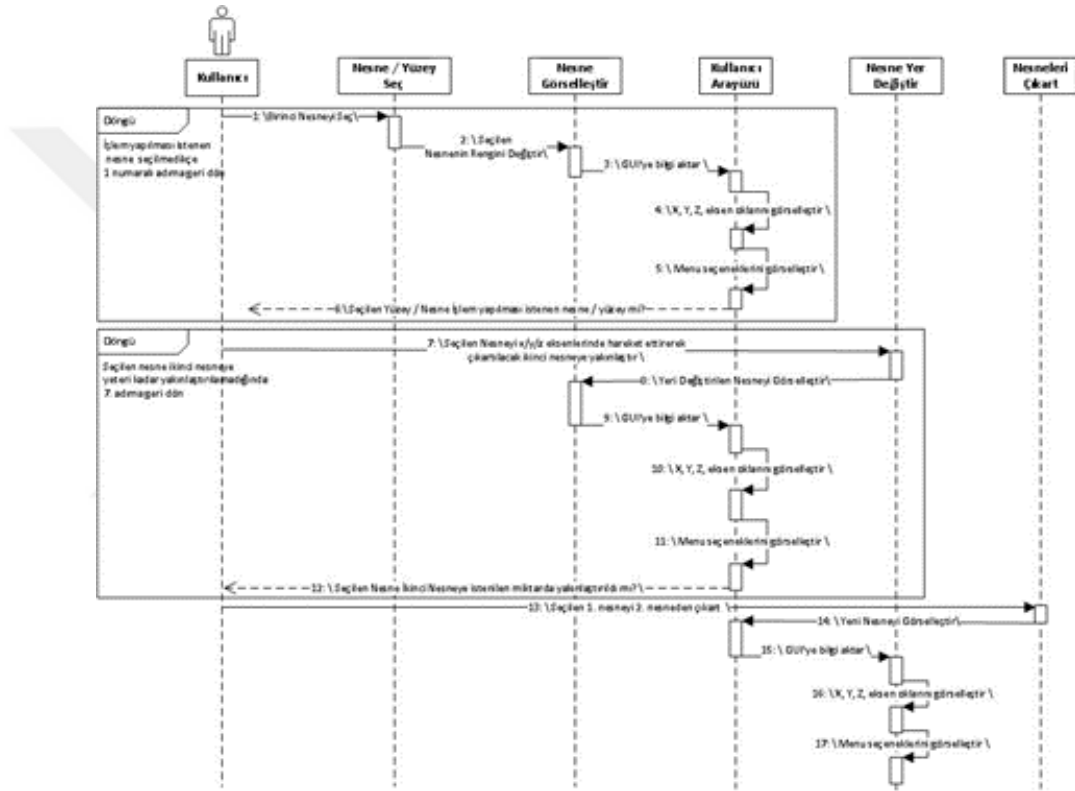


Şekil 3.12 : AG uygulaması nesne birleştirme işlemi sekans diyagramı.

Benzer şekilde geliştirilen uygulama içerisinde üretilen nesneleri birbirlerinden çıkartma işlemi uygulayarak da yeni nesnelerin üretilmesi planlanmıştır. Nesne çıkartma işlemi de nesne birleştirme işlemi gibi nesne seçimi ve nesne yer değiştirmesi ile ilgili iki kontrol döngüsü ve işleme konu olan çıkartma eylemi ile gerçekleşmektedir. Bu işlem sekansı da kullanıcının birbirlerinden çıkartılması istenen birinci nesneyi seçmesi ile başlamaktadır. Birinci nesnenin seçilmesi ile içerisinde bulunan birinci kontrol döngüsünde seçilen nesnenin rengi değiştirilip rengi değiştirilen nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır. GKA kendisine iletilen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada kullanıcı tarafından üzerinden işlem yapılması istenen nesnenin doğru seçiminin yapılmaması halinde birinci kontrol döngüsü içerisindeki birinci adıma geri dönülür. Kullanıcı tarafından üzerinde işlem yapılması istenen nesnenin seçilmesi durumunda birinci döngü tamamlanıp ikinci kontrol döngüsü içerisinde ilk, tüm sekans içerisinde yedinci işlem olan, üzerinde işlem yapılmak için seçilen nesne X, Y ve Z eksenlerinde hareket ettirilerek seçilen nesnenin çıkartılacağı ikinci nesneye yaklaştırılması işlemi gerçekleştirilir. Uzayda yeri değiştirilen nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır. Kendisine iletilen bilgi doğrultusunda GKA X, Y ve X eksen oklarını ve kullanıcı menüsünü görselleştirir. Kullanıcı üzerinden işlem yapmak

için seçtiği birinci nesnenin çıkartma işleminin uygulanacağı ikinci nesneye yeteri kadar yakınlaştığını düşünmemesi durumunda ikinci kontrol döngüsü içerisinde bulunan yedinci adıma geri dönülerek nesneye yer değiştirme işleminin uygulanması tekrarlanır. Başarılı bir şekilde kullanıcı tarafından yeri değiştirilip birleştirilecek ikinci nesneye yaklaştırılan nesne ikinci nesneden çıkartılır. Çıkartma işleminde sonra yeni nesne görselleştirilerek bu bilgi GKA'ya aktarılır.

Kendisine iletilen bilgi doğrultusunda GKA'nın X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menüsünü görselleştirmesi ile işlem başarılı bir şekilde sonlandırılır (Şekil 3.13).

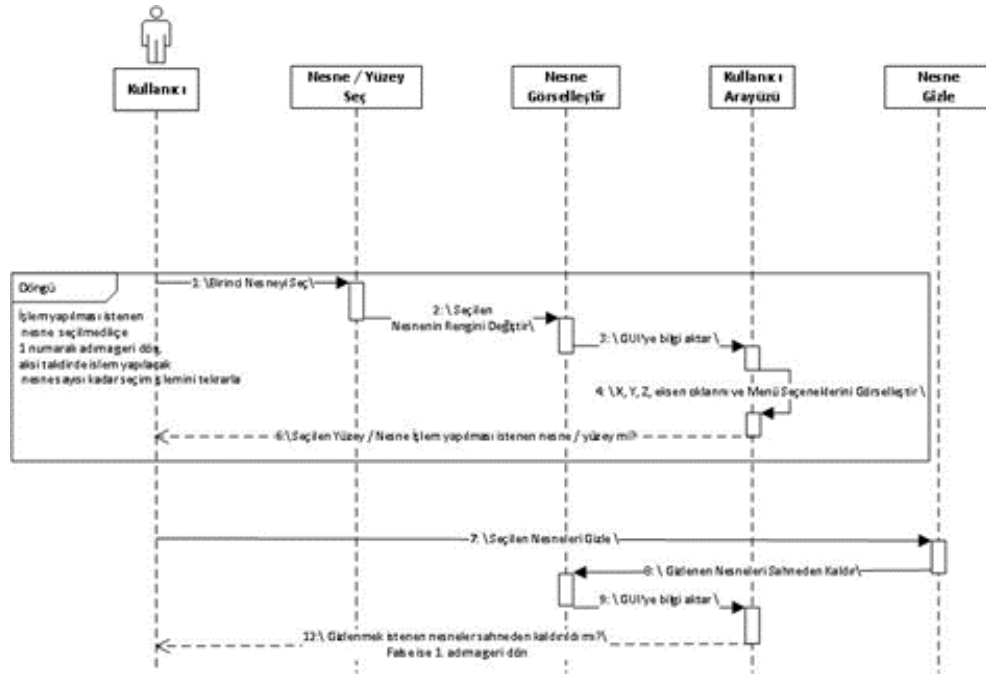


Şekil 3.13 : AG uygulaması nesne çıkartma işlemi sekans diyagramı.

Kullanıcıların geliştirilen uygulama içerisinde mümkün olduğunca özgür hareket edebilmelerinin sağlanması adına uygulama içerisinde üretilen nesnelerin çeşitli nedenlerle güncel karede gözükmesinin istenmediği durumlarda kullanıcıya nesneleri gizleyip tekrar gösterme seçeneği sağlanmaktadır. Kullanıcının gizleme işlemi uygulamak istediği birinci nesneyi seçmesi ile başlayan bu sekansta seçim işleminde sonra uygulamada daha önceden de çalışan seçilen nesnenin renginin değişmesi çağrısı yapılmaktadır. Bu çağrı sonucunda rengi değişen ve görselleştirilen nesneye ilişkin bilgi GKA'ya iletilir. GKA kendisine gelen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada kullanıcı hala seçim işlemi

için tanımlanan kontrol döngüsü içerisinde işlemlerini tamamlamaktadır. Seçilen nesnenin kullanıcının üzerinde işlem yapmak istediği nesne olmaması ya da kullanıcı tarafından üzerinde işlem yapılacak başka nesnelerinde bulunması durumunda bu şartlar sağlanana kadar döngü içerisinde ilk adıma geri dönülüp seçim işlemi tekrarlanır. Kullanıcının üzerinde işlem yapılması istenen sayıda nesne seçmesinin ardından seçilen nesnelerin gizlenmesi çağrısı ilgili nesneye iletilir. Üzerinde işlem yapılan nesneler gizlenip ilgili bilgi GKA'ya iletilir.

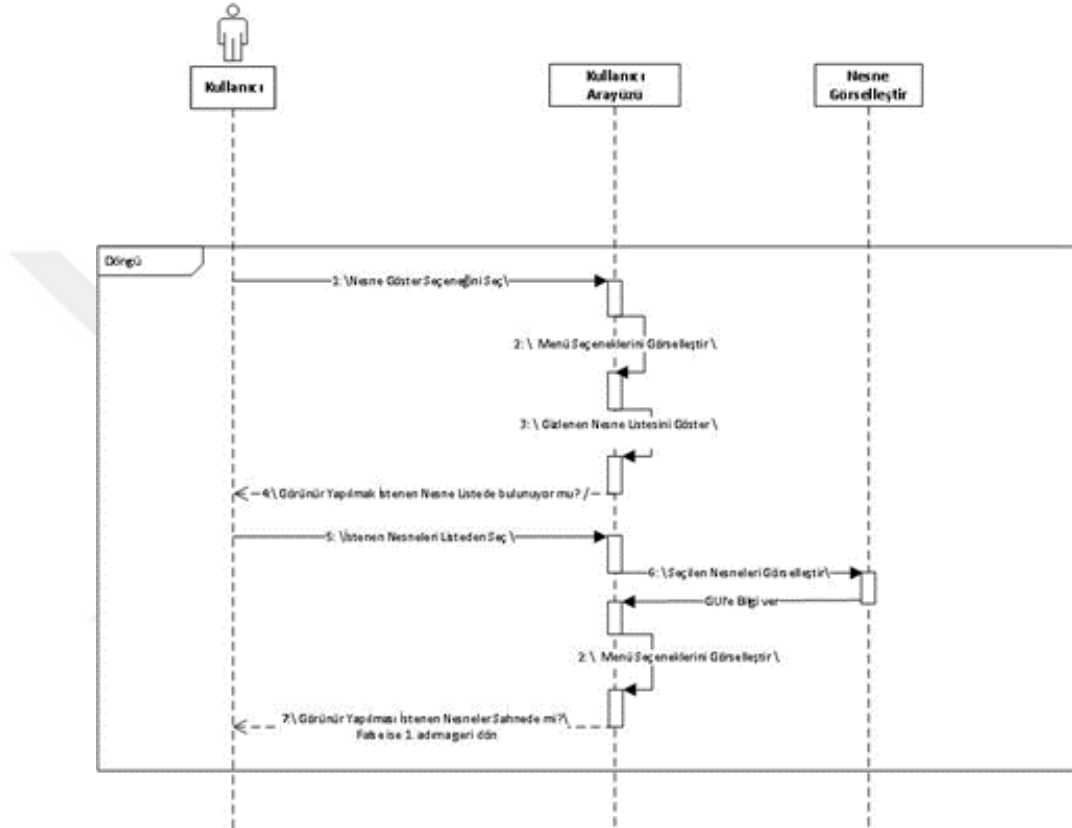
Kullanıcının gizlemek istediği tüm nesneler başarı ile gizlendiyse işlem başarı ile sonlandırılır aksi halde akışın birinci adımına geri dönülür (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : AG uygulaması nesne gizleme işlemi sekans diyagramı.

Kullanıcıların aynı şekilde daha önceden gizledikleri nesneleri tekrardan görünür hale getirme seçenekleri de uygulama tarafından kullanıcılara sunulmaktadır. Bu senaryoda tamamen bir kontrol döngüsü içerisinde gerçekleşen işlemlere başlarken kullanıcı sahnedeki nesneler gizli olduğundan birinci adım olarak GKA ile etkileşime girmektedir. Kullanıcı GKA'ya kullanıcı menü seçeneklerinden nesne göster çağrısını gönderdiğinde GKA menü seçeneklerini görselleştirmesinin ardından gizlenen nesne listesini kullanıcıya görünür kılar.

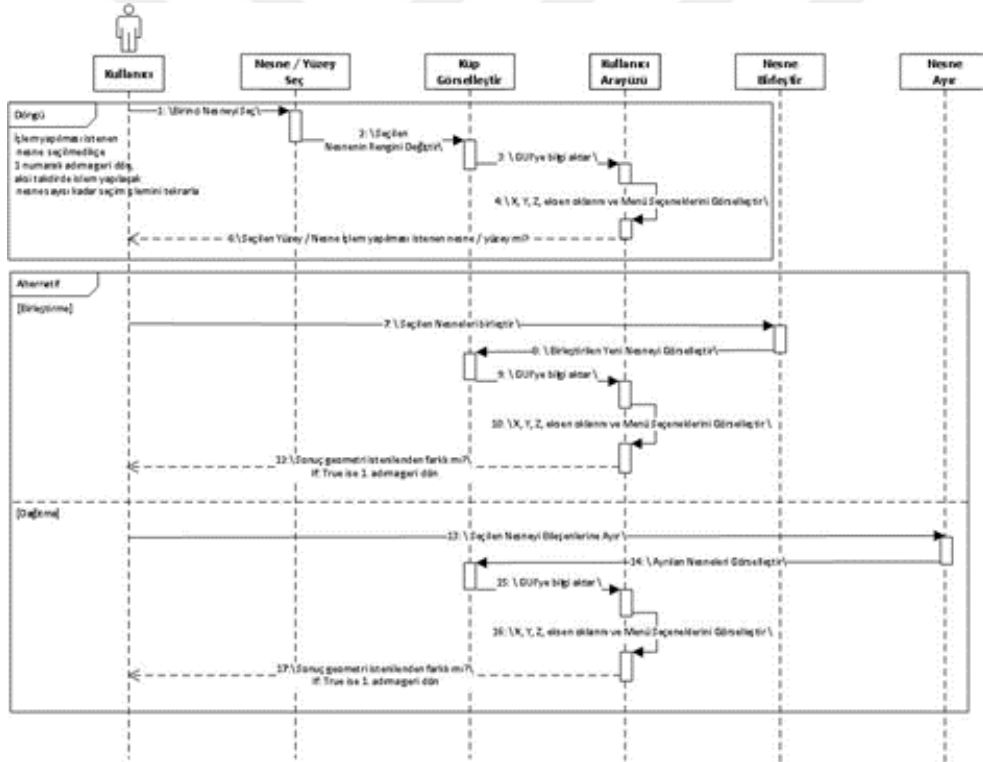
Kullanıcı GKA tarafından görselleştirilen listede görünür kılmak istediği nesneleri seçerek nesne görselleştir çağrısını ilgili nesneye iletir. Görselleştirilen nesneler ile ilgili bilgi GKA'ya aktarıldıktan sonra GKA'nın kullanıcı menüsü seçeneklerini görselleştirmesi ile istek başarı ile sonlandırılmış kabul edilir. Görünür yapılması istenen nesnelerin sahnede görünmemesi durumunda kontrol döngüsü içerisindeki birinci adıma geri dönülerek nesne göster seçeneği tekrar seçilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : AG uygulaması nesne görselleştirme işlemi sekans diyagramı.

Kullanım açısından esneklik sağlamak adına uygulama içerisinde üretilen nesnelerin bir arada yer değiştirme ve yönelim değiştirme gibi işlemlerde kullanabilmesi için bahsedilen nesnelerin gruplanarak bir arada yapılacak işlemlere girdi olarak alınması planlanmıştır. Birleştirme işlemi uygulanması kullanıcının, daha önceki örneklerde de karşılaşıldığı gibi nesne seçme işleminin sınındığı bir kontrol döngüsüne alınması ile başlamaktadır. Üzerinde işlem yapılması istenen nesnenin seçilmesinden sonra seçilen nesnenin rengi değiştirilip görselleştirilir ve bu bilgi GKA'ya iletilir. GKA kendisine iletilen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada hala kontrol döngüsü içerisinde hareket eden kullanıcı üzerinde işlem yapmak istediği nesneyi seçme işleminin tamamlayana kadar veya

üzerinde işlem yapılacak nesne sayısı kadar döngü içerisinde seçim işlemini tekrarlar. Birleştirme ya da birleştirme işlemi sonrasında ayırma işleminin uygulanacağı nesnelerin başarılı bir şekilde seçilmesi durumunda kullanıcı sekans içerisindeki birinci kontrol döngüsünden başarı ile çıkıp ikinci döngü içerisindeki işlemleri gerçekleştirmeye başlar. Bu noktada istenen işlem türüne göre seçilen nesneler gruplanır ya da önceden tanımlanan grubun dağılması için çağrı yapılır. Çağrı sonucunda gruplanan ya da dağıtılan nesneler görselleştirilir ve bununla ilgili bilgi GKA'ya aktarılır. GKA kendine iletilen bilgi doğrultusunda X, Y ve Z eksen oklarını ve kullanıcı menü seçeneklerini görselleştirir. Bu noktada ikinci kontrol döngüsünde bulunan işlemlerine devam eden kullanıcı istediği sonucu almadıysa sekans içerisindeki birinci adıma geri döner. Aksi takdirde kullanıcı tarafından iletilen çağrının başarı ile sonuçlandırıldığı kabul edilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : AG uygulaması gruplama ve grup ayırma işlemi sekans diyagramı.

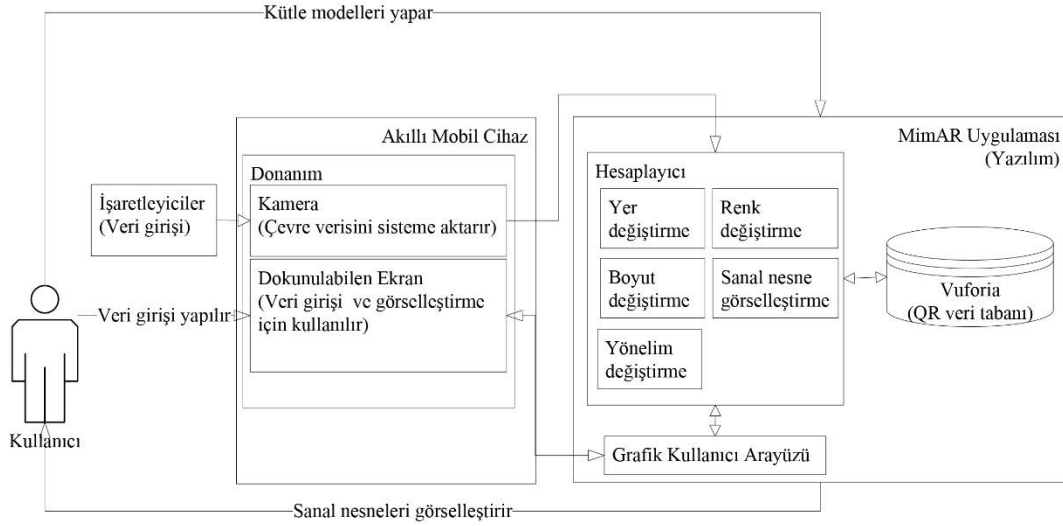
3.3 Uygulamanın Özellikleri ve Kısıtlamalar

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” AG uygulaması, günlük hayatta sıklıkla kullanılan, erişilmesi kolay ve kullanıcıların bir çok özelliğine alışkın olduğu mobil akıllı cihazlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Teknolojinin hızla ilerleyişi ile son kullanıcıya sunulan akıllı mobil cihazların donanım ve yazılım özelliklerinde

neredeyse yıllık periyodlarda iyileştirmeler yapılmaktadır. AG alanında yapılan çalışmaları olumlu yönde etkileyebilecek donanım kısmında yapılan iyileştirmeler mobil akıllı cihazların işlemcilerinde, ekran çözünürlüklerinde, kameralarında kullanılan lenslerde ve cihazlara eklenen yeni sensörlerde olmaktadır. Yazılım kısmında ise Apple ve Google gibi teknoloji şirketlerinin kendi ürettikleri cihazlar ve işletim sistemlerinde kullanılmak üzere geliştirdikleri ve optimize ettikleri ARCore ve ARKit gibi AG yazılımlarından bahsedilebilir. Yazılım ve donanım alanındaki gelişmelerin yanında teknoloji pazarında büyük pay sahibi şirketlerin de AG teknolojisine yaptığı yatırımlar göz önüne alındığında önümüzdeki yıllarda AG teknolojilerinin ve bu teknolojiler kullanılarak geliştirilmiş uygulamaların son kullanıcıların hayatında daha büyük rol oynayacağı düşünülmektedir.

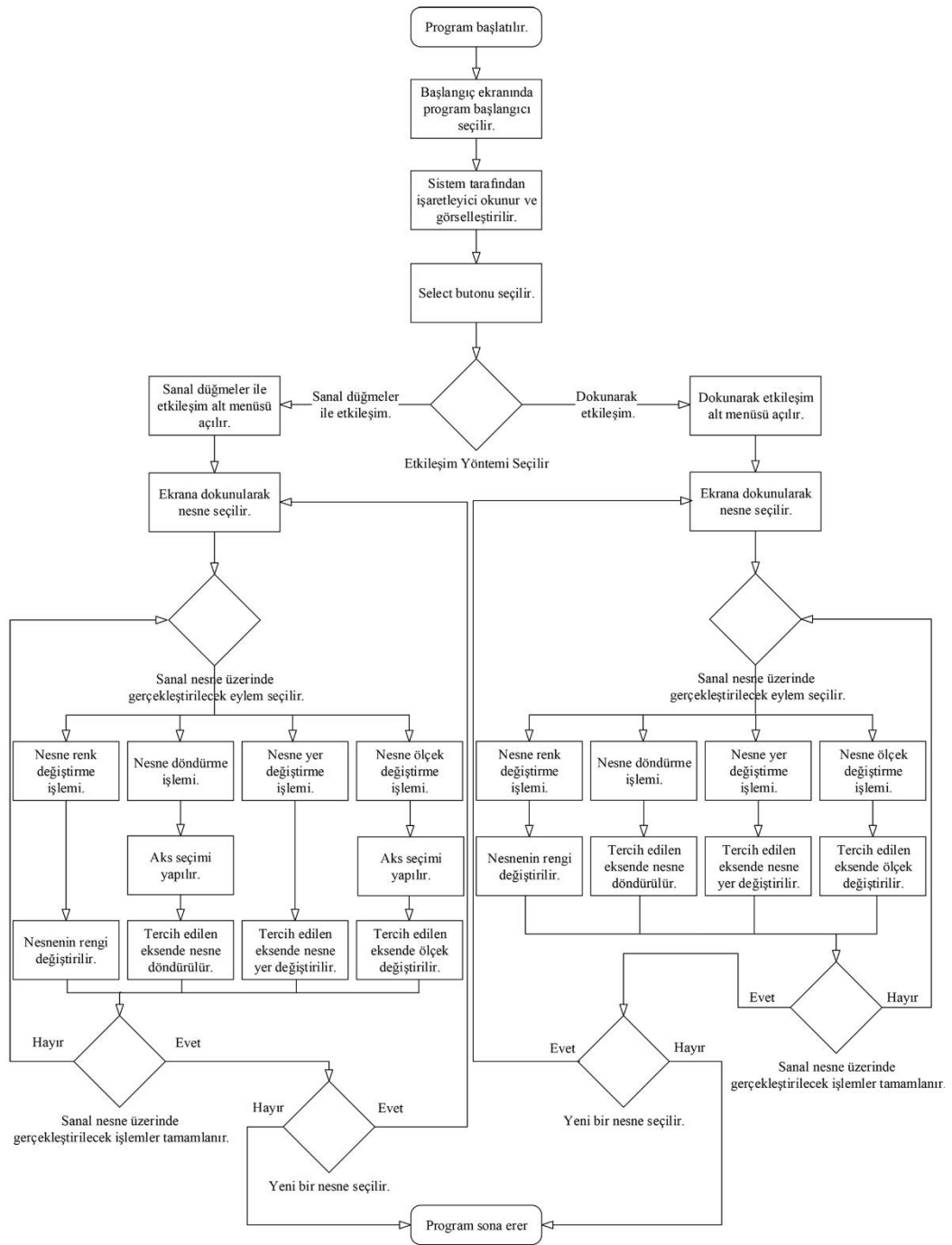
Doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen uygulama Windows 10 işletim sistemi yüklü kişisel bilgisayar kullanılarak Unity Technologies tarafından geliştirilen; bilgisayarlar, oyun konsolları ve mobil cihazlar gibi çoklu-platformlarda kullanılmak üzere 2B ve 3B video oyunları ve benzetimlerin geliştirilmesinde kullanılan Unity oyun motorunun 2017.3.0f3 sürümünde, AG uygulamaları geliştirmek için kullanılan Vuforia eklentisi kullanılarak geliştirilmiştir. Uygulamanın arayüzünün çeşitli bileşenlerine davranış özellikleri eklemek için Visual Studio 2015 Community Edition uygulama geliştirme ortamında C# programlama dili kullanılmıştır.

“MimAR” uygulamasının ana görevi kullanıcının mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde geliştirdiği tasarım alternatiflerinin kütle modellerini hızlı bir şekilde gerçek ortamda görselleştirerek kullanıcının önerilerini değerlendirebilmesine olanak tanımadır. Sistem mimarisi diyagramında (Şekil 3.17) görülebileceği gibi kullanıcı uygulamayı tercih ettiği akıllı mobil cihazının dokunulabilen ekranını kullanarak sisteme veri girişi olarak iletilen komutlar aracılığıyla kullanmaktadır. Sisteme bir diğer veri girişi yolu ise uygulamanın, kurulduğu akıllı mobil cihazların donanımlarından olan kameralarını kullanarak işaretleyicileri tanıması ile olmaktadır. Uygulama gerçek ortamda kamera vasıtasıyla tanımladığı işaretleyicileri Vuforia eklentisi ile sisteme kurulum aşamasında tanıtılmış ve entegre edilmiş olan veri tabanında bulunan işaretleyicilerle karşılaştırarak sistemde bulunan işaretleyicileri mobil cihazın ekranında görselleştirmektedir. Uygulama kullanılarak sanal nesneler üzerinde gerçekleştirilebilecek çeşitli eylemler kullanıcı tarafından GKA kullanılarak sisteme iletilir, ve mobil cihazın ekranı kullanılarak görselleştirilirler.



Şekil 3.17: “MimAR” uygulamasının sistem mimarisi diyagramı.

Uygulamanın temel akış diyagramında (Şekil 3.18) görülebileceği gibi kullanıcılar dokunulabilen ekran üzerindeki jestler ve sanal tuş takımı yoluyla etkileşim olmak üzere tercih ettikleri etkileşim yöntemini seçtikten sonra üzerinde işlem yapmak istedikleri nesneyi seçerek aynı nesne üzerinde işlem yaptıkları sürece yeniden nesne seçimi yapmak zorunda kalmadan istedikleri eylemleri gerçekleştirebilmektedirler. Uygulama kullanılırken gerçekleştirilen eylemlerin değişmesi durumunda dahi kullanıcıların dikkatlerinin dağılmaması için tercih edilen bu işleyiş ancak yeni bir nesne üzerinde işlem yapılmak istenmesi durumunda kullanıcıyı yeniden nesne seçimi yapmaya yönlendirmektedir.



Şekil 3.18: “MimAR” uygulamasının temel seviye akış diyagramı.

Geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirildiği çalışmalarda; 4 çekirdekli 1.5 GHz hızında işlemciye, 2 GB RAM’e, 1080 x1920 piksel ekran çözünürlüğünde, 5.0 inch büyüklüğünde dokunmatik bir ekrana ve 13 MP arka kameraya sahip, Android 5.1.1 işletim sistemi yüklü bir akıllı telefon kullanılmıştır.

Uygulamanın geliştirildiği Unity oyun motorunun geliştiricilere sunduğu esneklik sayesinde geliştirilen uygulamanın Android işletim sistemi dışında IOS işletim sistemini kullanan mobil akıllı cihazlara da kurulma imkanı bulunmaktadır. Ancak uygulamanın IOS işletim sistemi yüklü cihazlar üzerinde kullanıldığında nasıl performans sergileyeceği ile ilgili bir test gerçekleştirilmemiştir.

3.4 Uygulamanın Sürümleri

“MimAR” AG uygulaması doktora tezi kapsamında incelenen araştırma sorularına deneye dayalı cevaplar verebilmek amacıyla gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. AG teknolojisinden faydalanılarak geliştirilen uygulama, geliştirme sürecinde kullanılan BMD kavramı, C# programlama dili ve Unity oyun motoru gibi program ve programlama dilleri ile gerçekleştirilen çalışma öncesinde herhangi bir deneyime sahip olmayan Mimari Tasarımda Bilişim alanında Yüksek Lisans sahibi araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirilme süreci esnasında araştırmacının kullanılan araçlarla ilgili bilgisi ve deneyiminin artmasının yanında uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilen testler esnasında yapılan gözlemler ve katılımcı geri bildirimleri uyarınca uygulamada çeşitli iyileştirmeler yapılmıştır.

“MimAR” AG uygulamasının ilk sürümü uygulamanın ne tür özelliklere sahip olacağına ve bu özelliklerin uygulama içerisinde hangi adımlar izlenerek gerçekleştirileceğine karar verildikten ve teorik olarak verilen bu kararlar BMD kullanılarak ifade edildikten sonra geliştirilmiştir. Uygulamanın ilk sürümü Türkçe olarak geliştirilmiş, uygulamanın nesne görselleştirme ve nesnelerin yerlerini değiştirme gibi temel özellikleri aktif olarak kullanıma alınmıştır. GKA bileşenleri olabildiğince sade bir şekilde tasarlanıp uygulamaya eklenmiştir.

MimAR AG uygulamasının kullanılabilirlik testleri yapılarak değerlendirilmesinin sağlandığı ikinci sürümünde:

- Birinci sürümdeki GKA elemanları daha da sadeleştirilerek yenilenmiş,
- Sanal düğme boyutları büyütülerek uygun büyüklüğe getirilmiş,
- Uygulamanın dili İngilizce olarak güncellenmiş,

- Birinci sürümde bulunmayan sanal nesnelerle dokunularak etkileşim yöntemi uygulamaya eklenmiştir.

Uygulamanın geliştirilmesinde göz önünde bulundurulan genel tasarım ilkesi, kullanım kolaylığı ve etkinliğin sağlanması oluşturmaktadır. Bu amaçla uygulamanın arayüzündeki okunabilirliğinin artırılması yönünde iyileştirmeler yapılmış, aktif ve inaktif düğmeler farklı renklerle ifade edilmiş ve eksen seçiminde görülebilecek checkboxlar arayüze eklenmiştir. Ayrıca, gerçek kullanıcıların uygulamayı kullanırken edinecekleri deneyimi gözlemlemek ve uygulamanın iyileştirilmesinde bu aşamada toplanacak veriden faydalanarak gerekli iyileştirmeleri yapabilmek amacıyla mimarlık alanında Doktora düzeyinde eğitim sahibi, bilişim teknolojileri ve bilgisayar destekli tasarım araçları konularında deneyimli bir kullanıcı ile kullanılabilirlik testi yapılmıştır.

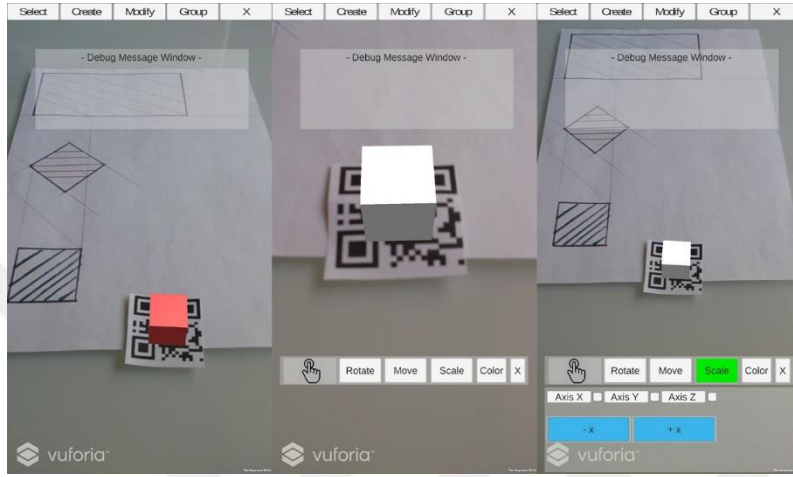
Uygulamanın en güncel hali olan üçüncü sürümünde ise tez çalışması kapsamında gerçekleştiren kullanılabilirlik çalışmalarının sonuçları göz önünde bulundurularak uygulamanın kullanılabilirliğini arttırmak amacı ile:

- Kullanıcılara görsel geri bildirimlerin yanında yazılı geri bildirim verilmesi,
- Ölçeklendirme metodunda tutarlılığın artırılması,
- Üretilen sanal nesnelerin boyutlarında yapılan değişikliklerin görselleştirme biçiminde iyileştirmelerin yapılması
- Kullanıcıların nesnelerin rengini değiştirmelerinin sağlanması konularında iyileştirmeler yapılmıştır.

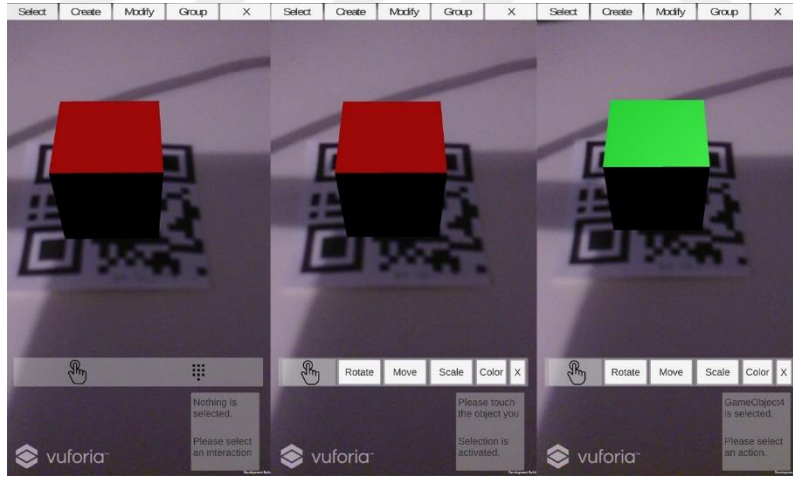
3.4.1 Kullanıcı geri bildirimi

Geliştirilen AG uygulamasının bir önceki versiyonunda kullanıcılara gerçekleştirdikleri işlemlerle ilgili herhangi bir biçimde yazılı bildirim verilmemektedir. Uygulamanın bir önceki versiyonunda GKA (Grafik Kullanıcı Arayüzü) üzerinde farklı türden bilgilerle ekranı kaplamamak için gereksiz bilgilerin ekranda gösterilmemesi ve net bir kullanıcı arayüzü kullanımı tercih edilmiştir. Kullanıcıların geri bildirimi için ise yazıya alternatif olarak nesne seçim işleminde başarılı ve başarısız eylemler sonucunda nesnelerin renklerinin değişmesi yolu tercih edilmiştir. Gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışması sonuçlarına göre uygulamanın kullanılabilirliğinin arttırılabileceğinin görülmesi üzerine uygulama içerisindeki

seçimlere göre görünür hale gelen ana menü kutusu içerisinde konumlandırılmış bir bilgi paneli kurgulanmıştır. Geliştirilen bilgi panelinde, ana menüden etkileşim yönteminin seçilmesinden sonra bir seçim yapılması gerektiği, seçim eyleminin başarılı olup olmadığı, hangi nesnenin seçildiği ve sonrasında seçilen nesne üzerinde uygulanması istenen işlemin seçilmesi gerektiğine ilişkin bilgiler kullanıcıya yazılı olarak verilmektedir (Şekil 3.19).



(a)



(b)

Şekil 3.19 : Geliştirilen uygulamanın eski sürümünde renklerle kullanıcı geri bildirimi (a), yeni versiyonda renklerle ve yazı ile kullanıcı geri bildirimi (b).

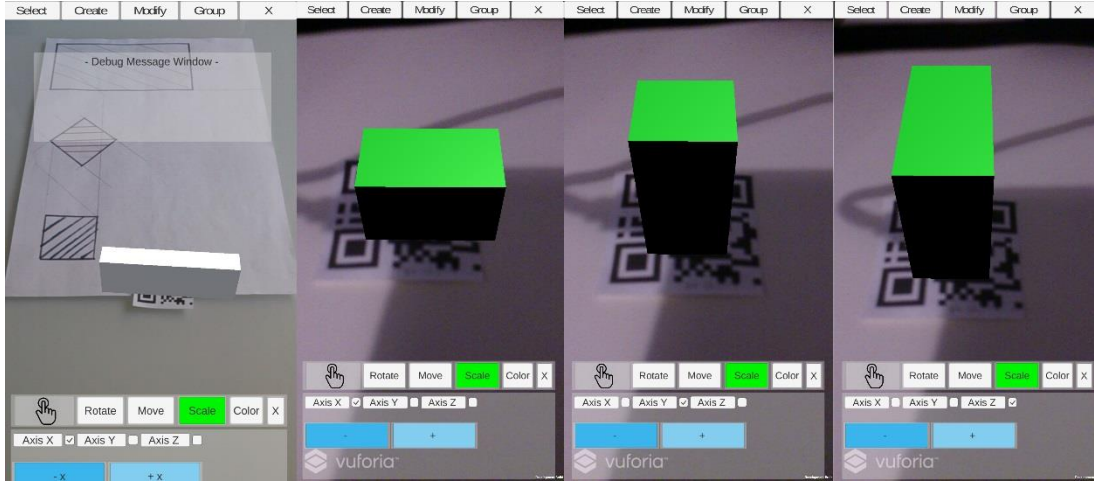
3.4.2 Ölçeklendirme komutunun iyileştirilmesi

Uygulama üretilen sanal nesnelerin boyutlarının değiştirilmesi istendiğinde sanal nesnelerin istenen tüm eksenlerinde işlem yapılabilecek biçimde geliştirilmiştir. Örneğin uygulamanın eski sürümlerinde kullanıcıların boyutları üzerinde değişiklik

yapmak istedikleri sanal nesnelerin; sadece x,y, ya da z; x ve y, x ve z ya da y ve z olmak üzere iki eksenini; ya da x,y ve z olmak üzere tüm eksenlerini seçip seçilen eksenler üzerinde boyut değiştirme işlemlerini gerçekleştirmeleri mümkündür. Ancak uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için yapılan pilot çalışmalarda kullanıcıların sanal nesnelerin boyutlarını değiştirirken işlem yapacakları eksen seçimi esnasında önceden üzerinde boyut değiştirme işlemi gerçekleştirdikleri eksenle ilgili seçimi kaldırmayı unutmaları durumunda sanal nesnelerin boyutlarını istemedikleri bir şekilde değiştirebildikleri ve bu nedenle tasarım egzersizlerine sisteme sıfırdan yeni bir nesne tanımlayarak devam ettikleri gözlenmiştir. Kullanıcıların tasarım egzersizlerini tamamlamaları için kendilerine verilen süreyi daha verimli kullanmalarını sağlamak adına boyut değişikliği işleminin gerçekleştirilmesini sağlayan metod ve bu metoda bağlı boolean cinsindeki değişkenler kontrol edilmiştir. Sanal nesnelerin boyutlarının kontrolünü gerçekleştiren metod eksen seçimi işleminde eksenler sadece bir eksenin aktif olarak seçili olabileceği şekilde yeniden yazılarak uygulamaya eklenmiştir.

3.4.3 Nesne görselleştirmesinin iyileştirmesi

Geliştirilen AG uygulamasında üzerinde çeşitli işlemlerin uygulanacağı nesneler, uygulamanın geliştirildiği Unity programı içerisinde nesnenin herhangi bir ekseninde harekete başlayacağı ana nokta olarak merkezlerinden tanımlanmış durumdadırlar. Bu nedenle nesneler örneğin, nesne üzerinde boyut değiştirme işlemi uygulandığında seçilen eksene göre nesnenin orta noktasından nesnenin boyutu hem +x hem de – x eksenlerinden eşit olacak şekilde değişmekteyken uygulama içerisinde nesnenin çapa noktasının değiştirilmesi ile nesne boyutunun değişiminin görselleştirilmesindeki bu durum değiştirilmiştir. Uygulamanın güncel sürümünde sanal nesnelerin boyutları değiştirilirken nesnelerin boyutları sadece (+) eksenlerde değişecek şekilde bir iyileştirmeye gidilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 : Ölçeklendirme konusunun iyileştirilmesi.

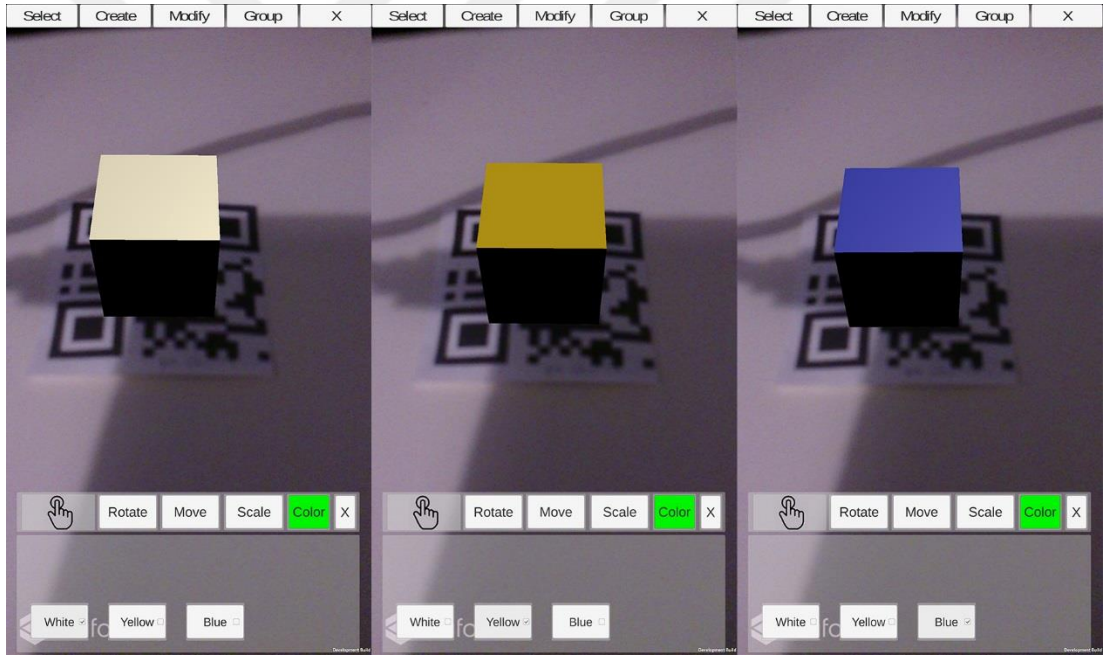
3.4.4 Sanal nesnelerde renk seçimi

Tezin 3.2. bölümünde değinildiği gibi tez kapsamında geliştirilen uygulamanın hangi özelliklere sahip olacağı ve bu özelliklerin hangi adımlar izlenerek gerçekleştirileceğine uygulamanın geliştirilme sürecinin başında karar verilerek ve bu adımlar BMD kullanılarak ardıl etkileşim diyagramları ile grafik olarak ifade edilmişlerdir. Uygulama geliştirme sürecinin başından itibaren uygulamada bulunması istenen özelliklerden birisi olan sanal nesnelerin renklerini değiştirme olanağı uygulamanın geliştirilmesi, test edilmesi ve iyileştirilmesi süreçlerinde farklı şekillerde uygulamaya eklenmiştir.

Uygulamanın ilk sürümünde sanal nesnelerin renklerini değiştirme olanağı kullanıcıların tasarım egzersizlerinde kendilerine verilen zamanı verimli kullanmalarını sağlamak amacıyla aktif olarak kullanıma açılmamıştır. Bunun yerine uygulama içerisinde seçilmiş ve seçilmemiş nesne ayrımının yapılmasını görsel olarak ifade etmek üzere nesnelerin renklerinin sistem tarafından otomatik olarak değiştirileceği bir metod geliştirilmiş ve sisteme eklenmiştir. Geliştirilen bu metodla uygulama içerisindeki nesnelerin renkleri uygulamada yeşil ya da kırmızı olacak bir şekilde tanımlanmıştır. Uygulama tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen renk değişimi metodu nesne üzerinde bir işlem uygulandığı süre içerisinde aktifleştirilmektedir. Sanal nesneler üzerlerinde işlem gerçekleştirmek için başarı ile seçildiğinde nesneler “yeşil” renkle ifade edilmekte. Nesne seçimi aktif halde olmadığında ise nesneler “kırmızı” renkte ifade edilmektedir.

Uygulamanın güncel versiyonunda kullanıcıların ürettikleri sanal nesnelerin renklerini kendi tercihlerine göre değiştirmelerine olanak tanıyan bir metod tanımlanarak uygulamaya eklenmiştir. Yazılan bu yeni metodla kullanıcılara üzerinde değişiklik yapacakları nesneleri farklılaştırma opsiyonunun tanımlanması amacıyla belirli koşullarda görselleştirilen seçim menüsüne renk paneli eklenerek kullanıcılara nesneler üzerinde istedikleri zaman nesne rengini değiştirmeleri imkanı tanınmıştır.

Böylelikle uygulamanın güncel versiyonunda nesneler uygulama başlatıldığında “kırmızı” olarak görselleştirilmekte, nesne seçildiğinde nesnenin renk seçiminden bağımsız olarak “yeşil” renkte görselleştirilmektedir. Nesne seçimi aktif olmadığında ve sanal nesneye kullanıcı tarafından “beyaz”, “sarı” ve “mavi” renklerinden birisinin atanmaması durumunda sanal nesneler “kırmızı” renkte görselleştirilmektedir (Şekil 3.21).

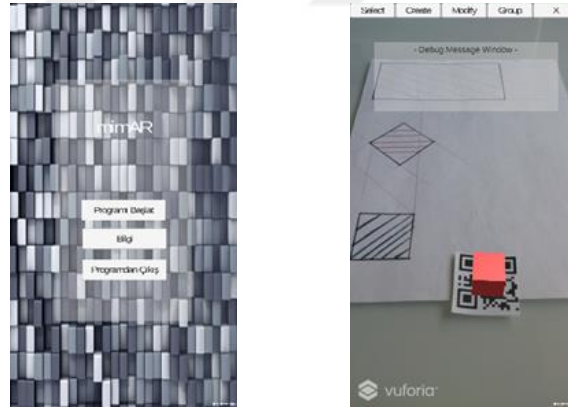


Şekil 3.21 : Nesnelerde renk seçimi.

3.5 “MimAR” AG Uygulamasının Grafik Kullanıcı Arayüzü

Uygulama kullanıcıların tasarımın erken evrelerinde geliştirdikleri fikirlerini görselleştirebilmelerini sağlamak amacıyla: basit 3B önceden tanımlanmış nesneleri oluşturma, oluşturulan bu 3B nesnelerin gerçek dünyada 3B koordinat sisteminde yerlerini değiştirme, üretilen 3B nesnelerin yönelimlerini değiştirme ve nesnelerin kullanıcıların seçeceği farklı eksenlerde boyutlarını değiştirme operasyonlarının gerçekleştirilmesini sağlamaktadır.

Uygulamanın ana ekranında kullanıcı nesneleri üreteceği ve manipüle edeceği gerçek dünya çalışma ortamını uygulamanın yüklü olduğu akıllı telefon veya tablet kamerası yardımıyla ekranda görmektedir. Çalışma ortamına kullanıcıların etkileşimde bulunacakları sanal nesneler, üzerlerinde hangi nesnenin görselleştirileceğine ilişkin bilgi olan önceden belirlenmiş qr kodların bulunduğu 4x4 cm boyutundaki işaretleyicilerin uygulamaya uygulamanın yüklü olduğu cihazın kamerası yardımıyla tanıtılması ile eklenirler. Çalışma ortamının gerçek zamanlı olarak izlenebildiği bu ekranın sol üst kısmında seçilebilir durumdaki ilk sanal düğme olan “Select” düğmesi ile uygulama içerisindeki seçim işlemi aktif hale getirilmektedir (Şekil 3.22).

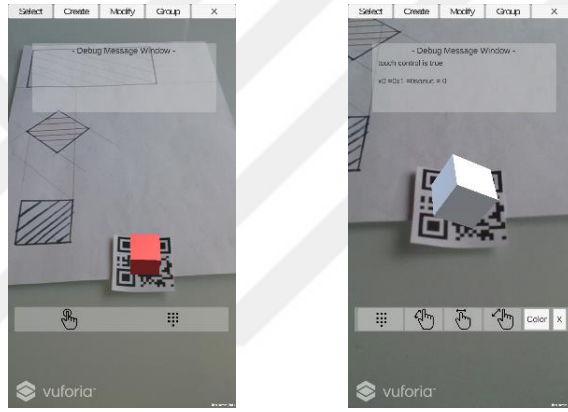


(a)

(b)

Şekil 3.22 : (a) MimAR uygulaması başlangıç ekranı, (b) Çalışma ortamı, kare kodlu işaretleyici üzerinde konumlandırılmış sanal nesne ve “Select” düğmesinin yer aldığı ana menü.

Seçim işleminin aktif hale gelmesinden sonra kullanıcı, uygulamanın arayüzünde görünür hale gelen dokunarak etkileşim ya da sanal düğmeler yoluyla etkileşim olmak üzere iki etkileşim seçeneğinden tercih ettiği etkileşim yöntemini seçebilmektedir (Şekil 3.23 (a)). Tercih edilen etkileşim yönteminin seçilmesinden sonra, kullanılacak etkileşim yöntemine göre nesne üzerinde gerçekleştirilebilecek işlemlerin görülebileceği işlem menülerine ulaşılmaktadır. İşlem menüsüne ulaşıldıktan sonra kullanıcının ekranda uygulamaya tanıttığı ve üzerinde işlem yapmak istediği sanal nesneyi uygulamanın kurulu olduğu cihazın ekranına dokunarak seçmesi gerekmektedir. Seçim işlemine kadar kırmızı renkte görünen sanal nesne Şekil 3.23 (b)'de görülebileceği gibi, seçim işleminin tamamlanmasından sonra üzerinde işlem yapılmak üzere seçildiğini ifade edilmek amacıyla beyaz renkte görselleştirilmiştir.

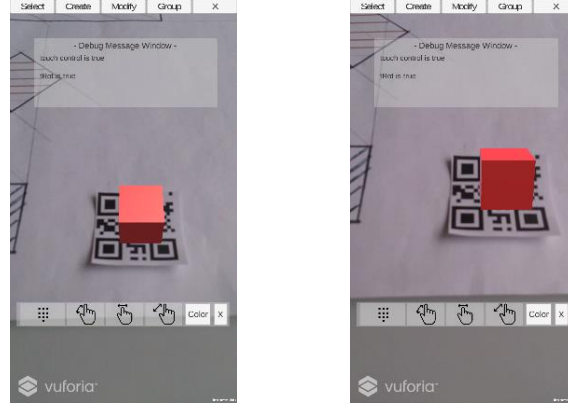


(a)

(b)

Şekil 3.23 : (a) Uygulamada seçilebilecek etkileşim yöntemleri, (b) seçilen sanal nesne ve bu nesne üzerinde dokunarak etkileşim yoluyla gerçekleştirilebilecek işlemler.

Dokunarak etkileşim yöntemi seçildiğinde kullanıcı karşısına çıkan ikinci menüden farklı sembollerle görselleştirilmiş sırasıyla “Rotate”, “Move” ve “Scale” işlemlerini gerçekleştirebileceği sanal düğmeleri görebilmektedir. İkinci menüden “Rotate” işlemi seçildikten sonra kullanıcı işlem yapmak istediği sanal nesneyi uygulamanın kurulu olduğu akıllı cihazın ekranına dokunarak seçtiği nesnenin yönünü çalışma ortamında koordinat sisteminde x, y veya z eksenlerinde Şekil 3.24 (a) ve (b)'de görülebileceği değiştirebilmektedir.

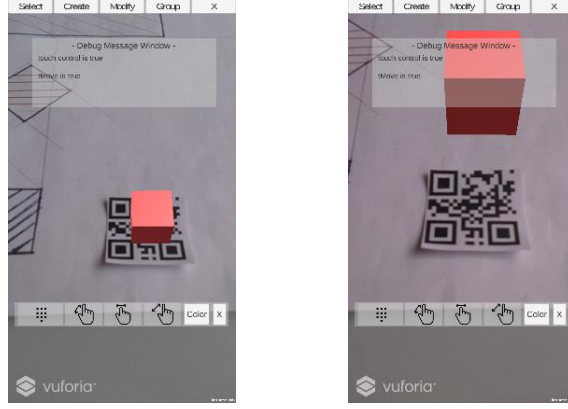


(a)

(b)

Şekil 3.24 : (a) Sanal nesnenin dokunarak etkileşim menüsünden “Rotate” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla sanal nesneye döndürme işleminin uygulanması.

Dokunarak etkileşim yöntemi seçildikten sonra kullanıcıların üzerinde işlem yapmak için seçtikleri sanal nesneye uygulayabilecekleri ikinci işlem ise nesne işlemlerinin seçildiği menüden “Move” sanal düğmesinin seçiminden sonra üzerinde işlem yapılması istenen nesnenin ekran üzerinden dokunularak seçilmesi sonucu gerçekleştirilebilecek yer değiştirme işlemidir. Yer değiştirme işlemi “Move” sanal düğmesinin aktif hale getirilmesinden sonra üzerinde işlem yapılacak sanal nesnenin uygulamanın kurulu olduğu akıllı cihazın ekranına dokunarak seçilmesi ve nesnenin çalışma ortamında koordinat sisteminde x, y veya z eksenlerinde Şekil 3.25 (a) ve (b)’de görülebileceği gibi yerinin değiştirilmesi ile tamamlanmaktadır.

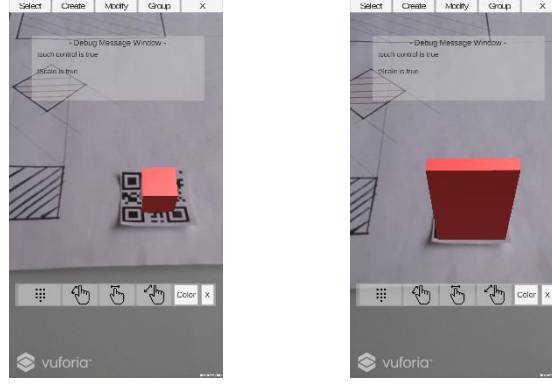


(a)

(b)

Şekil 3.25 : (a) Sanal nesnenin dokunarak etkileşim menüsünden “Move” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla sanal nesneye yer değiştirme işleminin uygulanması.

Dokunarak etkileşim yöntemi seçildikten sonra kullanıcıların üzerinde işlem yapmak için seçtikleri sanal nesneye uygulayabilecekleri üçüncü ve son işlem ise nesne işlemlerinin seçildiği menüden “Scale” sanal düğmesinin seçiminden sonra üzerinde işlem yapılması istenen nesnenin ekran üzerinden dokunularak seçilmesi sonucu gerçekleştirilebilecek boyut değiştirme işlemidir. Boyut değiştirme işlemi “Scale” sanal düğmesinin aktif hale getirilmesinden sonra üzerinde işlem yapılacak sanal nesnenin uygulamanın kurulu olduğu akıllı cihazın ekranına dokunarak seçilmesi ve nesnenin x, y veya z eksenlerinde Şekil 3.26 (a) ve (b)’de görülebileceği gibi boyutunun değiştirilmesi ile tamamlanmaktadır.



(a)

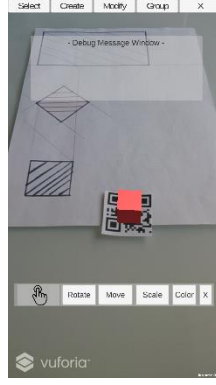
(b)

Şekil 3.26 : (a) Dokunarak etkileşim menüsünden “Scale” işleminin seçilmesi. (b) Dokunarak etkileşim yoluyla seçili sanal nesneye boyut değiştirme işleminin uygulanması.

Kullanıcılar sanal nesnelerle etkileşim yöntemlerini uygulamanın başında seçmenin yanı sıra, bir etkileşim yöntemini seçmiş oldukları durumlarda da, örneğin dokunma ile etkileşim yöntemini seçmişken sanal düğmeler yoluyla etkileşim yöntemini seçmek gibi, istedikleri an değiştirme özgürlüğüne sahiptirler. Etkileşim yöntemi, seçili etkileşim yönteminden Şekil 3.26’de görülebilen menü içerisindeki en solda yer alan diğer etkileşim yöntemini ifade eden sanal düğmenin seçilmesi ile değiştirilebilir.

Kullanıcıların dokunma ile etkileşimin dışında seçebilecekleri diğer yöntem ise sanal düğmeler yardımı ile etkileşim yöntemidir. Kullanıcıların etkileşimde bulunabilecekleri sanal nesne üzerinde gerçekleştirebilecekleri seçili işlemi temsil eden düğmenin renginin yeşil renge dönmesi ile arayüzde görselleştirilen Şekil 3.27 (a)’da görülebilecek işlemler: “Move” düğmesi ile aktif hale getirilen ve nesnenin x, y ya da z eksenlerinde hareket ettirilmesini sağlayan yer değiştirme işlemi, “Rotate” düğmesi ile aktif hale getirilebilen ve seçili sanal nesnenin x, y ya da z eksenlerinde döndürülmesini sağlayan döndürme işlemi ve “Scale” düğmesine dokunulması ile aktif hale getirilebilen ve seçili sanal nesnenin x, y ya da z eksenlerinde boyutlarının değiştirilebileceği ölçekleme işlemlerinden oluşmaktadır.

Bu yöntem seçildiğinde dokunarak etkileşim yönteminden farklı olarak üzerinde işlem yapılması planlanan nesnenin Şekil 3.27 (b)’de görülebileceği gibi, üzerinde uygulanacak işlemler seçilmeden önce kullanıcı tarafından uygulamanın yüklü olduğu cihazın ekranına dokunarak seçilmesi gerekmektedir.



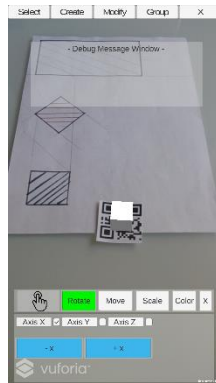
(a)



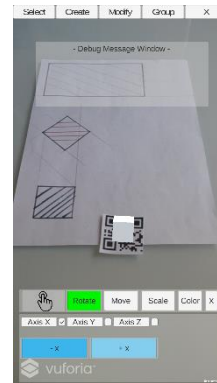
(b)

Şekil 3.27 : (a) Sanal düğmeler ile etkileşim ana menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde nesne üzerinde gerçekleştirilecek işlem seçilmeden önce işlem yapılacak sanal nesnenin seçilmesi.

Kullanıcılar üzerinde işlem yapacakları nesneyi seçtikten sonra ekranda bulunan “Rotate” düğmesini uygulamanın yüklü olduğu cihazın ekranına dokunarak aktif hale getirdiklerinde düğme Şekil 3.28. (a)’da görülebileceği gibi normal beyaz renginden aktif olduğunu belirten yeşil renge döner. “Rotate” düğmesi aktif hale geldikten sonra kullanıcılar işlem yapmak amacıyla seçtikleri sanal nesnenin yönelimini, koordinat sisteminde x, y veya z ekseninde Şekil 3.28. (b)’de görülebileceği gibi öncelikle seçili nesnenin yöneliminin değiştirileceği eksenı seçtikten sonra ilişkili sanal butonlara dokunarak değiştirebilmektedirler.



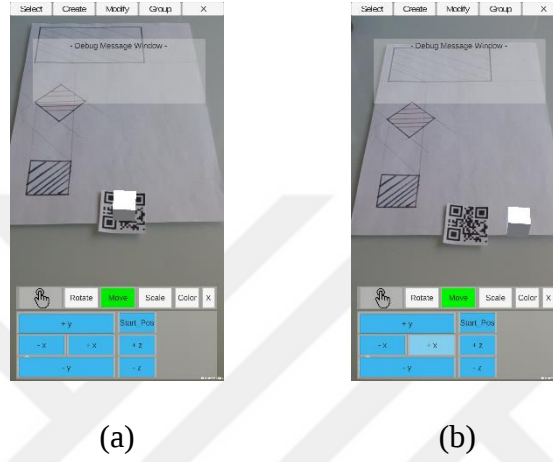
(a)



(b)

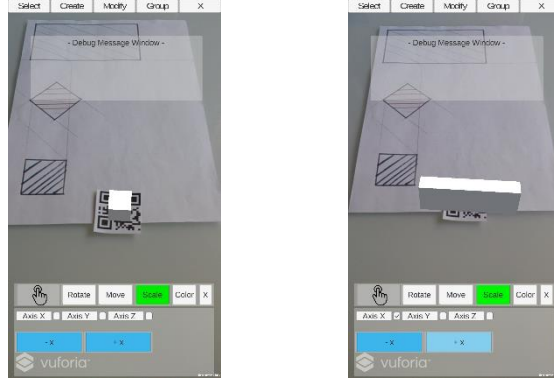
Şekil 3.28 : (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile yönelim değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin yöneliminin değiştirilmesi.

Kullanıcılar üzerinde işlem yapacakları nesneyi seçtikten sonra ekranda bulunan “Move” düğmesini uygulamanın yüklü olduğu cihazın ekranına dokunarak aktif hale getirdiklerinde düğme Şekil 3.29 (a)’da görülebileceği gibi normal beyaz renginden aktif olduğunu belirten yeşil renge döner. “Move” düğmesi aktif hale geldikten sonra kullanıcılar işlem yapmak amacıyla seçtikleri sanal nesneyi koordinat sisteminde x, y ya da z ekseninde Şekil 3.29 (b)’de görülebileceği gibi sanal butonlara dokunarak hareket ettirebilmektedirler.



Şekil 3.29 : (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile yer değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin yerinin değiştirilmesi.

Kullanıcıların sanal düğmeler yardımı ile etkileşim yöntemini seçerek üzerinde işlem gerçekleştirmek istedikleri sanal nesne üzerinde gerçekleştirebilecekleri son işlem ise boyut değiştirme işlemidir. Boyut değiştirme işlemini gerçekleştirmek için kullanıcıların, üzerinde işlem yapacakları nesneyi seçtikten sonra ekranda bulunan “Scale” düğmesini uygulamanın yüklü olduğu cihazın ekranına dokunarak Şekil 3.30 (a)’da görülebileceği gibi aktif hale getirmeleri gerekmektedir. “Scale” düğmesi, aktif hale geldikten sonra kullanıcılar işlem yapmak amacıyla seçtikleri sanal nesnenin boyutlarını, koordinat sisteminde x, y veya z ekseninde Şekil 3.30 (b)’de görülebileceği gibi öncelikle seçili nesnenin boyutunun değiştirileceği eksen seçtikten sonra ilişkili sanal butonlara dokunarak değiştirebilmektedirler.



(a)

(b)

Şekil 3.30: (a) Sanal düğme yardımıyla etkileşim yöntemi ile boyut değiştirme işlemi menüsü. (b) Sanal düğmeler ile etkileşim menüsünde seçilen sanal nesnenin boyutunun değiştirilmesi.

Kullanıcılar üzerinde işlem yapmak istedikleri sanal nesne ile olan etkileşimlerini daha önceki kısımlarda da belirtildiği gibi istedikleri zaman değiştirme özgürlüğüne sahiptirler. Ayrıca seçilen nesne üzerinde gerçekleştirilen işlemler de kullanıcının isteğine bağlı olarak ilgili etkileşim yönteminin menüsünden “x” düğmesine dokunularak çıkış yapmak şartıyla sonlandırılabilir. Doktora tezi kapsamında geliştirilen MimAr AG uygulaması bünyesinde barındırdığı alışılmış ve içgüdüsel etkileşim yöntemleri ve arayüzü ile kullanıcılarına hızlı, etkin ve eğlenceli bir biçimde tasarım fikirlerini 3B olarak görselleştirme, gerçek dünyada deneyimleme ve değerlendirme olanağını sunmaktadır.



4. “MİMAR” UYGULAMASININ KULLANILABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE YÖNTEM SEÇİMİ

Doktora tezi kapsamında geliştirilen uygulamanın kullanıcılar tarafından etkin, verimli ve memnuniyet duyularak kullanılmasını sağlamak amacıyla İngilizce literatürde Human Computer Interaction (HCI) olarak, Türkçe literatürde ise İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) olarak adlandırılan çalışmalar kapsamında, geliştirilen uygulamaların başarısını ölçmek için faydalanılan kullanılabilirlik testlerinden yararlanılmasına karar verilmiştir. İBE yaklaşımına göre kullanılabilirlik, bir uygulamada belirlenen görevlerin, hedef kitle olarak belirlenen kullanıcılar tarafından gerekli eğitim ve teknik desteğin verilmesinin ardından, uygun çevre koşullarında, kolaylıkla ve etkili bir şekilde kullanılabilmesi olarak kabul görmektedir. Kullanılabilirlik, kullanıcıların belirlenen görevleri yaparken gösterdikleri verimlilik, etkinlik ve memnuniyetlerinin ölçüsü cinsinden ifade edilebilir.

Kullanılabilirlik çalışmalarının sonunda anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için öncelikle kullanıcı hedef kitlenin, görev tanımının ve kullanılabilirlik testi tasarımının, birbirleri ile ilişkileri de göz önünde tutularak dikkatli ve net bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Kullanılabilirlik testlerinde ihtiyaç duyulan ideal kişi sayısı konusunda farklı görüşler mevcuttur. Nielsen’a göre kullanılabilirlik testlerinde bir sistemdeki temel problem alanlarını ortaya çıkarabilmek için gerekli katılımcı sayısı beşken (5) Tullis ve Albert (2008) bu sayının en az oniki (12) olduğunu öne sürmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, çalışma sonunda anlamlı sonuçlara ulaşmanın katılımcı sayısı dışındaki etkenlere daha fazla bağlı olması ve deneysel yaklaşımın zaman ve emek açısından yüksek maliyeti nedeniyle, araştırma projesi kapsamında geliştirilecek uygulamanınun süreç sonu deneysel temelli kullanılabilirlik testi için planlanan katılımcı sayısı en az beş kişi olarak öngörülmektedir.

Çalışmada katılımcı sayısının 10 ve üstüne çıkması ve katılımcıların gruplanmaya uygun olmaları durumunda katılımcıların cinsiyet, eğitim durumu ve geliştirilen teknoloji ile deneyimleri gibi kriterler göz önüne alınarak iki gruba ayrılması düşünülmüştür. Katılımcılar İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde Lisans düzeyinde eğitim alan ya da İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programında eğitim almakta olan öğrenciler arasından seçileceklerdir.

Doktora tezi kapsamında geliştirilen AG uygulamanın hedef kitlesinin özelliklerinin ve kullanıcıların uygulamayı nerede ve nasıl kullanacakları ile ilgili senaryoların çeşitli ve karmaşık olmaması nedeniyle kullanılabilirlik testlerinin tasarlanmasında önemli yere sahip adımlardan birisi olan kullanıcı hedef kitlesi profili ya da profillerinin belirlenmesi kısa ve problemsiz gerçekleşmiştir. Geliştirilen uygulamanın kullanıcı hedef kitlesi olarak, daha önce de bahsedildiği gibi, en az lisans seviyesinde mimarlık eğitimi almış, 20-30 yaş arasında, bilgisayar teknolojileri ve özellikle bilgisayar destekli tasarım programları kullanma konusunda daha önce deneyimi olan kişiler kabul edilmektedir.

Katılımcılara kullanılabilirlik testi ile ilgili, test öncesi test alanı dışı (yazılı) bilginin, kullanıcılar arasında kendilerine ulaştırılacak dokümanı incelemeyen test ortamına gelecek kullanıcıların test sonucunu etkileyebileceği düşünülmüşü nedeniyle verilmemesine karar verilmiştir. Katılımcılara test alanında (sözlü) olarak, araştırma projesi kapsamında geliştirilecek AG uygulamasının geliştirilme amacı, uygulama arayüzünün açıklaması, yapılabilecek işlemler ve katılımcılardan test süresince gerçekleştirmeleri beklenen görevler ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.1 Kullanılabilirlik Testleri

Hedef kitlenin kullanımına sunulacak uygulamanın geliştirilme süreci boyunca belirli aralıklarla yapılan süreç içi (formative) kullanılabilirlik testleri süreç boyunca ve amacına uygun uygulandıkları takdirde bitmiş üründe karşılaşılabilecek olası problemleri oldukça düşürme ihtimaline sahiptirler. Bu kapsamda periyodik olarak gerçekleştirilen testlerin sonuçları analiz edilerek, ürünlerdeki problemler ortadan kaldırılmaktadır (Çizelge 4.1).

Süreç sonu kullanılabilirlik testleri ise, sonuç ürün tamamlandıktan sonra gerçekleştirilen, ürünün genel kullanıma sunulmadan önce geçerliliğinin sağlandığı testlerdir. Ürün tasarımında süreç içi ve süreç sonu olmak üzere her iki tür testin birlikte kullanılması önerilmektedir (Çağiltay, 2011).

Çizelge 4.1 : Türlerine ve yaklaşımlarına göre kullanılabilirlik testlerinin sınıflandırılması.

Türe Göre	Yaklaşım Göre
A. Süreç İçi (Formative) Kullanılabilirlik Testleri	A. Tasarım Rehberleri Temelli
B. Süreç Sonu (Summative) Kullanılabilirlik Testleri	B. Deneysel Yaklaşım Kullanıcı Temelli
	C. Uzman Temelli Sezgiseller (Heuristics)
	D. Model Temelli

Kullanılabilirlik testi uygularken kullanılabilen uzman temelli yaklaşımlardan birisi olan bilişsel gezinti (cognitive walkthrough) yaklaşımında sezgisel yaklaşımdan farklı olarak kullanılabilirlik testini yapan uzman, kendini sistemi kullanacak kullanıcının yerine koymakta ve kullanıcı gibi düşünmeye ve davranmaya başlamaktadır. Bilişsel gezinti yaklaşımı, sezgisel yaklaşımında olduğu gibi, basit ve herhangi bir araç ve gereç gerektirmemesi nedeniyle kolay gerçekleştirilen bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, araştırma projesi kapsamında geliştirilecek uygulamanın geliştirilmesi süresince (süreç içi) kullanılacak ve araştırmacıya geri bildirim sağlamakta kullanılacaktır. Çağiltay'ın önerdiği, örnek bilişsel gezinti temelli uzman değerlendirmesi senaryosu projenin gerekliliklerine göre adapte edilmiştir.

1. Görev analizi yap, kullanıcının tamamlaması beklenen eylemleri gerçekleştirirken yapması gerekenler, bunların sırası ve yaptığı her harekete karşı sistemin verdiği tepkiyi belirle.
2. Kendini son kullanıcının yerine koy.
3. Kullanıcıların tamamlaması beklenen her eylem için aşağıdaki soruları kendine sor:
 - a. Kullanıcı ne yapmaya çalışıyor? Hedefe ulaşmak için gerekli işlemin ne olduğunu anlıyor mu?

- b. Kullanıcı hedefe ulaşması için gerekli mekanizmaların varlığını fark edebiliyor mu?
- c. Kullanıcı hedefe ulaşması için gerekli doğru davranışı/tepkiyi gösteriyor mu?
- d. Kullanıcı gerçekleştirdiği işlemler sonrası geri bildirim alıyor mu?

Kullanılabilirlik testi uygulamalarında kullanılan çeşitli yaklaşımlardan birisi olan deneysel yaklaşım ise, gerçek kullanıcıları gerçek bir arayüzü kullanırken, gerçek görevler ile ve tercihen gerçek uygulama ortamında test etmeyi ve toplanan verileri analiz ederek tasarımı kullanılabilirlik açısından değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu testler sonucunda elde edilen veriler tasarımın yeniden değerlendirilmesi için birer girdi olarak kullanılır ve tasarımın daha kullanılabilir olması sağlanır. Deneysel yaklaşım temelli kullanılabilirlik testleri tasarımın kullanılabilirliği hakkında en gerçekçi verileri veren testler olmalarına rağmen gerektirdikleri zaman ve emek nedeniyle diğer testlerden daha maliyetli kabul edilen testlerdir. Bu nedenle araştırma projesi kapsamında geliştirilecek uygulamanın kullanılabilirliğini test etmede süreç sonu deneysel yaklaşım yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.2 AG Sistemleri Ve Kullanılabilirlik Değerlendirmeleri

Artırılmış gerçeklik (AG) konusunda yapılan araştırmalarda özellikle geçtiğimiz on yılda hızlı bir şekilde ilerleme kaydedilmiştir. Bu süreçte artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanımı artmış ve bu konudaki uygulamalar; daha etkili ve mobil donanımların kullanıcılara sunulması; nesne tanıma operasyonlarındaki artması; kullanılan donanımların sundukları grafik kalitesi ve cihaz boyutlarının daha da kabul edilebilir seviyelere gelmesi ile artan bir hızla gelişmeye devam etmektedirler. Ancak AG uygulamalarının son kullanıcılar tarafından kabul görmesi için Dey, Billingham ve Lindeman ve Swan'ın (2016) da önerdiği gibi AG uygulamalarının kullanılabilirliğinin ve kullanıcı deneyimi ile ilgili yaşanan problemlerle ilgili çözümlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

AG konusunda yürütülen araştırma projelerinin bir kısmında, geliştirilen AG uygulamalarının kullanılabilirliğinin ölçülmesi ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. Swan ve Gabbard'ın (2005) dört önemli yayın alanında ve 1992 ile 2004 yılları arasında AG alanında yayınlanmış 1,104 araştırma projesi arasında yaptıkları inceleme

sonucunda bu yayınlardan 21 tanesinde kullanıcı araştırmasına yer verildiği sonucu ortaya çıkmıştır. Dünser, Grasset ve Billinghamst'ün (2008) gerçekleştirdikleri çalışmada ise AG konusu ile ilgili yapılan 165 çalışmada kullanıcı araştırmalarına yer verildiği görülmüştür. Bai ve Blackwell (2012) tarafından yürütülen çalışma sonucunda ise 2001 ve 2010 yılları arasında ISMAR Konferansında sunumu yapılan AG konulu araştırmaların 71 tanesinde kullanıcı araştırmalarına yer verildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Dey, Billinghamst Lindeman ve Swan (2016) ise 2005 - 2014 yılları arasında içeriğinde kullanıcı çalışmalarına yer verilmiş 291 (113 makale ve 178 bildiri olmak üzere) AG çalışmasını, uygulamalarında kullanıcı araştırmalarının kullanımının ana uygulama alanlarını ve yaygın olarak kullanılan yöntemler ve uygulama çevrelerini tanımlamak, ayrıca AG konusunda yapılan çalışmaların daha kullanıcı dostu olmalarını sağlayacak standart kurallar ve yeni araştırma olanakları önerebilmek amacıyla incelemişlerdir. Dey ve diğerleri yaptıkları çalışmada inceleyecekleri çalışmalarda katılımcı demografiği (katılımcı sayısı, yaş ve cinsiyet), kullanıcı araştırmasının tasarımı ve deneyde kullanılan görevin açık bir şekilde tanımlanmış olmasını ve bu çalışmaların literatürde belirli bir etkisi olan yayınlar olmasına dikkat etmişlerdir. Bahsedilen 291 çalışma içerisinde 353 ayrı kullanıcı araştırmasına yer verildiği görülmüş, ayrıca incelenen araştırmalar arasında 2008 yılından itibaren olmak üzere yıllar içerisinde kullanıcı çalışmalarına daha fazla yer verildiği görülmüştür. İncelenen makalelerin % 19'luk bir bölümünde deney sürecinde en az bir pilot çalışma yapıldığından bahsedilmiş, çalışmaların % 76 gibi bir oranında deneylerin kontrollü bir laboratuvar ortamında gerçekleştirildiği sonucuna varılmıştır.

İncelenen araştırmalarda toplanan veri tipleri incelendiğinde ise yapılan araştırmaların %48'inde hem niteliksel hem de niceliksel tipte veri toplanmış, çalışmaların %27'sinde sadece niteliksel veri %25'inde ise sadece niceliksel tipte veri toplandığı görülmüştür. Deneylerde kullanılan görevler açısından çalışmalar incelendiğinde en fazla kullanılan görev tipinin %61 ile performansla ilgili görevler olduğu ortaya çıkmış bu tip görevleri %50 ile anket doldurma, %18 ile algı, %14 ile röportaj ve %7 ile iş birliği gerektiren görevlerin izlediği görülmüştür. Ayrıca yapılan kullanıcı çalışmalarının % 83'ünün iç mekanda tamamlandığı kaydedilmiştir.

Beklendiği gibi incelenen çalışmaların % 96'sında görsel duyuların artırılması amacıyla çalışmanın sürdürüldüğü görülmüş, dokunma ve duyma duyularının

artırılması amacıyla gerçekleştirilen çalışmaların sırası ile tüm çalışmalar içerisinde %9 ve %7 oranında gerçekleştirildiği görülmüştür. İncelenen çalışmaların bir kısmı (%40) açık bir şekilde deney katılımcılarının kaynağını belirtmemiş, kaynağın belirtildiği çalışmaların büyük bir kısmı da (%35) katılımcıların üniversitelerden olduğunu belirtmişlerdir. İncelenen araştırmalarda kullanılan görüntüleme cihazları ise % 34.5 oranında giyilebilen ya da % 34.2 oranında mobil cihazlar olarak belirtilmişlerdir. Ancak 2009 yılından itibaren giyilebilen görüntüleme cihazlarının kullanıldığı çalışmaların sayısında bir azalma görülmekteyken 2011 yılından itibaren mobil görüntüleme cihazlarının kullanıldığı çalışmaların sayısının giyilebilen görüntüleme cihazı kullanılan çalışmaların sayısını düzenli olarak geçtiği görülmekte ve sonuç olarak mobil AG uygulamalarının AG çalışmalarında, özellikle kullanıcı çalışmalarının da yapıldığı çalışmalarda, ağırlıkla kullanıldığı söylenebilir.

İncelenen kaynaklar göz önünde bulundurulduğunda AG alanında yapılan çalışmaların kendi içlerinde yazılım yönünden başarılarının yanında son kullanıcı ile buluşmalarında kullanıcı memnuniyetini sağlayabiliyor olmalarının geliştirilen sistemlerin genel başarısını arttırdığı, kullanımlarının artmasında ve kullanıcıları tarafından kabul edilmelerinde büyük oranda paya sahip oldukları görülmüştür. Bu nedenlerle Doktora çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” AG uygulamasının kullanılabilirliğinin hedeflenen kullanıcı kitlesini temsil eden bir grupta test edilmesinin geliştirilen uygulamanın geçerliliği ve güvenilirliğini artıracak sonucuna varılmıştır.

Bu amaçla, literatürde kendine yer edinmiş farklı kullanılabilirlik yöntemleri incelenmiş ve özellikle AG alanında geliştirilen sistemlerin kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesi için faydalanan kullanılabilirlik çalışmalarına odaklanılmıştır.

İlerleyen bölümlerde sırası ile Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi, NASA İş Yüğü Endeksi, Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Anketi, Bilgisayar Kullanıcısı Memnuniyet Anketi, Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü, Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi ve Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü ile ilgili bilgiler verildikten ardından pilot çalışmada izlenilen yöntem açıklanacaktır. Tez çalışmasının 5. Bölümünde ise pilot çalışmalar sonucunda edilen, geliştirilen sistemin kullanılabilirliğine ilişkin sonuçlar açıklanacak ve değerlendirilecektir.

4.2.1 Kullanıcı arayüzü memnuniyeti anketi

İnsan ve bilgisayar arasındaki etkileşimi sağlayan ara yüzlerin değerlendirilmesi için birden çok yöntem kullanılabilir. Ara yüzlerin değerlendirilmesi için kullanılan görev tamamlama süresi ve / veya başarısı (performance times / accuracy), öznel-kullanıcı memnuniyeti (user-subjective satisfaction), hata oranları (error rates), zamana kıyasla kullanıcının aklında kalıcı olma (user retention over time) gibi farklı bağımlı değerlendirme ölçütleri bulunmaktadır (Shneiderman ve Plaisant, 2004). Kullanıcıların kullandıkları sistemlerde karşılaştıkları ilgili problemlerle ilişkili öznel memnuniyetlerini değerlendirmek amacıyla farklı anketler geliştirildiği görülmüş, ancak kullanıcıların kullandıkları sistemlerin arayüzleri ile ilişkili değerlendirmelerine özellikle odaklanan çalışma sayısının azlığı dikkat çekmiştir. Chin, Diehl ve Norman'ın (1988) geliştirdikleri Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (QUIS), insan bilgisayar arayüzünün, kullanıcı tarafından öznel bir şekilde değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir.

Chin Diehl ve Norman, literatürdeki kullanıcı memnuniyeti ile ilgili yapılan çalışmaları incelediklerinde kullanıcıların kullandıkları sistemlerle ilgili algılarını değerlendirmek için çeşitli anketlerin geliştirilmiş olduğunu belirtmişler, fakat geliştirilen öznel değerlendirme araçlarında düşük güvenilirliğe sahip olmak, değerlendirmelerin geçerliliğinin değerlendirilmemiş olması, kullanıcıların birden fazla soruya aynı yanıtı vermeleri nedeniyle oluşan şişmiş güvenilirlik değerleri ve örneklen boyutunun küçüklüğü ve hedef kitlenin istenilen şekilde temsil edilememesi gibi farklı problemlerin de gözlemlendiğine dikkat çekmişlerdir.

Araştırmacılar tarafından incelenen çalışmalarda, kullanıcı memnuniyetini değerlendirmek için yapılacak anketlerde hangi tip soruların kullanılmasının uygun olacağının değerlendirildiği görülmüştür. İncelenen çalışmalarda yapılan değerlendirmeler sonucunda hangi yeni özelliklere ihtiyaç duyulduğuna ilişkin bilgi sahibi olunmasına olanak sağlamamaları nedeniyle kutu doldurma (check-list) şeklindeki anketlerin yetersiz olduğu ve bu tip anket sorularının desteklemek amacıyla açık uçlu soruların kullanılmasının önerildiği görülmüştür. Ayrıca özelleşmiş değerlendirme sorularının genel memnuniyet sorularından daha kesin sonuçlara varılmasının sağladığı belirtilmiştir.

İncelenen çalışmaların yıllar içerisinde düzenli bir biçimde örneklem büyüklüğünün ve değerlendirilen sistem sayısının artması ile gelişme gösterdiği görülmüştür. Ancak incelenen çalışmaların neredeyse hiç birinin özel olarak değerlendirilen sistemin arayüzüne odaklanmış olmaması ve çalışmaların çok azının sürekli bir anket geliştirme süreci içerisinde bulunmamaları araştırmacılar tarafından çözüm getirilmesi gereken konular olarak görülmüş ve sonuçta bahsedilen sorunlara çözüm bulmak amacı ile Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (QUIS) geliştirilmiştir.

Anketin geliştirilme sürecinin başlangıcında Kullanıcı Arayüzü Memnuniyeti Anketi (QUIS 1.0), 5 tanesi sistemin genel değerlendirilmesi ile ilgili, geriye kalan 85 tanesi ise 20 farklı gruba ayrılmış toplam 90 sorudan oluşmaktadır. Anketin kısa sürümünde ise 5 genel sorunun yanında sadece 20 ana soru kullanılmaktadır. Her soru sol tarafta 1, sağ tarafta 10 sayısı olmak üzere ve bu sayılara karşılık gelecek tutarlı ve tutarsız sıfatları ile cevap verilecek şekilde tanımlanmışlardır. Cevaplara karşılık gelecek sıfatların her zaman sol tarafta olumsuz, sağ tarafta ise olumlu cevaba karşılık gelecek şekilde konumlandırıldıkları, ayrıca her soru için “geçerli değildir” seçeneğinin de kullanıcılar tarafından sistemi değerlendirirken kullanabilecekleri bir seçenek olarak değerlendirildiği görülmektedir. Anketin kullanıcılar tarafından cevaplandırılmasını izleyen gözlemcilerin kullanıcıları sistem hakkındaki yorumlarını yazılı olarak ifade etmeleri konusunda teşvik ettikleri de belirtilmiştir. Anketin güvenilirliği ve geçerliliği ile ilgili herhangi bir deneysel çalışmanın yapılmadığı belirtilmiştir.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi, ilk geliştirildiği sürümünden sonra Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi v.3.0 (QUIS 3.0) olmak üzere üç bölümden oluşacak şekilde geliştirilmiş ve tekrardan düzenlenmiştir. Anketin bu sürümünde bulunan birinci bölümde; değerlendirmeye konu olan sistemin türü ve sistemi kullanırken geçirilen zaman ile ilgili 3 soru yer almaktadır, ikinci bölümünde sistemi değerlendiren kullanıcıların bilgisayar teknolojileri ile ilgili deneyimleri ile ilgili 4 soru, anketin üçüncü bölümünde ise anketin orijinal versiyonunda yer alan 1den 10’a kadar olan değerlendirme ölçüsünün 1 ile 9 arasında değiştirilmesi ile elde edilen yeni ölçünün kullanıldığı bölümden oluştuğu görülmüştür.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi’nin genellenebilir olma özelliğinin farklı sistemlerin farklı kullanıcı kitleleri tarafından değerlendirilmesinin sağlanması ile gerçekleştirildiği belirtilmektedir. Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin geliştirilme sürecinde öğrenciler, bilgisayar teknolojileri ile ilgili eğitime sahip

profesyoneller, bilgisayarla hobi düzeyinde ilgilenen kişiler ve bilgisayarları yeni kullanmaya başlamış kişilerle farklı çalışmaların yapıldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar ayrıca Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi gibi bir değerlendirme ölçütünün; küçük bir kullanıcı grubunun sistemi çok kısa bir süre kullandığı katı bir biçimde kontrol altında tutulan deneyler, orta büyüklükte bir kullanıcı grubunun sistemi kısıtlı bir süre zarfında kullanmasına izin verilen daha az kontrollü deneyler ve üzerlerinde hiçbir kontrolün bulunmadığı geniş bir katılımcı grubu ile katılımcıların değerlendirdikleri sistemi yoğun bir şekilde kullanmalarına izin verilen alan çalışmalarından oluşan farklı deney durumlarında kullanılmasının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Kullanıcı Arayüzü Memnuniyeti Anketi'nin 3.0 ve 4.0 versiyonlarının özelliklerinin, kullanıcı grubu olarak deneye katılan öğrencilerin orta düzeyde kontrol altında tutulan bir deney ortamındaki değerlendirmelerinin temel alarak geliştirildiği belirtilmiştir. Üzerinde çalışılan Kullanıcı Arayüzü Memnuniyeti Anketinin son sürümünün (v5.0) değerlendirilen sistemi yoğun bir şekilde ve kontrole tabii tutulmadan kullanma şansı bulan bilgisayar teknolojisi alanında çalışan profesyoneller ve ilgili kişilerden oluşan katılımcıları da barındıran kullanıcılardan oluşan bir deney grubu tarafından kullanılacağı belirtilmiştir.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin tamamlanmış anket sayısının artması amacıyla kısaltılmış olduğu ve ilerleyen zamanlarda geliştirilecek versiyonların da yüksek güvenilirliğe sahip olmalarının yanında daha az sayıda soruya sahip olacağının varsayıldığı belirtilmiştir.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin güvenilirliğinin Cronbach alfa değerlendirmesi ile v. 3.0 için 0.94 ve v3.0'dan daha az soruya sahip olan v. 4.0 için 0.89 olarak bulunduğu belirtilmiştir. Her ne kadar anketin dördüncü versiyonunun da güvenilirlik derecesi yüksek çıkmış olsa da programlama ortamının arayüzünün değerlendirilmesinde kullanılan öğrenciler çalışmanın akademik ortamda genellenebilmesini kısıtladığı sonucuna varılmıştır. Araştırmacılar bu tip bir kısıtlamadan etkilenmemek adına, anketin beşinci versiyonunu geliştirerek; farklı ürünlerin profesyoneller ve ilgili kişileri de bünyesinde barındıran farklı bir grup tarafından değerlendirildiği bir deney ortamında test edilmesini sağlamışlardır. Çalışma kapsamında geliştirilen anketin beşinci sürümü, dört gruptan oluşan kullanıcılar tarafından; beğenilen bir ürün, beğenilmeyen bir ürün, komut satırlarından oluşan bir sistem ve menü tabanlı bir uygulama olmak üzere farklı sistemlerin

değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışma kapsamında değerlendirilen sistemlerin değerlendirme skorları karşılaştırılarak Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin geliştirilen beşinci sürümünün güvenilirliği ve geçerliliği değerlendirilmiştir.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi tamamı “Kişisel Bilgisayar Kullanıcıları Grubu” üyeleri olan ve yaşları 14 ile 78 arasında değişen 127 erkek, 14 kadın ve cinsiyetini belirtmemiş 9 katılımcı ile toplam 150 kişiden oluşan bir kullanıcı grubu tarafından farklı bilgisayar sistemlerinin kullanıcı arayüzlerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmaya katılan kullanıcıların %11’i sadece dönemin yaygın işletim sistemi olan PC-DOS kullanmış, % 32’si ise altı ayrı program kullanabilmekte olduklarını belirtmişler, ayrıca çalışmaya katılanların % 72’sinin kelime işlemci, hesap tablosu, dosya düzenleyici, modem ve sabit disk kullandıkları belirtilmiştir. Bilgisayar teknolojileri açısından farklı düzeylerde deneyimlere sahip bu gruptan 27 kişi komut satırı ile işlem yapan dönemin yaygın işletim sistemi MS-DOS programını, 25 kişi menü tabanlı işletim sistemi Word Perfect’i, 35 kişi kullanmayı sevdikleri bir bilgisayar programını ve 18 kişi ise kullanmaktan hoşlanmadıkları bir bilgisayar programını değerlendirmişler ve çalışma süresince toplamda 46 farklı yazılımın anket ile değerlendirmesi yapılmıştır.

Katılımcılar Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin (QUIS v 5.0) 0 ve 9 arası olmak üzere 10 dereceden oluşan 27 soruluk kısa versiyonunu cevaplamışlardır. Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketinin 4.0 versiyonu içerisindeki kullanıcı deneyimi ile ilgili bölüm değerlendirilen yazılım ve donanım özelliklerine uygun bir şekilde değiştirilerek kullanılmıştır. Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet anketinin üçüncü versiyonu yedi alt bölüme sahipken, dördüncü versiyonu 6 alt bölümden oluşacak şekilde tasarlanmış, her alt grup içerisindeki tanımlamalar değerlendirdikleri kullanıcı arayüzü özelliğine göre belirli başlıklarda toplanmış, belirli bir sınıfa dahil edilemeyecek tanımlar ise olarak ilişkili bir başlığın altına yerleştirilmiştir.

Çalışmaya katılan grubun aylık toplantısı süresince 500 anket katılımcılara dağıtılmış, katılımcılardan dört farklı talimata sahip olan anket ölçeğini tamamlayarak kullanmaktan memnun oldukları bir programı, kullanmaktan memnun olmadıkları bir programı, MS-DOS işletim sistemini ve WordStar, WordPerfect, Lotus, Dbase ya da benzer bir programı değerlendirmeleri istenmiştir. Toplantı sonunda dağıtılan anketlerin % 30’unun tamamlanıp araştırmacılara teslim edildiği belirtilmiştir.

Kullanıcı Arayüzü Memnuniyeti Anketinin geliştirilen versiyonlarının anket içerisindeki tanım sayısı her versiyonda azalsa da yüksek güvenilirlik skoruna sahip oldukları görülmüştür. Güvenilirlik skorlarındaki düşük değişkenlik görünmesi nedeniyle anket içerisinde yüksek derecede içsel tutarlılığın yer aldığı çıkarımı yapılmıştır. Anketin tüm sürümleri kalem ve kağıt kullanılarak tamamlanmıştır. Anketin bilgisayar üzerinde tamamlanacak bir versiyonunun geliştirilmesi ile belirli sistemler için veri toplama görevlerinde soruları sisteme uygun hale getirecek biçimde özelleştirmenin kolaylaşacağı, ayrıca yazım ve veri temizleme işlemlerindeki hataların azaltılabileceği belirtilmiştir.

4.2.2 NASA iş yükü endeksi

İş yükü kullanıcıların herhangi bir görevi tamamlamalarının maliyetini temsil eden bir terimdir. Kullanıcılar genellikle kendilerine verilen görevleri ellerindeki imkanlarla hızlı, kesin ve güvenilir bir şekilde tamamlamadıklarından bir sistemdeki performansı yüksek düzeylerde tutmanın insan açısından maliyeti oldukça yüksek olduğundan çalışmaları sistemin performansına bağlı olan tasarımcılar, üreticiler ve yöneticiler sistemlerin tasarımı ve kullanımı süresince her aşamadaki iş yüklerine ilişkin bilgi sahibi olmaya ihtiyaç duyarlar (Hart ve Staveland, 1988).

Bu amaçla farklı değişkenleri temsil eden; zihinsel talep; fiziksel talep, zamansal talep, sıkıntı/hayal kırıklığı, çaba ve performans olmak üzere altı alt ölçüden oluşan NASA İş Yükü Endeksi (*NASA Task Load Index*) alt ölçülerden bir kaçının birleştirilip değerlendirilmesi ile kullanıcıların verilen görevleri yerine getirirken deneyimledikleri iş yüklerini güvenilir bir şekilde temsil edebileceği kabulü ile kullanılmaktadır.

Kapsamlı iş yükünün hesaplanmasında kullanıcıların bahsedilen farklı boyutlardan farklı şekillerde etkilenmesinden kaynaklanan bireysel farklılıkların da göz önüne alınabilmesi için ağırlıklı değerlendirme yöntemi kullanılmaktadır. Örnek olarak bir görevi yerine getirirken o görevi uzun zamandır yerine getiren deneyimli bir kullanıcının iş yükü ile deneyimsiz bir kullanıcının iş yükünün hesaplanmasında belirli hayal kırıklığı, çaba, performans gibi alt ölçülerin farklı ele alınması gerekmektedir.

Özetle kapsamlı iş yükü altı alt ölçüde hesaplanan yüklerin toplamını temsil etmektedir. Ağırlıklı değerlendirmede kullanılan değerler, kullanıcılardan deneyin başında iş yükü alt ölçü çiftlerinden hangisinin kendileri için daha önemli olduğunun tanımlanmasının istendiği bir ön çalışmadan sonra belirlenmektedir(Hart ve Staveland,

1988). Çalışmanın ikinci kısmında, kullanıcılardan değerlendirmesi istenilen her alt ölçü birimi için verilen notlar ilgili ağırlıkları ile çarpılarak kişiye özel kompozit iş yükü tanımları elde edilmektedir. Değerlendirmede kullanılan ağırlık temelli yöntemin kullanıcılarla ilgili değişkenlere daha çok ağırlık verilerek kullanılması ile anketin hassasiyetini artırması ve kullanıcılar arasındaki çeşitli nedenlerden dolayı oluşan farklılıklardan kaynaklanan değişkenliği azaltması nedenleri ile kullanılmasının avantajlı olduğu düşünülmektedir.

NASA İş Yüğü Endeksi'ni değerlendirme aracı olarak kullanan araştırmaların büyük bir çoğunluğunun değerlendirme ya da ara yüz tasarımı ile ilgili problemlere çözüm bulma amacı ile bu yöntemi kullandıkları görülmektedir. Hart'ın (2006), NASA İş Yüğü Endeksinin kullanıldığı araştırma projelerini incelediği çalışmada endeksin kullanıldığı çalışmaların; % 31'lik bir bölümünün görsel ya da işitsel görüntüleme cihazları, % 11'lik bölümünün sesli ve/veya manuel girdi cihazları ve %6'lık bölümünün de sanal ya da artırılmış görüntü teknolojilerinin araştırıldığı çalışmalarda kullanıldığı görülmüştür.

NASA İş Yüğü Endeksinin kullanıldığı çalışmaların büyük bir kısmının, her ne kadar değerlendirme çalışmaları bir laboratuvar ya da benzetim ortamında gerçekleştirilse de, özgün ve belirli bir uygulama ortamında kullanılacak sistemlerin değerlendirildiği çalışmalar olduğu görülmüştür. Endeksin uçuş alanında kullanılmak için geliştirildiği göz önünde bulundurulursa çalışmaların büyük bir kısmının hava uçuş kontrolü, sivil ya da askeri kokpitlerde kullanıma odaklandığını fark etmek şaşırtıcı değildir. Ancak Hart'ın araştırmasında da görüldüğü gibi son yıllarda araba sürücüleri, medikal alandaki çalışmalar, bilgisayar kullanıcıları ve mobil telefonlar gibi kişisel mobil teknolojiler ile ilgili alanlarda da yapılan çalışmaların sayısının gittikçe arttığı görülmüştür.

NASA İş Yüğü Endeksinin hedef alınan görevler ya da deney soruları ile ilişkisinin daha güçlü bir şekilde kurulup daha alakalı ve anlamlı sonuçlara ulaşabilmek adına çeşitli araştırmacılar tarafından alt ölçüler eklenerek ya da mevcut alt ölçülerden bir kısmını silerek değiştirildiği durumlar olmuştur. NASA İş Yüğü Endeksinde yapılan değişikliklerden en sık karşılaşılanı, endeksin bileşenlerinin ağırlıklarına göre değerlendirilmesi yönteminin tamamen terk edilmesi ya da alt ölçülerin ağırlıklarının hesaplanıp ayrı ayrı değerlendirilmesidir. Endeksten ağırlıklı hesaplamanın kaldırılarak kullanılmasının kullanım kolaylığı dışında değerlendirmelerde hassaslık

yönünden önemli bir fayda sağladığı görülmemiştir. Yapılan değişikliklerden bir diğeri de kapsamlı bir iş yükü değeri hesaplayıp değerlendirmelerin bu değere göre yapılması yerine alt ölçek değerlerinin analiz edilmesidir. Alt ölçeklerin tek başlarına değerlendirilmesi yönteminin kullanılmasının tek faydası olarak iş yükünün hesaplanması sırasında problem yaşanan alanların net bir şekilde ortaya konabilmesidir. Ancak kapsamlı bir iş yükü değerlendirmesi yapıldıktan sonra alt ölçülerde düşük skora sahip bölümlerin bağımsız olarak incelenmesi ile de kapsamlı iş yükü değerlendirmesinde problemleri alanların belirlenip bu yönlerde geliştirme yapılmasını sağlayacaktır.

NASA İş Yüğü Endeksi, havacılık disiplini gibi hata marjının çok düşük olduğu, hem kullanılan sistemlerin hem de sistemleri kullanan operatörlerin performanslarının her zaman en üst seviyede olmasının beklendiği ve bu performansların daha da iyi seviyelere çıkartılmasının yollarının arandığı bir alanda kullanılmak üzere geliştirilmesi ve 1988 yılından itibaren aktif olarak kullanıldığı için kesin, hassas ve güvenilir sonuçların alınabileceği bir değerlendirme yöntemi olarak rahatlıkla adlandırılabilir bir yöntemdir. Ancak, her ne kadar güvenilir bir değerlendirme yöntemi olsa da diğer değerlendirme yöntemleri gibi NASA İş Yüğü Endeksi de her iş için kullanılmaya uygun bir yöntem değildir. Endeksi oluşturan bileşenlerden; zihinsel talep, fiziksel talep, zamansal talep, efor, performans ve sıkıntı / hayal kırıklığı gibi alt ölçüler incelendiğinde bu ölçülerin değerlendirilen sistemi kullandığı anda birden fazla görevi farklı girdi kullanarak yerine getirmesi gereken kullanıcının, tahmin edilebileceği gibi görevleri tamamlarken ihtiyaç duyduğu, fazlası ile yüksek olabilecek, zihinsel, fiziksel vb. gereklilikler değerlendirilmektedir. Bu kadar kapsamlı değerlendirmelerin kullanıcılardan aynı anda bir iki görevin tamamlandığı, yapılacak işlemlerin sistemin ara yüzüne bağlı olduğu sistemlerin değerlendirilmelerinde kullanılması çok kullanışlı bir yöntem olmadığı görülmektedir.

4.2.3 Yazılım kullanılabilirliği değerlendirme envanteri

Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanteri ile ilgili çalışmalar 1990 yılında; kullanılabilirliği anket yöntemi ile değerlendirmek amacıyla Kirakowski'nin daha önce geliştirdiği Bilgisayar Kullanıcısı Değerlendirme Anketi içerisinde yer alan Yetkinlik ölçeği temel alınarak, yapılan inceleme sonucunda edinilen bulgular ışığında gerekli görülen ek alt ölçülerin geliştirilip hali hazırdaki kullanılabilirlik anketinin geliştirilmesi ve yeni bir uluslararası standardı tanımlama amaçlarıyla başlamıştır.

Kullanıcıların bir yazılımın kullanılabilirliğine ilişkin algılarını sürekli olarak ölçebilme problemine getirilen çözümlerden birisi olan Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanteri (*Software Usability Measurement Inventory/SUMI*) farklı sistemleri ya da aynı sistemin farklı sürümlerinin karşılaştırılabilmesi ve bu sistemlerin gelecek sürümleri ile ilgili teşhise yönelik bilgi edinilmesini sağlayan geçerli ve güvenilir bir yöntem olarak tanımlanmaktadır.

Anketin geliştiricileri hem temel olarak kullanılan Bilgisayar Kullanıcısı Değerlendirme Anketinde Likert ölçeğinin kullanılması hem de bir yazılım ürününün değerlendirilmesi aşamasında kullanıcıların doğal bir şekilde fikirlerinin yansıtmasına olanak sağlamasından dolayı Likert ölçeğini kullanma kararını almışlardır.

Yukarıdaki paragraflarda anlatılan süreç sonucunda, 75 sorudan oluşan ve katılımcılardan değerlendirdikleri yazılım ile ilgili düşüncelerini beşli Likert ölçeğine göre ifade etmelerinin beklendiği ilk anket geliştirilmiştir. Geliştirilen anketi kullanarak günlük hayatlarında sıklıkla kullandıkları yazılımların kullanılabilirliğini değerlendiren 139 farklı iş alanında çalışan katılımcılardan bir kısmından belirli sorularla ilgili olarak beşli ölçüyü kullanarak değerlendirme yapmanın zorluğuna ilişkin bir yorumun gelmesi üzerine; Likert ölçeği içerisindeki cevap kategorileri, “Katılıyorum”, “Bir Fikir Sahibi Değilim” ve “Katılmıyorum” olarak üçe indirilmiştir.

Bahsedilen gelişmelerin sonucunda 50 ifadeden oluşan ve her alt ölçüsünün 10 ifadeden oluştuğu ikinci anket geliştirilmiştir. Psikometrik uygulama ile ilişkili hazırlanan 50 sorudan oluşan ve değerlendirilecek sistemi kullanmak ile ilgili belirli bir derecede deneyimi olan kullanıcılardan oluşan bir örnek kullanıcı grubu ile kullanılmak üzere geliştirilen Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanterinde kullanılabilirlik kavramı, ISO 9241 ve İşçiler için Avrupa Sağlık ve Güvenlik

Standartları Yönetmeliğindeki tanımlar temel alınarak geliştirilmiştir. Anketi geliştiren araştırmacılar tarafından anket içerisindeki alt ölçülere Etkinlik, Etki, Fayda, Kontrol ve Öğrenilebilirlik (Efficiency, Affect, Helpfulness, Control, Learnability) gibi açıklayıcı isimler verilmiştir. İsimlerinden de anlaşılacağı üzere Etki alt ölçüsü kullanıcının değerlendirilen sisteme ilişkin duygusal reaksiyonları ölçmek için kullanılabilecek bir ölçü iken Etkinlik ölçüsü değerlendirilen sistemin kullanıcılara yaptıkları işlerde ne derece yardımcı olduğunu, Fayda ölçüsü değerlendirilen sistemin kullanımının ne derece kolay olduğu, yardım özellikleri ve mevcut dokümantasyonun yeterliliğini, Kontrol ölçüsü kullanıcının değerlendirilen sistemi kullanırken ne ölçüde kontrolde hissettiğinin, Öğrenilebilirlik ölçüsü ise kullanıcıların ne kadar hızlı bir şekilde sistemi etkin bir şekilde kullanmaya başlayacaklarının ölçülmesini sağlayan ölçülerdir.

Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanterinin ilk geliştirildiği 1993 yılındaki sürümünün etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, değerlendirilecek yazılımla ilgili özellikle teşhis ve tanımlama amacıyla kullanıldığı durumlarda daha düşük sayıda katılımcı ile kullanılabilesi de mümkün olmakla beraber, minimum 10 katılımcının bulunduğu bir örnek denek havuzu ile kullanılması önerilmiştir. Kirakowski, yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanterinin genellenebilirliğinin sistemi değerlendirmek için yapılacak çalışmaya dahil olan katılımcı sayısına değil, değerlendirilen yazılımın kullanım bağlamının ve tasarım planının özenle incelenmiş olmasına, başka bir deyişle, değerlendirilecek yazılımın tipik kullanıcı kitlesinin ve kullanıcıların sistemi hangi amaçlarla kullandıklarının ve sistemin hangi teknik, fiziksel ve organizasyonel ortamlarda kullanıldığının tanımlanmış olmasına bağlı olduğu belirtilmektedir. Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Anketi, hızlı prototiplemenin kullanıldığı ve yeni sürümlerin hızla üretildiği ve değerlendirildiği grafik kullanıcı arayüzü geliştirme işlerinde kısa zamanda tamamlanabilmesi ve büyük bir katılımcı kitlesine ihtiyaç duyulmaması nedenleri ile kolaylıkla kullanılabileceği düşünülmektedir.

Kullanılabilirliği değerlendirilecek yazılım ya da sistemin çalışan bir sürümünün geliştirilmiş olduğu durumlarda kullanılması önerilen test, ilk sürümünde kağıt ve kalem kullanılarak manuel bir şekilde tamamlanacak bir formatta katılımcılara sunulmuştur.

Kullanıma sunulan iki versiyondan birisi olan Temel ve Eğitim için kullanılacak sürümde elle değerlendirilecek bir derecelendirme yöntemi, diğer sürüm olan Tamamlanmış Profesyonel Sürümün kullanıldığı durumlarda ise bilgisayar yardımı ile değerlendirme ve rapor üretimi için de kullanılabilecek bilgisayar disketi ile testi uygulayacak araştırmacıların kullanımlarına sunulmuştur.

Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanterinin güncel sürümü görüntüleme cihazı, klavye ya da benzeri bir veri girdisi cihazı ve disk sürücüsü gibi ek bir hafıza cihazına sahip herhangi bir yazılım sistemini değerlendirmekte kullanılabilmektedir.

Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanteri herhangi bir sistem ya da bir sistem serisinin içerisindeki farklı sürümlerin değerlendirilmesi için kullanılmakta ise sürümlerin birbirleri ile karşılaştırılmasında ya da seçilen bir sistem veya sürümün standardizasyon veri tabanı ile karşılaştırmasının yapıp piyasadaki güncel benzer ürünlere karşı değerlendirilmesinin yapılması olasılıkları bulunmaktadır. Envanterin daha önce bahsedilen Tamamlanmış Profesyonel Sürümü, sürekli olarak güncellenen veri tabanına erişim sağlamaktadır.

Envanter kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda araştırmacılar ilk iki katmanı ortalaması 50 ve standart sapması 10 puan olarak standartlaştırılmış bir ölçekte sonuçların alınabileceği hiyerarşik üç katmandan oluşan bir çıktı elde etmektedirler. Envanterin kullanılması sonucu elde edilen çıktının birinci katmanında kapsamlı bir kullanılabilirlik sonucu elde edilmektedir. Elde edilen ikinci katmanda kullanıcıların etkileşimde bulundukları ve kullanılabilirlik açısından değerlendirdikleri sisteme ilişkin algıları ile ilişkili etkinlik, etki, fayda, kontrol, öğrenilebilirlik olmak üzere beş adet alt ölçü değerlerini içermektedir. Envanterin kullanılmasıyla elde edilen çıktıların üçüncü ve sonra katmanı ise, genel standardizasyon veri tabanında bulunan sonuçlarla araştırmacının elinde bulunan örnek veri grubu içerisindeki tüm anket nesneleri için verilen cevap örüntülerinin karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlardan oluşan ve böylelikle değerlendirilen yazılımın güçlü özellikleri ve tekrar değerlendirilmesi gereken daha az gelişmiş özelliklerinin kolaylıkla fark edilmesini sağlayan, sadece Tamamlanmış Profesyonel Sürümde bulunan (Item Consensual Analysis) Anlaşılmış Nesne Analizidir.

4.2.4 Bilgisayar kullanıcısı memnuniyet envanteri

Değerlendirecekleri sistem ya da yazılımı kullanmakla ilgili belirli seviyede deneyime sahip bir kullanıcı grubunun, değerlendirecekleri bilgisayar ürünü ile ilgili yaptıkları değerlendirmelerinin incelenebilmesi amacıyla 1986 yılında Cork Üniversitesinde İnsan Faktörleri Araştırma Grubun tarafından yürütülmesine başlanan araştırmaların erken sonuçlarından birisi olarak; Kirakowski ve Corbett tarafından geliştirilen Bilgisayar Kullanıcısı Memnuniyet Envanteri (Computer User Satisfaction Inventory / CUSI) değerlendirmesi verilmektedir. Yirmi iki sorudan ve kullanıcıların sistemi kullanmaktan ne derece memnun olduklarını ölçen Etki ölçüsü ve kullanıcıların kullandıkları sistem tarafından ne derece desteklendiklerinin ölçüldüğü Yetkinlik ölçüsü olmak üzere iki alt ölçüden oluşan Bilgisayar Kullanıcısı Memnuniyet Envanteri testinin 0.94 güvenirlik derecesine sahip olduğu belirtilmiştir.

Bilgisayar Kullanıcısı Memnuniyet Envanterinin geliştirildiği yıllarda Shneiderman (2004) tarafından Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (Questionnaire for User Interface Satisfaction (QUIS) adında başka bir kullanılabilirlik değerlendirme ölçüsü geliştirilmiştir. Beşinci sürümü değerlendirilecek yazılıma yönelik genel tepkilerin ele alındığı giriş bölümünün dışında, her birisi dört ya da altı soru içeren; Ekran, Terminoloji ve Sistem Bilgisi, Öğrenme ve Sistem kabiliyetleri olarak adlandırılan dört bölümden oluşan ve 0.94 (Chinve diğ., 1988) gibi yüksek bir güvenirlik değerine sahip bu ölçünün güncel versiyonu, kısa ve uzun olmak üzere iki biçimde kullanıcılara sunulabilmekte ve anket formunda kullanıcıların değerlendirdikleri sistemle ilgili yorumlarını ekleyebilecekleri bölümler de bulunmaktadır. Shneiderman'ın geliştirdiği ölçünün içerisinde yer alan farklı bölümlerde, bölümlere özgü temalar ile yakından ilişkili soruların yer alması nedeniyle değerlendirilen sistemlerin farklı yönleri ile ilgili daha özelleşmiş sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir.

Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanteri'nin geliştiricisi Kirakowski, kendisi tarafından geliştirilen Bilgisayar Kullanıcısı Memnuniyet Anketinin alt ölçülerini aynı dönemde geliştirilen Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (QUIS) ve Sistem Kullanılabilirlik Anketi (SUS) ile karşılaştırıldığı araştırmaların, Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Envanterinin geliştirilmeye başlanmasına neden olduğundan bahsetmektedir.

4.2.5 Sistem kullanılabilirlik ölçüsü

Brooke'a göre kullanılabilirlik her durumda kullanılabilen mutlak bir ölçü değil, kullanılacağı bağlamla ilişkilendirilerek tanımlanabilecek bir kavramdır (1996). Bu nedenle kullanılabilirliğin mutlak bir ölçüsü olmadığını ve bir nesnenin kullanılabilirliğinin o nesnenin kullanıldığı bağlam ile tanımlanabileceğini de göz önünde bulundurursak kullanılabilirlik ölçütünün de ilgili bağlam ile tanımlanması gerekmektedir. Ancak farklı bağlamlar için geçerli olabilecek bir kullanılabilirlik karşılaştırması yapılabilmesi için, genel ve geniş çaplı ölçü kriterlerinin belirlenmesine de ihtiyaç duyulduğu ve endüstriyel sistem değerlendirmelerinde kullanılacak düşük bütçeli kullanılabilirlik değerlendirmelerinin gerçekleştirilebilmesi için kullanılacak hızlı yöntemlerin tanımlanmasına da ihtiyaç duyulmaktadır.

Brooke (1996) tarafından gerçek ya da mutlak bir şekilde var olan bir özellik olarak görülmemekte ve belirli bir nesnenin amacına uygunluğunun genel olarak ölçülmesi olarak tanımlanan kullanılabilirlik, herhangi bir araç ya da nesnenin kullanılabilirliği onun kullanıldığı bağlamda ve o bağlama uygunluğu göz önünde bulundurularak ele alınmalıdır. Brooke bir sistemin kullanılabilirliğinden bahsedilebilmesi için sistemin kullanıcılarının kimler olduğunun, kullanıcıların sistemde ne gibi görevleri yerine getireceklerinin ve sistemin kullanılacağı fiziksel ve sosyal çevrenin tanımlanmasının gerektiğini belirtmekte, ayrıca uluslararası ISO 9241-11 standardına göre de kullanılabilirlik ölçütlerinin etki, etkinlik ve memnuniyet olmak üzere 3 ana kavramda karşılıklarının olması gerekmektedir:

- Etki, kullanıcıların sistemi kullanarak belirli görevleri tamamlayabilme yetileri ve bu görevlerin tamamlanması sonucunda ortaya çıkan ürünlerin kalitesi.
- Etkinlik, görevlerin yerine getirilmesi sürecinde harcanan kaynaklar.
- Memnuniyet, kullanıcıların sistemi kullandıkları zamana ilişkin öznel düşünceleri.

Bahsedilen kavramlara karşılık gelen ölçütler farklılık gösterebilmektedir. Örneğin, etkinlik ölçütleri sistem içerisinde gerçekleştirilen göreve göre belirlenmektedirler. Daha açık örneklemek gerekirse, kelime işleme sisteminin etkinliğini ölçme yolu kaç harf yazıldığı veya üretilen harflerin yazım yanlışı içerip içermediği olabilirken, başka bir iş için geliştirilmiş bir sistemin etkinliği ölçülürken bahsedilen sistemle ilişkili etkinlik ölçütlerinin ele alınması gerekmektedir.

Bağlamla ilişkilendirilmiş kullanılabilirlik ölçülerinin kısıtlayıcı noktası ise farklı sistemler arasında kullanılabilirlik karşılaştırmalarını yapılmasının mümkün olmamasıdır. Farklı amaçlar için geliştirilmiş farklı sistemlerin kullanılabilirliklerinin karşılaştırılması elmalar ile armutların karşılaştırılması örneğinde olduğu gibi mümkün oldukça kaçınılması gereken bir durumdur. Ayrıca, tasarım özelliklerinin ve deneyimlerinin farklı sistemler arasında genelleme yapılarak kullanılması hatalı sonuçlara yol açabilecek uygulamalardandır. Örneğin, bir sistemin kullanılabilirliğini arttırdığı görülen bir tasarım özelliği farklı bir grup kullanıcı için tasarlanmış farklı çevrelerde farklı görevlerin tamamlanmasını sağlayan farklı sistemlerin de kullanılabilirliğini artırma garantisi taşımamaktadır.

Kullanılabilirlik ile ilgili çapraz sistem karşılaştırmasına da izin verebilecek esneklikte daha genel değerlendirmelerin yapılabileceği alan olarak sadece öznel kullanılabilirlik değerlendirmelerinden bahsedebiliriz. Öznel kullanılabilirlik ölçütleri genellikle anketler, yaklaşım ölçüleri (attitude scale) ve herhangi bir sisteme ait olmayan yaklaşım ölçüsü örnekleri kullanılarak elde edilmektedir.

Daha önceki paragraflarda bahsedilen gerekliliklere cevap verebilmek amacıyla Brooke tarafından Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) adında, kullanılabilirlik ile ilgili geniş öznel değerlendirmeler sunabilen 10 adımdan oluşan basit bir kullanılabilirlik ölçeği geliştirilmiştir . Brooke tarafından önerilen Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü, basitçe önceden hazırlanmış belirli bir ifadeyle ilgili 5 ya da 7'li ölçü içerisinde katılımcıların kendilerine sunulan ifadeye ne oranda katıldıklarını ölçtükleri Likert ölçüsüne benzemektedir.

Likert ölçüsünde kullanılmak için seçilen ifadeler, tanımlanmak istenen kavramlarla ilgili farklı uçlarda yaklaşımlara sebep olacak örneklerin seçilmesinden ibarettir. Örneğin, bir araştırmacı teknolojik araçların gelişmişliklerine yönelik yaklaşımları tanımlamak istiyorsa bunu; teknolojiyi sosyal ağlar ve medyadaki günlük gelişmeleri takip etmek için kullanan kişilerin kullandıkları cihazların özellikleri ve teknolojiyi mesleklerini icra etmek için kullanmak zorunda olan kullanıcıların kullandıkları cihazların özelliklerinin ele alındığı bir birine zıt örnekler üzerinden inceleyerek yapabilir. Bu durumlarla ilgili örnekleri seçildikten sonra örnek katılımcılardan bu örneklerle ilgili daha sonra kullanılması düşünülen sorulara derecelendirerek cevap vermeleri istenir. Potansiyel sorulardan bir kısmının katılımcılar arasında aşırı onaylama ya da karşı olma yaklaşımını doğuracağı beklenmektedir. Sonuçta Likert

ölçeğinde kullanılması için uygun olarak tanımlanan sorular da az önce bahsedilen katılımcılar arasında aşırı onay ya da karşı olma yaklaşımını doğuran sorulardır. Bu nedenle muğlaklık içeren ifadeler yaklaşım değerlendirmesi için uygun bulunmamaktadır.

Brooke'un kullanılabilirlik değerlendirmesi için hızlı, ekonomik ve güvenilir bir yöntem olarak önerdiği Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü yukarıdaki paragrafta bahsedilen yöntem kullanılarak 50 anket sorusu arasından uygun olanları seçilerek oluşturulmuştur. Birisi son kullanıcılara odaklı dil öğrenme programı diğeri ise sistem programcılarının kullanacağı bir araç olmak üzere birisinin kullanımı gayet kolay birisinin kullanımı da neredeyse imkansız olarak tanımlanan iki yazılım seçilerek bu sistemler 50 potansiyel soru ile 5'li bir ölçüye göre değerlendirilmişlerdir. Kullanılan soru havuzundan en uç yaklaşımların gözlendiği ve yarısı katılımcıların yüksek ölçüde kesinlikle katıldığı yarısı ise kesinlikle katılmadığı ifadeler katılımcıların sorular hakkında düşünmeyip taraflı yanıt vermelerini engellemek amacıyla seçilmiştir. Böylelikle katılımcıların her soruyu dikkatlice okuduktan sonra ifade ile ilgili karar vermesinin sağlanması amaçlanmıştır.

Brooke tarafından önerilen ve herhangi bir sistemin kullanılabilirliğinin destek ihtiyacı, eğitim, karmaşıklık gibi farklı yönlerini kapsayan ve bu nedenle yüksek bir geçerliliğe sahip olduğu belirtilen Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü Ek1'de görülebilir.

Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü' nün genellikle katılımcıların değerlendirdikleri sistemi kullanma şansı bulmalarından sonra ancak sistemle ya da deneyimleri ile ilgili herhangi bir konu katılımcılarla konuşulmadan önce gerçekleştirilir. Katılımcılardan her ifade ile ilgili fazla düşünmeden ilk tepkilerini kaydetmeleri istenir. Her ifade ile ilgili bir cevap verilmeli, ancak katılımcı herhangi bir ifadeye cevap veremeyecek durumdaysa ilgili ifadede ölçeğin merkezi işaretlenmelidir.

Sistem kullanılabilirlik Ölçüsü' ne göre değerlendirilen bir sistemin notu hesaplanırken; 1- 3- 5- 7 ve 9 numaralı sorulara verilen cevaba karşılık gelen sayıdan 1 eksik; 2 – 4 – 6 – 8 ve 10 numaralı sorulara verilen cevaplara karşılık gelen sayılar ise 5'den çıkarılarak hesaplanır. Notların toplandıktan sonra, son toplam Kullanılabilirlik Ölçüsü' nün ortalama değeri olan 2,5 ile çarpılır ve böylelikle kullanılabilirliği ölçülmek istenen sistemin 0 ile 100 arasında bulunan Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü notu hesaplanmış olur.

Araştırma ve değerlendirme için kullanılan anketlerdeki tipik güvenilirlik hedefi 0.70 olarak ele alınırken(Landauer, 1997), Bangor, Kortum ve Miller'in (2008) yaptığı çalışmada Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsünün güvenilirliğini ölçmek için kullanılan alfa katsayısı (alfa katsayısı - coefficient alpha, birden fazla sorudan oluşan değerlendirme ölçülerinden güvenilirliği tayin etmek için kullanılan özgün tutarlılık ölçüsüdür.) 0.91 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Tullis ve Stetson'ın (2004) 123 katılımcı ile gerçekleştirdiği, iki web sitesinin kullanılabilirliğinin 5 standart kullanılabilirlik testi ile değerlendirildiği çalışmalarında hangi kullanılabilirlik testinin daha kısa da daha doğru cevabı verdiğini bulmaya yönelik bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar, örnek gruptaki kişi sayısını 6 kişiden 14 kişiye arttırıldığında hangi anket çeşidinin web sitelerin kullanılabilirliği hakkındaki doğru sonucu daha hızlı bir şekilde varacağını matematiksel ya da istatistiksel problemlere benzetim ile çözüm bulma yöntemlerinden birisi olan Monte Carlo benzetimi (Everitt ve Skrondal, 2010) ile değerlendirmişlerdir. Araştırmacıların gerçekleştirdikleri benzetim sonucunda katılımcı sayısı n=12' ye ulaştığında %90 doğrulukla Sistem Kullanılabilirlik Testi ve IBM Bilgisayar Memnuniyeti Kullanılabilirlik Anketi (Lewis, 1995) isimli testlerin kullanılması ile en hızlı şekilde doğru sonuca ulaşıldığı görülmüştür. Bu sonuçlar göz önüne alındığında Sistem Kullanılabilirlik Testinin hem kabul edilebilir düzeyde güvenilir bir kullanılabilirlik testi olduğunu hem de bu testi en azından 12 kişilik bir grup ile uygulamanın daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacağını söyleyebiliriz.

4.2.6 Mobil telefon kullanılabilirlik anketi

AG konusunda yapılan araştırmalar kapsamında geliştirilen uygulamaların kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerden bir diğeri olan Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi Ryu ve Smith Jackson tarafından bu amaçla kullanılan, Yazılım Kullanılabilirlik Ölçüm Envanteri (Kirakowski ve Corbett, 1993), Kullanıcı Ara Yüz Memnuniyeti Anketi (Chinve diğ., 1988), IBM Bilgisayar Kullanılabilirlik Memnuniyeti Anketi (Lewis, 1995), Çalışma-Sonrası Sistem Kullanılabilirlik Anketi (Lewis, 1992), gibi anket ve ölçülerin geliştirilen AG sistemlerinin değerlendirilmesinde fazla genel kalması nedeniyle geliştirilmiştir.

Bahsedilen diğer değerlendirme yöntemlerinin geliştiricileri geliştirdikleri yöntemlerdeki çeşitli eksikliklerin; sistemlerin kullanım bağlamlarının oluşturulması,

son kullanıcıların net bir şekilde tanımlanması ve sistemin değerlendirilmesinde kullanılacak görevlerin özenle seçilmesi ile giderilebileceğini öne sürmektedirler. Her ne kadar AG değerlendirilecek olan sistemin tasarlanırken son kullanıcıların, sistem kullanım bağlamının ve gerçekleştirilecek görevlerin sınırlarının net bir şekilde çizilmesi değerlendirme aşamasında daha güvenilir sonuçlar alınmasına yardımcı olsa da, değerlendirmelerde kullanılan yöntemlerin büyük bir kısmının yazılım odaklı olması nedeniyle donanımın değerlendirilmesi ile ilgili konularda araştırmacılara tam bir fikir vermemektedir.

Ryu ve Smith-Jackson (2005) tarafından, geliştirilen AG sistemlerinin değerlendirmesinde donanımsal problemlere eğilmeyi sağlamak amacıyla geliştirilen Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi günümüzde yoğun bir biçimde kullanılan mobil elektronik cihazların kullanılabilirliğini daha kapsamlı bir şekilde ölçme amacı ile kullanılmaktadır. Geliştirilen sistemlerin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi temel olarak katılımcılar tarafından algılanan kullanılabilirliğin ölçülmesi ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle anketlerin kullanıldığı nesnel kullanılabilirlik ölçüleri psikolojik ölçüler olarak değerlendirilebilmektedirler(Chinve diğ., 1988; Kirakowski ve Corbett, 1993; Lewis, 1995). Psikolojik olarak da tanımlanabilen ve katılımcılara göre değişebilen algılanan kullanılabilirliğe bağlı olan değerlendirme ölçüleri kullanıldığında kaliteli sonuçlar elde etmek için kullanılan ölçülerin geçerliliğinin ve güvenilirliğinin yüksek olması gerekmektedir. Genel olarak bir değerlendirme ölçüsünün başlangıçta ölçmesi planlanan olguyu ölçtüğü sürece geçerli olduğunu söyleyebiliriz.

Ryu ve Smith-Jackson'un geliştirdikleri Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi Ek 2. Tablo 1'de görülebileceği üzere hatırlanabilir olma dışında, ISO 9241-11, ISO/IEC 9126-1 ve Nielsen'in kullanılabilirlik tanımları olmak üzere literatürde en çok kabul edilen kullanılabilirlik boyutlarının tümüne karşılık gelen soruları barındırmaktadır. Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketinin nesnel kullanılabilirlik kriterleri açısından diğer değerlendirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında Ek 3. Tablo 2'de görülebilecek diğer değerlendirme ölçülerinin tümünde ele alınan kriterlerin ve diğer yöntemlerde ele alınmayan kullanım keyfi ve özel görev performansı gibi kriterlerin değerlendirmede ele alındığı görülmektedir.

Araştırmacılar tarafından 286 katılımcı ile gerçekleştirilen MTKA'nın geçerliliği ve güvenilirliğinin sağlanması için yapılan deney sonucunda 72 maddeden oluşan anketin Cronbach alfası ile ölçülen güvenilirliği kabul edilen değer olan 0.70'in üstünde çıkmıştır. Anket soruları ile yapılan faktör analizi sonucunda ise MTKA'nın yapısında; öğrenim ve kullanım kolaylığı, işleyiş yardımı ve problem çözümü, duygusal yön ve çoklu-ortam yeterlilikleri, komutlar ve minimum hafıza yükü, verim ve kontrol ve mobil telefonlar için genel görevler olmak üzere altı alana karşılık gelen ifadeleri barındırdığı ortaya çıkmıştır.

Geliştirilen sistemlerin kullanılabilirliğinin değerlendirildiği kullanılabilirlik ölçüleri arasında MTKA mobil cihazların değerlendirilmesinde kullanılmak için özellikle tasarlanması açısından öne çıkmaktadır. Anket geçerlilik ve güvenilirlik açılarından kabul edilebilecek puanlar olarak kullanımda olan diğer yöntemler kadar güvenilir ve kullanışlı olduğunu kanıtlamakla beraber, benzer ölçülerdeki eksiklikleri gidermek amacıyla farklı kullanılabilirlik boyutları ve kriterlerini bünyesinde barındırmaktadır. Ancak güvenilir ve geçerlilik kriterlerinin sağlamak ve farklı kullanılabilirlik boyutlarında değerlendirmeler yapabilmek adına kapsamı geniş tutulan MTKA'yı kullanmanın Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü gibi daha kısa sürede benzer güvenilirlikte sonuçların alınabildiği değerlendirme ölçülerinin kullanılmasına göre belirgin bir avantajı görünmemektedir.

Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi, özellikle mobil telefonlardaki kullanılabilirlik problemleri göz önüne alınarak geliştirildiğinden, farklı mobil cihazların kullanılabilirliklerinin değerlendirilmesinde etkili bir yöntem olarak kabul edilebilse de, ana odağı mobil cihazların kendisi değil geliştirilen yazılım ve cihazların sağladığı özelliklerin değerlendirilmesi olan araştırmalarda daha da özelleşmiş bir yöntemlerin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

4.2.7 Mobil AG uygulamaları için kullanılabilirlik ölçüsü

AG uygulamaları için kullanılmakta olan mobil akıllı cihazlar güçlü işlemcileri, geniş ekranları ve bünyelerinde hazır bulunan kamera ve yer sensörleri ile AG uygulamalarında sıklıkla kullanılan görüntüleme araçlarının başında gelmekte ve bu özellikleri sayesinde dijital içerik ile birçok farklı etkileşime girilmesini mümkün kılmaktadırlar.

Eğlence, ticaret, eğitim, turizm, sosyal ağlar ve yön bulma cihazları gibi farklı alanlarda kullanılabilen (Gervautz ve Schmalstieg, 2012) mobil AG uygulamalarının ticari olarak başarılı olabilmeleri ve kullanıcı geri bildirimleri ile başarılı bir şekilde geliştirilip güncellenebilmeleri için hızlı ve güvenilir değerlendirme araçlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Nielsen'in (1993) hedef kullanıcıların belirli bir görevi tamamlamak için kullandıkları sistemi ne kadar etkin kullanabildiklerinin ölçülmesi olarak tanımladığı kullanılabilirlik, daha önce bahsedildiği gibi AG sistemlerinin değerlendirilmesi ve sürekli olarak geliştirilmesinin sağlanması açısından önemlidir (Gabbard ve J. E. Swan, 2008). Kullanıcı çalışmaları içerisinde değerlendirme yöntemi olarak çoğunlukla anketler, kullanıcı değerlendirmeleri ve yargıları gibi öznel ölçme yöntemleri kullanılmaktadır (Dünserve diğ., 2008).

AG sistemleri için araştırmacıların genellikle “Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği” (System Usability Scale), ve “NASA Görev Yüğü Endeksi” (NASA Task Load Index) gibi yöntemleri kullandıkları görülmüştür. El cihazları için ise “Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi” (Mobile Phone Usability Questionnaire) mobil cihazların genel kullanımları ile ilgili çeşitli anketleri barındırması açısından kolaylıkla kullanılabilmektedir. Bahsedilen bu anketler defalarca değerlendirilmiş ve geçerlilikleri ve doğrulukları yapılan farklı çalışmalar ile ispatlanmış anketlerdir. Bu iki anket ile: versiyonlar, özellikler ve farklı uygulamalar arasında olmak üzere üç tipte karşılaştırma yapmak mümkün olmaktadır (Santos, Chen, ve diğ., 2014). Ancak, bahsedilen standartlaşmış anketlerin genel mobil AG sistemlerini değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken özel algısal ve ergonomik konulara yönelmedikleri görülmekte ve bu sebeple AG konusunda çalışan araştırmacılar bahsedilen değerlendirme araçlarını kendi geliştirdikleri anketler ile tamamlamaktadırlar. Araştırmacıların geliştirdikleri bu tamamlayıcı anketler geçerlilik ve güvenilirlikleri açısından her zaman test edilmemiş olsalar da geliştirilen AG sistemlerine ilişkin özelleşmiş soruları içermektedirler.

El cihazları için geliştirilmiş AG sistemlerinin değerlendirilebilmesi için güncel, geçerli ve güvenilir bir aracın bulunmaması nedeniyle bu eksikliği gidermesi açısından yeni bir AG kullanılabilirlik ölçüm yöntemi olarak önerilen Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçeği (HAR Usability Scale), sistemin genel kullanılabilirliği, sunulan bilginin anlaşılmasının kolaylığı ve sistemin kullanıldığı cihazın kullanım kolaylığı konularında değerlendirme yapılmasına yardımcı olacak anlaşılabilirlik ölçeği ve kullanılabilirlik ölçeği olmak üzere iki alt ölçüden oluşmaktadır.

Santos ve diğerleri Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik ölçeğini geliştirirken anket geliştirmek ve test etmek için kullanılan; literatür araştırması, anketi kavramsal temelini oluşturmak, anket ve veri analizi yöntemlerine karar vermek ve geliştirilen yöntemin geçerliliğini ve güvenilirliğini test etmekten oluşan yöntemi kullanmış ve sonuç olarak algısal ve ergonomik problemleri tanımladıkları anketi geliştirmişlerdir. Tanımlanan problemler göz önünde bulundurulursa geliştirilen Mobil Artırılmış Gerçeklik sistemlerinin ana amacının algısal ve ergonomik problemlere sahip olmaması amacı ile geliştirilmesinin amaçlandığı görülebilmektedir. Araştırmacılar geliştirilen sistemlerde olması gereken özellikleri anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik olarak tanımlamaktadırlar.

Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçeği kullanılarak gerçekleştirilen değerlendirme sonucunu etkileyen ve anlaşılabilirlik ölçeği ile değerlendirilen özellikler, değerlendirilmenin yapıldığı mobil artırılmış gerçeklik sistemi ile kullanıcıya verilen bilginin anlaşılmasının kolaylığını ölçmektedir. Kullanılabilirlik ölçeği ise, kullanıcıların sistemi kullanırken gerçekleştirmeleri gereken görevleri kolaylıkla tamamlayıp tamamlayamadıklarının ölçülmesini sağlamaktadır. Özellikle seçilen bir hedef kullanıcı kitlesinin değerlendirilen sistemi kullanarak belirli görevleri tamamladığı bir artırılmış gerçeklik sisteminin bu değerlendirmede tam puan alması için anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik ölçeklerinden 100 puan almaları gerekmektedir.

Santos ve diğerleri anket biçimi ve toplanan verinin analizi için kullanılacak yöntemi Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü ve Floyd, Fowler ve Cosenza tarafından tanımlanmış etkin araştırma sorusu oluşturma kurallarına göre belirlemişlerdir. Geliştirilen anket, daha önce bahsedilen algısal ve ergonomik problemlere karşılık gelecek ve katılımcılar tarafından anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik açılarından ölçülebilecek ifadelerden oluşmaktadır.

Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü ilk sekiz tanesi anlaşılabilirlik, son sekiz tanesi de kullanılabilirlik ile ilgili sistemin değerlendirilmesini sağlayacak Ek 4’de incelenebilecek on altı ifadeden oluşmaktadır.

Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsünün kullanılması aşamasında katılımcılardan sistemi daha önce bahsedilen on altı ifadeye, 1 kesinlikle katılmıyorum ve 7 kesinlikle katılıyorum anlamına gelmek üzere yedi dereceye sahip Likert ölçüsüne göre değerlendirmeleri istenmektedir. Katılımcıların değerlendirmelerinin ardından olumlu kurgulanmış ifadeler verilen katılımcı notlarından bir eksiltiyle, olumsuz olarak kurgulanmış ifadeler verilen katılımcı notlarını ise yedi sayısından çıkardıktan sonra anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik ölçüleri için verilen notlar bağımsız olarak toplanır. Bağımsız olarak toplanan notlar test sonucu alınabilecek en yüksek not olan 48’e bölünür ve çıkan sonuç 100 ile çarpıldıktan sonra anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik ölçüsü değerlerinin ortalaması alınarak genel sonuç elde edilmektedir.

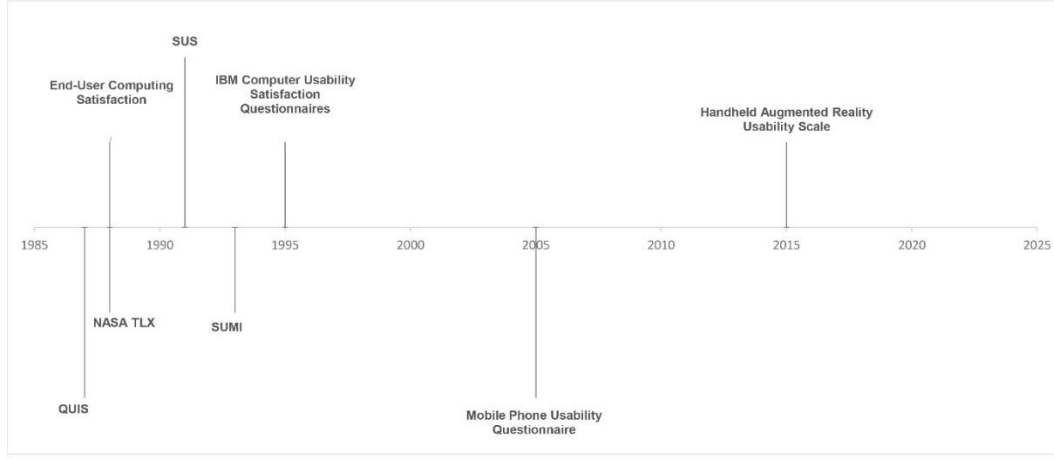
Santos ve diğerlerinin geliştirdiği Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçeği kabul edilen diğer kullanılabilirlik ölçekleri ile karşılaştırılmış ve güvenilirlik ve geçerlilik yönlerinden test edilmiştir. Geliştirilen yöntemin geçerliliği; görev tamamlama süresi, kelime sayısı, çalışma süresi ve yerleştirme hataları gibi nesnel kullanılabilirlik ölçülerine göre değerlendirilmenin yanında, Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (Brooke, 1996), Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi (Ryu ve Smith-Jackson, 2006) ve Öğretici Materyal Motivasyonu Anketi (Wenhao ve diğ., 2006) gibi öznel değerlendirme ölçekleri ile karşılaştırılması sonucunda gerçekleştirilmiştir. Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Anketinin güvenilirliği ise anketin kendi içerisinde tutarlılığını ölçmekte kullanılan Cronbach alfa (Bland ve Altman, 1997) değerinin hesaplanması ile test edilmiştir.

Santos ve diğerleri (2015) geliştirdikleri Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsünün AG alanında araştırma yapan gruplar tarafından kullanılmasıyla, geliştirilen AG sistemlerinin Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü gibi standartlaşmış anketler kullanarak değerlendirilmesi durumunda bu sistemlerdeki mobil artırılmış gerçeklik sistemlerine özgü problemlerin kolaylıkla ortaya çıkarılamaması ve sonuçta bu problemlere çözüm üretilmemesinin önüne geçilebileceğini öne sürmektedirler.

Ayrıca, algısal ve ergonomik problemlerin değerlendirme ölçüsünde bağımsız ele alınması sonucunda anlaşılabilirlik ve kullanılabilirliğin ayrı olgular olduğu ve bu olgulardan birisinde yapılan iyileştirmenin tüm sistemin kullanılabilirliğini önemli ölçüde yükseltebileceği sonucuna varılmıştır.

4.3 Kullanılabilirlik testlerinin karşılaştırılması

Tezin 4. bölümünde kapsamlı olarak incelenen kullanılabilirlik testlerinin kullanıldıkları alanlar, değerlendirdikleri uygulama veya araçları hangi özelliklere göre değerlendirdikleri ve içerdikleri soru sayıları açılardan çeşitli farkları bulunmaktadır (Şekil 4.1). Bahsedilen değerlendirme yöntemlerini içerdikleri soru sayısına göre incelersek aralarında 72 sorudan oluşan Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi (Ryu ve Smith-Jackson, 2006) gibi araştırmacılar ve katılımcılara gerçekleştirilmesi için gereken zaman açısından zorluk çıkartabilecek kadar fazla soru sayısına sahip testler olduğu gibi 3 sorudan oluşan IBM Senaryo Sonrası Anketi (Lewis, 1995) gibi çok kısa zaman içerisinde cevaplanabilecek testler de bulunmaktadır. Kullanılabilirlik testlerini uygulamaları değerlendirdikleri kategorilere göre incelediğimizde ise Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (Brooke, 1996) ve Yazılım Kullanılabilirlik Değerlendirme Envanteri (Kirakowski ve Corbett, 1993) dışında neredeyse tüm anketlerin içerik, kesinlik, öğrenme/kullanma/görev tamamlama kolaylığı, etkinlik, sistem yetkinliği vb. değerlendirdikleri uygulama/araçların farklı açılardan yeterliliklerini değerlendirmek için özel tanımlanmış kategorilere sahip olduklarını görmekteyiz. Ayrıca bahsettiğimiz değerlendirme yöntemlerinin erken örneklerinin geliştirildiği 90'lı yıllarda değerlendirilecek sistemlerin çalıştığı donanımlar benzer kapsitelere sahip, büyük ve son kullanıcının kolaylıkla ulaşamadığı cihazlardı. Bunun yanında bu cihazlara ulaşabilen kullanıcılar ise zamanın teknolojisi nedeniyle veri girişi/çıkışı ve görüntüleme cihazları açısından kısıtlı imkanlara sahipti. Bunun gibi nedenlerle incelenen değerlendirme yöntemlerinin bir kısmının günümüzün teknolojik imkanlarından faydalanarak geliştirilmiş bir uygulamayı objektif bir şekilde değerlendirebilecek kriterlere sahip olmadıkları sonucuna varılmıştır.



Yıl	Araştırmacılar	Ölçek İsmi	Soru Sayısı	Kategoriler	Ölçek	Değerlendirme Odağı
1987	Chin, Diehl, Norman	Questionnaire for User Interface Satisfaction	27	5	Likert (10)	Yazılım
1988	Doll & Torkzadeh	End-User Computing Satisfaction	12	5	Likert (5)	Yazılım
1988	Hart & Staveland	NASA Task Load Index	6	6	Bipolar	Yazılım ve Donanım
1991	J. Brooke	System Usability Scale	10	-	Likert (5)	Yazılım
1991	Lewis	After Scenario Questionnaire (IBM - ASQ)	3	3	Likert (7)	Yazılım
1992	Lewis	Post Study System Usability Questionnaire (IBM - PSSUQ)	19	4	Likert (7)	Yazılım
1992	Lewis	The Computer System Usability Questionnaire (IBM - CSUQ)	19	4	Likert (7)	Yazılım
1993	Kirakowski	The Software Usability Measurement Inventory	50	-	Çoktan Seçm.	Yazılım
2005	Ryu & Smith-Jackson	Mobile Phone Usability Questionnaire	72	6	Likert (7)	Donanım
2015	Santos, Polvi & Taketomi	Handheld Augmented Reality Usability Scale	16	2	Likert (7)	Yazılım ve Donanım

Şekil 4.1 : Kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri.

Literatür araştırması sonucunda geliştirilen sistemlerin kullanılabilirliğinin değerlendirmelerinde faydalanan yöntemler incelenerek Doktora çalışması kapsamında geliştirilmiş AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde en güncel, hızlı ve güvenilir değerlendirme yöntemlerinden olan Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ) yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Ancak, geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirildiği çalışmada elde edilen sonuçların güvenilirliğini ve geçerliliğini sağlamak için uygulamanın MAGKÖ anketine ek olarak Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) anketi kullanılarak değerlendirilmesinin faydalı olacağına karar verilmiştir. Geliştirilen herhangi bir uygulama bu bölümde bahsedilen kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerinden kullanılabilirlik kavramına daha genel açıdan yaklaşan bir yöntem kullanılarak değerlendirildiğinde kullanılabilirliği açısından kabul edilebilir sınırlar üzerinde puan alması mümkündür. Ancak bu bölümün başında da bahsedildiği gibi kullanılabilirlik kavramı birden çok özelliğe dayandığından dolayı uygulamanın sadece bir değerlendirme yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuç o uygulamanın kullanılabilirliği ile ilgili kesin sonucu oluşturmamaktadır.

Bu nedenle uygulamaların kullanılabilirliği ile ilgili değerlendirmelerde mümkün olduğunca birden fazla yöntemin karşılaştırmalı olarak kullanılması, hatta uygulamanın farklı bileşenlerinin birbirlerinden bağımsız olarak değerlendirilmelerine olanak tanıyan yöntemlerin de bu değerlendirmelerde kullanılmasının uygulamaların kullanılabilirliğine ilişkin daha net sonuçlar alınmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

Geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin birden fazla değerlendirme yöntemi kullanılarak ölçülmesinin uygulamanın birden fazla yöntemlerle kullanılabilirliğinin değerlendirilip sonuçlar arasında fark olup olmadığının ve gözlemlenen farklar bulunması durumunda bu farkların kaynaklarının tanımlanmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Kullanılabilirlik çalışması sonucu elde edilen bilginin gelecekte bu alanda gerçekleştirilecek araştırmalarda AG aracı geliştirme sürecinde uygulamaların nasıl değerlendirilebileceği ve uygulamaların kabul edilebilir kullanılabilirlik seviyelerinde olması için öncelikli olarak hangi bileşenlerinin geliştirilmesine odaklanılması gerektiği kararının verilmesinde kullanılabilecek güvenilir bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

Doktora tezi çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirildiği çalışmalarda uygulanmak için seçilen yöntemlerden olan SKÖ en eski yöntemlerden biri olmasına karşın diğer değerlendirme yöntemlerinden kullanım kolaylığı ve ölçeği ile ayrılmaktadır. Kullanılabilirlik çalışmalarında uygulanan diğer yöntem olan MAGKÖ ise kullanılabilirlik ve anlaşılabilirlik olmak üzere iki alt ölçeğe sahip ve özellikle Mobil Arttırılmış Gerçeklik (MAG) uygulamalarının değerlendirilmesi için geliştirilen bir değerlendirme yöntemidir. Kullanılabilirlik çalışmasında kullanılan iki yöntemle gerçekleştirilen çalışmalarda sonucunda benzer sonuçların alınması kullanılabilirliğin hızlı bir şekilde değerlendirilmesinin gerektiği durumlarda, her ne kadar MAGKÖ yöntemi kadar güncel olmaması nedeniyle teknolojik olarak daha basit uygulamaları değerlendirmek için geliştirilmiş olsa da, SKÖ yönteminin de güvenle kullanılabileceğini anlamına gelmektedir. Ayrıca MAGKÖ gibi geliştirilen AG uygulamasının farklı bileşenlerinin genel kullanılabilirliğe etkilerine ilişkin bilgi edinilebilen bir değerlendirme yönteminin kullanılması ile kullanılabilirlikle ilgili problemlerin daha kolay teşhis edilebileceği öngörülmüştür.



5. “MİMAR” UYGULAMASI KULLANILARAK GERÇEKLEŞTİRİLEN NİCELİKSEL DENEYSEL ÇALIŞMALAR

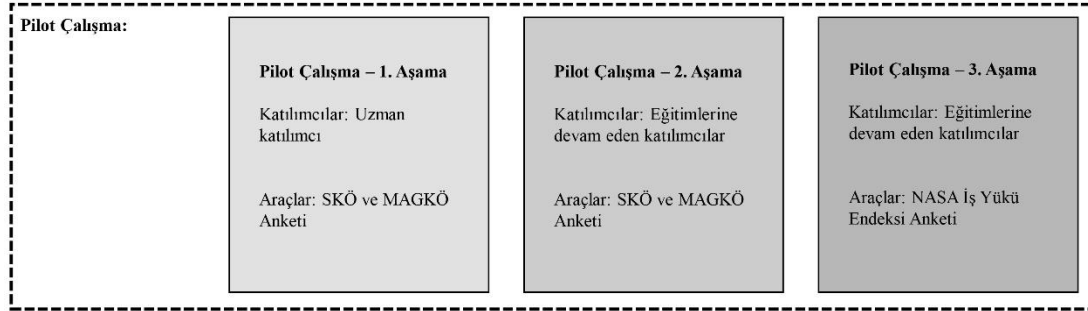
Bilimsel araştırmalarda araştırma kapsamında yanıt aranan sorulara cevap bulmak için hangi tip veri toplandığına ve eldeki verilerin nasıl analiz edileceğine göre nitel, nicel ya da karma yöntemler izlenebilmektedir. Bir araştırma problemini anlamak amacıyla hem nicel hem de nitel veri toplama yöntemlerini bir arada kullanarak araştırma problemi ve sorularına ilişkin daha bütünsel bir anlayışa sahip olabilme amacıyla yürütülen araştırma süreci, karma araştırma yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Creswell ve Clark, 2017). Creswell’e (2012, p. 540) göre karma araştırma yöntemleri ilk dördü temel desenler ve son ikisi son zamanlarda popülerlik kazanan karmaşık desenler olmak üzere, yakınsayan paralel desen, açıklayıcı ardışık desen, keşif amaçlı ardışık desen, iç içe gömülü desen, dönüştürücü desen ve çok aşamalı desen olmak üzere altı alt başlıkta incelenebilirler.

Paralel ve ardışık araştırma desenleri ile hem nitel hem de nicel verinin toplanması açısından benzerlik gösteren ancak toplanan nitel ve nicel verinin eş zamanlı ya da sıralı bir şekilde toplanması ile farklılaşan iç içe gömülü araştırma deseninde toplanan bir tip veri diğer tip verinin açıklanmasında destekleyici bir rol oynamaktadır.

Doktora tezi kapsamında geliştirilen “MimAR” uygulamasının geliştirilme sürecinin tamamlanmasından sonra, uygulamanın bileşenlerinin beklendiği gibi çalıştığının kontrolü ve doktora tezi kapsamında incelenen araştırma sorularına deneye dayalı cevapların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla katılımcılarla gerçekleştirilen asıl çalışmalarında karşılaşılabilecek problemlerin tanımlanabilmesi ve çözülmesi amacıyla kullanılabilirlik ve iş yükü konularına odaklanan pilot çalışmalar kurgulanmıştır. Kurgulanan pilot çalışmanın:

- Birinci aşamasında MimAR uygulamasında kullanılan etkileşim yöntemleri, uygulamanın farklı bileşenlerinin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığı ve uygulamanın kullanılabilirliği,

- İkinci aşamasında sadece sanal tuş takımı ile etkileşim yöntemi kullanılarak uygulama bileşenlerinin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığı ve uygulamanın kullanılabilirliği,
- Üçüncü aşamasında ise MimAr uygulamasını kullanarak yürütülen tasarım sürecinde katılımcıların algıladıkları iş yükü ölçülmüştür (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Pilot çalışma diyagramı.

Pilot çalışmalar sonucu elde edilen kullanıcı geri dönüşlerine ve araştırmacının gözlemlerine dayanılarak, tez kapsamında geliştirilen AG uygulamasında ve araştırma araçlarında gerekli görülen geliştirmeler yapılmıştır.

Uygulamanın geliştirilmesinin ardından gerçekleştirilen ve uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirildiği ilk çalışma kapsamında mimarlık alanında doktora seviyesinde öğrenime sahip uzman bir katılımcı ile çalışılmıştır. Bu uzman değerlendirmesinde, katılımcıdan geliştirilen AG uygulamasını kullanarak kendisine verilen görevleri gerçekleştirmesi ve sonrasında uygulamanın kullanılabilirliğini değerlendirmesi istenmiştir. Uzman kendine verilen görevleri tamamladıktan sonra uygulamayı kullanma ile ilgili deneyimini göz önünde bulundurarak Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) ve Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ) anketlerini kullanarak değerlendirmiştir.

Geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirildiği çalışmanın ikinci aşamasında 2018-2019 Güz yarıyılında lisans eğitimine devam eden katılımcılarla bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Pilot çalışma ilk olarak AG uygulamasının tasarımın erken evrelerinde kullanımının tasarımcı davranışlarına etkisinin incelenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla, katılımcıların kendilerine verilen tasarım problemine geleneksel ve AG uygulaması kullanarak çözüm geliştirmeleri beklenmiştir. Ancak, deney ve kontrol olmak üzere iki gruba ayrılan katılımcılardan deney grubunda bulunan katılımcıların bir kısmının çalışmaya katılmaması nedeniyle çalışmanın

karşılaştırmalı bir şekilde yapılması mümkün olmamıştır. Pilot çalışmanın planlandığı gibi yapılamayacağının anlaşılması üzerine araştırma yöntemi güncellenerek katılımcılardan kendilerine verilen bir mimari tasarım problemine AG uygulamasını kullanarak çözüm geliştirmelerinin ve süreci göz önünde bulundurarak uygulamanın kullanılabilirliğini SKÖ ve MAGKÖ anketleri kullanarak değerlendirmelerinin istendiği bir çalışma yapılmıştır.

Gerçekleştirilen pilot çalışmanın üçüncü aşamasında geliştirilen AG uygulamasının kullanıcılara ne kadar iş yükü oluşturduğunun incelenmesi amaçlanmıştır. 2018-2019 Bahar yarıyılı sonunda lisans eğitimlerine devam eden katılımcılarla gerçekleştirilen çalışmada katılımcıların uygulamayı kullanmaya alışmalarını sağlamak amacıyla bir ön test ve sonrasında ise AG uygulamasını kullanarak bir tasarım problemine çözüm üretmelerinin beklendiği son test uygulanmıştır. Ön test ve son test sonrasında katılımcılardan süreç içerisinde algıladıkları iş yükünü NASA İş Yükü Endeksi Anketi kullanarak değerlendirmeleri beklenmiştir. Yapılan pilot çalışma ile test süresi, katılımcıların iş yükünü ölçmede kullanılacak test sorularının anlaşılabilirliği, test sonuçları ve karşılaşılabilecek problemlerle ilgili bilgi edinilmiştir.

Araştırma projelerinde gerçekleştirilen deneye dayalı çalışmalarda doğru sonuçların elde edilmesi ve doğru çıkarımların yapılabilmesi için bu çalışmalardan elde edilen sonuçların doğruluğunu etkileyebilecek geçerlilik² (*validity*) olarak tanımlanan faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. İç geçerlilik, bağımlı değişkende gözlenen değişimlerin bağımsız değişkenle açıklanabilirlik derecesidir. Dış geçerlilik ise araştırma bulgularının katılımcıların dahil oldukları büyük gruplara ve çalışma evrenine ne derece genellenebilir olduğu ile ilgilidir (detaylı bilgi için bkz. EK F).

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmaların iç ve dış geçerlikleri (bkz. Ek F) bahsedilen etkenler göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Araştırmada ön-test son-test veya tekrarlı ölçümler gibi ölçüm yöntemleri kullanılmadığından dolayı geçmiş, olgunlaşma ve test gibi etkenler araştırmanın iç geçerliliğini olumsuz yönde etkilemeyeceklerdir. Araştırmanın katılımcıları örneklem içerisinde seçilirken alanla ilişkili en az veya en fazla deneyime sahip kişiler

² Araştırma projelerinde geçerliğe etki edebilecek faktörlerle ilgili daha detaylı bilgi için Creswell'in "Educational Research: Planning, Conducting and Evaluating Quantitative and Qualitative Research" kitabının 10. bölümünde yer alan geçerliliğe tehditler kısmı ve Panter ve Sterba'nın "Handbook of Ethics in Quantitative Methodology" kitabının 3. bölümünde bulunan "Measurement Choices: Reliability, Validity and Generalizability" başlıklı makale incelenebilir.

arasından seçilmediklerinden, başka bir deyişle uygunluk kriterine göre yapılan çağrılara olumlu cevap veren kişiler arasından ayrıca bir ayıklama işlemine tabii tutulmadan seçildiklerinden dolayı elde edilen sonuçlar regresyon ve seçim etkenlerinden olumsuz bir şekilde etkilenmemiştir. Araştırmanın katılımcıları arasında çalışmayı yarıda bırakan bir katılımcı olmadığından dolayı elde edilen veriler sonluluk etkeninden de olumsuz şekilde etkilenilecek bir durum oluşmamıştır. Araştırmada ön-test son-test ve tekrarlı ölçümler gibi yöntemlerin kullanılmamasından ve araştırmada kullanılan değerlendirme araçlarının araştırma süresince değiştirilmemesinden dolayı araştırmanın iç geçerliliğini etkileyebilecek etkenlerden olan test etkeni de elde edilen verilerden çıkarılacak sonuçları olumsuz bir şekilde etkilememiştir.

Çalışmanın popülasyonunu oluşturan kişiler mimarlık alanında lisans seviyesinde eğitimini tamamlamış kişiler olarak tanımlanmıştır. Bu popülasyonu temsil eden örneklem ise uygunluk yöntemi popülasyonu temsil eden kişilere yapılan çağrılara olumlu yanıt veren kişilerden oluşturulmuştur. Örneklem oluşturulurken yapılan çağrılara olumlu yanıt veren katılımcılar bilgi iletişim teknolojileri, bilgisayar destekli tasarım programları ve AG konularındaki bilgi ve deneyimlerine göre ikinci bir seçim kriterine göre seçilmemişler, örneklem popülasyonu doğru bir şekilde temsil edilebilmesi için farklı bilgi ve deneyim seviyelerine sahip katılımcıların çalışmaya dahil olmalarına özellikle önem verilmiştir. Ayrıca örneklem, özellikle sadece belirli bir yaş grubu, cinsiyet ve özelliklere sahip kişilerden oluşmamasından dolayı, çalışma popülasyonunu doğru bir şekilde temsil ettiği düşünülmektedir (S:21). Bu nedenle araştırmanın dış geçerliliğini olumsuz etkileyecek uygulama ve seçim arası etkileşim kaynaklı bir problemle karşılaşılmayacağı düşünülmektedir.

Araştırma kapsamında, AG uygulamalarının mimari tasarım sürecinin erken evresinde tasarım aracı olarak kullanımı incelenmektedir. Bu araştırma için bahsedilen amaçla kullanılmak üzere geliştirilen bir AG uygulamasından faydalanarak mimar kullanıcılarla yapılan deneysel bir çalışma ile AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen uygulamanın tasarım sürecindeki etkisi uygulamanın kullanıcılarına oluşturduğu iş yükü ve kullanıcı memnuniyeti açılarından değerlendirilmektedir. Araştırma alanı ve araştırmanın popülasyonu göz önünde bulundurulduğunda, araştırmadan elde edilen sonuçların sadece popülasyonu ilgilendirdiği ve sonuçların AG teknolojisini ticari olarak kullanacak farklı özelliklere sahip geniş bir son kullanıcı grubuna genellenemeyeceğinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle araştırmanın dış

geçerliliğine tehlike oluşturabilecek etkenlerden birisi olan uygulama ve çevre arasındaki etkileşimin araştırmayı olumsuz olarak etkilemeyeceği düşünülmektedir. Ayrıca doktora çalışması kapsamında araştırma popülasyonu içerisine dahil edilmeyen mimarlık alanında eğitimlerine devam eden “acemi” kullanıcıların erken tasarım sürecinde AG teknolojisi kullanımına yaklaşımlarının ve bu kullanıcı grubunun tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilecek AG uygulamalarından beklentilerinin başka bir araştırma kapsamında yeni bir araştırma kurgusu oluşturulup incelenmesinin iki açıdan önemli olduğu düşünülmektedir. Bahsedilen şekilde bir araştırma kurgusunun oluşturulması ile birinci olarak acemi kullanıcıların mekansal farkındalıkları ve bilgilerini geliştirmenin yanında fikirlerini 3B olarak ifade etmeyi ve değerlendirmeyi deneyimledikleri öğrenim süreçlerine olumlu katkıları bulunabilecek AG teknolojisinin bu süreçlere eklenme ihtimali değerlendirilebilecektir. İkinci olarak ise lisans düzeyinde eğitime devam eden ve eğitimini tamamlamış kullanıcıların tasarım sürecinin erken evresinde kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarına yaklaşımları ve bu uygulamalardan beklentileri arasındaki farklar tanımlanabilecek ve uygulama geliştirme süreçlerinde hedef alınan kullanıcı grubuna uygun uygulamaların geliştirilmesi sağlanabilecektir.

Araştırmanın dış geçerliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek son etken olan uygulama ve geçmiş arasındaki etkileşim etkeninin ise araştırma kapsamında yapılan deneysel çalışmanın sonuçları herhangi bir dönerselliğe bağlı olmadığından dolayı araştırmayı olumsuz etkileyecek bir problem yaratmayacağı düşünülmektedir.

5.1 Ön Çalışma: Uzman Katılımcı ile Kullanılabilirlik Çalışması

“MimAR” artırılmış gerçeklik uygulaması, kullanıcılarının mimari tasarımın erken evrelerinde geliştirdikleri temel tasarım fikirlerini ve kütle çalışmalarını geleneksel mimari tasarım yöntemlerinden olan maket yaparak çalışmaya kıyasla daha kısa sürede, az çabayla ve düşük maliyetle üretebilmeleri ve görselleştirebilmelerine olanak tanıyan Android platformunda akıllı tablet ve telefonlarda çalışan bir AG uygulamasıdır.

“MimAR” uygulaması kullanıcılarına mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde tasarım fikirlerini görselleştirmek ve değerlendirmek amacı ile hızlı ve verimli bir şekilde 3 boyutlu (3B) sanal nesne üretimi yapma fırsatı sunmaktadır. Ayrıca, tasarlanan 3B kütleler arasındaki ölçek, yönelim, sirkülasyon vb. ilişkiler ve tasarlanan

hacimlerin 3B olarak algılanabilen mekânsal kalitelerine ilişkin bilgi sahibi olma imkanını tanımaktadır. Geliştirilen tasarımların gerçek dünyada deneyimlenebilmesi için, normal şartlarda öncelikle uygun bir 3B modelleme programında uygun ölçekte modellenmesi ve sonrasında da uyumlu program yardımı ile istenilen işaretleyiciler ile ilişkilendirilerek bir AG uygulaması yardımı ile görselleştirilmesi gereklidir. Ancak bu oldukça uzun zaman ve emek gerektiren hatta belirli bir seviyede uzmanlık isteyen bir süreçtir.

Fakat, MimAR kullanıcıları, AG uygulamasını kullanarak tasarım fikirlerini gerçek dünyada gerçek zamanlı olarak görselleştirme fırsatına sahiptirler. MimAR, kullanıcılarına sanal nesnelerle etkileşim için; daha geleneksel olarak tanımlanabilecek sanal düğmeler yardımı ile etkileşim; ya da içgüdüsel bir etkileşim yöntemi olarak tanımlanabilecek dokunma yolu ile etkileşim olmak üzere iki farklı etkileşim yöntemi sunmaktadır. MimAR AG uygulaması ile kullanıcılar, gerçek dünyada deneyimleyecekleri sanal nesneleri üretme, yer değiştirme, yön değiştirme ve ölçeklendirme gibi farklı işlemleri gerçekleştirebilmektedirler.

MimAR uygulamasının geliştirilme sürecinde literatürde karşılaşılan başarılı örneklerin yanı sıra, Prof. Dr. Leman Figen Gül tarafından yürütülmüş olan, TÜBİTAK destekli 115K515 numaralı proje kapsamında geliştirilmiş olan mobil artırılmış gerçeklik uygulaması “MAR” incelenmiş ve MimAR uygulaması değerlendirilen örneklerin başarılı özellikleri ve işlevleri göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir.

AG uygulamalarını değerlendirmek için kullanılan: Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (Chinve diğ., 1988), Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Anketi (Kirakowski ve Corbett, 1993), Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (Brooke, 1996), Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi (Ryu ve Smith-Jackson, 2006), Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (Santosve diğ., 2015; Santos, Taketomi, ve diğ., 2014) gibi farklı değerlendirme yöntemleri incelenmiş ve MimAR uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde güncel, hızlı ve güvenilir değerlendirme yöntemlerinden olan Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ) yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen kullanılabilirlik değerlendirmelerinin güvenilirliğini sağlamak adına kullanıcıdan ayrıca Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) anketini de doldurması istenmiştir.

MimAR uygulamasının kullanılabilirliğinin bu amaçla değerlendirilmesi için uzman bir kullanıcı ile kullanılabilirlik ön çalışması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu ön çalışma kapsamında mimarlık alanında uzman, akıllı cihazları ve birçok farklı yazılımı günlük hayatında sıklıkla kullanmakta olan ve bilişim teknolojileri alanındaki kavramlara hakim bir katılımcı ile çalışılmıştır

Uzman katılımcıdan MimAR uygulamasını kullanarak sisteme işaretleyici ile tanıtılan AG nesnesi üzerinde yer değiştirme, ölçek değiştirme ve döndürme olmak üzere üç görevi uygulaması istenmiştir. Seçilen görevler, görevler tamamlanırken yapılması gereken işlemler açısından kolaydan zora doğru yer değiştirme, ölçek değiştirme ve döndürme olarak sıralanmaktadır. Katılımcıdan geliştirilen sistemi kullanarak kendisine verilen görevleri:

- Sanal düğmeler yardımı ve
- Dokunulabilen ekran yardımı ile veri girişi yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntemi kullanarak tamamlaması istenmiştir.

Sistemin kullanılabilirliğini değerlendirmek için katılımcıdan kendisine verilen görevleri tamamladıktan sonra, MAGKÖ ve uygulamanın kullanılabilirliğine ilişkin daha genel bir değerlendirmenin elde edilebileceği SKÖ anketlerini cevaplayarak sistemi değerlendirmesi istenmiştir.

5.1.1 Kullanılabilirlik testi tasarımı ve izlenilen yöntem

Geliştirilen artırılmış gerçeklik sistemlerini; kullanım kolaylığı, kullanıcı memnuniyetini sağlaması, dikkat dağıtıcı öğelere sahip olmaması, kullanıcı motivasyonu ve performansını üst derecede tutabilmesi yönlerinden değerlendirmek için kullanıcı çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda ve katılımcıların deneyimlerine dayalı verilerin analiz edilmesi sonucunda elde edilen bulgular, geliştirilen sistemlerin test edilen sürümlerindeki gerekli iyileştirmelerin yapılmasına karar vermede kullanılmaktadır. Bu tip değerlendirmelerde katılımcılardan genellikle sistemi deneyimleri doğrultusunda değerlendirmeleri beklenmekte ve sonuçlar anket ya da röportaj yolu ile toplanmakta ayrıca katılımcıların sistemi kullanma anlarındaki deneyimlerinin gözlenmesi ile değerlendirmeyi tamamlayıcı nitelikte veriler elde edilmektedir.

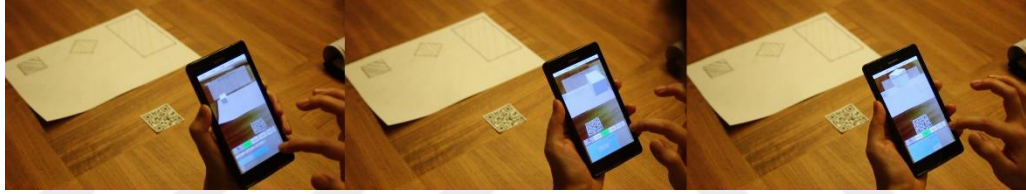
Güncel literatürde kullanılabilirlik testleri için yaygın şekilde kullanılan değerlendirme yöntemi katılımcıların sistemi kullanma deneyimlerini memnuniyet, kolaylık, etkinlik gibi farklı yönlerden ölçmeyi sağlayan anket yöntemini kullanarak kullanılabilirlik değerlendirmesi yapmaktır.

MimAR uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla incelenen Kullanıcı Arayüzü Memnuniyet Anketi (Chin ve diğ., 1988), Yazılım Kullanılabilirliği Değerlendirme Anketi (Kirakowski & Corbett, 1993), Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (Brooke, 1996), Mobil Telefon Kullanılabilirlik Anketi (Ryu & Smith-Jackson, 2006), Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (Santos ve diğ., 2015; Santos ve diğ., 2014) gibi çeşitli kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerinden MAGKÖ (Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü)'nün kullanılmasına karar verilmiştir. Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsünün, mobil cihazlar için geliştirilmiş sistemlerin kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla ek ifadeler içerecek şekilde genişletilmiş sürümü olan MAGKÖ (Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü)'nün kullanılacaktır. Özellikle mobil cihazlarda çalışmak üzere geliştirilmiş bir uygulama ile yerine getirilecek görevlere uygun değerlendirme ifadelerine sahip olması nedeniyle MAGKÖ'nün, geliştirilen sistemin kullanılabilirliği ile ilgili hızlı ve güvenilir bir sonuca ulaşmada faydalı olacağı düşünülmektedir.

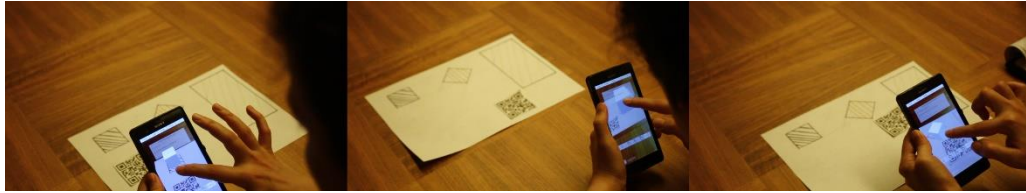
Katılımcıdan MimAR'ı kullanarak sisteme işaretleyici ile tanıtılan AG nesnesi üzerinde yer değiştirme, ölçek değiştirme ve döndürme olmak üzere üç görevi uygulaması istenmiştir. Seçilen görevler, görevler tamamlanırken yapılması gereken işlemler açısından kolaydan zora doğru yer değiştirme, ölçek değiştirme ve döndürme olarak sıralanmaktadır. Uzman katılımcıdan Şekil 5.2'de görülebileceği gibi geliştirilen sistemi kullanarak önce sanal düğmeler yardımı ile veri girişi yöntemini, ardından; dokunulabilen ekran yardımı ile veri girişi yöntemini kullanması istenmiştir.

Araştırmacı önce sistemin nasıl kullanılacağını anlatılmış, ardından uzman katılımcının uygulamanın ara yüzüne alışması için 5 dakikalık bir deneme süresi verilmiştir. Katılımcının uygulamayı kullanarak gerçekleştireceği görevleri belirli bir sıra ile tamamlaması ve tamamlanan her görevden sonra uygulama düzeneğinin başlangıç aşamasına geri döndürülmesi istenmiştir. Kullanılabilirlik değerlendirmesinde belirli bir zaman sınırlaması tanımlanmamış ve katılımcının istediği an görevi sonlandırmasına veya yeniden başlatmasına izin verilmiştir.

Katılımcının kendisine verilen görevleri tamamladıktan sonra cevaplayacağı öznel ve katılımcı tarafından algılanan kullanılabilirliğin değerlendirileceği 7’li (Likert) nitel dağılma ölçüsüne göre cevaplanacak MAGKÖ anketi verilmiştir. Ek olarak, geliştirilen sistemin kullanılabilirliğine ilişkin daha genel bir değerlendirmenin elde edilmesi ve MAGKÖ’nün geliştirilmesinde temel alınan, 5’li Likert ölçüsüne göre cevaplanan SKÖ de pilot çalışma kapsamında ayrıca kullanılmıştır. Geliştirilen sistemin iki kullanılabilirlik değerlendirme ölçüsü ile değerlendirilmesi ile sistemin kullanılabilirliğine ilişkin sonuçların geçerliliğinin daha sağlıklı bir şekilde sağlanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, sistemin kullanılabilirliğinin öznel bir değerlendirmesinin yapılmasının yanında daha nesnel sonuçlara ulaşabilmek amacıyla katılımcının bu çalışma süresince kendisine verilen görevleri ne kadar sürede tamamladığı, ne kadar hata yaptığı ve sistemi tekrardan başlatma sayısı gibi kriterler araştırmacı tarafından görüntülü ve yazılı olarak kayıt altına alınmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.2 : (a) Katılımcı sanal nesnenin yerini, boyutlarını ve yönelimini sanal düğme yardımıyla değiştirmekte. (b) Katılımcı sanal nesnenin yerini, boyutlarını ve yönelimini dokunarak etkileşim yöntemiyle değiştirmekte.

5.1.2 Ön çalışmanın sonuçları

MimAR uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için yapılan uzman değerlendirme çalışması 10 ifadeden oluşan SKÖ ve 16 ifadeden oluşan MAGKÖ kullanılarak değerlendirilmiştir.

SKÖ kullanılarak değerlendirilen sistem, ekranda bulunan sanal düğmeler yardımı ile veri girişi yapılarak görevlerin gerçekleştirildiği senaryoda 87.5 puan, görevlerin dokunulabilen ekran yardımı ile gerçekleştirilen veri girişi yönteminin kullanılması ile ise 40 puan almıştır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Pilot Çalışma Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü Sonuçları.

Soru Numarası	Sanal Düğme ile Etkileşim	Dokunulabilen Ekran ile Etkileşim
1	5 (4)	2 (1)
2	1 (4)	2 (3)
3	5 (4)	1 (0)
4	2 (3)	5 (0)
5	5 (4)	3 (2)
6	1 (4)	1 (4)
7	5 (4)	2 (1)
8	1 (4)	1 (4)
9	5 (4)	2 (1)
10	5 (0)	5 (0)
SKÖ Puanı	35 x 2.5 = 87.5	16 x 2.5 = 40

Geliştirilen sistemin MAGKÖ kullanılarak değerlendirilmesi sonucunda sistemin ekranda bulunan sanal düğmeler yardımı ile kullanılarak görevlerin tamamlandığı senaryo sonucunda toplam 85.41 puan, görevlerin dokunulabilen ekran yardımı ile gerçekleştirilen veri girişi yönteminin kullanılması ile ise toplam 68.74 puan almıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Pilot Çalışma Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Sonuçları.

Soru Numarası	Sanal Düğme İle Etkileşim	Dokunulabilen Ekran ile Etkileşim
1	5 (2)	5 (2)
2	6 (5)	6 (5)
3	1(6)	1 (6)
4	6 (5)	5 (4)
5	1 (6)	1 (6)
6	6 (5)	5 (4)
7	5 (2)	5 (2)
8	7 (6)	7 (6)
Anlaşılabilirlik Ölçeği Sonucu	$(37/48) \times 100 = 77.08$	$(35 / 48) \times 100 = 72.91$
9	1 (6)	7 (0)
10	7 (6)	7(6)
11	1 (6)	1 (6)
12	7 (6)	2 (1)
13	1 (6)	1 (6)
14	7 (6)	4 (3)
15	1 (6)	1 (6)
16	4 (3)	4 (3)
Kullanılabilirlik Ölçeği Sonucu	$(45 / 48) \times 100 = 93.75$	$(31/48) \times 100 = 64.58$
Σ MAGKÖ Puanı	$(77.08 + 93.75) / 2 = 85.41$	$(72.91 + 64.58) / 2 = 68.74$

Kaydedilen görev tamamlanma süresi ve görev süresince gerçekleşen hata sayıları gibi verilerin incelenmesi de bu sonuçları desteklemektedir. Katılımcı geliştirilen sistemi kullanarak kendisinden istenen görevleri tamamlarken ekranda bulunan sanal düğmeler yardımı ile gerçekleşen etkileşimi kullandığında yer değiştirme görevini 0:35 saniye içerisinde ve 1 hata ile; ölçek değiştirme görevini 60 sn içerisinde 5 hata ile; döndürme görevini ise 0:46 sn içerisinde 5 hata ile tamamlamıştır.

Katılımcı kendisine verilen görevleri dokunulabilen ekran yardımı ile gerçekleştirdiği senaryoda ise yer değiştirme görevini ilk denemede 4:00 dakika 7 hata, ikinci denemede 1:09 dakika ve 9 hata ile son denemede ise 16 saniye ve 2 hata ile tamamlamış; ölçek değiştirme görevini ilk denemede 1:11 dakikada 6 hata ile tamamlamadan bırakmış; döndürme görevini ise ilk denemesini 33 saniye 7 hata, ikinci denemesini 2:20 dakika 15 hata, üçüncü denemesinde 1:13 dakika 3 hata ve son denemesinde 2:00 dakika sıfır hata ile tamamlamıştır.

Katılımcının verilen görevleri dokunulabilen ekran yardımı ile veri girişi yaparak gerçekleştirdiği senaryoda nesnelerin seçimi ve kontrolü konularında çeşitli problemler yaşanması nedeniyle katılımcının memnuniyetinin azaldığı görülmüştür. Bu senaryo gerçekleştirilen son denemelerdeki başarılı denemeler sanal nesnelerin bağlı olduğu işaretleyicilerin görev alanı ve kameraya yaklaştırıldıktan sonra nesnelerin tanınmasının daha tutarlı hale gelmesi nedeniyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

Geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan iki farklı değerlendirme yöntemi karşılaştırılacak olduğunda; etkileşim biçimi olarak sanal düğme yardımı ile gerçekleşen etkileşim biçiminin kullanıldığı senaryolarda hem Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsünün hem de Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü ile yapılan değerlendirmelerin sonuçlarının kullanılabilirlik çalışmalarında ortalama olarak kabul edilen 68 puanın üzerinde ve birbirlerine yakın çıkmaları kullanılan yöntemlerin güvenilirliğinin yüksek olduğunu göstermektedir. Geliştirilen uygulamanın kullanılmasında etkileşim biçimi olarak dokunulabilen ekran yardımı ile gerçekleşen veri girişi yönteminin kullanıldığı senaryolarda daha genel bir ölçü olan Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü ile yapılan değerlendirmede kullanılabilirlik puanının 40 gibi düşük bir puan olarak hesaplanması, araştırmacının katılımcının kullanım performansını nesnel kriterlere göre değerlendirdiği gözlemleriyle uyum göstermektedir.

5.2 Pilot Çalışma 1: Acemi Katılımcılar İle Kullanılabilirlik Çalışması

MimAR AG uygulaması kullanılarak artırılmış gerçeklik uygulamalarının tasarımın erken aşamalarında kullanılmasının tasarımcı davranışlarına etkisinin araştırılması amacıyla 2018 – 2019 Güz yarı yılında acemi tasarımcılarla bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılması planlanan çalışma kapsamında katılımcıların kontrol (geleneksel tasarım yöntemleri) ve deney (AG uygulaması) olmak üzere iki gruba ayrılarak farklı tasarım yöntemlerinin tasarım problemlerinin çözümünde kullanılmasının karşılaştırmalı olarak incelenmesi planlanmış, ancak beklenmeyen bir sorundan ötürü karşılaştırmalı deney yapılması mümkün olmamıştır. Bu gelişme üzerine araştırmada yer almak isteyen tüm katılımcıların AG uygulamasının kullanılabilirliğini değerlendirdikleri alternatif araştırma kurgusu uygulanmıştır.

Katılımcılarla yapılan “Kullanıcı Çalışmasında” katılımcıların kendilerine verilen bir mimari bir tasarım problemine, MimAR uygulamasını kullanarak çözüm geliştirmeleri beklenmiştir. Katılımcıların tasarım egzersizini tamamlamaları sonrasında ise egzersiz boyunca kullanma fırsatını buldukları MimAR uygulamasının kullanılabilirliğini değerlendirmeleri istenmiştir.

5.2.1 Populasyon seçimi

Doktora çalışmasına konu olan artırılmış gerçeklik uygulamalarının tasarımının erken aşamalarında kullanılmasının tasarımcı davranışlarına etkisinin araştırılmasında, üzerinde deney ve gözlem yapılmasını gerektiren popülasyon olarak mimari tasarım eğitimi alan kişiler seçilmiştir. Üzerinde deney ve gözlem yapılacak bu popülasyonu temsil edecek örnek seçiminde hedef popülasyon ya da örneklem çerçevesi olarak ise lisans düzeyinde mimari tasarım eğitimine yeni başlamış ve günümüzde mimari tasarımda sıklıkla kullanılan çeşitli bilgisayar destekli mimari tasarım araçları ile henüz tanışmamış ya da etkin bir şekilde (1-2 yıllık deneyim sahibi olmayan) kullanmaya başlamamış öğrencilerin seçilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılacak hedef popülasyonun mimari tasarım eğitimine yeni başlamış kişilerden oluşmasının planlanmasının nedenleri aşağıdaki gibidir:

- Önerilen katılımcıların mimari tasarım eğitimi süresince edinecekleri kazanımlardan birisi olan 3B düşünme yeteneği ve mekânsal farkındalığın henüz yeterince gelişmemiş olmasının varsayılması nedeniyle AG uygulamasının kullanıcılara katkılarının çok daha açık bir şekilde gözlemlenebileceğinin düşünülmesi,
- Katılımcıların mimarlık eğitiminin başlangıcında olmalarından dolayı deney ve kontrol gruplarında kullanılan geleneksel tasarım yöntemleri veya bilgisayar destekli tasarım yöntemlerinden birisini kullanmakla ilgili daha fazla deneyime sahip olmamaları nedeniyle grupların dengeli bir şekilde oluşturulabileceği ve bu şekilde daha gerçekçi sonuçların elde edilebileceğinin varsayılmasıdır.

Hedef popülasyon içerisinde oluşturulacak örneklemin yeteri kadar büyük bir hedef popülasyona ulaşabilecek imkanların olmamasından dolayı -olasılıksız örnekleme yöntemlerinden olan uygunluk örnekleme yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Her ne kadar uygunluk örnekleme yönteminin tüm popülasyonu temsil etmede

olasılıklı seçim yöntemleri ile oluşturulan örneklemeler kadar güvenilir olmadığı ve basit tesadüfi örnekleme yöntemi kadar titiz bir yöntem olmadığı kabul edilse de doktora çalışması kapsamında incelenmek istenen ve yukarıdaki bölümde de açıklanan hedef örneklemin içerisinde örneklemin uygunluk örnekleme yöntemiyle seçilmesinin, araştırmayı olumsuz bir şekilde etkilemeyeceği ve araştırmada hedeflenen sonuçlara daha hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

5.2.2 Araştırma modeli

Araştırma sürecinde hedef popülasyon olarak kullanılan lisans düzeyinde mimarlık eğitimi alan 1. sınıf öğrencilerinin tasarım sürecinin erken evrelerinde AG uygulaması kullanmalarının tasarımcı davranışına, özellikle 3 boyutlu nesne ve mekânsal farkındalıklarına etkisi incelenirken, geliştirilen deney kapsamında kendilerine verilen tasarım görevlerini ne kadar sürede, kaç farklı olasılık deneyerek, kaç farklı çözüm önerisi sunarak, uygulamayı kullanırken ne kadar hata yaparak tamamladıkları gibi nicel verilerin toplanmasının yanında deney öncesi gerçekleştirilen Vandenberg ve Kuse'un (1978) geliştirmiş oldukları bilişsel rotasyon testi ile deney ve kontrol grubundaki katılımcıların deney öncesi 3 boyutlu nesne ve mekânsal farkındalık seviyeleri arasındaki farkı inceleyebilmek için nicel veriler toplanmıştır. Ayrıca deney grubunda bulunan katılımcıların AG uygulamasını kullanarak tasarım yapma sürecindeki izlenimlerini değerlendirmek amacıyla nitel verinin toplanacağı kullanıcı memnuniyet testi ve deney süresince araştırmacı tarafından yapılacak gözlemler ile de nitel türdeki veriler de çalışma kapsamında toplanmıştır.

Araştırma kapsamında gerçekleştirilecek deney sürecinde eşzamanlı olarak toplanacak nicel ve nitel türdeki verinin analizi ve nitel verinin nicel veriyi desteklemekte kullanılacak olması ana nedenleri ile araştırmada karma araştırma yöntemlerinden iç içe gömülü desenin kullanılmasına karar verilmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 : Araştırma kapsamında toplanacak veri çeşitleri ve veri toplama yöntemleri.

Nitel veri toplama yöntemleri	Veri tipi	Nitel veri toplama yöntemleri	Veri tipi
Vandenberg Mental Rotasyon Testi	Sayısal	Açık uçlu gözlemler	Araştırmacı notları
Nesne yerleştirme süresi	Sayısal	Görsel ve işitsel malzemeler	Ses ve görüntü kaydı
Hata sayısı	Sayısal	Kullanıcı memnuniyet testi	Likert ölçeği
Görev tamamlama süresi	Sayısal		
Geliştirilen olasılık sayısı	Sayısal		

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilecek deneyin örnekleme oluşturulurken, deney grubu ve kontrol grubunun 3 boyutlu nesneler ve mekânsal farkındalıkları arasında olası herhangi bir farklılığın deney sonuçlarına olumsuz yansımaması ve araştırma kapsamında gerçekleştirilecek deneyin güvenilirliğinin azalmaması adına, deneyin tüm katılımcılarına deney öncesinde Vandenberg ve Kuse bilişsel rotasyon testini uygulanmış, deney ve kontrol gruplarının bu testin sonuçlarına göre olabildiğince eşit bir şekilde dağılım sağlanarak oluşturulması planlanmıştır. Böylelikle AG uygulamasını kullanacak deney grubu ve geleneksel tasarım yöntemlerini kullanacak kontrol grubunu oluşturan katılımcıların olabildiğince benzer özelliklere sahip olması sonucunda deney sonunda elde edilecek verilerin deneyimlenecek iki yöntem arasında adil bir karşılaştırma yapmaya uygun olacağı varsayılmaktadır.

Katılımcılara Vandenberg ve Kuse bilişsel rotasyon testi uygulandıktan sonra katılımcılar test sonuçlarına göre deney ve kontrol gruplarına atanmışlardır. Katılımcılardan atandıkları gruba göre belirlenen yöntemlerle yarım saatlik bir tasarım seansında hayali bir arazide konumlanan ve sergi alanları açık ve kapalı restoran ve çok amaçlı stüdyo işlevlerinden oluşan mimari programa uygun, kapalı ve yarı açık tek katlı hacimlerden oluşan bir tasarım gerçekleştirmeleri beklenmiştir.

Kontrol grubunda bulunan katılımcıların kendilerine verilen tasarım görevini, geleneksel mimari tasarım yöntemleri ile kendilerine verilen oluklu mukavva, yapıştırıcı, iğne, kalem, kağıt ve eskiz kağıtlarını kullanarak tamamlamaları beklenmiştir. Deney grubundaki katılımcılar ise aynı görevi, doktora çalışması kapsamında Vuforia eklentisi kullanılarak Unity 3D oyun motorunda geliştirilen ve Android işletim sistemi kullanan akıllı tablet ve telefonlarda kullanılabilen MimAR artırılmış gerçeklik uygulamasını kullanarak tamamlamaları beklenmiştir.

Katılımcılardan tamamlamaları gereken tasarım görevi olarak birden fazla ve farklı ölçülerde olabilecek hacimleri anlamlı bir şekilde mimari programa uygun bir şekilde organize etmelerinin istenmesinin nedeni, tamamlamaları beklenen görevi yerine getirmek amacıyla farklı ölçü ve sayıdaki hacimlerle etkileşim halindeyken kontrol grubu ve deney grubu olarak kullandıkları farklı yöntemlerin kullanıcılarına sunduğu faydaları daha açık bir şekilde gözlemleyebilmektir.

Katılımcılardan beklenen birden fazla hacim ve ölçeğin bir arada, 3 boyutlu uzayda verilen mimari programa uygun bir şekilde organize edilmesi görevinin, hem deney hem de kontrol grubunda bulunan katılımcıların ait oldukları gruba uygun yöntemlerle yoğun bir şekilde üretim yapmalarını gerektireceği düşünülmektedir. Böylelikle, katılımcıların 3 boyutlu düşünme yeteneklerini ve geleneksel yöntemle göre daha hızlı üretim yaparak geliştirdikleri tasarım olasılıklarını kolaylıkla analiz edip, daha fazla tasarım olasılığını değerlendirebilecek bir duruma gelebileceklerine ilişkin varsayımı değerlendirebilecek tipte bir verinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Deney süresince nicel verinin toplanmasının yanında araştırmacı notları ve katılımcıların tasarım görevlerini yerine getirirken ses ve video kayıtlarının alınması ile nitel tipte verinin araştırmada toplanan nicel verinin yorumlanmasına yardımcı olmak amacıyla toplanması planlanmaktadır.

AG grubundaki katılımcıların deney süresince kullandıkları AG uygulaması ile ilgili izlenimlerini öğrenmek amacıyla Mobil Artırılmış Gerçeklik Memnuniyet testini cevaplamaları beklenmektedir.

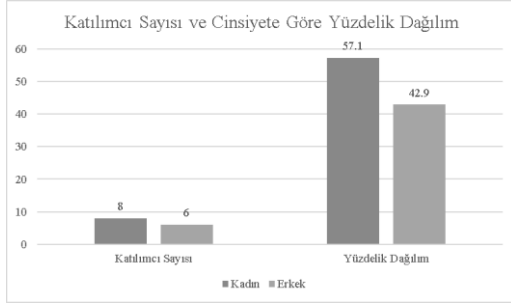
Uygulanmasına karar verilmemiş olsa da deney ve kontrol grubundaki katılımcıların tasarım görevlerini yerine getirme süreçlerinde bilişsel yüklerine ilişkin verinin NASA Görev Yüğü Endeksi anketi ile toplanması ve deney süresince kullanılan geleneksel tasarım yöntemleri ve artırılmış gerçeklik uygulamasının kullanıldığı tasarım senaryosunun iş yükleri açısından karşılaştırmasının araştırmayı daha da zenginleştirebileceği düşünülmektedir.

Doktora çalışması kapsamında karma araştırma yöntemlerinden iç içe gömülü araştırma deseni kullanılarak kurgulanan kullanıcı çalışması deneyinde öncelikle katılımcılara uygulanacak Vandenberg ve Kuse bilişsel rotasyon testi, katılımcıların tümünün bulunduğu bir sınıf ortamında araştırmacı tarafından verilecek testin açıklama konuşması ile birlikte toplamda 60 dakikalık bir oturumda gerçekleştirilmiştir. Bilişsel rotasyon testinin tamamlanmasından sonraki aşamada araştırmacı testin sonuçlarını değerlendirilmiş ve örneklem içerisinde uygun katılımcıları deney ve kontrol gruplarına atanmışlardır. Bir sonraki aşamada deney ve kontrol gruplarına atanan katılımcılar, araştırmacı ile bire bir ses ve video kaydının engelsiz bir şekilde alınabileceği bir ortamda, her katılımcı için toplamda en fazla bir saat sürecek olan tasarım görevlerinin ve sadece deney grubundaki katılımcıların tamamlamaları gereken Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü anketinin yapıldığı seansları tamamlamışlardır.

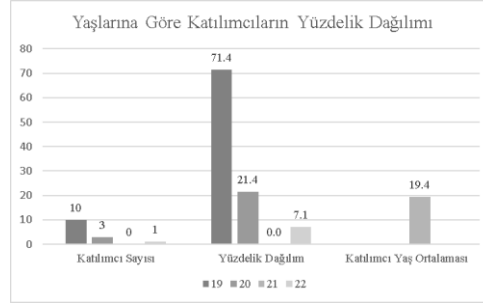
5.2.3 Deney süreci ve açıklayıcı analizlerin sonuçları

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen MimAR AG uygulaması kullanılarak tasarımın erken aşamalarında AG uygulamalarının kullanılmasının tasarımcı davranışlarına etkisinin araştırıldığı kullanıcı çalışması deneyinin deney ve kontrol gruplarının oluşturulması için kullanılacak birinci bölümüne, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık bölümünde Lisans düzeyinde öğrenim gören 1. Sınıf öğrencilerinden, farklı öğretim üyelerinin yürütücülük yaptığı 3 farklı stüdyoda Temel Stüdyo dersinde 10 Aralık 2018 günü çalışma ile ilgili yapılan açık çağrıya olumlu yanıt veren toplam 14 öğrenci katılmıştır.

Katılımcıların % 57'si erkek, % 43'ü kadın ve katılımcıların yaş ortalaması ise Şekil 5.3'de görülebileceği gibi 19'dur.



(a)

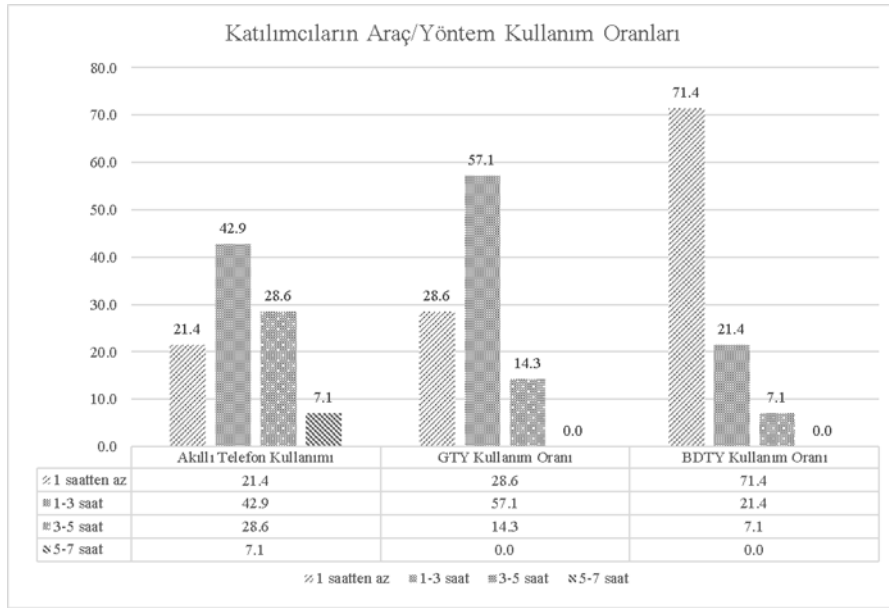


(b)

Şekil 5.3 : (a) Katılımcı sayısı ve katılımcıların cinsiyetine bağlı yüzdelik dağılım.
(b) katılımcıların yaşlarına göre yüzdelik dağılım.

Temel Stüdyo dersindeki açık çağrıya olumlu yanıt veren katılımcılardan önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi yaş cinsiyet gibi demografik bilgilerinin yanında tasarım yaparken kullanacakları yöntemleri; kontrol grubu için geleneksel tasarım yöntem ve araçları; AG grubu olarak tanımlanan deney grubu için ise bilgisayar destekli tasarım araçları ve akıllı mobil cihaz gibi, gündelik olarak ne kadar sıklıkla kullandıkları ve hangi bilgisayar destekli mimari tasarım programlarını ne derece kullanmayı bildikleri bilgisi alınmıştır.

Toplanan veriye göre katılımcıların araç ve yöntem kullanım oranları incelendiğinde, katılımcıların %21.4'ünün 1 saatten az, % 42.9'unun günde 1 ile 3 saat arası, %28.6'sının 3 ile 5 saat arası, %7.1'inin ise 5 ile 7 saat arasında akıllı telefon kullandıkları görülmektedir. Katılımcıların geleneksel tasarım yöntem ve araçlarını gündelik olarak kullanma oranları incelendiğinde ise, katılımcıların günlük olarak %28.6'sının 1 saatten az, % 57.1'inin 1 ile 3 saat arası ve % 14.3'ünün ise 3 ile 5 saat arası geleneksel tasarım yöntemi ve araçlarını kullandıkları ortaya çıkmıştır. Katılımcıların bilgisayar destekli mimari tasarım araçlarını güncelik olarak kullanma oranları incelendiğinde ise, katılımcıların %71.4'ünün günde 1 saatten az, %21.4'ünün günde 1 ile 3 saat arası ve %7.1'inin ise günde 3 ile 5 saat arasında bilgisayar destekli mimari tasarım programlarını kullandıkları görülmektedir (Şekil 5.4).



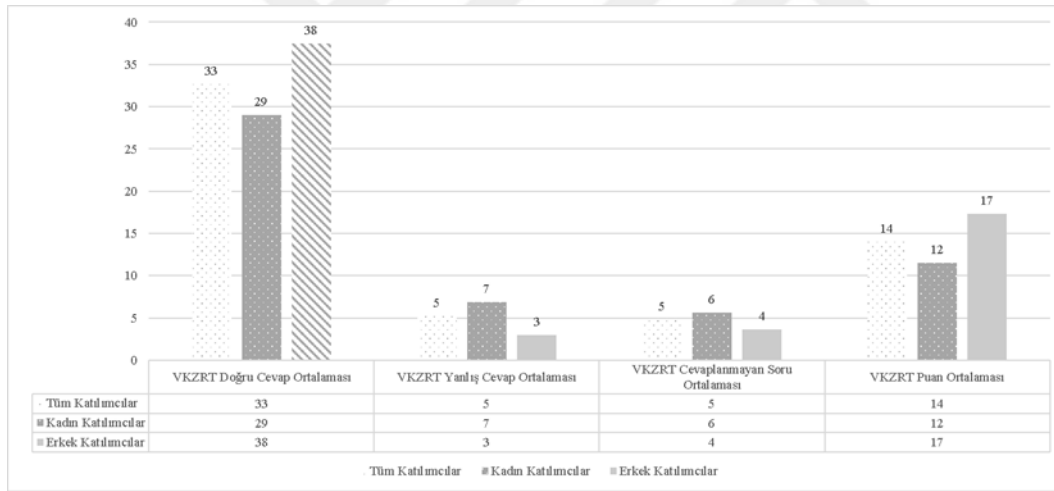
Şekil 5.4 : Katılımcıların günlük araç ve yöntem kullanım oranları.

Katılımcılardan alınan diğer bilgi ise katılımcıların bilgisayar destekli mimari tasarım programlarındaki genel nesne modifikasyon operasyonları, farklı ölçeklerde ve üçüncü boyutta tasarım yapma gibi yeteneklere sahip olup olmadıklarına ilişkin bir bilgi edinmek amacıyla toplanan katılımcıların hangi bilgisayar programlarını ve ne derecede bildiklerine ilişkin bilgidir. Katılımcılardan elde edilen veriye göre, katılımcıların %28.6'sı hiçbir program kullanmayı bilmiyorken, %42.9'u bir program, %14.3ü iki ve yine %14.3'ü de üç program kullanmayı bilmektedir.

Katılımcılardan demografik bilgileri, akıllı telefon kullanma oranları ve tasarım araç ve yöntemlerinin kullanma sıklıkları gibi bilgiler de alındıktan sonra araştırmacı katılımcılara Vandenberg ve Kuse bilişsel rotasyon testi ile ilgili bilgi vermiş ve testle ilgili deneme sorularının bulunduğu bölümü katılımcıların okuması ve varsa sorularını sormaları için katılımcılara 10 dakika vermiştir. Testin hazırlık bölümünün tamamlanması ve katılımcıların sorularının cevaplanmasından sonra ise katılımcıların 24 sorudan oluşan Vandenberg ve Kuse zihinsel rotasyon testini tamamlamaları için 10 dakika süre verilmiş, bu on dakikanın ilk 5 dakikası ve son üç dakikasında katılımcılara testin tamamlanması için kalan zaman hatırlatılmıştır.

Deneyssel çalışmada katılımcıların deney ve kontrol grubu olarak farklı gruplara ayrılmasında gruplar arasında oluşacak farkı minimuma indirmek için kullanılması planlanan Vandenberg ve Kuse zihinsel rotasyon testinin sonuçları değerlendirildiğinde, katılımcıların kendilerine verilen başlangıç şeklini soru

içerisindeki 4 şekil arasında bulmaya çalışacakları her soru için iki doğru cevap ve toplan 24 sorudan oluşan testte katılımcıların ortalama olarak 33 doğru cevap verdikleri; kadın katılımcıların doğru cevap ortalamasının 29; erkek katılımcıların doğru cevap ortalamasının ise 38 olduğu görülmüştür. Katılımcıların testteki yanlış cevap ortalamalarının 5, kadın katılımcıların ortalama olarak yanlış cevapladıkları soru sayısının 7, erkek katılımcıların yanlış cevapladıkları soru sayısı ise ortalama olarak 3 olarak karşımıza çıkmıştır. Katılımcıların testte farklı nedenlerden dolayı hiçbir cevap vermedikleri soru sayısı incelendiğinde ortalama olarak 5 soruya cevap verilmediği, kadın katılımcılarda bu sayının 6, erkek katılımcılarda ise cevaplanmayan soru sayısının ortalama olarak 4 olduğu karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak katılımcıların testte kaç puan aldıkları değerlendirildiğinde ise katılımcıların zihinsel rotasyon testinde ortalama olarak 14 puan aldıkları, kadın katılımcıları incelediğimizde test sonucu olarak ortalama 12 puan alındığını ve erkek katılımcıların ise ortalama olarak testten 17 puan aldığı görülmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Vandenberg ve Kuse zihinsel rotasyon testi ortalamaları.

Gerçekleştirilen testin sonuçlarını incelediğimizde erkek katılımcıların hem doğru cevap ortalamasında hem de test sonuç puanı ortalamasında katılımcıların tümünü hesaba kattığımız genel ortalamadan daha yüksek sonuçlar aldıkları ortaya çıkmaktadır. Erkek katılımcıların yanlış cevaplanan sorular ve cevaplanmaya sorular ortalamalarının da genel katılımcı ortalamalarından daha düşük olması dikkat çekmektedir.

Zihinsel rotasyon testinin katılımcılar tarafından tamamlanmasından sonra katılımcılardan 12-14 Aralık 2018 günleri arasında gerçekleşmesi planlanan ikinci çalışmaya katılma istekleri olup olmadığı ve ikinci çalışmaya katılımcı olarak katılmak isteyenlerden ise belirtilen günlerde uygun oldukları saat aralıklarını belirtmeleri istenmiştir. Zihinsel rotasyon testine 10 Aralık 2018 tarihinde katılan 12 katılımcıdan 11 tanesi ikinci çalışmaya katılmak istediğini belirtmiş, ikinci çalışmaya katılmak isteyen 11 kişi arasından ise araştırmacıya belirttikleri 12-14 Aralık günlerindeki uygunluk durumları ve gün içerisinde çalışmaya katılabilecek maksimum kişi kısıtlaması nedeniyle 4 kadın ve 4 erkek olmak üzere 8 kişi ile ikinci çalışmaya katılmaları amacıyla iletişime geçilmiştir. İletişime geçilen ve belirtilen günlerde gerçekleştirilmesi planlanan deneysel çalışmanın ikinci bölümüne katılmak istediğini belirten katılımcılar arasında geleneksel tasarım araç ve yöntemlerini kullanacak kontrol grubu ve AG uygulaması ile kendilerine verilen tasarım görevlerini tamamlamaya çalışacak AG grubunun üyeleri Çizelge 5.4’de görülebilecek test skorlarına, grupların üyelerinin cinsiyetlerine ve uygunluk durumlarına göre seçilmişlerdir.

Çizelge 5.4 : Deneysel çalışma deney ve kontrol grupları dağılımı.

Kontrol grubu			AG grubu		
Katılımcı	Cinsiyet	Test Skoru	Katılımcı	Cinsiyet	Test Skoru
No			No		
1	K	10	2	K	13
3	K	13	12	K	10
6	E	22	7	E	21
8	E	16	9	E	18
Ortalama		15.25			15.5

Deneysel çalışmaya katılması için kendileri ile iletişime geçilen ve ikinci çalışmaya katılma isteğini belirten katılımcılardan AG grubu üyesi olan 3 katılımcının deneysel çalışmaya katılmaması nedeniyle deneysel araştırmanın gerçekleştirilme amacı olan tasarımın erken evrelerinde artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılmasının tasarımcı davranışlarına etkisinin, farklı tasarım yöntemleri kullanan kontrol ve deney grubuna verilen aynı tasarım görevini grup üyelerinin tamamlarken gözlenmesi ve katılımcılardan toplanacak verilerin incelenmesi ile değerlendirilmesi hedeflenen çalışmanın gerçekleştirilmesi mümkün olmamıştır. Bu nedenle, önceden üyelerine karar verilen deney ve AG gruplarının mevcut halleriyle kullanılmamasına karar verilmiştir. Çalışma devam ederken, deney çalışmasına katılma isteklerini ileten iki

yeni katılımcının araştırmacıyla iletişime geçmeleri sonucunda çalışmaya katılma konusunda istekli yeni katılımcılarla yeni bir deneysel araştırmanın kurgulanmasına karar verilmiştir. Daha önceki bölümlerde de bahsedilen karşılaştırmalı bir araştırma yapmak yerine, katılımcılarla tüm katılımcıların doktora çalışması kapsamında geliştirilmiş MimAR AG uygulamasını kullanarak kendilerine verilen tasarım görevlerini tamamladıktan sonra uygulamayı değerlendirecekleri bir kullanıcı çalışması yapılmasına karar verilmiştir.

Kullanıcı çalışmasının son katılımcıları Çizelge 5.5’de görülebileceği gibi Vandenberg ve Kuse zihinsel rotasyon testi skorlarının ortalaması 10.5 olan 4 kadın katılımcıdır.

Çizelge 5.5 : Kullanıcı çalışması sonuçları.

Katılımcı No	Cinsiyet	Test skoru
1	K	10
12	K	10
13	K	12
14	K	10
Ortalama		10,5

Kullanıcı çalışmasının katılımcılarından yarım saat sürecek tasarım egzersizi, Şekil 5.6’de görülebilecek, çoğunlukla müstakil konutlar ve sıra evler tarzında tasarlanmış müstakil konutlardan oluşan bir konut kompleksinin bulunduğu, yapay göllerle çevrili bir park alanının ortasında bulunan araziye bölge sakinlerinin kullanımı için açık ve yarı açık yemek alanlarına sahip bir restorana, çok amaçlı stüdyolara ve bu stüdyolarda üretilen işlerin sergileneceği sergi alanlarına sahip hacim(ler) ve/veya kütle(ler)den oluşan tasarım önerileri geliştirmeleri beklenmiştir.



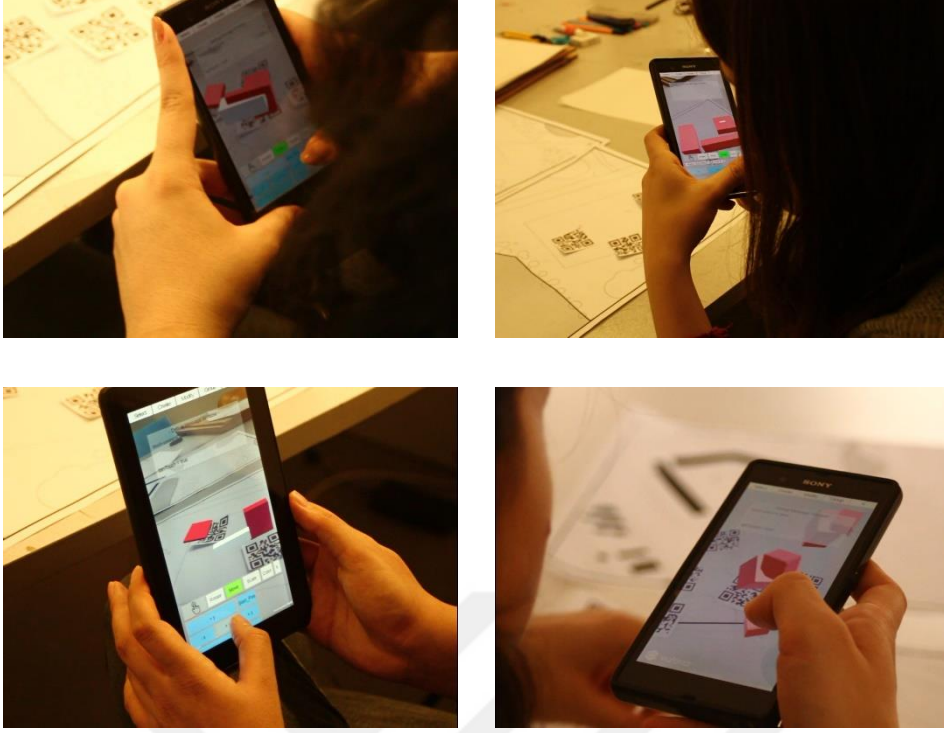
Şekil 5.6 : 1/500 ve 1/200 ölçeklerinde proje alanı vaziyet planı.

Katılımcılara mimari program verilmeden önce, tasarım görevini tamamlamak amacıyla olasılık geliştirmeye başlamadan MimAR AG uygulamasını kullanmaya alışmaları amacıyla öncelikle araştırmacı tarafından 5 dakika uygulamanın nasıl kullanılacağı hakkında kısa bilgi verilmiş, sonrasında da kullanıcının uygulamayı kendisinin deneyimlemesi için yaklaşık 15 dakika fırsat tanınmıştır. Katılımcıların uygulamayı denemelerinden sonra mimari program katılımcılara verilmiş ve çalışma kapsamında değerlendirilen olgunun katılımcıların geliştirdikleri tasarım önerilerinin kalitesi değil, uygulamanın nasıl kullanıldığı olduğu hatırlatması yapıldıktan sonra yarım saatlik tasarım egzersizi başlatılmıştır. Araştırmacı tasarım egzersizleri süresince katılımcılara gerekmedikçe müdahale etmemiş, kendine sorulan soruları cevaplayarak teknik problemlerin çözülmesine yardımcı olmuştur.

Katılımcılar yarım saatlik tasarım egzersizlerini tamamladıktan sonra kendilerine MimAR AG uygulamasını değerlendirmeleri amacıyla verilen Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanıcı Memnuniyeti Ölçeği (MAGKÖ) ve Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (SKÖ) anketlerini cevaplamışlardır.

5.2.4 Sonuçlar

Kullanıcı çalışmasına katılan katılımcıların tamamı yarım saat süren tasarım egzersizi sonucunda kendilerine verilen tasarım problemine bir öneri getirmişlerdir (Şekil 5.7). Katılımcıların tamamı MimAR AG uygulamasının kullanıldığı başka bir deneysel araştırmaya katılma fikrine olumlu yaklaştıklarını ve istedikleri eylemleri gerçekleştirebildiklerinde, uygulamayı kullanmayı eğlenceli bulduklarını belirtmişlerdir. Katılımcılardan birisinin uygulama ile olan deneyimi katılımcıya göre başarısız geçmiş, katılımcı tasarım egzersizi devam ederken uygulamayı kullanamaması nedeniyle kalem ve kağıtla tasarım yapma isteğini dile getirmiştir.



Şekil 5.7 : Kullanıcı çalışması katılımcılarının tasarım çözümleri.

Kullanıcı çalışmasına katılan katılımcıların cevapladıkları MAGKÖ anketi incelendiğinde MAGKÖ anketinin sistemin anlaşılabilirliği ile ilgili bölümündeki test puanının ortalaması 59.9, MAGKÖ anketinin sistemin kullanılabilirliği ile ilgili bölümündeki testin ortalama skoru ise 65.6 olarak karşımıza çıkmaktadır. Katılımcıların MAGKÖ anketine göre sistemin anlaşılabilirliği ile ilgili en yüksek verdikleri puan 72.9, en düşük verdikleri puan 47.9 ve sistemin kullanılabilirliği ile ilgili verilen en yüksek puanın 79.2 en düşük puanın ise 41.7 olduğu görülmektedir. Katılımcıların cevapladıkları anketlere göre MimAR uygulamasının MAGKÖ anketine göre toplam puanının ortalaması 62.8 puan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Katılımcıların sistemin kullanılabilirliğini değerlendirirken kullandıkları MAGKÖ anketinin sonuçlarının geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan tek veri olmaması amacıyla katılımcılardan tamamlamaları istenen diğer bir anket olan Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü anketinin sonuçları değerlendirildiğinde katılımcıların uygulamaya en yüksek 75 puan en düşük ise 20 puan verdiklerini ve sistemin kullanılabilirliğini SKÖ anketi ile ortalama 55.6 puan ile değerlendirdikleri görülebilmektedir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 : Katılımcıların sistemi değerlendirirken kullandıkları MAGKÖ ve SKÖ anketlerinin sonuçlarını gösteren çizelge.

Kullanıcı Çalışması Katılımcıları						
Katılımcı No	Cinsiyet	MAGKO	Anlaşılabilirlik	MAGKO	Kullanılabilirlik	Σ MAGKO SKO
1	K	72.9		79.2		76.0 75.0
12	K	60.4		41.7		51.0 20.0
13	K	58.3		64.6		61.5 57.5
14	K	47.9		77.1		62.5 70.0
Ortalama		59.9		65.6		62.8 55.6

Kullanıcı çalışması katılımcılarının uygulama ile ilgili, Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçütü kullanarak yaptıkları değerlendirmeler incelendiğinde uygulamanın kullanılabilirliği ile ilgili ankete verilen puanların ortalamasının uygulamanın anlaşılabilirliği ile ilgili ankete verilen puanların ortalamasından yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle uygulamanın anlaşılabilirliğini artırma amaçlı uygulamanın kullanılmasından önce incelenecek bir dokümanın hazırlanması ve kullanıcı arayüzünde yapılan işlemlerin okunabilirliğinin artırılması ile ilgili iyileştirilmelere gidilmesi planlanmıştır.

5.3 Pilot Çalışma 2: Acemi Katılımcılar ile Gerçekleştirilen İş Yüğü Çalışması

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilecek deneysel çalışmanın hedef popülasyonu mimari tasarım alanında temel düzeyde bilgi ve birikime sahip bireylerin seçilebilmesi amacıyla mimarlık alanında lisans düzeyindeki eğitimlerini tamamlamış kişiler olarak belirlenmiştir. Çalışmanın katılımcılarının seçileceği örneklem ise nicel araştırmalarda kullanılan olasılıksız örneklem yöntemlerinden uygunluk örneklem yöntemi kullanılarak seçilmiştir. Uygunluk örneklem yöntemi, araştırmanın örneklemine hedef popülasyonu temsil etme ihtimali yüksek olan ve gerçekleştirecek çalışmaya katılmaya istekli katılımcılardan oluşturulması olarak açıklanabilir (Creswell, 2012, p. 145).

Deneysel araştırmanın bağımlı değişkeni olarak tanımlanan katılımcıların mimari bir tasarım egzersizini tamamlarken kullandıkları farklı araçlara göre algıladıkları iş yüklerinin hesaplanmasında NASA İş Yüğü Endeksi anketinin kullanılmasına karar verilmiştir. Geliştirildiği yıldan bu yana AG uygulamalarında etkileşim (Blattgersteve diğ., 2018; Gheisarive diğ., 2016; Piumsomboonve diğ., 2014), AG ara yüz geliştirilmesi (Maitive diğ., 2017), eğitim ve montaj (Funkve diğ., 2017; Funkve diğ., 2016; Houve diğ., 2013; Linve diğ., 2015), sağlık (van der Meulenve diğ., 2016), turizm (Střelákve diğ., 2016), görüntüleme araçları teknolojileri (Beitzelve diğ., 2016;

Bolton ve diğ., 2015; Cidotave diğ., 2016; Rehman ve Cao, 2016) gibi konularda gerçekleştirilmiş araştırmalarda kullanılmış olan NASA İş Yüğü Endeksi, öznel iş yükü deneyimleri ile ilişkili tanımlayıcı etkenlerin deneye dayalı olarak ortaya çıkartılması ve farklı aktivitelerle ilişkili olarak iş yükü kavramının biçimsel olarak değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir (Hart ve Staveland, 1988). Endeksinin geçerliliği 13 farklı deney görevinin altı erkek katılımcıdan oluşan deney grubu tarafından her görevin en az sekiz kez tekrarlanmasından oluşan kapsamlı bir araştırma ile incelenmiştir. Endeksin test/tekrar test güvenilirliği ise Hart ve Staveland (1988, p. 175) tarafından değerlendirilmiş, ilk test ve son test arasından anlamlı bir fark bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

NASA İş Yüğü Endeksi katılımcıların gerçekleştirdikleri görevle ilgili algıladıkları iş yükünü altı alt ölçeğin yardımıyla sayısal bir şekilde değerlendirmelerini sağlamaktadır. Endeksi oluşturan alt ölçüler iki kutuplu olarak ölçülen, düşünsel beklenti, fiziksel beklenti, zaman beklentisi, performans, çaba ve kaygı seviyesinden oluşmaktadır (Şekil 5.8).

TALLY OF IMPORTANCE SELECTIONS

PD / MD TD / MD OP / MD FR / MD EF / MD	TD / PD OP / PD FR / PD EF / PD TD / OP	TD / FR TD / EF OP / FR OP / EF EF / FR
---	---	---

MD III = 3 PD = 0 TD IIII = 5 OP I = 1 FR III = 3 EF III = 3 SUM = 15
--

RATING SCALES:
 INSTRUCTIONS: PLACE A MARK ON EACH SCALE THAT REPRESENTS THE MAGNITUDE OF EACH FACTOR IN THE TASK YOU JUST PERFORMED

DEMANDS	RATINGS FOR TASK 1:		RATING	WEIGHT	PRODUCT
MD	LOW	I <u> x </u> HIGH	30	x 3	= 90
PD	LOW	I <u> x </u> HIGH	15	x 0	= 0
TD	LOW	I <u> x </u> HIGH	60	x 5	= 150
OP	EXCL	I <u> x </u> POOR	40	x 1	= 40
FR	LOW	I <u> x </u> HIGH	30	x 3	= 90
EF	LOW	I <u> x </u> HIGH	40	x 3	= 120
SUM					= 490
WEIGHTS (TOTAL)					= 15
MEAN WWL SCORE					= 32

DEMANDS	RATINGS FOR TASK 2:		RATING	WEIGHT	PRODUCT
MD	LOW	I <u> x </u> HIGH	30	x 3	= 90
PD	LOW	I <u> x </u> HIGH	25	x 0	= 0
TD	LOW	I <u> x </u> HIGH	70	x 5	= 350
OP	EXCL	I <u> x </u> POOR	50	x 1	= 50
FR	LOW	I <u> x </u> HIGH	50	x 3	= 150
EF	LOW	I <u> x </u> HIGH	30	x 3	= 90
SUM					= 730
WEIGHTS (TOTAL)					= 15
MEAN WWL SCORE					= 49

Şekil 5.8 : Hart ve Staveland'ın (1988) geliştirdiği NASA İş Yüğü Endeksi ile ağırlık hesabı ve alt ölçüler.

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel araştırmada kullanılan NASA İş Yüğü Endeksi anketi asıl araştırmanın öncesinde, mimarlık alanında Lisans seviyesinde eğitimlerine devam etmekte olan 4 kişinin katılımı ile test süreleri, test sorularının anlaşılabilirliği, test sonuçlarının ağırlıklı ve ham ölçümler olarak hesaplanması ve kullanıcıların karşılaşılabilecekleri problemlere ilişkili bilgi edinilmesi amacıyla bir pilot çalışma gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen pilot çalışma sonucunda endeksi oluşturan alt ölçeklerden: çaba, düşünsel (bilişsel) beklenti ve kaygı seviyesi gibi kavramların katılımcılar tarafından anlaşılmasında problem yaşandığı gözlemlenmiştir. Asıl testte benzer problemlerin yaşanmaması için alt ölçekler daha anlaşılabilir bir hale gelecek kavramların açıklanması ve kullanılan kelime seçimlerinde değişiklikler yapılarak güncellenmiştir.

NASA İş Yüğü Endeksi anketi ile, istatistiksel hesaplamada kullanılmak üzere sayısal aralıklı tipte veriye çevirmek üzere iki kutuplu ordinal tipte veriler toplanmıştır (Çizelge 5.7). Düşük ve yüksek olmak üzere iki kutuplu olarak düzenlenen doğrusal ölçek üzerinde katılımcıların değerlendirmeleri çalışmanın ilerleyen bölümünde, 0-100 arasında değişen değerlere karşılık gelecek biçimde sayısallaştırılmıştır.

Çizelge 5.7 : Deneysel çalışmada elde edilen verilerin özellikleri.

Değişken İsmi	Değişken Tipi	Ölçek
Zihinsel Beklenti	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Fiziksel Beklenti	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Zaman Beklentisi	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Performans	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Çaba	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Kaygı Seviyesi	İki Kutuplu Ordinal	Düşük x Yüksek
Ortalama İş Yüğü	Bağımlı - Sayısal – Sürekli	0-100

5.3.1 İş yükünün değerlendirilmesi

Önerilen çalışma sınıflandırma kriterlerine göre; denek sayısının göre çok denekli, değişken sayısına göre tek faktörlü, deneme koşullarına göre ise gruplar arası desenin kullanıldığı bir deneysel araştırma olarak tanımlanabilir. Çalışma kapsamında katılımcıların doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını bir tasarım oturumu süresince kullanmaları ve bu deneyimleri sonrasında uygulamayı algıladıkları iş yükü açısından değerlendirmeleri istenecektir. Katılımcılardan ayrıca uygulama ile ilgili öznel bir değerlendirme anketini cevaplamaları istenecektir.

Çalışmada mimarlık alanında eğitimlerini tamamlamış kişiler arasından uygunluk yöntemine göre seçilen katılımcıların kendilerine verilen tasarım egzersizini AG uygulamasını kullanarak tamamlamaları beklenecektir. Tasarım egzersizinin tamamlanmasından sonra ise katılımcılardan NASA İş Yüğü Endeksi değerlendirme anketini kullanarak uygulamayı değerlendirmeleri istenecektir. Çalışma çerçevesinde katılımcılardan elde edilen değerler katılımcıların diğer tasarım araçlarını kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım süreçleri sonrasında araçları değerlendirmeleri sonucu elde edilen değerlerle karşılaştırılmak yerine kabul edilebilir iş yükü değeri olarak çeşitli araştırmalarda (Gengve diğ., 2020; Silvave diğ., 2019; Southve diğ., 2017) kullanılan 60 puanla karşılaştırılması planlanmıştır. Grier (Grier, 2015) tarafından gerçekleştirilen, NASA İş Yüğü Endeksinin kullanıldığı yaklaşık 200 yayında yer alan 1000'e yakın analizin değerlendirildiği araştırmada kabul edilebilir olarak değerlendirilebilecek puanla ilgili kesin bir değer verilmemektedir. Ancak araştırma kapsamında incelenen e analizlerin %70'inden fazlasının 58 puanın üzerinde bulunduğu belirtilmiştir. Bu çalışmadan sonra iş yükü ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalarda ise kabul edilebilecek NASA İş Yüğü Endeksi puanı olarak 60 ya da 50 puanın altındaki puanlar kabul edilmekte hatta bazı durumlarda 70 puanın altının da kabul edilebilir bir puan olarak değerlendirildiği görülmektedir. Sonuç olarak katılımcıların NASA İş Yüğü Endeksi anketi kullanarak uygulamayı değerlendirmeleri sonucu elde edilen iş yükü değerleri ve kabul edilebilir iş yükü değeri bağımsız T – Testi yapılarak karşılaştırılması planlanmaktadır. Ayrıca katılımcıların uygulamayı öznel olarak değerlendirebilmeleri amacıyla bir memnuniyet testi uygulanacaktır.

5.3.2 Acemi tasarımcılarla gerçekleştirilen iş yükü ön çalışması ve sonuçları

2018-2019 Bahar Yarıyılı sonunda acemi tasarımcıların katılımıyla gerçekleştirilen ön test sonucunda: test süreleri, test sorularının anlaşılabilirliği, olası test sonuçları ve kullanıcıların karşılaşabilecekleri problemlerle ilişkili bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

Acemi tasarımcılarla 2018-2019 Bahar Yarıyılı sonunda Haziran ayında, tasarımcıların arttırılmış gerçeklik uygulamasını farklı senaryolarda kullanma süreçlerindeki algılanan iş yüklerini ölçme amacıyla gerçekleştirilen ön çalışmada: katılımcılara AG kavramı ile ilgili bilgi verilmiş sonrasında NASA İş Yüğü Endeksi anketini incelemeleri ve anlaşılır bulmadıkları konularda araştırmacıya sorular

yöneltmeleri istenmiştir. Katılımcıların sorularının cevaplanmasından sonra katılımcılardan AG uygulamasını kullanarak temel ölçekleme, yer ve yönelim değiştirme görevlerini tamamlamalarının beklendiği 5 dakikalık ilk test gerçekleştirilmiş ve katılımcılardan bu süreçteki algılanan iş yüklerini kendilerine verilen anketi cevaplayarak tanımlamaları istenmiştir. Katılımcıların tamamlamaları beklenen ikinci testte ise AG uygulamasını kullanarak kendilerine verilen tasarım problemine kütesel çözüm önerileri getirmeleri istenmiştir. Katılımcılara tamamlamaları için yirmi dakika süre tanınan ikinci testin sonunda katılımcılardan süreçteki algılanan iş yüklerini kendilerine verilen anketi cevaplayarak tanımlamaları istenmiştir.

Toplam dört katılımcı ile gerçekleştirilen ön test sürecinde katılımcıların AG kavramı ve teknolojileri ile ilgili bilgi sahibi olmamalarına karşın çalışmaya karşı olumlu yaklaşıtları görülmüştür. Ayrıca katılımcıların tamamının bu tipte bir uygulamayı tasarımın erken evrelerinde geleneksel tasarım araç ve yöntemlerini destekleyecek şekilde kullanma isteklerinin olduğu görülmüştür. Katılımcıların algılanan iş yüklerinin tanımlanmasında kullanılan NASA İş Yüğü Endeksi anketinin Çaba, Düşünsel (Bilişsel) Beklenti, Sıkıntı Seviyesi gibi değişkenlerinin anlaşılrlığında belirli problemler yaşandığı gözlemlenmiştir. Bahsedilen değişkenlerin anlaşılmasında gözlemlenen problemin, katılımcıların acemi tasarımcılar olmaları ve bilişim alanındaki terminolojiye yatkınlıklarının olmaması nedeniyle gözlemlenmiş olabileceği düşünülse de bu değişkenlerin daha net bir şekilde ifade edilebilmesine yönelik bir çalışmanın gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Ayrıca katılımcıların AG uygulamasını kullandıkları donanım olan akıllı mobil cihazda uzun süreli kullanımdan kaynaklanan ısınma ve buna bağılı olarak batarya seviyesinde hızlı bir düşüş gözlemlenmiştir. Gelecek çalışmalarda donanımdan kaynaklanan problemlerle karşılaşmamak için AG uygulamasının kullanıldığı testlerin üst üste yapılmaması düşünülmektedir.

NASA İş Yüğü Endeksi yöntemi ile kullanıcıların algılanan iş yüklerinin hesaplanmasında ham iş yükü ve ağırlıklı iş yükü olmak üzere iki ayrı iş yükü değeri hesaplanmıştır. Ham iş yükünün hesaplanması: iş yükünü oluşturan değişkenlere verilen puanların toplanıp, iş yükünü oluşturan değişken sayısına bölünmesi ile gerçekleştirilmektedir. Ağırlıklı iş yükleri ise katılımcıların toplam iş yükünü oluşturan farklı değişkenlere ilişkin puanlar elde edildikten sonra elde edilen puanların

katılımcıların bu değişkenlerin kendilerine ikiyeşerli gruplar halinde sunulması sonucu iş yüklerini hangi değişkenin daha fazla etkilediği ile ilgili verdikleri cevaplar temel alınarak hesaplanan ağırlıklarla çarpılması ve toplam ağırlık sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir.

Örneğin A katılımcısının ağırlıklı iş yükleri hesaplanırken kendisine verilen değişken çiftlerinden Çizelge 5.8’de görülen değerleri seçmiş ve iş yükünü oluşturan değişkenler için ise tabloda gösterilen değerleri tanımlamış olduğunu varsaydığımızda, A katılımcısı için ham iş yükü değeri denklem 5.1 kullanılarak, ağırlıklı iş yükü değeri ise denklem 5.2 kullanılarak Çizelge 5.9’de görülebileceği şekilde hesaplanmaktadır.

Çizelge 5.8 : A katılımcısının iş yükünü oluşturan değişkenler için oluşturduğu iş yükü ağırlıkları ve iş yükü değerleri.

Ağırlıklı İş Yükü Değişkenleri	Katılımcı A İş Yükü Ağırlıkları	Katılımcı A İş Yükü Değerleri
Düşünsel Beklenti	3	69
Fiziksel Beklenti	0	20
Zaman Beklentisi	5	50
Çaba	4	66
Performans	1	19
Kaygı Seviyesi	2	67
Toplam Ağırlık	15	

HİY = Ham İş Yükü Değeri

$$HİY = \frac{(DB + FB + ZB + Ç + P + KS)}{6} \quad (5.1)$$

$$HİY = (69 + 20 + 50 + 66 + 19 + 67) / 6$$

$$HİY = 48$$

AİY = Ağırlıklı İş Yükü Değeri

$$AİY = \frac{DB \times DB_A + FB \times FB_A + ZB \times ZB_A + Ç \times Ç_A + P \times P_A + KS \times KS_A}{15} \quad (5.2)$$

$$AİY = (69 \times 3 + 20 \times 0 + 50 \times 5 + 66 \times 4 + 19 \times 1 + 67 \times 2) / 15$$

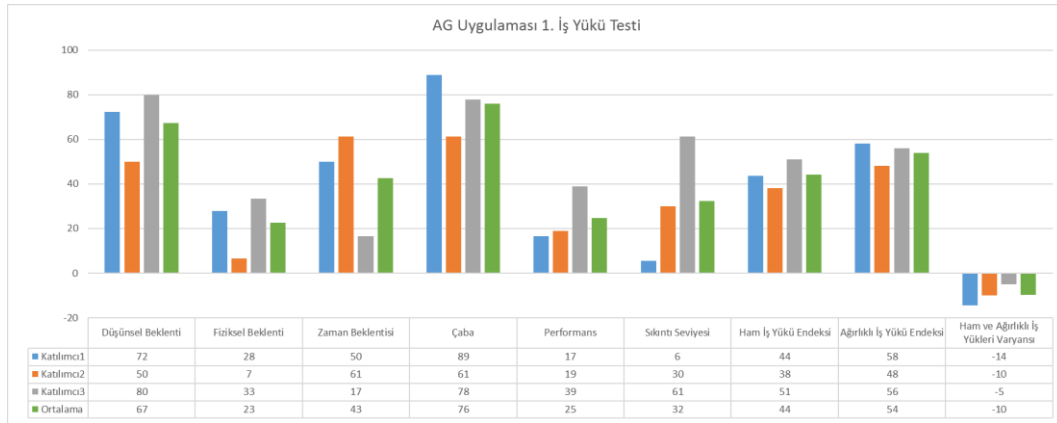
$$AİY = 58$$

Çizelge 5.9 : A katılımcısının aynı teste ilişkin ham ve ağırlıklı iş yükü değerleri.

Ağırlıklı İş Yükü Değişkenleri	Katılımcı A İş Yükü Ağırlıkları	Katılımcı A İş Yükü Değerleri
Düşünsel Beklenti	3	69
Fiziksel Beklenti	0	20
Zaman Beklentisi	5	50
Çaba	4	66
Performans	1	19
Kaygı Seviyesi	2	67
Toplam Ağırlık	15	
Ham İş Yükü Değeri		48
Ağırlıklı İş Yükü Değeri		58

Gerçekleştirilen ön testin 4 numaralı katılımcısının sonuçları, katılımcının testi altı dakika erken terk etmesi nedeniyle dikkate alınmamıştır. Gerçekleştirilen ön-test sonucunda katılımcılardan AG uygulamasını kullanarak temel bir takım işlemleri gerçekleştirmelerinin istendiği birinci senaryo incelendiğinde (Şekil 5.9) katılımcıların tümünün ham iş yükü değerlerinin ağırlıklı iş yükü değerlerinden düşük tanımlanmış olduğu görülmektedir.

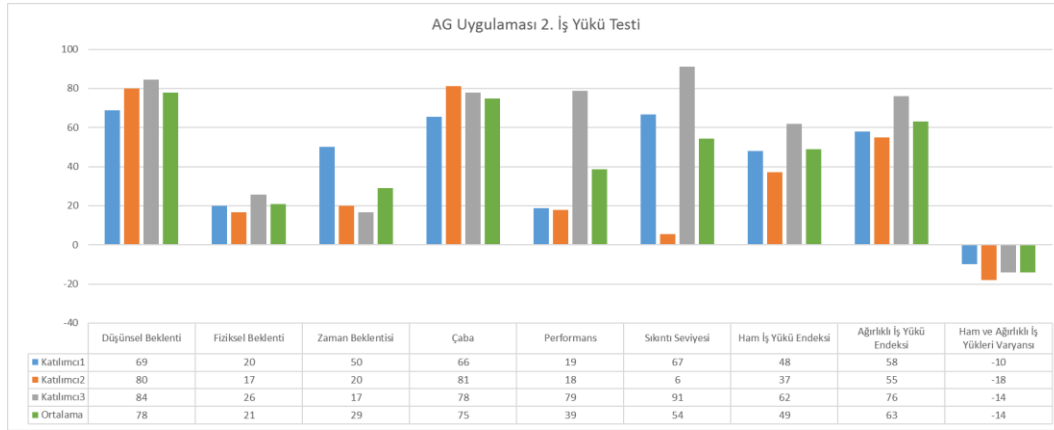
Bahsedilen iki iş yükü ölçüm metodu sonuçlarında maksimum % 14, minimum % 5, ortalama % 10'luk bir fark görülmektedir. İş yükünü oluşturan değişkenleri incelediğimizde katılımcıların bireysel iş yüklerini en fazla uygulamayı kullanırken gösterdikleri kişisel ve bilişsel çabayı ölçen değişkenlerin etkilediği görülmüştür.



Şekil 5.9 : AG uygulaması 1. İş Yükü Testi sonuçları.

Gerçekleştirilen ön-test sonucunda katılımcılardan AG uygulamasını kullanarak kendilerine verilen tasarım problemine çözüm önerileri getirmelerinin istendiği ikinci senaryo incelendiğinde (Şekil 5.10) katılımcıların tümünün ham iş yükü değerlerinin ağırlıklı iş yükü değerlerinden düşük tanımlanmış olduğu görülmektedir. Bahsedilen

iki iş yükü ölçüm metodu sonuçlarında maksimum % 18, minimum % 10 ve ortalama %14'lük bir fark görülmektedir. İş yükünü oluşturan değişkenleri incelediğimizde katılımcıların bireysel iş yüklerini en fazla uygulamayı kullanırken gösterdikleri kişisel ve bilişsel çabayı ölçen değişkenlerin ve etkilediğini görmekteyiz. Bunun yanında ikinci testte katılımcıların gerçekleştirmeleri gereken görevlerin karmaşılaşması ve katılımcıların birden fazla işlemi aynı anda yapmalarının gerekmesi nedenleri ile sıkıntı seviyesini ölçen değişkenin ölçtüğü değerde birinci teste göre artma görülmüştür.



Şekil 5.10 : AG uygulaması 2. İş Yükü Testi sonuçları.

Acemi katılımcılarla gerçekleştirilen iki ayrı testin sonuçları kendi aralarında değerlendirildiklerinde katılımcıların toplam iş yüklerini oluşturan değişkenleri ayrı ayrı değerlendirmenin farklı senaryolarda kendilerinden AG uygulamalarının kullanılması istenen katılımcıların iş yüklerine etki eden değişkenlerin tanımlanabilmesinde faydalı bilgiler vereceği düşünülmektedir. Bu bakış açısıyla katılımcılardan temel işlemleri gerçekleştirmelerinin beklendiği birinci test ve kendilerine verilen bir tasarım problemine çözüm olasılıkları geliştirmelerinin beklendiği ikinci test sonuçları iş yüküne etki eden değişkenler, ham ve ağırlıklı iş yükleri açılarından karşılaştırılmıştır.

Katılımcıların farklı senaryolarda düşünsel beklenti değişkenine verdikleri değerler karşılaştırıldığında iki kullanıcının ortalama değişim sayısı olan ikinci test doğrultusunda 13 puanın altında değerleri tanımladığı görülmüş bir kullanıcının farklı testlerde algılanan iş yüküne düşünsel beklentinin etkisini ortalamanın üzerinde bir değerlerle tanımladığı görülmüştür.

Algılanan iş yüküne fiziksel beklentinin etkisi incelendiğinde iki katılımcının kendilerinden AG uygulaması kullanarak temel işlemlerin yapılmasının beklendiği birinci testte fiziksel beklentinin daha yüksek olduğu yönünde cevap alındığı görülmüştür. İkinci testte katılımcıların gerçekleştirmeleri beklenen görevler daha karmaşık olmasına rağmen katılımcıların ikinci test için algılanan iş yüklerine fiziksel beklentinin ilk testteki kadar etki etmediğini değerlendirmelerinin nedeninin uygulamayı kullanmaya alışmaları olduğu düşünülmektedir.

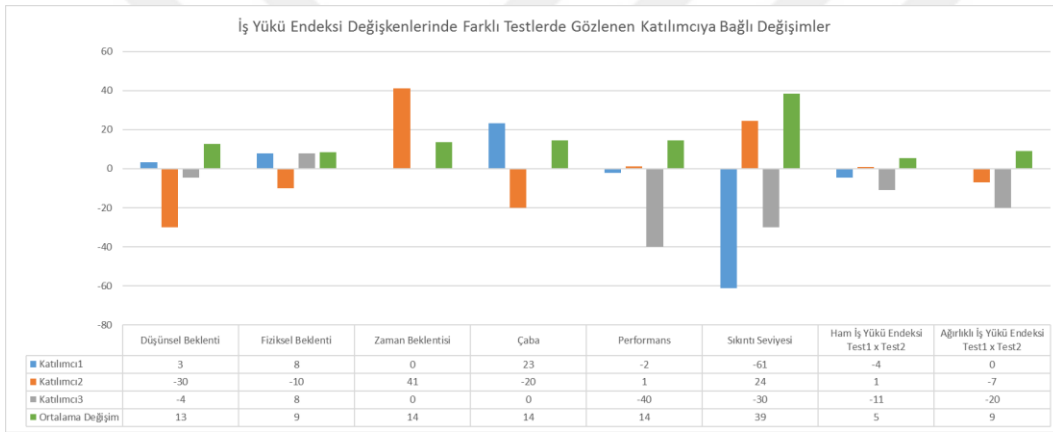
Algılanan iş yüküne zaman beklentisinin etkisi incelendiğinde katılımcılardan AG uygulamasını kullanarak temel işlemleri gerçekleştirilmesinin beklendiği birinci test ve katılımcılardan kendilerine verilen bir tasarım problemine çözüm olasılıkları geliştirmelerinin beklendiği ikinci test karşılaştırıldığında bir kullanıcının değerlendirmesi dışında anlamlı bir farkın gözlenmediği ortaya çıkmıştır. Bu sonucun alınması her ne kadar örneklem küçük olsa da acemi kullanıcıların iş yüklerine basit veya karmaşık görevleri tamamlamalarının istenmesinin bir etkisinin olmadığını göstermesi açısından önemli bulunmaktadır. Gelecek dönemde yeterli katılımcı ile yapılacak kullanıcı çalışmasında da benzer bir sonucun alınması beklenmektedir.

Algılanan iş yüküne çaba beklentisi değişkeninin etkisi incelendiğinde katılımcıların birisinin farklı senaryolarda algılanan iş yükünü farklı değerlendirmede diğer iki katılımcıdan birisinin katılımcılardan AG uygulamasını kullanarak temel işlemleri gerçekleştirilmesinin beklendiği birinci testte algılanan iş yükünü, katılımcılardan kendilerine verilen bir tasarım problemine çözüm olasılıkları geliştirmelerinin beklendiği ikinci testte algılanan iş yükünden daha fazla diğer katılımcının ise birinci testte algılanan iş yükünün ikinci testte algılanan iş yüküne göre daha az olarak değerlendirdiğini görmekteyiz. Katılımcıların çaba değişkeni ile ilgili değerlendirmeleri büyük farklar gösterdiğinden dolayı, çaba beklentisi ile ilgili kesin bir yorum yapabilmek için daha fazla veriye ihtiyaç duyulduğu düşünülmektedir.

Algılanan iş yüküne performans beklentisi değişkeninin etkisi incelendiğinde bir kullanıcı hariç diğer kullanıcıların farklı senaryolarda iş yüklerine performans değişkeninin etkisini ufak derecede değişiklik gösterdiğini düşündükleri görülmektedir. Örneklem sayısının daha yüksek olduğu bir grup içerisinde performans değişkeni ile ilgili benzer bir sonuç alınması durumunda katılımcıların kendilerine verilen görevlerin zorluğundan bağımsız olarak farklı senaryolarda aynı performansı gösterdiklerini düşündükleri yorumu yapılabilecektir.

Sıkıntı seviyesi ile ilgili bir sonuca varılabilmesi için örneklem sayısının artırılmasının gerektiği düşünülmektedir.

Ham iş yükü endeksi testi sonuçları farklı senaryolar için değerlendirildiğinde iki kullanıcıların farklı senaryoları iş yükü olarak değerlendirdiklerinde benzer değerlerle tanımladıkları görülmüştür. Birinci ve ikinci testlerin ağırlıklı iş yükleri karşılaştırıldığında ise bir kullanıcının değerlendirmesinde bir fark olmadığı, başka bir kullanıcının ise ortalama sapma sayısının altında, son kullanıcının ise ortalama sapma sayısının çok üzerinde bir değişikliğe gittiği görülmektedir. Test puanları incelendiğinde ikinci testin ağırlıklı iş yükü testi sonuçlarının birinci teste göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Aynı eğilim ham iş yükü testi değerlendirmelerinde de gözlemlenmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11: İş yükü endeksi değişkenlerinde farklı testlerde (Test1xTest2) gözlenen, katılımcıya bağlı değişiklikler.

Acemi katılımcılarla sadece AG uygulaması kullanılarak gerçekleştirilen ön testin sonuçları gelecek dönemde gerçekleştirilecek asıl testin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için değerli verilerin alınmasını sağlamıştır. Özellikle katılımcıların test senaryoları katılımcılardan fazlasıyla farklı işlemleri gerçekleştirmesini beklemesine rağmen düşünsel, zamansal ve performans beklentisi değişkenlerini değerlendirmelerinde testleri yüksek farklar oluşturacak şekilde puanlamamaları, AG uygulaması kullanılarak bahsedilen değişkenler açısından tutarlı sonuçlar alınacağı sonucunu göstermesi açısından önemli bulunmaktadır.

5.4 Pilot Çalışmalardan Sonra Yapılan Değişiklikler

Pilot çalışmaların tamamlanmasından sonra, katılımcıların anket ve uygulama ile ilgili soruları ve yorumlarının yanı sıra, araştırmacının çalışmalardaki gözlemleri de dikkate alınarak çalışmalarda kullanılan anketlerde (SKÖ Anketi, MAGKÖ anketi NASA İş Yüğü Anketi) ve geliştirilen uygulamada değişiklikler yapılmıştır.

Pilot çalışmada kullanılan anketlerde yapılan değişiklikler; anket ölçeklerinde yapılan görsel değişiklikler, anket ifadelerinde ve açıklamalarında anlaşılabilirliği artırmak amacıyla sadece kelime veya cümle diziliminde yapılan değişiklikler ve ifadeyi daha net bir hale getirmek için yapılan değişiklikler olarak gruplanabilirler.

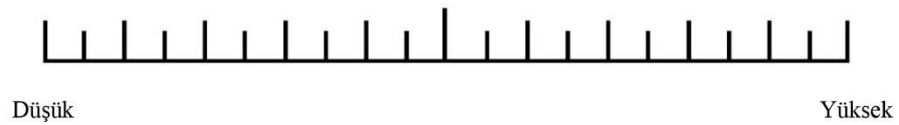
Katılımcıların anket ifadelerine ne kadar katıldıklarını belirtmek için kullandıkları görsel bileşenler olan ölçeklerin temsillerinde sadece NASA İş Yüğü Endeksi Anketinde değişiklik yapılmıştır. NASA İş Yüğü Endeksi anketinde, katılımcıların algıladıkları iş yükünü tanımlamak için kullandıkları grafiksel ölçek çizgisi, iş yükünün daha net şekilde ifade edilebilmesi için kendi içerisinde bölümlere ayrılmıştır (Şekil 5.12).

Sıkıntı Seviyesi



(a)

Kaygı Seviyesi



(b)

Şekil 5.12 : Pilot çalışma esnasında kullanılan grafiksel ölçü çizgisi (a). Güncellenen ve son çalışmada kullanılan grafiksel ölçü çizgisi (b).

Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) anketi insan-bilgisayar etkileşiminin bulunduğu ve değerlendirileceği tüm yeni teknolojik buluşlarda geliştirilen teknolojinin fiziksel bileşenlerinin yanında, bilgisayar yazılımları, kullanıcı ara yüzleri gibi bileşenlerinin de değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kendine özgü fiziksel bileşenleri

bulunmadığından ankette yer alan “sistem” kelimesi netlik sağlaması açısından “uygulama” kelimesi ile değiştirilmiştir. Benzer bir değişiklik MAGKÖ anketinde “bulunan” kelimesinde yapılmış olup bu kelime “görüntülenen” kelimesi ile değiştirilmiştir. NASA İş Yüğü Endeksi anketinde ise pilot çalışmada “Sıkıntı Seviyesi” olarak tanımlanmış olan kriter, pilot çalışma sonrasında “Kaygı Seviyesi” olarak yeniden tanımlanmıştır.

Pilot çalışmadan sonra MAGKÖ anketinde dokuz, SKÖ anketinde ise dört ifade güncellenmiştir. NASA İş Yüğü Endeksi anketinde bulunan “fiziksel beklenti”, “zamansal beklenti”, “çaba”, “performans” kriterlerine ait ve iş yüğü alt ölçek seçiminin açıklamaları yeniden ele alınmıştır (Çizelge 5.10). Değiştirilen ifadelerin orijinal ve güncellenmiş halleri sırasıyla Ek G’de incelenebilir.

Çizelge 5.10 : Pilot çalışma sonrasında anketlerde yapılan değişiklikler.

	Cümle diziliminde değişiklik	Kelime değişikliği	İfadeyi netleştirmek için yapılan değişiklikler
MAGKÖ Anketi	13 ve 15 numaralı ifadeler	8 numaralı ifade	3, 4, 5, 7, 14 ve 16 numaralı ifadeler
SKÖ Anketi	7 numaralı ifade		2, 9 ve 10 numaralı ifadeler
NASA İş Yüğü Endeksi Anketi		Sıkıntı Seviyesi kriteri Kaygı Seviyesi olarak değiştirildi	Fiziksel Beklenti, Zamansal Beklenti, Çaba, Performans kriterleri, İş Yüğü alt ölçek seçimi

Pilot çalışmada elde edilen deneyimlere dayanılarak anketlerde gerçekleştirilen güncellemelerin dışında, tez kapsamında geliştirilen “MimAR” AG uygulamasının arayüzünde ve belirli bileşenlerinde de (3.4 bölümünde daha detaylı bir şekilde açıklanan) iyileştirmeler ve değişiklikler yapılmıştır. Pilot çalışmadan sonra uygulama ile ilgili yapılan ilk değişiklik etkileşim yönteminde gerçekleştirilmiştir.

Uygulamanın bileşenlerinin ve özelliklerinin açıldığı 3.5 bölümünde değinildiği üzere kullanıcıların uygulama sayesinde üretilen sanal nesnelerle iki etkileşim yöntemi bulunmaktadır. Etkileşim yöntemlerinden birisi dokunulabilen akıllı cihaz ekranlarında fiziksel düğme analogisi kullanılarak geliştirilen sanal düğmeler yardımıyla gerçekleştirilen etkileşimdir. Geliştirilen AG uygulamasında kullanılabilen ikinci etkileşim yöntemi ise mobil akıllı cihazların dokunulabilen ekranlarında önceden tanımlanmış jestler yoluyla gerçekleştirilen etkileşimdir.

Tez kapsamında uzman katılımcı ile gerçekleştirilen pilot çalışmada, geliştirilen uygulamanın bileşenlerinin beklendiği gibi çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesinin yanı sıra kullanımı tercih edilebilecek farklı etkileşim yöntemlerinin etkinlikleri de incelenmiştir. Uygulamada kullanılabilen etkileşim yöntemlerinin etkinliğine, öznel değerlendirme yöntemleri olan kullanılabilirlik testleri ve nesnel değerlendirme yöntemi olarak uzman katılımcının görev tamamlama süresi ve hata sayısı gibi nicel verilerin incelemesi sonucu karar verilmiştir.

Uzman katılımcı kendisinden tamamlaması istenen görevleri sanal düğmeler ve jestlerle gerçekleştirilen etkileşim yöntemlerinin ikisiyle de tamamladıktan sonra sistemin kullanılabilirliğini SKÖ ve MAGKÖ anketlerini kullanarak değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde uzman katılımcının uygulamanın kullanılabilirliğini hem SKÖ anketi hem de MAGKÖ anketi kullanarak değerlendirdiğinde sanal düğmeler yoluyla gerçekleştirilen etkileşim yöntemlerinin kullanıldığı egzersizlerde uygulamayı dokunulabilen ekranda gerçekleştirilen jestler yoluyla gerçekleştirilen etkileşim yönteminin kullanıldığı egzersizlerden daha yüksek bir puanla değerlendirdiği görülmüştür. Etkileşim yöntemlerinin değerlendirilmesinde uzman katılımcının öznel değerlendirmesine ek olarak faydalanan, egzersizlerde gözlemci olarak bulunan araştırmacı tarafından kaydedilen görev tamamlama süreleri ve hata sayıları incelendiğinde sanal düğmeler ile gerçekleştirilen etkileşim yönteminin daha etkin kullanılabildiği sonucunu destekler sonuçlar elde edilmiştir. Katılımcıların görev tamamlama süresi uzadıkça ve hata sayısı arttıkça motivasyonlarının düşebileceği öngörülerek bu olumsuz durumun katılımcıların egzersiz süresince katılımcıların yaklaşımlarını olumsuz etkilememesi adına etkileşim yöntemi seçiminde bu durum da göz önünde bulundurulmuştur.

Gerçekleştirilen pilot çalışmalardan sonra katılımcıların egzersizlerde aktif olarak kullanacakları etkileşim yöntemi olarak sanal düğmeler ile etkileşim yönteminin kullanılmasına karar verilmesinin nedenlerine 5.2 bölümünde değinilmiştir.

Pilot çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak, tez kapsamında geliştirilen AG uygulamasında kullanılabilecek alternatif etkileşim yöntemlerinden hangisinin daha etkin bir şekilde kullanılabileceğine karar verilmesinin yanında uygulamanın hangi bileşenlerinde iyileştirme yapılması gerektiğine de karar verilmiştir. Uygulamada gerçekleştirilecek iyileştirmelerden ilki olarak grafik kullanıcı arayüzünde (GKA) kullanıcıya geri bildirimde bulunma özelliklerinin iyileştirilmesine karar verilmiştir. Uygulamanın GKA'sında yapılacak iyileştirme ile uygulamanın kullanılabilirliğinin de artacağı düşünülmüştür. Geliştirilen AG uygulamasının pilot çalışmalarda kullanılan ikinci sürümünde GKA'nın sadeleştirilmesi ve içgüdüsel bir kullanım sunması amacıyla uygulamanın menülerinde kullanıcıların gerçekleştirdikleri işlemlerle ilgili tek geri bildirim şekli menülerdeki aktif düğmelerin ve üzerinde işlem yapılması mümkün olan sanal nesnelerin renklerinin değişmesi şeklindedir. Pilot çalışma sonrasında sistemdeki geri bildirim şeklinin iyileştirilmesi amacıyla kullanıcıya geri bildirimin sadece renkle değil yazıyla da yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla uygulamaya gerçekleştirilen eylemlerin başarılı veya başarısız sonuçlandığı ile ilgili kullanıcıya yazılı bilgi vermeyi sağlayan bir bilgi paneli eklenmiştir.

Uygulamada gerçekleştirilen iyileştirmelerden ikincisi ölçeklendirme komutunda yapılmıştır. Ölçeklendirme işlemi kullanıcıların AG uygulamasını kullanarak sanal nesnelerin yönelimleri, boyutları ve pozisyonlarında yapabilecekleri değişikliklerden birisidir. Pilot çalışmalar sırasında y ekseninde boyut değişikliği yapılması istendiğinde bu değişikliğin hem y hem de z ekseninde gerçekleştirildiği durumlar gözlenmiştir. Bu nedenle uygulamadan boyut değişikliği ile ilgili kontrollerden sorumlu metod kontrol edilip boyut değişikliğinin sadece seçilen tek eksen üzerinde gerçekleşmesini sağlayacak şekilde yeniden yazılmıştır.

Gerçekleştirilen pilot çalışmalardan sonra AG uygulamasındaki iyileştirmelerden üçüncüsü nesne görselleştirmesi konusunda yapılmıştır. Uygulamanın pilot çalışmalarda kullanılan ikinci sürümünde seçili sanal nesneler üzerinde yapılan ölçeklendirme işlemi uygulamanın geliştirildiği Unity oyun motorunun varsayılan ölçeklendirme sine göre anal nesnenin merkezinden başlayarak seçilen ekseninde her iki

yöne de olacak şekilde gerçekleşmektedir. Bu nedenle katılımcı örneğin sanal nesnenin x ekseninde boyutunu değiştirmek istediğinde sanal nesnenin boyutları istenilen miktarda büyütülmekte ancak bu boyut farkı uygulamada sanal nesnenin hem + x, hem de - x eksenlerinde boyutunun değiştirilmesi olarak görselleştirilmektedir. Uygulama içerisinde ölçek değişikliklerini bu şekilde görselleştirmesi yerine ölçeklendirme işleminin seçilen eksenlerde pozitif yönde gerçekleştirilmesi ve görselleştirilmesinin daha doğru bir ifade şekli olduğu düşünüldüğünden uygulamanın ölçeklendirme metodunda eksenle ilgili iyileştirme yapılmıştır.

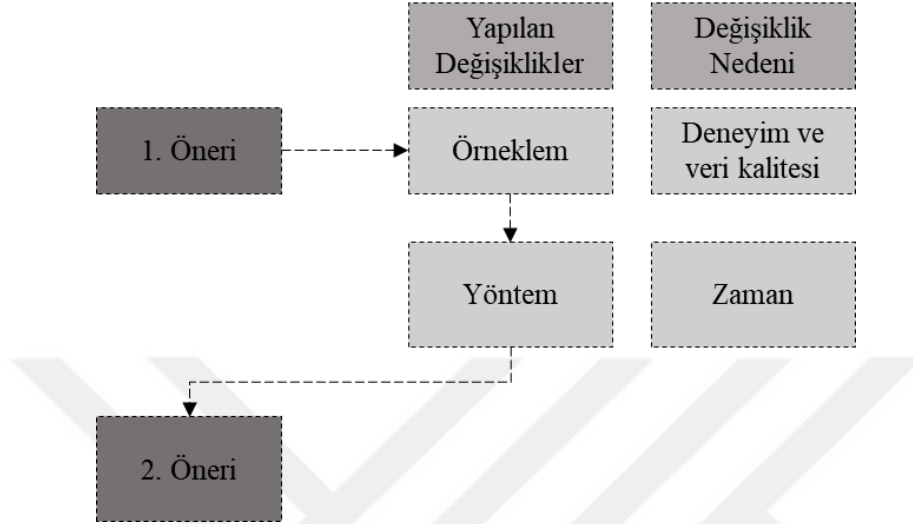
AG uygulamasında pilot çalışmalardan sonra yapılan değişikliklerden sonuncusu ise uygulamaya kullanıcıların ürettikleri sanal nesnelerin renklerini değiştirme imkanının eklenmesidir. Uygulamanın pilot çalışmada kullanılan ikinci sürümünde sanal nesneler seçilmedikleri durumda “kırmızı”, seçim işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği durumlarda ise “yeşil” renkte ifade edilmektedir. Uygulamada gerçekleştirilen değişiklik sonucunda kullanıcılara sanal nesneleri farklılaştırmak amacı ile istedikleri nesnelerin renklerini değiştirme fırsatı tanınmıştır.

Pilot çalışmalardan elde edilen deneyime dayanılarak, kullanılacak anketlerdeki belirli ifadelerin daha anlaşılır şekilde yeniden ifade edilmesi, AG uygulamasının kullanılabilirliğinin artırılması için uygulamanın belirli bileşenlerinden gerçekleştirilen iyileştirmeler ve çalışma süresince yapılan gözlemler sonucu hedef popülasyonun eğitim seviyesinin yeniden ele alınması gibi değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra gerçekleştirilen asıl çalışmada araştırmacıya pilot çalışma katılımcılarına kıyasla çok daha az soru yöneltilmesi anketlerde yer alan ifadelerin netleştirildiğini göstermektedir. Ayrıca uygulamada yapılan iyileştirmelerden sonra gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen ortalama SKÖ puanının, Lisans eğitime devam eden katılımcılarla yapılan pilot çalışmada elde edilen ortalama SKÖ puanından yüksek çıkması gerçekleştirilen iyileştirmelerin uygulamanın kullanılabilirliğini artırdığını göstermiştir.

5.5 Deneysel Çalışma Kurgusunda Yapılan Değişiklikler

Pilot çalışmalardan sonra anketlerdeki ifadelerde ve uygulamada yapılan iyileştirmelerin dışında, asıl çalışmanın örneklemini oluşturan katılımcılarda ve çalışmanın kurgusunda da değişiklikler yapılmıştır.

Asıl çalışma ile ilgili yapılan değişikliklerin ilki, çalışmanın örneklemini oluşturan katılımcılarda yapılan değişikliktir. Çalışmanın örnekleminde değişiklik yapılmasına karar verildikten sonra bu değişikliğe bağlı olarak çalışma kurgusunda da bir değişikliğe gidilmiştir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Asıl çalışma kurgusunda gerçekleştirilen değişiklikler ve nedenleri.

Pilot çalışma sonrasında önerilen ilk çalışma kurgusuna göre geleneksel tasarım yöntemleri ve artırılmış gerçeklik temelli uygulamaların kullanıcıların algılanan iş yükleri açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmanın ana hedefleri:

- Uzman ve eğitimine devam eden tasarımcılar olarak iki gruba ayrılan katılımcıların kendi aralarında geleneksel tasarım araçları ve AG uygulamaları kullanarak yürüttükleri tasarım süreçlerinde algılanan iş yükü açısından fark olup olmadığının incelenmesi ve,
- Uzman ve eğitimine devam eden tasarımcılar olarak iki gruba ayrılan katılımcıların kendi grupları arasında geleneksel tasarım araçları ve yöntemleri kullanılarak yürüttükleri tasarım aktiviteleri ile AG uygulaması kullanarak yürüttükleri tasarım aktiviteleri arasında algılanan iş yükü açısından fark olup olmadığı

sorularına gerçekleştirilen çalışma sonucunda elde edilen bulguların istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilmesi ile rasyonel ve deneye dayalı cevaplar aramak olarak belirlenmiştir.

Bu amaçla gerçekleştirilmesi planlanan deneysel çalışmada uzman ve eğitimine devam eden katılımcılar belirlenen yöntemleri kullanarak 45 dakika içerisinde kendilerine verilen mimari programa uygun çözüm önerileri üretmeleri beklenecektir. Katılımcı grupları katılımcı sayısının yeterli olmama ihtimali göz önünde bulundurularak bağımsız deney grupları olarak düzenlenmemiş, eşli gruplar olarak düzenlenmişlerdir. Başka bir deyişle uzman ve eğitimine devam eden katılımcılar olmak üzere iki gruba ait katılımcılar tasarımda kullanılan yöntemlere göre de gruplara ayrılmaması, tüm katılımcılar sadece eskiz, eskiz ve maket ve, eskiz ve AG uygulaması olmak üzere araştırmada kullanılması planlanan tüm tasarım yöntemlerini kullanarak tasarım yapmaları planlanmıştır.

Katılımcıların farklı tasarım yöntemlerini kullanacakları üç tasarım egzersizinde; kültür evi, tasarım ofisi ve müstakil ev olmak üzere üç farklı mimari programa çözümler üretmeleri düşünülmüştür.

Ancak planlanan çalışmalar gerçekleştirilmeden yukarıdaki paragraflarda açıklanan deneysel çalışmanın çerçevesinin değiştirilmesine karar verilmiştir. Kurgulanan deney çerçevesinin yeniden ele alınmasının birinci nedeni pilot çalışmalar sırasında lisans düzeyinde eğitimlerine devam eden katılımcılarla yapılan egzersizlerde katılımcıların kendilerine sunulan tasarım problemine alternatif çözüm önerileri geliştirecek deneyim ve motivasyona henüz sahip olmadıklarının deneyimlenmesidir. Deney çerçevesinin değiştirilmesinin ikinci nedeni ise 2020 yılındaki salgın hastalık önlemleri kapsamında katılımcılarla her ayrı yöntem için ayrı ve birebir olarak yapılması kurgulanan tasarım egzersizlerinin planlanan sürelerde güvenli bir şekilde gerçekleştirilme ihtimalinin düşük olduğunun öngörülmesidir. Bu nedenle asıl çalışmada hedef popülasyonun (örneklem çerçevesinin) en az lisans seviyesinde eğitimlerini tamamlamış katılımcılardan oluşturulması ile çalışmanın hem zaman açısından hem de elde edilecek verilerin kalitesi açısından olumlu bir şekilde sonuçlanacağı düşünülmüş ve yeni bir çalışma kurgusu oluşturulmuştur.

Çalışmanın örnekleminin değiştirilmesine karar verildikten sonra oluşturulan çalışma kurgusuna göre çalışmanın katılımcıların oluşturan uzman katılımcılardan kendilerine verilecek tasarım problemine eskiz, fiziksel model ve AG uygulamasını kullanma tercihinin tamamen kendilerine bırakıldığı yaklaşık 45 dakika süren bir tasarım egzersizi süresince alternatif çözüm önerileri üretmeleri istenmiştir.

Katılımcıların tasarım eğersizini tamamlamalarının ardından ise AG uygulamasının kendilerine oluşturduğu iş yükünü değerlendirmelerinin istendiği NASA İş Yüğü Anketi, AG uygulamasının kullanılabilirliğini değerlendirdikleri MAGKÖ ve SKÖ Anketleri ve AG uygulamalarında bulunmasını istedikleri bileşen ve özellikleri belirttikleri anketleri cevaplamaları istenmiştir.

Tezin beşinci bölümünün ilerleyen başlıklarında öncelikle uzman katılımcı ve Lisans eğitimine devam eden katılımcılarla yapılan kullanılabilirlik ve yine Lisans eğitime devam eden katılımcılarla yapılmış olan iş yükü ile pilot çalışmaların kurguları ve sonuçlarına değinilmiştir. Bu bölümlerin ardından pilot çalışmalardan elde edinilen deneyim ve gözlemlere dayanarak gereken alanlarda iyileştirilen anketler ve uygulamanın yeni sürümü kullanılarak Lisans eğitimini tamamlamış katılımcılarla kullanılabilirlik, iş yükleri ve AG uygulamalarından kullanıcıların beklentilerinin belirlenmesi konularında gerçekleştirilen asıl çalışmalar ve elde edilen sonuçlarına değinilmiştir.

5.6 Mimar katılımcılarla gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışması

Doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin uzman ve lisans düzeyinde eğitimlerine devam eden katılımcılar tarafından değerlendirildiği 2018 yılında gerçekleştirilen pilot çalışmalardan sonra 2021-2022 yılı içerisinde doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirildiği çalışma gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada gönüllü katılımcılardan (S:21) kendilerine verilen mimari programı göz önünde bulundurarak doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını kullanarak gerçekleştirdikleri bir tasarım egzersizi sonrasında uygulamanın kullanılabilirliğini Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ-Ek D) Anketi ve Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ-Ek C) Anketi kullanarak değerlendirmeleri beklenmiştir.

Katılımcıların değerlendirmeleri sayısallaştırılarak değerlendirmelerin kabul edilebilir kullanılabilirlik değerleri ile karşılaştırılmasında kullanılacak veri tabloları oluşturulmuş ve elde edilen değerler Microsoft Excel programında tek örneklem t testi analizi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Gerçekleştirilen pilot çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde lisans düzeyindeki eğitimlerine devam eden kullanıcıların öncelikle henüz eğitimlerini tamamlamamış olmaları nedeniyle kendilerine tanınan 45 dakikalık süre zarfında istenen mimari program uyarınca tasarım önerileri geliştirme ve geliştirdikleri önerileri değerlendirme sürecinde yeterli deneyime sahip olmamaları nedeniyle zorluk yaşayabileceklerinin öngörülmesidir. Gerçekleştirilen pilot çalışmalarda lisans seviyesinde eğitimlerine devam eden katılımcıların kendilerine verilen tasarım egzersizini kendilerine verilen sürede tamamlamaya çalışırken kaygılandıkları ve strese girdikleri görülmüştür. Katılımcıların kaygıları nedeniyle çalışmanın ana hedeflerinden olan AG uygulamasını beklendiği gibi mimari tasarım sürecinin erken aşamasında farklı tasarım çözümleri geliştirmek ve geliştirdikleri tasarım çözümlerini değerlendirmekte tam anlamıyla kullanamadıkları gözlenmiştir. Ayrıca lisans eğitimine devam eden katılımcıların pilot çalışmada bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanma ile ilgili yeterli deneyime sahip olmamaları nedeniyle uygulamada bulunan ve bilgisayar destekli tasarım araçlarında da kullanılan çevirme, ölçekleme, yer değiştirme komutlarını gerçekleştirme ve x,y,z ekseninde 3 boyutlu nesnelerle çalışma gibi eylemleri rahatlıkla ve kısa süre içerisinde yerine getiremedikleri gözlenmiştir. Katılımcıların bu alanda yeterli deneyime sahip olmamaları nedeniyle uygulamayı kullanırken endişe ve kaygı yaşadıkları gözlenmiştir.

Katılımcılara tasarım egzersizinin tamamlanması için tanınan sürenin artırılmasının, katılımcıların kaygılarını azaltabileceği ve uygulama ile ilgili daha kapsamlı bir deneyim edinmelerini sağlayabileceği düşünülse de katılımcılarla yüz yüze ve birebir gerçekleştirilecek bir çalışma düzeninde her katılımcıya ayrılan sürenin artırılması mümkün olmamıştır. Deneysel çalışmada kapsamında elde edilen veri kullanılarak doktora tez çalışması kapsamında önerilen çerçeveyi ve bu çerçeve kullanılarak geliştirilen uygulamayı sağlıklı bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla çalışmanın mimari tasarım sürecinde yetkinliklerini lisans eğitimlerini tamamlayarak kanıtlamış ve hem geleneksel tasarım araçları hem de bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanmakta belirli bir seviyede deneyime sahip olan katılımcılarla gerçekleştirilmesinin daha faydalı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu sayede katılımcıların deneysel çalışma kapsamında gerçekleştirilecek tasarım egzersizinde, kendilerine verilen mimari programa uygun bir şekilde AG uygulamasını farklı tasarım önerileri geliştirmek ve geliştirdikleri önerileri değerlendirmek için daha etkin bir şekilde kullanabilecekleri düşünülmüştür. Ayrıca katılımcıların eğitim ve mesleki hayatlarında farklı dijital tasarım araçlarını kullanma ile ilgili edindikleri deneyimlerin, doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” AG uygulamasını daha gerçekçi bir şekilde değerlendirmelerine yardımcı olabileceği öngörülmüştür. Bunun yeterli deneyime sahip olmayan kullanıcıların yaşayabileceği; kısıtlı zaman içerisinde tasarım problemine bir çözüm geliştirme beklentisi; ve dijital tasarım araçlarını kullanma konusundaki deneyimsizlik nedeniyle oluşabilecek kaygı ve endişe duygularının tasarım süreci ve uygulamanın değerlendirilmesinde daha az etkisinin olacağı düşünülmüştür.

5.6.1 Katılımcılar

Çalışmanın katılımcıları olasılıksız örneklem çeşitlerinden uygunluk örneklem yöntemi ile İ.T.Ü Mimari Tasarımda Bilişim programı Yüksek Lisans ve Doktora bölümlerinde eğitimlerine devam eden kişilere e-mail yolu ile yapılan çağrılara olumlu yanıt veren katılımcılar ve bu katılımcılar vasıtası ile ulaşılan kişilerden oluşmaktadır.

Toplamda 21 kişi olan çalışmanın katılımcıları cinsiyetlerine göre gruplandığında katılımcıların 15’inin kadın 6’sının ise erkek olduğu görülmektedir. Çalışmanın farklı fazlarında çalışma sonucunda elde edilen verilerin cinsiyetlere göre de karşılaştırılabilmesi için erkek katılımcılar ile kadın katılımcıların sayılarının eşitlenmesi adına erkek katılımcı sayısının artırılması için özel çaba sarfedilmesine rağmen yapılan çağrılara olumlu yanıt veren katılımcılar arasında erkek katılımcı sayısının her seferinde kadın katılımcı sayısından daha düşük olduğu gözlenmiştir. Çalışma sonunda kadın katılımcıların tüm katılımcılara oranı % 71, erkek katılımcıların ise % 28 değerinde olduğu görülmektedir. Katılımcılar eğitim durumlarına göre gruplandıklarına ise katılımcıların 5’inin Lisans (% 23), 13’ünün Y. Lisans (% 61) ve 3’ünün ise Doktora (%14) seviyesindeki eğitimlerini tamamlamış oldukları görülmektedir (Çizelge 5.11).

Çizelge 5.11 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre yüzdeleri.

	Sayı	%
Cinsiyet		
Erkek	6	28.57
Kadın	15	71.43
Eğitim Durumu		
Lisans	5	23.81
Y. Lisans	13	61.9
Doktora	3	14.29

5.6.2 Deney çerçevesi

2021-2022 döneminde gerçekleştirilen çalışma katılımcılarla birebir ve yüzyüze gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği derslikler AG uygulamasında kullanılan işaretleyici tabanlı izleyicilerin, uygulama tarafından üretilerek gerçek dünyadaki işaretleyiciler (QR based trackers) üzerinde görselleştirilen 3 boyutlu sanal nesnelerin doğru bir şekilde uygulama tarafından tanınabilmesi için gerekli ışık düzeyini sağlayabilmek için yeterli seviyede aydınlatılabilen dersliklerdir. Katılımcıların aksi yönde bir talepleri olmadığı müddetçe katılımcıların uygulamayı kullanmaya alışmaları için kendilerinden tanınan alışma ve tasarım problemine çözüm ürettikleri tasarım egzersizi süresince gerçekleştirdikleri çalışmalar ses ve video kayıt cihazı ile kayıt altına alınmıştır (S: 21).

Çalışma başlamadan önce katılımcılara sözlü olarak kullanacakları AG uygulaması ile ilgili bilgi verilmiş ve çalışma kapsamında kendilerinden beklenenler aktarılmıştır. Soruları olması durumunda katılımcıların soruları cevaplandıktan sonra katılımcılara içeriğinde çalışmaya ve katılımcıların haklarına ilişkin bilgiler bulunan ve çalışmaya özgür iradeleri ile katıldıklarını belgeledikleri onam formu iletilmiştir.

Katılımcılar onam formunu imzaladıktan sonra AG uygulamasını kullanmaya alışmaları için maksimum 15 dakika olmak üzere AG uygulaması kullanılarak 3 boyutlu sanal nesnelerin nasıl üretildiği, üretilen sanal nesnelerin çalışma ortamına nasıl tanıtıldığı, sanal nesnelerin ölçeklerinin, yönelimlerinin, 3 boyutlu çalışma ortamındaki pozisyonlarının nasıl değiştirilebileceğini deneyimleyebilecekleri görevleri içeren basit alıştırmaları gerçekleştirmeleri istenmiştir.

Katılımcıların AG uygulamasını kullanmaya alışmak için gerçekleştirdikleri basit görevlerin tamamlanmasından, katılımcıların uygulamayı kullanmaya yeterince alıştıklarını ifade etmelerinden veya AG uygulamasına alışmaları için kendilerine tanınan sürenin sona ermesi koşullarından birisinin tamamlanmasından sonra AG uygulaması ile yapılan deneme süreci sonlandırılmıştır. AG uygulamasının kullanılmasına alışılması için katılımcılara tanınan deneme sürecinin sonlandırılmasından sonra katılımcılar kendilerine verilen tasarım problemine (Ek-H) mimari programı göz önünde bulundurarak AG uygulamasını kullanarak çözüm önerileri geliştirecekleri ve önerilerini değerlendirecekleri maksimum 45 dakikalık tasarım egzersizine başlamışlardır. Tasarım egzersizinde katılımcılara problemin ve mimari programın açıklandığı bilgilendirme föyünün yanında arazinin yakın çevresi ile ilişkisinin irdelenmesi için 1/1000 ve proje arazisinin 1/500 ölçeğinde haritaları katılımcılara verilmiştir. Katılımcılara tasarım egzersizi süresince kullanmaları için eskiz kağıdı, cetveller, gönyeler, renkli gazlı kalem ve kara kalem temin edilmiştir. Ayrıca arazinin yakın çevresini de kapsayan 1/500 ölçeğinde fiziksel arazi maketi de çalışmalarda kullanılmıştır.

5.6.3 Kullanılabilirlik değerlerinin yorumlanması

Kullanılabilirlik değerlerinin hesaplanmasında kullanılan kullanılabilirlik ölçülerine göre farklı denklemler kullanılmaktadır. Geliştirilen bir sistemin kullanılabilirliğinin hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden olan SKÖ anketinde (Ek-C) 10 ifade yer almaktadır. SKÖ temel alınarak geliştirilen MAGKÖ (Ek-D) anketi ise kullanılabilirlik ve anlaşılabilirlik olmak üzere ayrı yorumlanabilen iki alt ölçek ve bu ölçeklerin değerlerinin aritmetik ortalamasının alınması ile elde edilen genel anket puanını gösteren 16 sorudan oluşmaktadır.

SKÖ anketi ile sistemin kullanılabilirliğinin değerlendirilmesini sağlayan on ifadeye katılımcıların 5'li Likert ölçeği kullanılarak “kesinlikle katılmıyorum” (1) ve “kesinlikle katılıyorum” (5) olmak üzere verdikleri cevapların denklem 5.3'e göre hesaplanması sonucunda 0-100 arasında bir değer elde edilmektedir.

k: katılımcı puanı

k_i: tek sayılı soruların SKÖ değeri cevaptan 1 çıkartılarak hesaplanır

k_ç: çift sayılı soruların SKÖ değeri 5 sayısından cevap çıkartılarak hesaplanır

SKÖ = SKÖ puanı olmak üzere,

$$SKÖ = (k_1 + k_2 + \dots + k_{10}) \times 2.5 \quad (5.3)$$

Bir sistemin kullanılabilirliğinin MAGKÖ anketi ile değerlendirilmesinde ise katılımcıların ankette bulunan 16 ifadeye 7'li Likert ölçeği kullanılarak “kesinlikle katılmıyorum” (1) ve “kesinlikle katılıyorum” (7) olmak üzere verdikleri cevaplar kullanılarak denklem 5.4'te ifade edilen eşitliğe göre anlaşılabilirlik değeri, denklem 5.5'te ifade edilen eşitliğe göre kullanılabilirlik değeri ve denklem 5.6'te ifade edilen eşitliğe göre ise 0-100 arasında MAGKÖ genel anket değerleri elde edilmektedir.

m: katılımcı puanı

m_t: tek sayılı soruların MAGKÖ değeri 7 sayısından cevap çıkartılarak hesaplanır

m_ç: çift sayılı soruların MAGKÖ değeri cevaptan 1 çıkartılarak hesaplanır

M_A: MAGKÖ anlaşılabilirlik ölçüsü değeri

M_K: MAGKÖ kullanılabilirlik ölçüsü değeri

M_G: MAGKÖ genel anket değeri olmak üzere,

$$M_A = \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 + m_7 + m_8)}{48} \times 100 \quad (5.4)$$

$$M_K = \frac{(m_9 + m_{10} + m_{11} + m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} + m_{16})}{48} \times 100 \quad (5.5.)$$

$$M_G = \frac{(M_A + M_K)}{2} \quad (5.6)$$

Daha önce SKÖ ve MAGKÖ anketleri kullanılarak elde edilen sonuçların nasıl hesaplandığı ve sonuç olarak katılımcıların kullandıkları uygulamanın kullanılabilirliğini nasıl değerlendirdiklerinin 0-100 arasında sayısal olarak nasıl ifade edildiği açıklanmıştır. Katılımcılardan bireysel olarak veya tüm katılımcıların kullanılabilirlik değerlerinin ortalaması olarak elde edilen sayısal değerlerin yorumlanması için farklı değerlendirme kriterleri kullanılabilmektedir.

Bahsedilen değerlendirme kriterleri; elde edilen sayısal değerler; sayısal değerlerin ait oldukları yüzdelik aralıklar; elde edilen sayısal değerleri niteliksel olarak açıklamakta kullanılan sıfatlar; elde edilen sayısal değere karşılık gelen kabul seviyesi ve genel notlarla değerlendirmedir.

Bangor, Kortum ve Miller (2009) tarafından önerilen sıfat değerlendirme ölçeği, kullanılabilirlik anketleri sonucunda elde edilen sayısal sonuç değerlendirilen uygulamanın kullanılabilirliğine ilişkin genel bir fikir verse de elde edilen sonucun ne anlama geldiğinin daha rahat anlaşılabilmesi için kullanılan niteliksel bir ölçektir. Araştırmacıların geliştirdiği sıfat değerlendirme ölçeğine göre SKÖ anketi ile kullanılabilirliği değerlendirilen uygulamanın puanı 100 ise “en iyi” (*best imaginable*), 85 ise “mükemmel” (*excellent*), 72.5 ise “iyi” (*good*), 51.7 ise “kabul edilebilir” (*OK*), 25.1 ise “zayıf” (*poor*) ve 0-25 puan aralığında ise “en kötü” (*worst imaginable*) olarak tanımlanmaktadır.

Katılımcılar tarafından ölçülen kullanılabilirlik değerinin kabul seviyesi (Bangorve diğ., 2008) kullanılarak yorumlanmasında kabul edilebilir olarak değerlendirilebilecek uygulamaların 70 SKÖ puanının üzerinde puanlar almaları gerekmektedir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen kabul seviyesi kriterine göre SKÖ puanı 50 puanın altında olan uygulamalar kabul edilebilir eşiğinin altında kalan uygulamalar olarak değerlendirilmektedirler. Kullanılabilirlik değeri 50 ve 70 puanın arasında kalan uygulamalar sınırda olarak kabul edilmektedirler. Sınırdaki kabul edilen değerler içerisinde SKÖ puanı 50-62.2 puan arasında kalan uygulamalar düşük sınır, 62.3 – 70 puan arasında bulunan uygulamalar ise yüksek sınırda kabul edilmektedirler.

Lewis ve Sauro’nun (Lewis ve Sauro, 2018) endüstriyel olarak kullanılan uygulamalar üzerinde gerçekleştirilen 241 adet kullanılabilirlik çalışması ve anket sonuçlarını değerlendirerek geliştirdikleri eğik notlama ölçeği kullanılarak değerlendirme yapıldığında ölçeğin medyanının 68 SKÖ anketi puanına karşılık geldiği görülmektedir. Başka bir deyişle kullanılabilirlik değeri notla yorumladığında uygulamanın SKÖ puanı 68 ise notu C’ye, 84,1 üstü ise A+’a 51.7’nin altında ise F’e denk gelmektedir.

Kullanılabilirliğin değerlendirilmesinde faydalanılan SKÖ puanı, yüzdelik aralıkları, sıfat değerlendirme ölçeği, kabul seviyesi ölçeği ve genel notlarla yapılan değerlendirmeler kendi aralarındaki ilişkilerin de incelenmesi amacıyla oluşturulan Çizelge 5.12’de incelenebilir.

Çizelge 5.12 : Kullanılabilirlik anketlerinden elde edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılan farklı kriterler (Bangor, Kortum ve Miller 2008, 2009; Lewis ve Sauro, 2018’den adapte edilmiştir).

SKÖ	Yüzdelik Aralığı	Sıfat	Kabul Seviyesi	Not
84.1 - 100	96 - 100	En iyi	Kabul Edilebilir	A +
80.8 – 84	90 - 95	Mükemmel	Kabul Edilebilir	A
78.9 - 80.7	85 - 89		Kabul Edilebilir	A -
77.2 - 78.8	80 - 84		Kabul Edilebilir	B +
74.1 - 77.1	70 -79		Kabul Edilebilir	B
72.6 - 74.0	65 - 69		Kabul Edilebilir	B -
71.1 - 72.5	60 - 64	İyi	Kabul Edilebilir	C +
65 - 71	41 - 59		Sınırdan (yüksek sınır)	C
62.7 - 64.9	35 - 40		Sınırdan (yüksek sınır)	C -
51.7 - 62.6	15 - 34	Kabul Edilebilir	Sınırdan (düşük sınır)	D
25.1 - 51.6	2.0 - 14	Zayıf	Kabul Edilemez	F
0 - 25	0 - 1.9	En Kötü	Kabul Edilemez	F

Kullanılabilirliğin değerlendirilmesinde kullanılan farklı kriterler incelendiğinde en kritik eşiğin kabul seviyesi değerlendirmesinde de kullanılan ve “kabul edilemez” olarak ifade edilen 50 puan eşiği olduğu görülmektedir. Kullanılabilirlik alanında yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılabilirliği değerlendirilen bir uygulamanın SKÖ anketi ile ölçülen kullanılabilirlik değerinin mutlaka 50 puanın üzerinde olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Kullanılabilirlik değerlerinin kabul seviyesi kullanılarak yorumlanması yöntemini geliştiren Bangor, Kortum ve Miller SKÖ puanı 50’nin altında olan uygulamaların kullanıcılarına neredeyse kesinlikle kullanılabilirlik problemleri yaşatacağı belirtilmektedirler (Bangorve diğ., 2008).

Kullanılabilirlik anket sonuçlarının yorumlanmasında ikinci önemli eşik olarak ise Lewis ve Saro’nun çalışmalarında elde ettikleri medyan değer olan ve geliştirdikleri notla yorumlama yönteminde de C’ye karşılık gelen 68 SKÖ puanının dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.

SKÖ anketi kullanılarak yapılan değerlendirmede elde edilen 68 puanı aynı zamanda elde edilen puanların kabul seviyesi kullanılarak yorumlanmasında “sınırdan” değerlendirmesinin yüksek sınırdan seviyesi ile “kabul edilebilir” değerlendirmesi arasında bir noktada bulunmaktadır. Bu açıdan bakıldığında her ne kadar 50 SKÖ puanının aşılması geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde önemli adım olarak kabul edilse de, bir uygulamanın değerlendirilmesinde ikinci önemli eşik değeri olarak 68 SKÖ değerinin elde edilmesinin amaçlanmasının uygulamanın son kullanıcıya memnuniyet verici bir kullanım deneyimi yaşatabilmesi için önemli olduğu düşünülmektedir.

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğin değerlendirildiği çalışmalarda elde edilen sonuçların bu şekilde yorumlanması SKÖ anketi ve SKÖ temel alınarak geliştirilen MAGKÖ anketinden elde edilen sonuçların yorumlanmasında kullanılmıştır. MAGKÖ anketinin SKÖ anketinden daha kapsamlı olması nedeniyle elde edilen sonuçların SKÖ anketine göre daha düşük olabileceği ancak uygulamanın kullanılabilirliğinin anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik olmak üzere farklı alt ölçeklerle ölçülmesine olanak tanıdığından dolayı uygulamada geliştirilmesi gereken alanların tanımlanabilmesinde daha faydalı olacağı düşünülmüştür.

5.6.4 MAGKÖ anketi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları

Katılımcıların AG uygulamasını kullanarak kendilerine verilen tasarım problemine alternatif çözüm önerileri geliştirdikleri ve geliştirdikleri önerileri değerlendirdikleri tasarım egzersizini tamamladıktan sonra uygulamanın kullanılabilirliğini değerlendirmek için öncelikle kullanılan uygulamanın anlaşılabilirliğini ölçen 8 soru ve kullanılabilirliğini ölçen 8 soru olmak üzere üzere iki alt ölçüye sahip toplam 16 sorudan oluşan Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü (MAGKÖ – Ek D) anketini cevaplamışlardır. Geliştirilen anketlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan cronbach alpha değeri kabul edilebilir eşik değeri olan 0.7’nin üzerinde olan MAGKÖ anketi (Santosve diğ., 2014) kullanılarak, katılımcılardan tasarım egzersizi süresince kendilerine verilen bir tasarım problemine çözüm üretmek için faydalandıkları AG uygulamasını edindikleri deneyimi göz önünde bulundurarak değerlendirmeleri istenmiştir.

MAGKÖ anketi kullanılarak katılımcıların ankette bulunan ifadelerle 7’li Likert ölçüsü kullanarak verdikleri cevapların (Ek D) hesaplanması sonucunda uygulamanın kullanılabilirlik ve anlaşılabilirlik değerleri ve bu değerlerin aritmetik ortalamasının alınması ile genel MAGKÖ puanı hesaplanmıştır (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13 : MAGKÖ Anketi alt ölçüler ve genel anket puanları.

Katılımcı No	Anlaşılabilirlik	Kullanılabilirlik	Anket Puanı
1	79.17	83.33	81.25
2	54.17	43.75	48.96
3	75.00	89.58	82.29
4	54.17	58.33	56.25
5	64.58	52.08	58.33
6	62.50	85.42	73.96
7	72.92	85.42	79.17
8	58.33	43.75	51.04
9	45.83	62.50	54.17
10	72.92	10.42	41.67
11	62.50	60.42	61.46
12	68.75	62.50	65.63
13	81.25	83.33	82.29
14	83.33	72.92	78.13
15	62.50	35.42	48.96
16	50.00	60.42	55.21
17	89.58	87.50	88.54
18	60.42	85.42	72.92
19	50.00	39.58	44.79
20	75.00	60.42	67.71
21	75.00	60.42	67.71
Ortalama	66.57	63.00	64.78

Oluşturulan yeni veri seti içerisinde istatistiksel analizlerde kullanıldığında hatalı sonuçlar yaratabilecek aykırı değerlerin (*outlier*) olup olmadığı incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada 21 katılımcı olduğundan dolayı elde edilen veri setinde MAGKÖ anketi içerisindeki ana başlıklar özelinde küçükten büyüğe doğru sıralanan toplam 21 kayıt bulunmasından dolayı tüm kayıtlar içerisinde tam ortada yer alan 11 numaralı kayıtlar medyan değerlerini oluşturmaktadır. Medyan değerinden küçük olan değerlerin medyanı olarak tanımlanan alt çeyrek değeri tüm veri setinin medyanından küçük olan değerler olan ilk 10 kayıt içerisinde 5. ve 6. kayıtların aritmetik ortalamasının alınması ile hesaplanmıştır. Medyan değerinden büyük değerlerin medyanı olarak tanımlanan üst çeyrek değeri ise son 10 kayıt içerisinde yer alan 16. ve 17. kayıtların aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14 : MAGKÖ Anketi ile elde edilen veri setine ilişkin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri.

Anlaşılabilirlik Ölçüsü Puanı		Kullanılabilirlik Ölçüsü Puanı		Genel Anket Puanı	
45.83		10.42		41.67	
50.00		35.42		44.79	
50.00		39.58		48.96	
54.17		43.75		48.96	
54.17		43.75		51.04	
58.33	56.25	52.08	47.92	54.17	52.60
60.42		58.33		55.21	
62.50		60.42		56.25	
62.50		60.42		58.33	
62.50		60.42		61.46	
64.58	Medyan	60.42	Medyan	65.63	Medyan
68.75		62.50		67.71	
72.92		62.50		67.71	
72.92		72.92		72.92	
75.00		83.33		73.96	
75.00		83.33		78.13	
75.00	75.00	85.42	84.38	79.17	78.65
79.17		85.42		81.25	
81.25		85.42		82.29	
83.33		87.50		82.29	
89.58		89.58		88.54	

Yapılan hesaplamalara göre anlaşılabilirlik ölçüsünü oluşturan değerleri barındıran kayıtların alt çeyrek değerinin 56.25, medyan değerinin 64.58 ve üst çeyrek değerinin 75 olduğu görülmektedir. Kullanılabilirlik ölçüsünü oluşturan değerleri barındıran kayıtların incelenmesi sonucunda alt çeyrek değerinin 47.92, medyan değerinin 60.42 ve üst çeyrek değerinin 84.38 olduğu sonucuna varılmıştır. Anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik ölçüsü değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilen genel anket puanını barındıran kayıtlar ele alındığında ise alt çeyrek değerinin 52.50, medyan değerinin 65.63 ve üst çeyrek değerinin ise 78.65 olduğu görülmektedir.

Elde edilen veri setinin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri hesaplandıktan sonra MAGKÖ anketinin iki alt ölçüsü ve genel anket puanı için çeyrekler açıklığı değeri (ÇAD) hesaplanmıştır. Veri seti içerisinde aykırı değer kontrolü yapılmasında kullanılacak olan çeyrekler açıklığı değeri, veri setinin üst çeyrek ve alt çeyrek değerlerinin farkının alınması ile hesaplanmaktadır. Çeyrekler açıklığı değerinin elde edilmesinden sonra aykırı değerlerin bulunacağı değer aralıklarının belirlenmesinde kullanılacak alt ve üst sınırlar hesaplanmıştır.

Anlaşılabilirlik ölçüsü puanlarını barındıran veri seti için çeyrekler açıklığı değeri 18.75 olarak hesaplanmış, bu değer kullanılarak belirlenen alt ve üst sınır değerleri 28.13 ve 103.13 değerleridir. Kullanılabilirlik ölçüsü puanlarını içeren veri seti için çeyrekler açıklığı değeri 36.46 olarak hesaplanmış ve bu değer kullanılarak belirlenen alt sınır değeri -6.77, üst sınır değeri ise 133.33 olarak hesaplanmıştır. Genel anket puanlarını içeren veri seti için çeyrekler açıklığı değeri 26.04, alt sınır değeri 13.54, üst sınır değeri ise 117.71 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.15 : MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin çeyrekler arası değerleri ve aykırı değerlerin kontrolünün yapılmasında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri.

Anlaşılabilirlik Ölçüsü		Kullanılabilirlik Ölçüsü	Genel Anket
Ç1	56.25	47.92	52.5
Ç3	75	84.38	78.65
ÇAD	$75-56.25=18.75$	$84.38-47.92=36.46$	$78.65 - 52.5 = 26.04$
ÇAD x 1.5	$18.75 \times 1.5 = 28.12$	$36.46 \times 1.5 = 54.68$	$26.04 \times 1.5 = 39.06$
Alt Sınır	$56.25-28.12= 28.13$	$47.92- 54.68 = -6.77$	$52.5 - 39.06 = 13.54$
Üst Sınır	$75+28.13=103.13$	$84.38+ 54.68 = 133.33$	$78.65 + 39.06 = 117.71$

MAGKÖ anketinden elde edilen veri seti içerisinde alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasından sonra veri seti içerisinde aykırı değer kontrolüne göre anlaşılabilirlik ölçüsünü oluşturan kayıtların 28.13 alt değeri ve 103.13 üst değeri, kullanılabilirlik ölçüsünü oluşturan kayıtların, -6.77 alt değeri ve 133.33 üst değeri, genel anket puanlarını oluşturan kayıtların ise 13.54 alt değeri ve 117.11 üst değeri arasında olduğu doğrulanmıştır. Başka bir deyişle oluşturulan yeni veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmadığının kontrolü yapılmasının ardından veri seti içerisindeki kayıtların anlaşılabilirlik ölçüsü, kullanılabilirlik ölçüsü ve genel anket puanı alt başlıklarında normal dağılım gösterip göstermedikleri Jarque-Bera testi uygulanarak kontrol edilmiştir.

Bir veri setinin normal dağılım gösterip göstermediğinin kontrol edilmesinde kullanılan Jarque-Bera testi veri seti normal bir dağılıma sahiptir anlamına gelen H_0 hipotezi veri seti normal bir dağılıma sahip değildir anlamına gelen H_A hipotezlerini test etmektedir.

$p > 0.05$ – H_0 kabul, H_A red (test edilen veri seti normal dağılıma sahiptir).

$p < 0.05$ - H_A Kabul, H_0 red (test edilen veri seti normal dağılıma sahip değildir).

n: gözlem sayısı

c: örneklem çarpıklığı (skewness)

b: örneklem basıklığı (kurtosis)

JB: Jarque-Bera testi sonucu

p: anlamlılık değeri olmak üzere, Çizelge 5.16’de görülebilecek değerler MAGKÖ anketi ile elde edilen veri setinde bulunan kayıtların Jarque-Bera testi sonuçlarını ifade etmektedir.

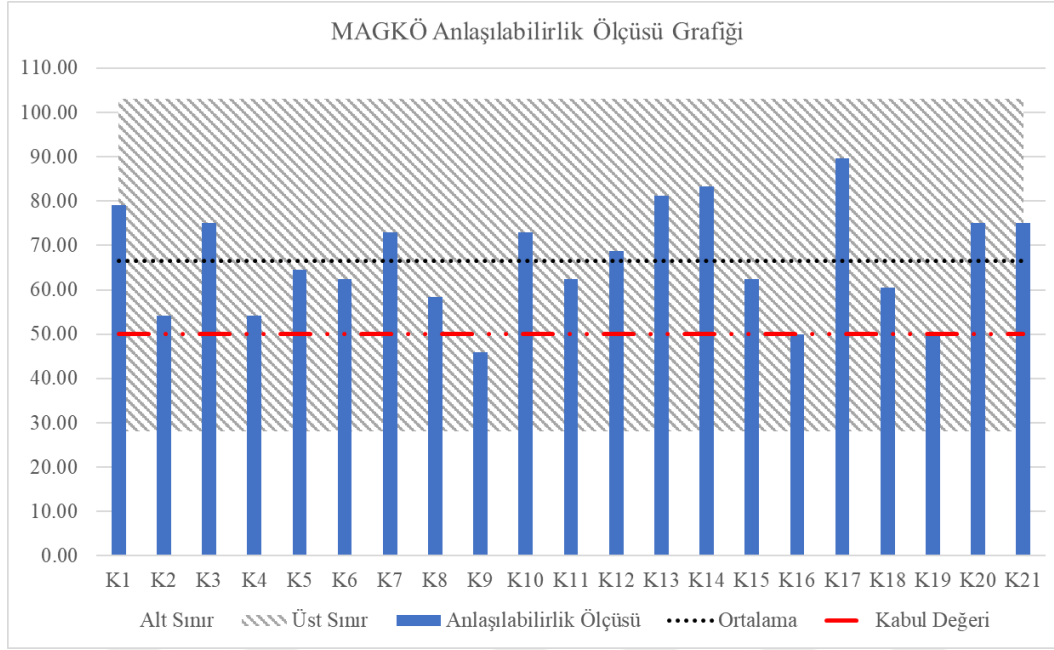
Çizelge 5.16 : MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin Jarque Bera testi sonuçları.

	Anlaşılabilirlik Ölçüsü	Kullanılabilirlik Ölçüsü	Genel Anket Puanı
n	21	21	21
c	0.05	-0.67	0.03
b	-0.87	0.32	-1.26
JB	0.66	1.64	1.40
p	0.72	0.44	0.50

Elde edilen veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığına karar vermekte kullanılan Jarque-Bera testi sonuçlarına göre MAGKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinde anlaşılabilirlik, kullanılabilirlik ve genel anket puanını oluşturan kayıtların tümünün p (anamlılık) değeri 0.05 değerinden büyük olduğundan dolayı H_A hipotezini reddedip, H_0 hipotezini kabul edilmiştir. Test ettiğimiz veri setleri içerisindeki tüm kayıtlar normal dağılım göstermektedir.

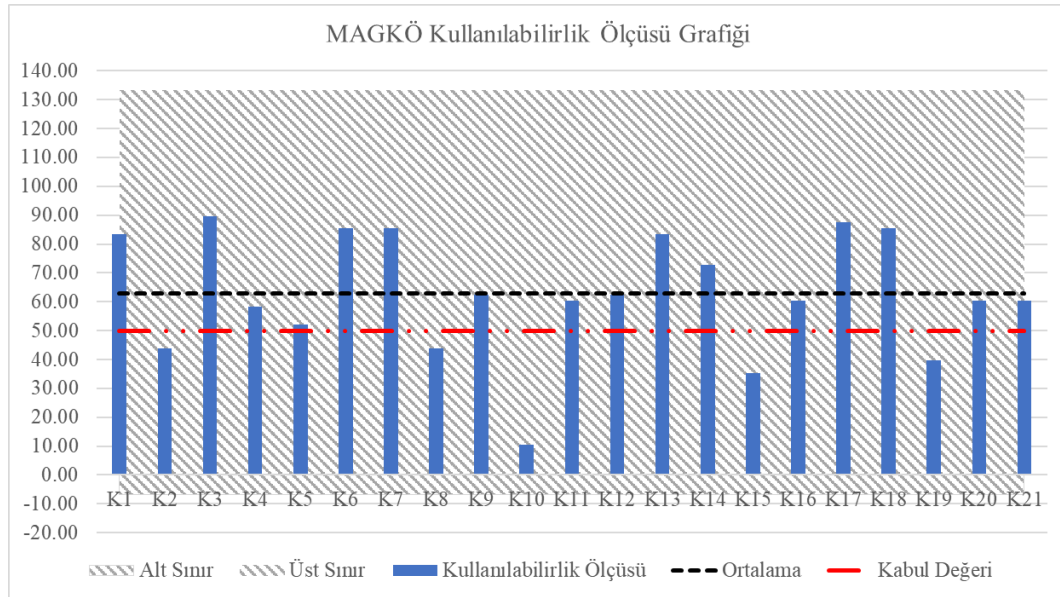
MAGKÖ anketi ile elde edilen veri setinde bulunan kayıtların normal dağılım gösterdiklerinin test edilmesinden sonra veriler anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik alt ölçüleri ve genel anket puanı başlıkları altında incelenmiştir.

Katılımcıların kendilerine verilen tasarım problemine doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını kullanarak farklı çözümler geliştirmeleri ve geliştirdikleri çözümleri değerlendirmeleri beklenen tasarım egzersizi süresince kullandıkları AG uygulamasının kullanılabilirliğini MAGKÖ anketi kullanarak değerlendirdikleri çalışmada MAGKÖ anketinin ilk sekiz ifadesi kullanılarak hesaplanan “Anlaşılabilirlik” ölçüsü sonuçları Şekil 5.14’te görülebilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi katılımcıların anlaşılabilirlik alt ölçüsü ana başlığında incelenen kayıtları veri setinin alt (28.13) ve üst (103.13) sınırları içerisinde kalmaktadır. 21 katılımcının değerlendirmeleri sonucu elde edilen veri incelendiğinde uygulamayı kritik eşik değeri olarak değerlendirilen 50 puanın altında olarak değerlendiren bir katılımcının (Katılımcı 9), uygulamanın anlaşılabilirliğini 50 puanla değerlendiren iki katılımcının (Katılımcı 16, Katılımcı19) olduğu görülmektedir. Bu üç katılımcı dışındaki katılımcıların uygulamanın anlaşılabilirliği ile ilgili yaptıkları değerlendirmelerin tümü “kabul edilemez” değer olan 50 puanın üzerindedir. MAGKÖ anketini oluşturan ifadelerin ilk 8 tanesi kullanılarak elde edilen anlaşılabilirlik ölçüsü değerlerinin ortalaması alındığında tüm katılımcıların uygulamanın anlaşılabilirliğini ortalama 66.57 puanla değerlendirdikleri görülmektedir. Tez çalışmasının 5.3.3. bölümünde açıklanan kullanılabilirlik değerlendirmelerinin yorumlanmasında kullanılan kriterler göz önünde bulundurulduğunda uygulamanın anlaşılabilirliğinin katılımcılar tarafından değerlendirilmesi sonucu elde edilen 66.57 puanının “sıfat değerlendirme” kriteri kullanılarak yorumlandığında kabul edilebilir seviyesinde, “kabul seviyesi” değerlendirme kriteri kullanılarak yorumlandığında ise “sınırdaki (yüksek sınır)” seviyesinde olarak değerlendirildiği sonucu ortaya çıkmaktadır.



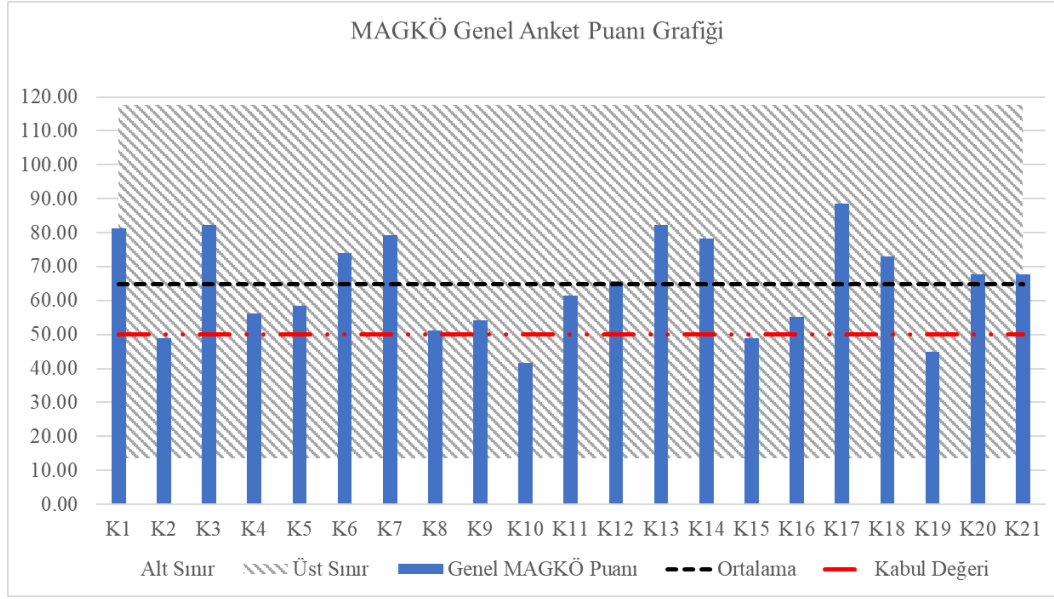
Şekil 5.14 : MAGKÖ anketi anlaşılabilirlik ölçüsü grafiği.

AG uygulamasının kullanılabilirliğinin katılımcılar tarafından MAGKÖ anketi kullanılarak değerlendirildiği çalışmada anketin son sekiz ifadesi kullanılarak hesaplanan ve kullanılabilirlik alt ölçüsü ana başlığında değerlendirilen sonuçların grafiği Şekil 5.15'te görülebilmektedir. Grafikte de görülebileceği gibi kullanılabilirlik ölçüsünü oluşturan veri seti içerisindeki kayıtların tümü alt (-6.77) ve üst (133.33) sınırlar arasında bulunmaktadır. Doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını deneyimleyen 21 katılımcının değerlendirmeleri sonucu elde edilen veri seti incelendiğinde, kullanılabilirlik ölçüsünü oluşturan kayıtlardan 5 tanesinin (Katılımcı 2, 8, 10, 15 ve 19) kritik eşik değeri olarak kabul edilen 50 puanın altında olduğu görülmektedir. Katılımcılardan sekiz tanesinin ise uygulamayı kullanılabilirlik alt ölçüsünü oluşturan veri setinin ortalaması olarak hesaplanan 63 puanın üzerinde değerlendirdiği görülmektedir. Kullanılabilirlik alt ölçüsünü oluşturan veri setinin ortalama değeri olan 63 puan “sıfat değerlendirme” kriteri kullanılarak yorumlandığında “kabul edilebilir” seviyesinde, “kabul seviyesi” değerlendirme kriteri kullanılarak yorumlandığında ise “sınırdaki (yüksek sınır)” seviyesinde olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 5.15 : MAGKÖ anketi kullanılabilirlik ölçüsü grafiği.

AG uygulamasının kullanılabilirliğinin katılımcılar tarafından MAGKÖ anketi kullanılarak değerlendirildiği çalışmada anlaşılabilirlik ve kullanılabilirlik alt ölçekleri kullanılarak elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanan ve değerlendirilen uygulamanın genel anket puanlarından oluşan veri setinin grafiği şekil 5.16’de görülebilmektedir. MAGKÖ anketi kullanılarak hesaplanan genel anket puanlarını içeren veri setindeki kayıtlar grafikte de görülebileceği gibi alt (13.54) ve üst (117.71) sınır içerisinde bulunmaktadırlar. 21 gönüllü katılımcının geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğini MAGKÖ anketini kullanarak değerlendirdikleri çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde AG uygulamasını 2 katılımcının (katılımcı 10 ve 19) kritik eşik değeri olarak kabul edilen 50 puanın altında ve 2 katılımcının (katılımcı 2 ve 15) ise eşik değeri sınırında puanlarla değerlendirdikleri görülmektedir. Kalan 17 katılımcının AG uygulamasını kritik eşik değeri olan 50 puanın üzerinde puanlarla değerlendirildiği görülmektedir. Ayrıca toplam uygulamanın genel kullanılabilirliğini 50 puanın üzerinde bir puanla değerlendiren 17 kullanıcı arasından 10 tanesinin ise uygulamayı genel anket puanı ortalaması olan 64.78 puandan daha yüksek bir puan vererek değerlendirdikleri sonucu elde edilmiştir. Genel anket puanlarını barındıran veri setinin ortalama değeri olan 64.78 puan “sıfat değerlendirme” kriteri kullanılarak yorumlandığında “kabul edilebilir” seviyesinde, “kabul seviyesi” değerlendirme kriteri kullanılarak yorumlandığında ise “sınırdan (yüksek sınır)” seviyesinde olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 5.16 : MAGKÖ anketi genel anket puanı grafiği.

5.6.5 Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü (SKÖ) Anketi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları

Katılımcılar AG uygulamasını kullanarak kendilerine verilen tasarım problemine alternatif çözüm önerileri geliştirdikleri ve geliştirdikleri önerileri değerlendirdikleri tasarım egzersizini tamamladıktan sonra uygulamanın kullanılabilirliğini değerlendirmek için MAGKÖ anketine ek olarak toplam 10 sorudan oluşan SKÖ (Ek C) anketini de cevaplamışlardır. Geliştirilen anketlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan cronbach alpha değeri kabul edilebilir eşik değeri olan 0.7 değerinin üzerinde olan SKÖ anketini (cronbach $\alpha = 0.91$) (Bangorve diğ., 2008) kullanarak katılımcılardan tasarım egzersizi süresince kendilerine verilen bir tasarım problemine çözüm üretmek için faydalandıkları AG uygulamasını edindikleri deneyimi göz önünde bulundurarak değerlendirmeleri istenmiştir. SKÖ anketi kullanılarak katılımcıların ankette bulunan ifadelerle 5'li Likert ölçüsü kullanarak verdikleri cevapların hesaplanması sonucunda veri seti içerisindeki her kayıt için uygulamanın SKÖ puanı elde edilmiştir (Çizelge 5.17).

Çizelge 5.17 : Katılımcıların SKÖ puanları.

Katılımcı No:	SKÖ Puanı
K1	90
K2	47.5
K3	77.5
K4	67.5
K5	55
K6	72.5
K7	87.5
K8	72.5
K9	60
K10	55
K11	67.5
K12	60
K13	90
K14	95
K15	65
K16	70
K17	87.5
K18	90
K19	72.5
K20	82.5
K21	77.5
Ortalama	73.5

Oluşturulan yeni veri seti içerisinde istatistiksel analizlerde kullanıldığında hatalı sonuçlar yaratabilecek aykırı değerlerin (*outlier*) olup olmadığı incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen veri setinde SKÖ anketi kullanılarak hesaplanan 21 adet veri kaydı bulunmaktadır. Küçükten büyüğe doğru sıralanan kayıtlar içerisinde toplam 21 kayıt bulunmasından dolayı tüm kayıtlar içerisinde tam ortada yer alan 11 numaralı kayıt medyan değerlerini oluşturmaktadır. Medyan değerinden küçük olan değerlerin medyanı olarak tanımlanan alt çeyrek değeri tüm veri setinin medyanından küçük olan değerler olan ilk 10 kayıt içerisinde 5. ve 6. kayıtların aritmetik ortalamasının alınması ile hesaplanmıştır. Medyan değerinden büyük değerlerin medyanı olarak tanımlanan üst çeyrek değeri ise son 10 kayıt içerisinde yer alan 16. ve 17. kayıtların aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.18).

Çizelge 5.18 : SKÖ Anketi ile elde edilen veri setine ilişkin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri.

SKÖ Puanları	
47.5	
55	
55	
60	
60	
65	62.5
67.5	
67.5	
70	
72.5	
72.5	Medyan
72.5	
77.5	
77.5	
82.5	
87.5	
87.5	87.5
90	
90	
90	
95	

Katılımcıların SKÖ anketine verdikleri cevaplar kullanılarak hesaplanan SKÖ değerlerinin küçükte büyüğe sıralanması sonucunda veri setini oluşturan kayıtlar içerisinde alt çeyrek değerinin 62.5, medyan değerinin 75.2 ve üst çeyrek değerinin ise 87.5 olduğu görülmüştür.

SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin alt çeyrek, medyan ve üst çeyrek değerleri hesaplandıktan sonra veri setinin çeyrekler açıklığı değeri (ÇAD) hesaplanmıştır. Veri seti içerisinde aykırı değer kontrolü yapılmasında kullanılacak olan çeyrekler açıklığı değeri, veri setinin üst çeyrek ve alt çeyrek değerlerinin farkının alınması ile hesaplanmaktadır. Çeyrekler açıklığı değerinin elde edilmesinden sonra ise aykırı değerlerin bulunacağı değer aralıklarının belirlenmesinde kullanılacak alt ve üst sınırlar hesaplanmıştır.

SKÖ puanlarını barındıran veri seti için çeyrekler açıklığı değeri 25 olarak hesaplanmış, bu değer kullanılarak belirlenen alt ve üst sınır değerleri 25 ve 125 değerleridir (Çizelge 5.19).

Çizelge 5.19 : SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin çeyrekler arası değerleri ve ayırık değerlerin kontrolünün yapılmasında kullanılacak alt ve üst sınır değerleri.

SKÖ Puanları	
Ç1	62.5
Ç3	87.5
ÇAD	$87.5 - 62.5 = 25$
ÇAD x 1.5	$25 \times 1.5 = 37.5$
Alt Sınır	$62.5 - 37.5 = 25$
Üst Sınır	$87.5 + 37.5 = 125$

Katılımcıların SKÖ anketine verdikleri cevaplar kullanılarak elde edilen veri seti içerisinde alt ve üst sınır değerlerinin hesaplanmasından sonra veri seti içerisinde bulunan tüm kayıtların aykırı değer kontrolüne göre 25 olan alt sınır ve 125 olan üst sınır değeri arasında olduğu doğrulanmıştır. Başka bir deyişle oluşturulan yeni veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmadığının kontrolü yapılmasının ardından veri seti içerisindeki kayıtların normal dağılım gösterip göstermedikleri Jarque-Bera testi uygulanarak kontrol edilmiştir.

Bir veri setinin normal dağılım gösterip göstermediğinin kontrol edilmesinde kullanılan Jarque-Bera testi veri seti normal bir dağılıma sahiptir anlamına gelen H_0 hipotezi veri seti normal bir dağılıma sahip değildir anlamına gelen H_A hipotezlerini test etmektedir.

$p > 0.05$ – H_0 kabul, H_A red (test edilen veri seti normal dağılıma sahiptir).

$p < 0.05$ - H_A Kabul, H_0 red (test edilen veri seti normal dağılıma sahip değildir).

n: gözlem sayısı

c: örneklem çarpıklığı (skewness)

b: örneklem basıklığı (kurtosis)

JB: Jarque-Bera testi sonucu

p: anlamlılık değeri olmak üzere, Çizelge 5.20’de görülebilecek değerler SKÖ anketi ile elde edilen veri setinde bulunan kayıtların Jarque-Bera testi sonuçlarını ifade etmektedir.

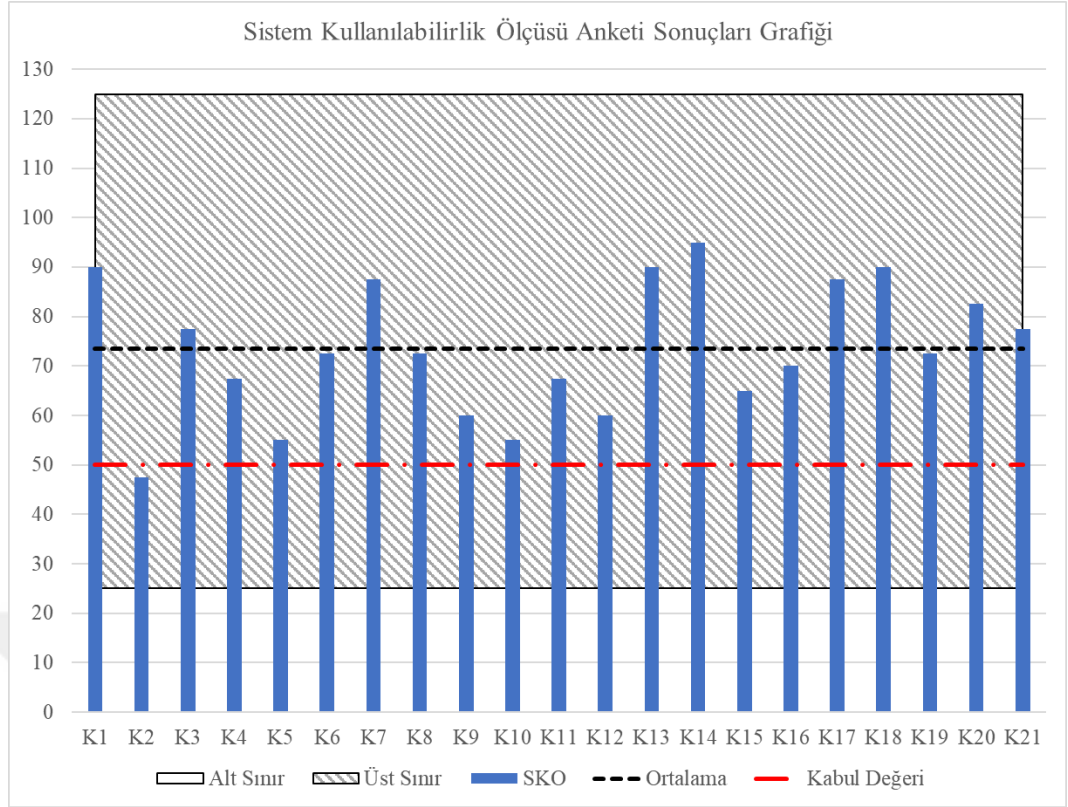
Çizelge 5.20 : SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinin Jarque Bera testi sonuçları.

SKÖ Anketi JB testi	
n	21
c	-0.13
b	-0.93
JB	0.81
p	0.66

Elde edilen veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığına karar vermekte kullanılan Jarque-Bera testi sonuçlarına göre SKÖ anketi kullanılarak elde edilen veri setinde kayıtların tümünün p (anlamlılık) değeri 0.05 değerinden büyük olduğundan dolayı H_A hipotezini reddedip, H_0 hipotezini kabul ederiz. Test ettiğimiz veri setleri içerisindeki tüm kayıtlar normal dağılım göstermektedir.

SKÖ anketi ile elde edilen veri setinde bulunan kayıtların normal dağılım gösterdiklerinin test edilmesinden sonra katılımcıların AG uygulamasının kullanılabilirliğini SKÖ anketi kullanarak değerlendirdikleri çalışmanın sonuçları incelenmiştir.

Doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin katılımcılar tarafından SKÖ anketi kullanılarak değerlendirildiği çalışmada elde edilen değerleri içeren veri setinin grafiği Şekil 5.17’de görülebilmektedir. SKÖ anketi kullanılarak hesaplanan veri setindeki kayıtlar grafikte de görülebileceği gibi alt (25) ve üst (125) sınır içerisinde bulunmaktadırlar. 21 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmada elde edilen veriler incelendiğinde AG uygulamasını bir katılımcının (katılımcı 2) kritik eşik değeri olarak kabul edilen 50 puanın altında değerlendirdiği görülmektedir. AG uygulamasının kalan 20 katılımcı tarafından kritik eşik değeri olan 50 puanın üzerinde puanlarla değerlendirildiği görülmektedir. SKÖ anketi kullanılarak geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğini 50 puanın üzerinde bir puanla değerlendiren 20 kullanıcı arasından 9 tanesinin ise uygulamayı genel anket puanı ortalaması olan 73.5 puandan daha yüksek bir puan vererek değerlendirdikleri sonucu elde edilmiştir. SKÖ puanlarını içeren veri setinin ortalama değeri olan 73.5 puan “sıfat değerlendirme” kriteri kullanılarak yorumlandığında “iyi” seviyesinde, “kabul seviyesi” değerlendirme kriteri kullanılarak yorumlandığında ise “kabul edilebilir” seviyesinde olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 5.17 : SKÖ anketi sonuçlarını içeren grafik.

5.7 “MimAR” Uygulamasının Kullanıldığı Tasarım Egzersizinde Algılanan İş Yükünün Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulaması kullanılarak gerçekleştirilen bir tasarım egzersizinde katılımcıların algıladıkları iş yükü değerlerinin ölçülmesi amacıyla yapılan çalışma 2021-2022 bahar yarıyılında lisans eğitimini tamamlamış 21 katılımcı ile bire bir ve yüz yüze olarak gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar kendilerine verilen tasarım egzersizine AG uygulamasını kullanarak çözüm ürettikleri tasarım egzersizini tamamladıktan sonra:

- İlk olarak algıladıkları iş yükünün ölçülmesi için NASA İş Yükü Endeksi anketini (Ek A) cevaplamışlardır.
- Bu anketin cevaplanmasından sonra katılımcılardan tasarım egzersizinde kullandıkları AG uygulamasından memnuniyetlerinin ölçülmesi amacıyla hazırlanan memnuniyet anketini cevaplamaları istenmiştir (Ek L),

- Memnuniyet anketinin tamamlanmasının ardından katılımcılardan AG uygulamalarının kullanımını etkileyen etkenlerin tanımlanmasında kullanılan AG uygulaması bileşenleri tercih anketini (Ek B) ve
- Geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliğinin ölçülmesinde kullanılan MAGKÖ (Ek D) ve SKÖ (Ek C) anketlerini cevaplamaları talep edilmiştir.

2021-2022 güz döneminde 11 olan katılımcı sayısının 21'e çıkması sonucunda yeni katılımcı sayısını yansıtacak şekilde revize edilen çalışmada elde edilen iş yükü değerlerinin hesaplanması ve elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen kontrol ve testlerin açıklandığı bu bölümde öncelikle çalışmanın düzeneği ile ilgili bilgiler; çalışmanın gerçekleştirildiği şartlar, çalışma ortamının açıklanması, çalışma kapsamında gerçekleştirilen tasarım egzersizinin kapsamı ve katılımcıların tasarım egzersizinde kullandıkları araçların açıklanması şeklinde verilmektedir. Çalışma düzeneğinin açıklanmasından sonra katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarının içeren demografik yapıları ile ilgili kısa bilgiler paylaşılmıştır. Katılımcıların demografik yapıları ile ilgili bilgilerin paylaşılmasından sonra ise iş yükü ile ilgili elde edilen veriler kullanılarak katılımcıların ham ve ağırlıklı iş yüklerinin nasıl hesaplandığı açıklanmıştır.

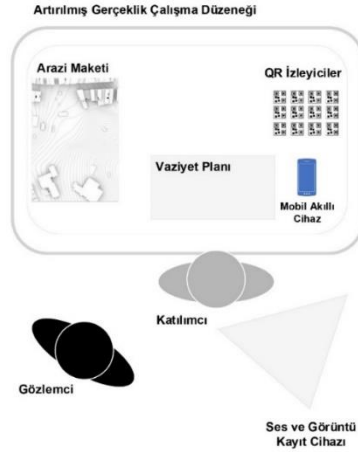
Katılımcıların tasarım egzersizini tamamlamalarından sonra cevapladıkları iş yükü anketi kullanılarak hesaplanan ham ve ağırlıklı iş yükleri değerlerinin istatistiksel testlerde kullanılabilecek tipte veriler olduğunun kontrolünün sağlanması için, veri setleri içerisindeki minimum, maksimum, medyan, ortalama, alt çeyrek, üst çeyrek ve çeyrekler açıklığı değerlerinin bulunması için gerçekleştirilen açıklayıcı analizlerden bahsedilmiştir. Sonrasında gerçekleştirilen açıklayıcı analizler sonucu elde edilen değerler kullanılarak veri seti içerisindeki aykırı değerlerin nasıl kontrol edildiği açıklanmış ve veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığının belirlenmesi için kullanılan Jarque-Bera testinin veri seti üzerinde uygulaması ve testin sonuçları açıklanmıştır.

Elde edilen ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşan veri seti üzerinde gerekli kontrollerin nasıl gerçekleştirildiğinin açıklanmasından sonra ise çalışma sonrasında elde edilen iş yükü değerlerinin eşik değeri olarak kabul edilen değerle karşılaştırılmıştır. Doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının erken tasarım sürecinde kullanılması sonucu katılımcıların algıladıkları iş yükü, geliştirilen bir aracın kullanılması planlanan görevde kullanıcılar tarafından rahatlıkla kullanılabilmesi için gerekli kabul edilen iş yükü değeri olan 60 değeri ile tek örneklem t-testi uygulanarak karşılaştırılmış ve yapılan testin sonuçları açıklanmıştır.

5.7.1 Çalışma düzeneği

Lisans eğitimini tamamlamış tasarımcılarla gerçekleştirilen İş Yüğü Endeksi çalışmasında katılımcılar salgın hastalık önlemleri nedeniyle çalışmanın yapılacağı mekanda tüm çalışma süresince sadece çalışmayı gerçekleştiren araştırmacı ile birlikte bulunmuşlardır. Çalışmanın gerçekleştirildiği mekanlar bir katılımcı ile gerçekleştirilen çalışma tamamlandıktan sonra diğer çalışmanın yapılması planlanan saate kadar havalandırılabilir ve katılımcı ve araştırmacının tüm çalışma süresince salgın önlemleri uyarınca belirlenen güvenli mesafede çalışmalarını sürdürmelerine olanak tanıyacak büyüklükte seçilmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği mekanlarda katılımcının tasarım egzersizinde kısıtlanmadan tasarım yapabilmesini sağlamak amacıyla kullanabileceği genişlikte bir masa ve sandalye bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmalarda katılımcılar kendilerine verilen tasarım egzersizi uyarınca tasarım yaparken kendilerine sağlanan cetvel, gönye, A4 boyutunda eskiz kağıdı, kurşun kalem ve renkli kalemler gibi geleneksel tasarım araçlarının yanı sıra tasarım egzersizine konu olan arazinin 1/500 ölçeğinde arazi maketini ve AG uygulamasının yüklü olduğu mobil akıllı cihazı kullanmışlardır (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 : İş Yüğü Endeksi çalışması düzeneği.

Çalışmanın başlangıcında katılımcılara çalışmanın ana hatları ile ilgili bilgi verilmiş ve çalışmaya katılımları ve çalışma süresince sahip oldukları hakların açıklandığı onam formu verilerek formu doldurup imzalamaları istenmiştir. Katılımcıların onam formunu imzalamalarından sonra AG uygulamasını kullanmaya alışmaları için kendilerinden uygulamayı kullanarak nesneleri çalışma alanına ekleme, nesne döndürme, ölçekleme ve boyut değiştirme gibi temel işlemleri tamamlamalarının beklendiği 10 dakika sürecek bir alıştırma egzersizini tamamlamaları istenmiştir. Katılımcıların alıştırma egzersizini tamamlamalarından sonra kendilerine asıl tasarım egzersizi ile ilgili hazırlanmış mimari problem ilgili tasarım programı ile birlikte verilmiştir. Mimari tasarım egzersizine konu olan arazinin çevresi ile olan ilişkisinin irdelenmesi amacıyla 1/1000 ve fiziksel arazi maketinin de yapıldığı ölçek olan 1/500 ölçeklerinde vaziyet planları bu aşamada katılımcılara verilerek katılımcıların proje arazisi ile ilgili soruları cevaplandırılmıştır.

Katılımcılardan geliştirecekleri tasarım önerileri ile çözümlemeleri beklenen tasarım problemi aşağıda açıklanan şekildedir:

İstanbul Teknik Üniversitesi Maçka kampüsü sınırları içerisinde halihazırda İ.T.Ü. Vakfı otoparkı olarak kullanılan arazi üzerinde İ.T.Ü. öğrencilerinin ve mezunlarının kullanımına sunulacak, dinlenme ve çalışma işlevlerini karşılayacak bir mekan tasarlanması beklenmektedir.

Proje, tasarımcının konuyu ele alış biçimine bağlı olarak arazinin istenen bir yerinde konumlanabilir. İ.T.Ü. Maçka kampüsü içerisinde bulunan bu noktanın üniversite mezunları, çalışanları ve öğrencilerinin kullanımına açık, şehir merkezinde bir çalışma noktası olarak işlev görmesinin yanı sıra bir dinlenme noktası olarak da tasarlanması istenmektedir. Tasarımcılardan doğa verilerinin değerlendirildiği, yarı açık alanlar bağlamında dinlenme/çalışma kavramına yeni bir yorum getirerek mekânsal çözümler geliştirmeleri beklenmektedir (EK - H Tasarım Problemi Tanımı ve Mimari Program).

Katılımcılar kendilerine verilen mimari programı inceledikten ve (varsa) akıllarına takılan soruları araştırmacıya yönelttikten sonra kendilerine sunulan geleneksel tasarım araçlarını ve AG uygulaması yüklü akıllı mobil cihazı kullanacakları yaklaşık 45 dakika sürecek tasarım egzersizine başlarlar. Katılımcıların aksi yönde bir talebi olmaması durumunda tüm tasarım egzersizi çalışma tamamlandıktan sonra bir problemle karşılaşılması durumunda kontrol edilebilmesi ve referans malzemesi oluşturabilmesi için ses ve görüntü cihazı kullanılarak kayıt altına alınmaktadır. Gözlemci tarafından kontrol edilen ses ve görüntü kayıt cihazı katılımcıların tanınabilirliğini sağlamayacak şekilde tüm egzersiz boyunca çalışma alanı ve mobil akıllı cihazın ekranına odaklanmış durumda kayıt alacak şekilde konumlandırılmıştır.

Katılımcılar tasarım egzersizini kendilerine tanınan süre içerisinde istedikleri aracı istedikleri süre boyunca kullanarak tamamlamakta özgür bırakılmışlardır. Katılımcılar kendilerine verilen 45 dakikanın tamamını kullanmak zorunda olmadıklarından bazı katılımcıların tasarım çözümlerinden memnun olarak süreyi tamamlamadıkları görülmüştür.

Katılımcıların tasarım egzersizini tamamlamaları için kendilerine tanınan süre içerisinde tasarım çözümlerini geliştirmelerinden sonra ilk olarak NASA İş Yüğü Endeksi anketi ile ilgili bilgi verilerek bu anketi doldurmaları istenir. NASA İş Yüğü Endeksi Anketinin tamamlanmasından sonra ise Karşılaştırmalı Artırılmış Gerçeklik Memnuniyet Anketi, AG uygulamalarında Kullanıcıların Beklentileri Anketi, Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Anketi ve Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü Anketi katılımcılara verilerek bu anketlerin cevaplanması istenmiştir.

Çalışmaya katılan 21 katılımcı (Çizelge 5.21) cinsiyetlerine göre gruplandığında çalışmanın 15 kadın ve 6 erkek katılımcı ile yürütüldüğü görülmektedir. Katılımcıları eğitim durumlarına göre grupladığımızda ise katılımcıların tümünün lisans eğitimini tamamladığı ve çalışmanın doktora derecesine sahip 3 katılımcı, yüksek lisans derecesine sahip 13 katılımcı ve lisans derecesine sahip 5 katılımcı ile yürütüldüğü görülmektedir.

Çizelge 5.21 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre yüzdelik dağılımları.

Cinsiyet	Sayı	%	Eğitim	Sayı	%
Erkek	6	28.57	Lisans	5	23.81
Kadın	15	71.43	Y. Lisans	13	61.9
			Doktora	3	14.29

5.7.2 NASA iş yükü endeksi anketi sonuçları

Katılımcılardan kendilerine verilen bir tasarım problemine doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasını kullanarak çözüm üretmelerinin istendiği tasarım egzersizi sürecince algıladıkları iş yükünü NASA İş Yükü Endeksi anketini kullanarak tanımlamaları istenmiştir. Katılımcılar tasarım egzersizi süresince AG uygulaması kullanarak algıladıkları iş yükünü endeksin düşünsel beklenti, fiziksel beklenti, zamansal beklenti, çaba, performans ve kaydı seviyesi olmak üzere altı kriteri kullanarak tanımlamaktadırlar.

Katılımcıların tasarım egzersizini tamamlandıktan sonra cevapladıkları NASA İş Yükü Endeksi anketi sonuçları ham ve ağırlıklı iş yükü sonuçlarının hesaplanması için kullanılmak üzere dijital ortamda bir tablo haline getirilmiştir. Çizelgede katılımcıları tanımlamak için katılımcı numaraları, ağırlıklı iş yükünü hesaplamakta kullanılmak üzere katılımcıların kendilerine verilen çiftler arasından seçtikleri değişkenlerin tercih edilme ağırlıklarını gösteren kat sayıları, iş yükü değişkenlerinin değerleri ve iş yükü değerinin hesaplanmasında kullanılan değişkenler ile katılımcıların iş yükünü oluşturan kriterlere verdikleri puanlar kullanılarak yapılan hesaplanma sonucu elde edilen ham ve ağırlıklı iş yükü değerleri yer almaktadır. Bahsedilen şekilde oluşturulan çizelgede:

$K_1, K_2, K_3, \dots K_n$ = Katılımcı numarası

DB_A = Düşünsel Beklenti ağırlığı katsayısı

FB_A = Fiziksel Beklenti ağırlığı katsayısı

ZB_A = Zamansal Beklenti ağırlığı katsayısı

$\mathcal{C}_A$ = Çaba ağırlığı katsayısı

P_A = Performans ağırlığı katsayısı

KS_A = Kaygı Seviyesi ağırlığı katsayısı

DB = Düşünsel Beklenti değeri

FB = Fiziksel Beklenti değeri

ZB = Zamansal Beklenti değeri

$\mathcal{C}$ = Çaba değeri

P = Performans değeri

KS = Kaygı Seviyesi değeri

$HİY$ = Ham İş Yüğü Değeri

$AİY$ = Ağırlıklı İş Yüğü Değeri'ni göstermektedir.

Katılımcıların tasarım egzersizini tamamlamalarından sonra cevapladıkları NASA İş Yüğü Endeksi anketi sonuçları, Ham İş Yüğü ($HİY$) ve Ağırlıklı İş Yüğü ($AİY$) değerlerinin hesaplanmasında kullanılan denklem 5.1 ve denklem 5.2 kullanılarak her katılımcı için bireysel $HİY$ ve $AİY$ değerleri hesaplanmıştır. Katılımcıların bireysel $HİY$ ve $AİY$ değerlerinin yanı sıra tüm veri seti için bütün değişkenlerin ortalama değerleri de hesaplanıp Çizelge 5.22 oluşturulmuştur.

Çizelge 5.22 : İş yükü değerleri.

K.No	DB _A	FB _A	ZB _A	Ç _A	P _A	KS _A	DB	FB	ZB	Ç	P	KS	HİY	AİY
1	1	5	2	3	4	0	40	70	50	0	10	10	30.00	35.33
2	2	3	4	1	0	5	75	50	40	65	85	85	66.67	63.33
3	0	1	4	3	4	2	25	20	70	15	80	70	46.67	53.67
4	2	6	0	4	1	2	3	80	30	80	15	15	41.67	60.33
5	2	0	4	5	2	2	60	25	70	70	25	55	50.83	60.67
6	3	6	0	2	3	1	75	90	25	40	50	15	49.17	67.33
7	5	3	0	3	3	1	65	50	25	35	75	25	45.83	55.33
8	0	5	1	5	2	2	30	80	40	85	70	70	62.50	76.33
9	2	0	3	5	2	3	70	20	45	60	50	40	47.50	53.00
10	4	6	2	1	2	0	75	95	50	85	65	20	65.00	79.00
11	2	1	1	4	4	3	70	45	30	85	40	70	56.67	61.67
12	3	1	4	5	2	0	80	30	40	70	30	20	45.00	56.00
13	4	4	2	1	4	0	80	60	40	25	20	15	40.00	49.67
14	3	3	0	5	3	1	75	65	15	60	35	20	45.00	56.33
15	2	2	3	3	2	3	80	50	90	70	80	80	75.00	76.00
16	1	1	5	4	1	3	85	75	95	95	15	80	74.17	84.67
17	4	0	2	4	3	2	80	10	70	70	95	100	70.83	81.67
18	3	0	3	3	1	5	80	25	45	75	70	70	60.83	68.00
19	2	5	0	2	4	2	80	90	70	90	55	55	73.33	74.67
20	1	2	4	4	4	0	15	40	70	60	80	10	45.83	62.33
21	1	5	2	4	3	0	25	70	55	85	35	5	45.83	62.00
Ort.	2.24	2.81	2.19	3.38	2.57	1.76	61.67	54.29	50.71	62.86	51.43	44.29	54.21	63.68

Katılımcıların NASA İş Yüğü anketine verdikleri cevaplardan iş yükü tablosunun oluşturulmasından sonra veri içerisinde, veri setinin istatistiksel analizlerde kullanıldığında hatalı sonuçlar yaratabilecek aykırı değerlerin (*outlier*) olup olmadığı incelenmiştir. Aykırı değerler, verinin geri kalanından anlamlı derecede farklı olan değerlerdir (Igual ve diğ., 2017, p. 35).

Veri seti içerisinde aykırı değer olup olmadığının hesaplanmasında öncelikle veri seti içerisindeki medyan değeri bulunur. Medyan değeri veri seti içerisindeki değerlerin %50'sinden büyük, aynı zamanda da %50'sinden küçük olan değeri ifade etmektedir (Bonamente, 2017, p. 109). Medyan değerinin hesaplanmasında veri seti içerisindeki kayıt sayısı kullanılmaktadır. Veri seti içerisindeki değerler küçükten büyüğe sıralandıktan sonra kayıt sayısı tek ise, örneğin 43, veri setinin medyan değeri küçükten büyüğe sıralanmış değerlerin tam ortasına denk gelen değer yani 22. kayıta bulunan değer olacaktır. Veri setinde 43 kayıt bulunduğundan dolayı 22 numaralı kayıta önce 21, sonra ise yine 21 adet kayıt bulunmaktadır. Veri seti içerisinde bulunan kayıt sayısı çift sayı ise, örneğin 36, bu veri setinin medyan değeri yine

kayıtların küçükten büyüğe sıralanmasından sonra veri setinin tam ortasında yer alan 18 ve 19 numaralı kayıtların aritmetik ortalamasının alınması ile bulunmaktadır (Madsen, 2016, p. 31). Veri setinin medyan değerinin bulunmasından sonra veri setinin alt ve üst çeyrekler (quantile) değerleri hesaplanabilir. Medyan değerinden küçük olan değerlerin medyanı alt çeyrek, medyan değerinden büyük olan değerlerin medyanı ise üst çeyrek olarak tanımlanmaktadır. Veri setinin çeyrekleri arasındaki fark, çeyrekler açıklığı (*inter quartile range / IQR*) olarak tanımlanır ve üst çeyrek değerinden alt çeyrek değerlerinin farkının alınması ile hesaplanır (Madsen, 2016, p. 39).

Katılımcıların tasarım egzersizinde kullandıkları AG uygulamasının kendilerine oluşturduğu iş yükünün hesaplanmasında kullanılmak üzere toplanan verinin içerisindeki aykırı değerlerin hesaplanabilmesi için iş yükü tablosundaki değerler kullanılarak öncelikle veri seti içerisindeki kayıtlar küçükten büyüğe olmak üzere sıralanarak yeni bir çizelge oluşturulmuştur (Çizelge 5.23).

Çizelge 5.23 : İş Yükü veri setinin medyan, alt ve üst çeyrek değerleri.

	HİY		AİY
K1	30.00	K1	35.33
K13	40.00	K13	49.67
K4	41.67	K9	53.00
K14	45.00	K3	53.67
K12	45.00	K7	55.33
K7	45.83 45.42 Ç1	K12	56.00 55.67 Ç1
K20	45.83	K14	56.33
K21	45.83	K4	60.33
K3	46.67	K5	60.67
K9	47.50	K11	61.67
K6	49.17 49.17 Medyan	K21	62.00 62.00 Medyan
K5	50.83	K20	62.33
K11	56.67	K2	63.33
K18	60.83	K6	67.33
K8	62.50	K18	68.00
K10	65.00	K19	74.67
K2	66.67 65.83 Ç3	K15	76.00 75.33 Ç3
K17	70.83	K8	76.33
K19	73.33	K10	79.00
K16	74.17	K17	81.67
K15	75.00	K16	84.67

Veri seti içerisinde 21 adet kayıt olduğu göz önünde bulundurularak ve oluşturulan çizelge kullanılarak veri setinin HİY ve AİY kriterleri için medyan, alt çeyrek, üst çeyrek, çeyrekler açıklığı değerleri (ÇAD) aşağıdaki gibi bulunmuştur.

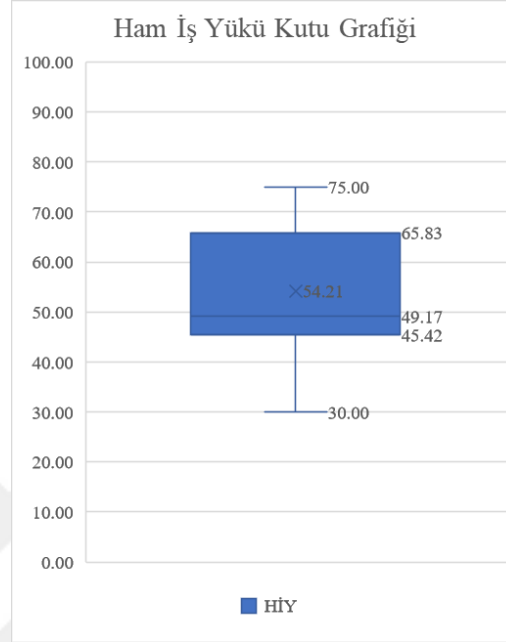
HİY	AİY
Ç1 = 45.42	Ç1 = 55.67
Medyan = 49.17	Medyan = 62
Ç3 = 65.83	Ç3 = 75.33
ÇAD = 65.83- 45.42 = 20.41	ÇAD = 75.33 – 55.67 = 19.66

Veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunup bulunmadığı; alt çeyrek değerinden ÇAD değerinin bir buçuk katının çıkarılması ve ÇAD değerinin bir buçuk katının üst çeyrek değeri ile toplanması ile elde edilen değerlerin dışında veri bulunup bulunmadığının kontrolü ile sağlanmaktadır (Yang ve diğ., 2019). Böylelikle HİY ve AİY değerleri içerisinde aykırı değerlerin bulunup aşağıdaki gibi hesaplanıp kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde veri seti içerisinde aykırı bir değer bulunmadığı görülmüştür.

HİY	AİY
ÇADx1,5 =20.41x1.5 = 30.62	ÇADx1.5 = 19.66 x1,5 = 29.5
Alt Sınır = 45.42 – 30.62 = 14.8	Alt Sınır = 55,67 – 29,5 = 26.17
Üst Sınır = 65.83 + 30.62 = 96.45	Üst Sınır = 75.33 + 29.5 = 104.83

Ham iş yükü ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşan veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmadığı çeyrek açıklığı değerleri aralığı kontrolü yapılarak gözlemlendikten sonra veri seti içerisindeki kayıtlar kutu grafiği (box-plot) grafik yöntemi kullanılarak görselleştirilmiştir. Verilerin kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmesinin amacı denklemler kullanarak elde edilen ve sayısal olarak ifade edilen veri setine ait değerlerin, veri setinde aykırı değer bulunup bulunmadığının ve veri dağılımının ne şekilde olduğunun grafik olarak ifadesini elde ederek veri seti içerisindeki değerlerin dağılımını bir kez de görsel olarak kontrol etmektir.

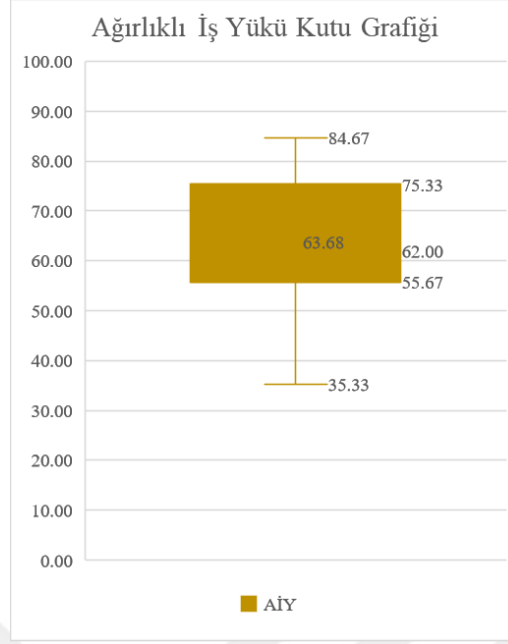
Kutu grafiği kullanılarak ifade edilen ham iş yükü değerlerinden oluşan grafik incelendiğinde; minimum, maksimum, medyan, ortalama değerler ve veri setinin yarısını oluşturan birinci çeyrekten üçüncü çeyreğe kadar olan verilerin veri seti içerisinde nerede bulunduğu grafik olarak görülebilmektedir (şekil 5.19).



şekil 5.19 : Ham iş yükü veri seti değerlerinin kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmesi.

Ham iş yükü grafiği incelendiğinde grafiğin alt kısmında minimum değer gösteren izgin, grafiğin maksimum değerini gösteren çizgiden uzun olduğundan dolayı medyan değerinin (49.17) ortalamadan (54.21) düşük ve veri kayıtlarının çoğunun değerlerinin ortalamadan az olduğu görülebilmektedir. Bu nedenle veri setinin histogram yöntemi ile grafiğinin çizildiği durumda verinin az miktarda sola çarpık olduğu, yani çoğunluğun ortalamadan daha az bir değer taşıdığının görülmesi beklenmektedir.

Ağırlıklı iş yükü değerlerinin kutu grafiği yöntemi kullanılarak grafiksel olarak ifade edilmesi sonucu elde edilen grafik incelendiğinde veri seti içerisindeki minimum, maksimum, ortalama, medyan, alt çeyrek ve ř çeyrek değerleri ve veri seti içerisindeki dağılım görülebilmektedir (şekil 5.20).



Şekil 5.20 : Ağırlıklı iş yükü veri seti değerlerinin kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmesi.

Ham iş yükü veri seti ile karşılaştırıldığında ağırlıklı iş yükü veri seti içinde minimum, maksimum, ortalama ve medyan değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca veri seti içerisinde medyan (62) ve ortalama değerlerinin (63.68) çok yakın olduğu ve grafiğin alt çizgisinin üst çizgiden uzun olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle veri setini oluşturan değerlerin histogram yöntemi kullanılarak grafiğinin elde edilmesi durumunda veride az miktarda sola çarpıklık görüleceği beklenmektedir.

Bahsedilen aşamalardan sonra katılımcıların iş yüklerini ifade eden veri setlerinin normal dağılıma sahip olup olmadıkları, herhangi bir veri setinin normal dağılım gösteren bir veri setinin çarpıklık (*skewness*) ve basıklık (*kurtosis*) değerlerine sahip olup olmadığını test etmek için kullanılan Jarque – Bera (JB) testi kullanılarak kontrol edilmiştir (Jarque ve Bera, 1987; Thadewald ve Büning, 2007).

Bir veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığını test etmekte kullanılan yöntemlerden biri olan Jarque-Bera testi veri normal bir dağılıma sahiptir anlamına gelen H_0 ve veri normal bir dağılıma sahip değildir anlamına gelen H_A hipotezlerini test etmektedir.

Bahsedilen test:

JB: Jarque-Bera

n: gözlem sayısı

c: örneklem çarpıklığı (skewness)

b: örneklem basıklığı (kurtosis) olmak üzere denklem 5.7'de ifade edilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$JB = \left(\frac{n}{6}\right) * (c^2 + \left(\frac{b^2}{4}\right)) \quad (5.7)$$

H₀ hipotezinin kabul edilmesi için JB testi sonucunun 2 serbestlik derecesine sahip chi² (χ²) testine uygun olması gerekmektedir. Bu nedenle JB testinin p değeri excel programı kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen p değeri 0,05 değerinden küçükse H₀ hipotezini reddedip, veri seti normal bir dağılıma sahip değildir anlamına gelen H_A alternatif hipotezini kabul etmek gerekmektedir. Elde edilen p değeri 0,05 değerinden büyükse veri normal bir dağılıma sahiptir anlamına gelen H₀ hipotezi kabul edilmektedir.

Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşan veri setleri JB testi kullanılarak kontrol edildiğinde JB değerleri sırasıyla 1.009 ve 0.123 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak gerçekleştirilen 2 serbestlik derecesine sahip χ² testinin sonucunda ise sırasıyla 0,603 ve 0,94 değerleri elde edilmiştir. Her iki veri seti için hesaplanan p değerleri 0,05 değerinden büyük olduğundan dolayı veri setlerinin JB testine göre normal dağılım gösterdikleri varsayımı kabul edilebilir (Çizelge 5.24).

Çizelge 5.24 : Ham ve Ağırlıklı İş Yükü değerlerinin JB testi sonuçları.

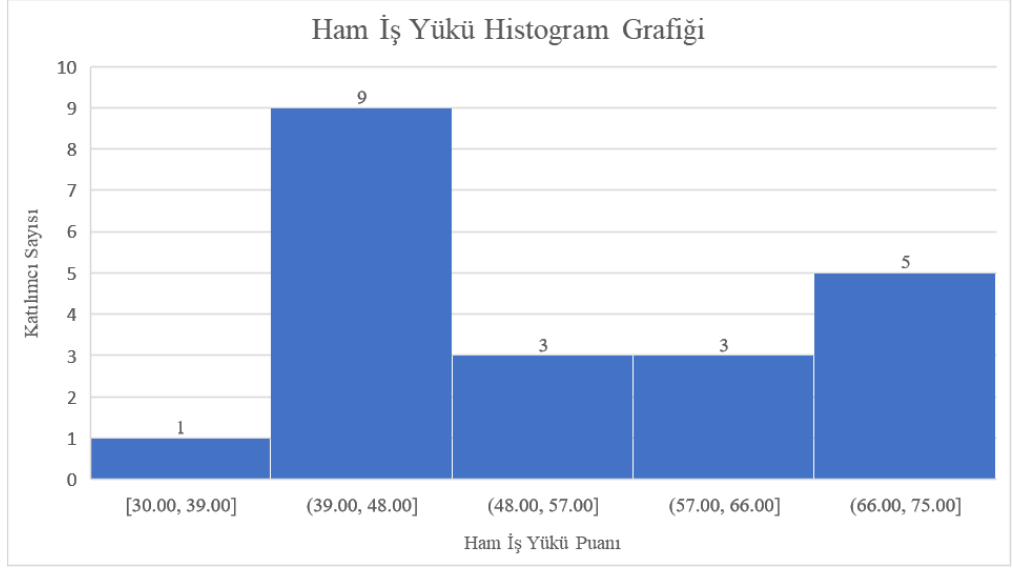
HİY	AİY
n = 21	n = 21
c = 0,24	c = - 0,16
b = - 0,95	b = 0,16
JB = 1.009	JB = 0.123
P =0.603	P =0.940

Katılımcıların ham ve ağırlıklı iş yüklerinden oluşan veri setlerinin normal dağılıma sahip olup olmadıkları Jargue-Bera testi kullanılarak kontrol edildikten sonra histogram yöntemi kullanılarak görselleştirilmişlerdir. Veri setlerinin histogram yöntemi kullanılarak grafiklerinin oluşturulmasında kullanılacak kutu (*bin*) sayısına veri setindeki kayıt sayısına göre karar verilmektedir. Kutu sayısının hesaplanmasında veri kayıt sayısının karekökü alınarak yukarıya yuvarlanarak elde edilen sayı kullanılmaktadır. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinin bulunduğu veri seti içerisinde 21 veri kaydı olduğundan dolayı 21'in karekökü alındıktan sonra elde edilen 4,58 sayısı yukarıya yuvarlanarak histogram grafiğinde kullanılacak kutu sayısı olarak 5 sayısı elde edilmiştir. Histogram grafiğinin oluşturulmasında kullanılacak diğer bir değer olan kutu genişliği ise veri seti içerisindeki maksimum ve minimum değerlerin farkının kutu sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. Ham iş yükü değerlerinden oluşan veri setinin kutu genişliği değeri 9 olarak, ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşan veri setinin kutu genişliği değeri ise 9,86 olarak hesaplanmıştır. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinde oluşan veri setlerinin kutu sayıları ve kutu genişlikleri hesaplandıktan sonra veriler belirlenen kutulara Çizelge 5.25'te görüldüğü şekilde yerleştirilmişlerdir.

Çizelge 5.25 : Ham ve Ağırlıklı İş Yükü veri setlerinin histogram kutu değerleri ve frekansları.

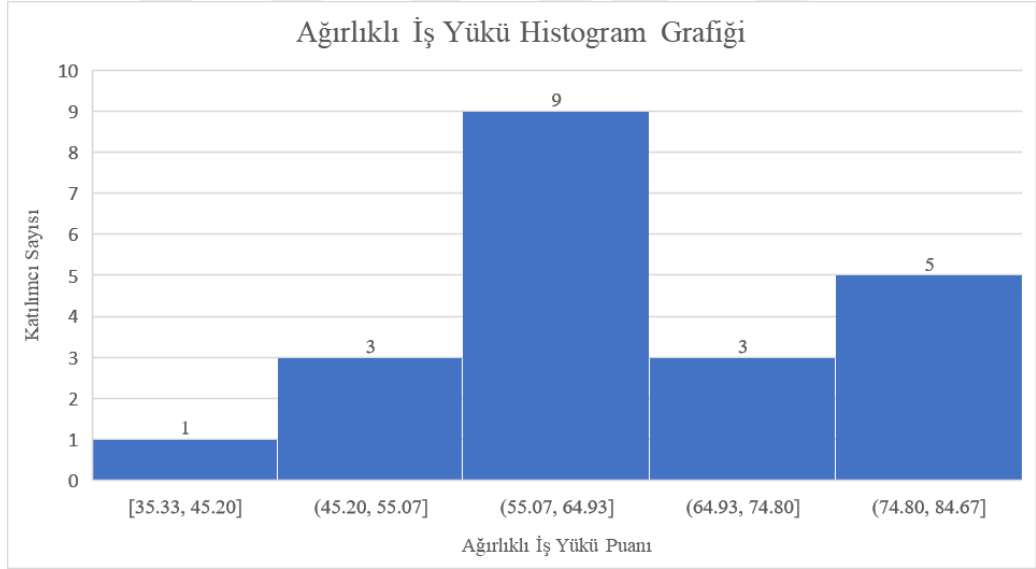
HİY	AİY
30 - 39 = 1	35,33 – 45,20 = 1
39 - 48 = 9	45,20 – 55,07 = 3
48 - 57 = 3	55,07 – 64,93 = 9
57 - 66 = 3	64,93 – 74,8 = 3
66 -100= 5	74,8 - 100 = 5

Ham iş yükü değerleri kullanılarak oluşturulan histogram grafiği incelendiğinde veri seti beklendiği gibi sağa yatık bir şekilde görselleştirildiği görülmektedir. Histogram grafiğinin sağa yatık olması veri seti içerisindeki değerler içerisinde grafiğin ortalama değeri olan 54,21 değerinin soluna doğru yani düşük değerlere doğru bir yığılma olduğunu göstermektedir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21 : Ham İş Yüğü Değerlerinin dağılımını gösteren histogram grafiği.

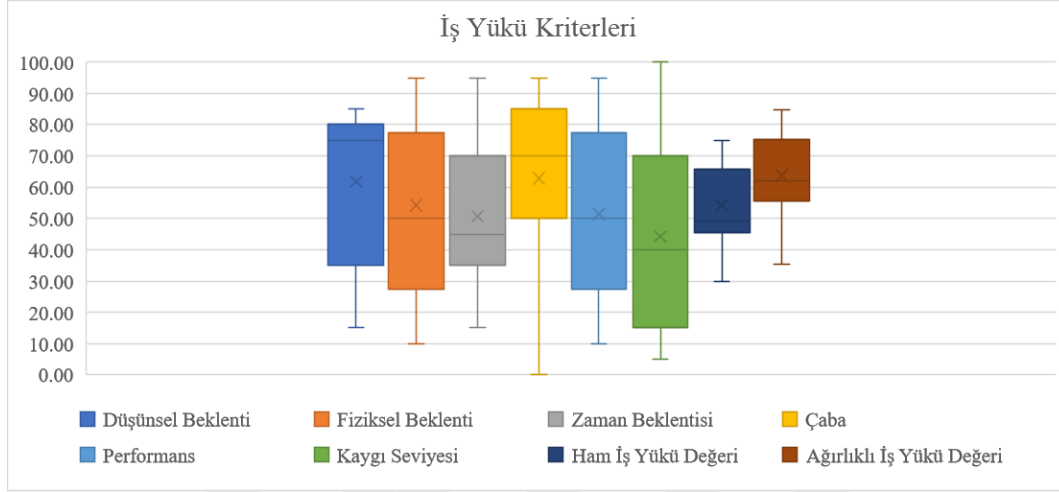
Ağırlıklı iş yükü değerleri kullanılarak oluşturulan histogram grafiği incelendiğinde ise veri setinin ham iş yükü değerlerinin bulunduğu veri setine göre normale daha yakın bir dağılıma sahip olduğu sonucuna varılabilmektedir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 : Ağırlıklı İş Yüğü Değerlerinin dağılımını gösteren histogram grafiği.

Katılımcıların kendilerine verilen tasarım problemine AG uygulamasını kullanarak çözüm ürettikleri tasarım egzersizi sırasında deneyimledikleri iş yükünü değerlendirdikleri çalışma sonucunda elde edilen veriler kullanılarak ham ve ağırlıklı iş yükü değerleri hesaplanmış ve ilgili veri setleri oluşturulmuştur. Oluşturulan veri setleri üzerinde açıklayıcı analizlerin yapılmasından sonra veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunup bulunmadığı ve veri setinin normal dağılıma sahip olup olmadığı

konusunda gerekli testler gerçekleştirilmiştir. Veri setlerinin normal bir dağılıma sahip oldukları varsayımının kabulü ve veri setlerinin dağılımlarının grafik gösteriminin kontrolünden sonra katılımcıların NASA İş Yüğü Endeksi anketine verdikleri cevapların dağılımları kutu grafiği kullanılarak görselleştirilmiştir. (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 : Katılımcıların kriterlere göre cevaplarının dağılımını gösteren kutu grafik.

Bahsedilen kontrollerin yapılmasından sonra elde edilen veri seti kullanılarak veri setini oluşturan popülasyondan elde edilen ortalama değerin, bu değerle karşılaştırılacak olan eşik değeri olarak kabul edilen iş yükü değerinden (60) istatistiksel olarak farklı olup olmadığının kontrol edilmesinde kullanılacak yöntem olan tek örneklem t-testi uygulanmıştır. Bir veri seti üzerinde tek örneklem t testinin uygulanabilmesi için veri setinin belirli koşulları karşılaması gerekmektedir. Testin yapılabilmesi için gerekli koşullar ve bu koşulların açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- Test değişkeninin sürekli olması gerekmektedir. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşan veri setlerindeki değerler sürekli değerlerdir. Ayrık ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılabilen veri tiplerinden birisi olan sürekli veriler sonsuz bir ölçek üzerinde ölçülebilen ve iki sayı arasında herhangi bir değeri alabilen sayılardır. Bu sayılar herhangi bir ölçek üzerinde tanımlanabilirler.
- Test değişkenini oluşturan değerlerin bağımsız olması gerekmektedir. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşturulan veri setleri ile bu veri setlerinin ortalamalarının karşılaştırılacağı değerin elde edildiği popülasyonlar aynı katılımcılardan oluşmadığından dolayı test değişkenini oluşturan değerler bağımsızdır.

- Veri setinin popülasyondan gelişigüzel seçilmiş olması gerekmektedir. Çalışmanın katılımcıları uygunluk örneklem yöntemine göre seçilmişlerdir. Gelişigüzel örneklem yöntemi araştırmacının çalışma için gerekli katılımcı sayısına karar verdikten sonra popülasyon içerisinde piyango usulüne veya gelişigüzel katılımcı numarası seçme yöntemini kullanarak katılımcıları seçmesine dayanmaktadır. Uygunluk örneklem yönteminde ise araştırmacı katılımcıları erişim kolaylığı, uygunlukları ve çalışmaya katılma isteklerine göre çalışmaya dahil etmektedir. Gelişigüzel örneklem yöntemi çalışmaya katılacak kişi sayısının fazla olduğu durumlarda kullanılabilecek bir yöntemdir. İş Yüğü çalışması kurgulanırken katılımın tamamen gönüllü olması ve çalışmanın salgın koşulları altında kısıtlı bir zamanda yapılması gelişigüzel örneklem seçiminin yapılabileceği sayıda katılımcıya ulaşamayacağı düşünüldüğünden dolayı çalışmada popülasyonun uygunluk örneklem yöntemi kullanılarak seçilmesine karar verilmiştir. Tek örneklem t-testinin elde edilen veri seti üzerinde uygulanmasında popülasyonun gelişigüzel seçilmiş olduğu kabulü yapılmıştır.
- Test değişkeninin normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden elde edilen veri setinin normal dağılım gösterdiği, veri seti üzerinde Jargue-Bera normallik testi uygulanarak kontrol edilmiştir. Test sonucunda ham (0,97) ve ağırlıklı (0,99) iş yükü veri setlerinin p değerleri 0.05 değerinden büyük olduklarından dolayı veri seti normal dağılım göstermektedir olan H_0 hipotezi kabul edilmiştir.
- Veri seti içerisinde aykırı değerlerin bulunmaması gerekmektedir. Ham ve ağırlıklı iş yükü değerlerinden oluşturulan veri setleri açıklayıcı analizler kullanılarak veri seti içerisindeki minimum, maksimum, meydan, ortalama, alt çeyrek, üst çeyrek ve çeyrekler açıklığı değerleri hesaplandıktan sonra aykırı değerlerin tanımlanmasında kullanılacak alt ve üst değerler bulunmuştur. Aykırı değerlerin tanımlanmasında kullanılacak alt ve üst değerlere göre veri seti içerisinde bu aralığın dışında kalan ölçüm olup olmadığı kontrol edilmiş, sonuçta veri setleri içerisinde aykırı değer bulunmadığına karar verilmiştir. Veri setleri ayrıca kutu grafik yöntemi kullanılarak görsel bir şekilde ifade edilerek aykırı değer kontrolü yapılmıştır.

Bir veri seti ve bu veri setinin ortalamasının karşılaştırılabileceği bilinen veya hipoteze bağlı bir sayının istatistiksel olarak farklı olup olmadığının kontrol edilmesinde kullanılan tek örneklem t-testinin gerçekleştirilebilmesi için veri setinin ortalamasına, standart sapmasına ve kayıt (gözlem) sayısına ihtiyaç duyulmaktadır. Test karşılaştırılan ortalamalar arasında istatistiksel olarak fark yoktur anlamına gelen H_0 ve karşılaştırılan ortalamalar arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmaktadır anlamına gelen H_A hipotezlerini test etmektedir. Test sonucunda elde edilen p değeri 0,05'ten büyükse karşılaştırılan ortalamalar istatistiksel olarak bir fark olmadığı anlamına gelen H_0 hipotezini kabul ederiz. Tek örneklem t-testi:

t = hesaplanan t değeri

μ_0 = test değeri (veri setinin karşılaştırıldığı değer)

$\bar{x}$ = Örneklem ortalaması

n = Örneklem sayısı

SD = Örneklem Standart Sapma değeri

df = özgürlük derecesi ($n-1$)

S_x = Örneklem ortalamasındaki standart hata değeri olmak üzere denklem 5.8'de ifade edilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$S_x = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

(5.8)

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S_x}$$

Katılımcıların AG uygulaması kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım egzersizinde AG uygulamasının oluşturduğu iş yükünün ham ve ağırlıklı olarak hesaplanması ile elde edilen veri setlerinin kabul edilebilir iş yükü değeri olarak çeşitli çalışmalarda kullanılan 60 değeri ile karşılaştırılması ile yapıldığı çalışmada tek örneklem t-testinin sonuçları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Ham ve ağırlıklı iş yükü veri setleri için ayrı ayrı tek örneklem t- testi uygulandıktan sonra elde edilen hesaplanan t değerleri kullanılarak ortalamaların istatistiksel olarak farklı olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılacak p_{hiy} ve p_{aiy} değerlerinin bulunması için excel programı kullanılarak çift kuyruklu t testi fonksiyonu uygulanmıştır

Tek örneklem t-testinin sonuçlarına göre elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ham iş yükü veri seti kullanılarak yapılan tek örneklem t -testi sonucunda p_{hiy} olarak hesaplanan 0,0000114223 sayısı, 0.05 olan p değerinden küçük olduğundan dolayı H_0 hipotezini reddedip H_A hipotezini kabul ederiz. Ham iş yükü veri seti ile karşılaştırılan kabul edilebilir iş yükü değeri arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmaktadır (Çizelge 5.26).

Çizelge 5.26 : Ham iş yükü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen çift kuyruklu t-testi sonucu elde edilen değerler.

	HİY	AİY
$\mu_0 =$	60	60
$\bar{x} =$	54,21	63,68
$n =$	21	21
$SD =$	12,89777	12,01919
$S_x =$	2,814524516	2,62280154
$df =$	20	20
$t =$	-5,79	3,68
$p =$	0,0000114223	0,00147602

$$p_{hiy} < p (0,000114223 < 0,05)$$

H_0 red, H_A kabul

Ağırlıklı iş yükü veri seti kullanılarak yapılan tek örneklem t- testi sonucunda ise p_{aiy} olarak hesaplanan 0,00147602 sayısı, 0,05 olan p değerinden küçük olduğundan dolayı H_0 hipotezini reddedip H_A hipotezini kabul etmemiz gerekmektedir. Ağırlıklı iş yükü veri seti ile karşılaştırılan kabul edilebilir iş yükü değerleri arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmaktadır.

$$p_{aiy} < p (0,00147502 < 0.05)$$

H_0 red, H_A kabul

Ham iş yükü veri seti kullanılarak yapılan tek örneklem t-testi sonucunda hesaplanan p değerinin 0,05 değerinden küçük olması nedeniyle karşılaştırılan değerler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmaktadır sonucuna varılması sonrasında bu farkın açıklanabilmesi ham iş yükü değerini barındıran veri seti kullanılarak hesaplanan t değeri excel programı içerisinde tek kuyruklu t testi fonksiyonu kullanılarak yeni p değerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Tek kuyruklu tek örneklem t-testi ölçülen değer karşılaştırılan değerden büyük ya da eşittir olarak tanımlanan H_0 ve ölçülen değer karşılaştırılan değerden küçüktür olarak tanımlanan H_A hipotezlerini test etmektedir. Hesaplanan p değeri kritik p değerinden büyükse alternatif hipotez reddedilip sıfır hipotezi kabul ($p > 0.05$) edilmektedir. Hesaplanan p değeri kritik p değerinden küçükse sıfır hipotezi reddedilip alternatif hipotez kabul ($p < 0.05$) edilir.

Tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucunda hesaplanan 0,0000057112 olarak hesaplanan p değeri, 0,05 olan kritik p değerinden küçük olduğundan dolayı H_0 hipotezini reddedip H_A hipotezini kabul ederiz. Ham iş yükü veri seti karşılaştırılan değerden (60) istatistiksel olarak küçüktür hipotezi kabul edilmektedir (Çizelge 5.27).

Çizelge 5.27 : Ham iş yükü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucu elde edilen değerler.

	HİY
$\mu_0 =$	60
$\bar{x} =$	54,21
$n =$	21
$SD =$	12,89777
$S_x =$	2,814524516
$df =$	20
$t =$	-5,79
$p =$	0,0000057112

Ağırlıklı iş yükü veri seti kullanılarak yapılan tek örneklem t-testi sonucunda hesaplanan p değerinin 0,05 değerinden küçük olması nedeniyle karşılaştırılan değerler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmaktadır sonucuna varılması sonrasında bu farkın açıklanabilmesi ham iş yükü değerini barındıran veri seti kullanılarak hesaplanan t değeri excel programı içerisinde tek kuyruklu t testi fonksiyonu kullanılarak yeni p değerinin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Tek kuyruklu tek örneklem t-testi ölçülen değer karşılaştırılan değerden büyük ya da eşittir olarak tanımlanan H_0 ve ölçülen değer karşılaştırılan değerden küçüktür olarak tanımlanan H_A hipotezlerini test etmektedir. Hesaplanan p değeri kritik p değerinden büyükse alternatif hipotez reddedilip sıfır hipotezi kabul ($p > 0.05$) edilmektedir. Hesaplanan p değeri kritik p değerinden küçükse sıfır hipotezi reddedilip alternatif hipotez kabul ($p < 0.05$) edilir.

Tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucunda hesaplanan 0,99 olarak hesaplanan p değeri, 0,05 olan kritik p değerinden büyük olduğundan dolayı H_A hipotezini reddedip H_0 hipotezini kabul ederiz. Ağırlıklı iş yükü veri seti karşılaştırılan değerden (60) istatistiksel olarak büyük veya eşittir hipotezi kabul edilmektedir (Çizelge 5.28).

Çizelge 5.28 : Ağırlıklı İş Yükü veri seti kullanılarak gerçekleştirilen tek kuyruklu tek örneklem t-testi sonucu elde edilen değerler.

	AİY
$\mu_0 =$	60
$\bar{x} =$	63,268
$n =$	21
$SD =$	12,01919
$S_x =$	2,62280154
$df =$	20
$t =$	3,68
$p =$	0,99

5.8 Erken Tasarım Evresinde Kullanılacak Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri

2021-2022 Bahar döneminde Doktora çalışmaları kapsamında gönüllü katılımcılarla gerçekleştirilen tasarım egzersizlerinde elde edilen veri kullanılarak tasarım sürecinin erken evresinde kullanılması planlanan bir AG uygulamasında kullanıcı tercihlerini etkileyen kriterlerin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışma yayına hazırlanmış ve 25 Haziran 2022 tarihinde Eskişehir’de yapılan sempozyumda sunulmuştur (Durmazoğlu ve Gül, 2022b).

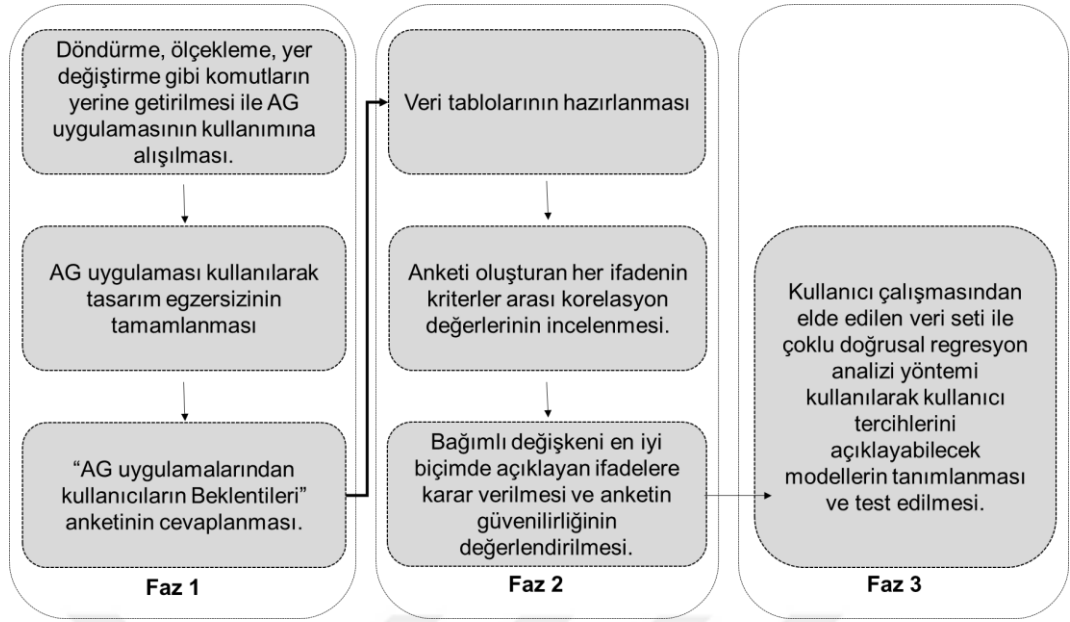
Sempozyuma gönderilecek bildirilerin son teslim tarihinde 16 gönüllü katılımcı ile gerçekleştirilen tasarım egzersizinden elde edilen verilerin sonuçlarının aktarıldığı çalışma dönem içerisinde yapılan çağrılara gelen olumlu cevaplardan sonra katılımcı sayısının 21’e çıkması ile güncellenmiştir.

Sonuçları bu bölümde sunulacak olan, 21 katılımcı ile gerçekleştirilen güncel çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında yeni teknolojilerin kullanıcılar tarafından kabul görmesinin hangi kriterlere bağlı olduğunun Teknoloji Kabul Modeli ve genişletilmiş versiyonları kullanılarak değerlendirildiği araştırmalarda bu kriterlerin çok geniş bir spektrumda uygulama ve araçlara uygulanılabildiği ve değerlendirilen

teknoloji ile ilgili alanlarda geliştirilecek uygulamalarda hangi kriterlere dikkat edilmesi gerektiği konusunda araştırmacılar için çok önemli ipuçlarını sağlayabildiği görülmüştür. Ancak konuya mimarlık alanı odaklı bakıldığında mimari tasarım alanında kullanılmak üzere geliştirilen bir AG uygulamasında kullanıcıların beklentilerini inceleyen bir araştırmanın eksikliği fark edilmiştir. Bu amaçla İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimari Tasarımda Bilişim programında yürütülen doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilen araştırmanın bir parçası olarak “Mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanılacak AG uygulamalarında bulunması tercih edilen bileşen ve özelliklerin hangileri kullanıcı tercihlerinde etkin rol oynamaktadır?” araştırma sorusuna deneye dayalı bir çalışma ile cevap aranmıştır.

5.8.1 Yöntem

Üç fazdan (Şekil 5.24) oluşan çalışmanın birinci fazında çalışmaya gönüllü katıldıklarına ilişkin onam formunu imzalayan katılımcılar, kullanılabilirliğinin hangi yöntemler kullanılarak ölçüldüğü ve sistem bileşenleri Durmazoğlu ve Gül tarafından (2022a) açıklanan, AG uygulamasını kullanmışlardır. Katılımcıların uygulamayı kullanmaya alışmaları için yapılan 15 dakikalık deneme egzersizinin ardından uygulamanın kullanıldığı 45 dakika süren bir tasarım egzersizi gerçekleştirilmiştir. Tasarım egzersizinin tamamlanmasının ardından katılımcılar araştırmacı tarafından geliştirilen “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketini (Ek B) cevaplandırmışlardır. Katılımcılarla bireysel ve yüz yüze gerçekleştirilen birinci fazın tamamlanmasının ardından çalışmanın ikinci fazında veri tabloları hazırlanmış, anketi oluşturan soruların kriterler arası korelasyonları hesaplanmış ve değerlendirmeye alınacak sorulardan oluşan yeni anketin güvenilirliği hesaplanmıştır. Araştırmanın üçüncü fazında güvenilirliği Cronbach α değeri kullanılarak ölçülen ankete verilen cevaplardan elde edilen yeni veri seti kullanılarak kullanıcıların AG uygulamalarından beklentilerini açıklayan modelin doğruluğu, çoklu doğrusal regresyon analizi yöntemi kullanılarak test edilmiştir.



Şekil 5.24 : Çalışmanın fazları ve ulaşılan hedefler.

5.8.2 Veri toplama yöntemi ve veri tipleri

Katılımcılarının AG uygulamalarında bulunmasını veya kullanmayı istedikleri özelliklerin belirlenmesi amacıyla geliştirilen anket, biri açık uçlu yorum sorusu olmak üzere toplam 20 maddeden oluşmaktadır. Ankette kullanılan sorularda AG uygulamalarındaki yazılım ve donanım temelli bileşenler ve özellikler açık bir şekilde ifade edilerek katılımcılardan belirtilen bileşen veya özellikleri kullanma tercihlerini 7 puanlı Likert ölçeğine göre “kesinlikle katılmıyorum” (1) ve “kesinlikle katılıyorum” (7) olmak üzere iki kutuplu bir şekilde belirtmeleri beklenmiştir. Katılımcıların mimari AG uygulamasından beklentilerinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen ankette sorular; AG izleyicisi (tracker), donanım özellikleri, etkileşim, sanal nesne üretim biçimi tercihi, sanal nesne üzerinde gerçekleştirilen geometrik modifikasyonları, grafik kullanıcı arayüzü özellikleri, veri girişi tipi ve yazılım özellikleri olmak üzere sekiz ana başlık altında oluşturulmuştur (Çizelge 5. 29).

Çizelge 5.29 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketi değişkenleri ve özellikleri.

Değişken İsmi	Değerlendirilen Özellik	Değişken Tipi	Ölçek
Soru 1-2	AG İzleyicisi	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru 3-5, 17-19	Donanım Özelliği	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru6	Etkileşim	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru7-8	Sanal Nesne Üretimi	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru9	Nesne Özellik Modifikasyonu	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru10-11	Grafik Kullanıcı Arayüz Özelliği	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru12-13	Veri Girişi Tipi	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
Soru14-16	Yazılım Özelliği	Bağımsız - 2 Kutuplu - Ordinal	7'li Likert
AGUP	AG Uygulaması Puanı	Bağımlı-Sayısal-Sürekli	0-133

Katılımcıların anket sorularına 7 puanlı Likert ölçeğini kullanarak verdikleri cevaplar sayısallaştırılıp toplandıktan sonra her katılımcının mimari tasarım sürecinde kullanmak isteyecekleri AG uygulamasından beklentilerini sayısal olarak ifade eden, Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Puanı (AGUP) değeri elde edilmektedir. Katılımcıların AG uygulamalarının bileşenleri ve özellikleri temel alınarak oluşturulan anket ifadelerine verdikleri yanıtların toplanması sonucu elde edilen AGUP puanları, anket sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapılacak regresyon analizinde katılımcıların AG uygulamalarındaki tercihlerini etkileyen kriterlerin belirlenmesinde kullanılacak bağımlı değişkeni oluşturmaktadır.

Çalışmaya katılan 21 katılımcı (Çizelge 5.30) cinsiyetlerine göre gruplandığında çalışmanın 15 kadın ve 6 erkek katılımcı ile yürütüldüğü görülmektedir. Katılımcıları eğitim durumlarına göre grupladığımızda ise katılımcıların tümünün lisans eğitimini tamamladığı ve çalışmanın doktora derecesine sahip 3 katılımcı, yüksek lisans derecesine sahip 13 katılımcı ve lisans derecesine sahip 5 katılımcı ile yürütüldüğü görülmektedir.

Çizelge 5.30 : Katılımcıların cinsiyet ve eğitim durumlarına göre dağılımları.

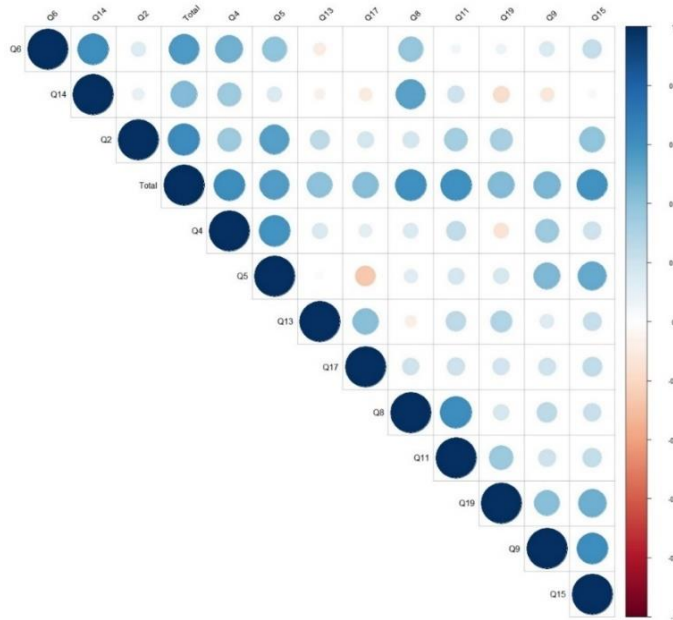
Cinsiyet	Sayı	%	Eğitim	Sayı	%
Erkek	6	28.57	Lisans	5	23.81
Kadın	15	71.43	Y. Lisans	13	61.9
			Doktora	3	14.29

5.8.3 Bulgular

Çalışmanın ikinci fazında katılımcıların AG uygulaması kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım egzersizi sonrasında cevaplamaları istenen 19 potansiyel anket ifadesinden oluşan “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketine verilen cevaplar kullanılarak yeni veri tablosu oluşturulmuştur (Ek H). Açık kaynaklı R programı kullanılarak yapılan korelasyon testi ile bağımsız değişkenleri oluşturan 19 potansiyel ifade ile bağımlı değişken arasındaki kriterler arası korelasyon değerleri hesaplanmıştır (Ek J).

Anket geliştirilirken kullanılan tüm potansiyel ifadelerle bağımlı değişken arasındaki düşük kriterler arası korelasyona sahip olan ve anket içerisinde benzer bir değişkeni ölçmekte kullanılan başka bir ifadeden daha düşük korelasyona sahip olduğu görülen Q1, Q3, Q7, Q10, Q12, Q16, Q17 ve Q18 ve ifadelerinin anketten çıkarılmasına karar verilmiştir.

Seçilen 11 ifadeyi içerecek şekilde güncellenen anketi oluşturan bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken arasındaki kriterler arası korelasyonlar grafikte (Şekil 5.25) +1 ve -1 değerleri arasında yer alan koyu mavi- koyu kırmızı renk ölçeğinde görselleştirilmişlerdir.



Şekil 5.25 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin 11 ifadeden oluşan güncellenmiş versiyonun kriterler arası korelasyon grafiği.

Çalışmanın ikinci fazının son adımı geliştirilen anketi oluşturan ifadelerden bağımlı değişkenle en ilişkili olanları seçtikten sonra güncellenen anketin güvenilirliğinin test edilmesidir. Katılımcıların mimari tasarım sürecinde kullanmayı tercih edecekleri AG bileşen ve özelliklerin tanımlanmasında kullanılmak üzere geliştirilen anket 11 ifadeden oluşacak şekilde güncellenmiştir. Ardından, yeni anketi oluşturan maddelerin iç tutarlılığı, başka bir deyişle anketin güvenilirliği, kabul edilebilir değeri tıp alanındaki çalışmalar dışında 0.7-0.8 olan Cronbach alfa (Bland ve Altman, 1997) değeri hesaplanarak kontrol edilmiştir. Açık kaynaklı R programında yapılan testin sonuçlarına (Çizelge 5.31) göre, güncellenen anketin koşulsuz Cronbach alfa değeri kabul edilebilir değer olan 0.75 olarak hesaplanmıştır. Koşullu Cronbach alfa değerleri incelendiğinde anketten 13 numaralı değişkenin çıkartılmasıyla Cronbach alfa değerinin 0.76 değerine çıkacağı görülmüştür. Ancak anketin güvenilirliği anketten herhangi bir değişken çıkartılmadan da kabul edilebilir eşiğin üzerinde bulunduğu ve regresyon analizinde kullanılacak kriterlerden birinin daha kaybedilmemesi için ankette bulunan ifade sayısında ikinci bir azaltma yapılmamasına karar verilmiştir.

Çizelge 5.31 : Güncellenen anketin koşullu ve koşulsuz Cronbach α değerleri.

Değişken	Cronbach α
Q2	0.7249175
Q4	0.7209546
Q5	0.7154169
Q6	0.7324374
Q8	0.7280431
Q9	0.7477108
Q11	0.7260736
Q13	0.766426
Q14	0.7420307
Q15	0.7364183
Q19	0.7489521
Koşulsuz Cronbach α	0.7543021

11 ifadeden oluşacak şekilde güncellenen anket kullanılarak oluşturulan yeni veri setinde bulunan değerler normalize edilmiştir. Ardından, modelin test edilmesi için açık kaynaklı R programında bağımlı değişkenle kriterler arası korelasyonları 0.5, 0.55, 0.6 ve 0.65 değerlerinden yüksek olan bağımsız değişkenlerin kullanıldığı 8 ayrı regresyon modeli oluşturularak bu modellerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bağımlı değişkene (Y) etki eden farklı bağımsız değişkenler (X_n) kullanılarak ifade edilen regresyon modellerinde R² değerleri karşılaştırılarak veri setini en iyi şekilde

açıklayan (0-%100) modelin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri denklem 1.1’de görülebileceği şekilde ifade edilmektedirler.

Güvenilirliği test edilen güncel anket cevaplarından oluşan veri setini oluşturan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin kriterler arası korelasyonları incelendiğinde “Total” olarak ifade edilen bağımlı değişkenle, kriterler arası korelasyonu “orta derecede ilişkili” olarak kabul edilen 0.5 değerine eşit veya yüksek olan Q2, Q4, Q5, Q6, Q8, Q11, Q14 ve Q15 bağımsız değişkenlerinin ilişkili olduğu görülmüştür. (Şekil 5.26).

	Q2	Q4	Q5	Q6	Q8	Q9	Q11	Q13	Q14	Q15	Q19	Total
Q2	1	0.35	0.55	0.13	0.17	0	0.34	0.25	0.09	0.4	0.33	0.63
Q4	0.35	1	0.6	0.48	0.15	0.36	0.24	0.16	0.36	0.21	-0.14	0.64
Q5	0.55	0.6	1	0.39	0.12	0.44	0.18	0.03	0.15	0.5	0.17	0.67
Q6	0.13	0.48	0.39	1	0.38	0.15	0.05	-0.09	0.61	0.23	0.06	0.62
Q8	0.17	0.15	0.12	0.38	1	0.25	0.61	-0.08	0.54	0.22	0.17	0.6
Q9	0	0.36	0.44	0.15	0.25	1	0.2	0.13	-0.12	0.61	0.41	0.44
Q11	0.34	0.24	0.18	0.05	0.61	0.2	1	0.26	0.19	0.23	0.37	0.61
Q13	0.25	0.16	0.03	-0.09	-0.08	0.13	0.26	1	-0.06	0.22	0.3	0.32
Q14	0.09	0.36	0.15	0.61	0.54	-0.12	0.19	-0.06	1	-0.03	-0.18	0.5
Q15	0.4	0.21	0.5	0.23	0.22	0.61	0.23	0.22	-0.03	1	0.48	0.57
Q19	0.33	-0.1	0.17	0.06	0.17	0.41	0.37	0.3	-0.18	0.48	1	0.42
Total	0.63	0.64	0.67	0.62	0.6	0.44	0.61	0.32	0.5	0.57	0.42	1

Şekil 5.26 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin 11 ifadeden oluşan güncellenmiş versiyonunun kriterler arası korelasyon değerleri.

Açık kaynaklı R programında “leaps” kütüphanesi kullanılarak bağımlı değişkene etki eden tüm bağımsız değişkenlerin kullanıldığı regresyon modelleri, bağımlı değişkene etki eden bağımsız değişken sayısına göre değerlendirilip 1 bağımsız değişkenden, 11 bağımsız değişkenin bulunduğu farklı kombinasyonlara sahip model setleri arasından her bağımsız değişken sayısı için en iyi modeller seçilmiştir (Çizelge 5.32).

Çizelge 5.32 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin bağımsız değişkenlerinden oluşan alt veri setleri arasında değişken sayısına göre en iyi modeller.

DeğişkenSayısı	Q2	Q4	Q5	Q6	Q8	Q9	Q11	Q13	Q14	Q15	Q19
1			" * "								
2			" * "		" * "						
3	" * "			" * "			" * "				
4	" * "			" * "		" * "	" * "				
5	" * "			" * "		" * "	" * "		" * "		
6	" * "			" * "		" * "	" * "	" * "	" * "		
7	" * "		" * "	" * "		" * "	" * "	" * "	" * "		
8	" * "		" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "		
9	" * "		" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "		" * "
10	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "		" * "	" * "	" * "	" * "	" * "
11	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "	" * "

“AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinde yer alan 11 bağımsız değişkenden oluşan alt veri setlerinin kullanıldığı çoklu doğrusal regresyon modelleri arasında en iyi modellerde bulunan bağımsız değişkenler bulunduğundan sonra bu modellerin performansları R^2 ve BIC değerlerine göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.33).

Çizelge 5.33 : “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinin bağımsız değişkenlerinden oluşan alt veri setleri arasında değişken sayısına göre en iyi modellerin performans karşılaştırması.

	Cp	r2	Adj_r2	BIC
1	6.06E+30	0.45406	0.42532	-6.6211
2	3.03E+30	0.72729	0.69699	-18.153
3	1.59E+30	0.85643	0.83109	-28.581
4	7.31E+29	0.93412	0.91765	-41.896
5	4.07E+29	0.96334	0.95112	-51.16
6	2.09E+29	0.98116	0.97309	-62.097
7	1.16E+29	0.98958	0.98398	-71.497
8	8.64E+28	0.99221	0.98702	-74.564
9	6.30E+28	0.99432	0.98967	-78.136
10	7.37E+27	0.99934	0.99867	-120.17
11	1.20E+01	1	1	-1418.5

Elde edilen modeller arasında daha yüksek R^2 değerine sahip 7 değişkenli model ve 6 değişkenli model arasında R^2 değerleri açısından dramatik bir fark olmadığı görülebilmektedir. Bu nedenle 7 bağımsız değişkene sahip modeli seçmek yerine 6 bağımsız değişkene sahip modeli seçmek elimizde olan veri seti kullanılarak bağımlı değişkene etki eden bağımsız değişkenlerin tanımlanmasında daha doğru bir karar olarak görünmektedir. Benzer bir şekilde 3 ve 4 bağımsız değişkene sahip modeller karşılaştırıldığında modeli oluşturan bağımsız değişken sayısı daha az olmasına rağmen R^2 değerleri karşılaştırıldığında 3 ($R^2 = 0.83$) yerine 4 ($R^2 = 0.91$) bağımsız değişkene sahip modeli seçmenin daha doğru olacağı görülmektedir.

Elde edilen değerler R^2 ve BIC değerlerine göre karşılaştırıldığında alt veri setleri arasında bağımlı değişkeni en iyi açıklama olasılığına sahip olan modeller olarak 4, 5 ve 6 bağımsız değişkene sahip modeller karşımıza çıkmaktadırlar.

Alt veri setleri arasında performansı en uygun modellerden birisi olan 4 bağımsız değişkene sahip çoklu doğrusal regresyon modeli Q2, Q6, Q9 ve Q11 bağımsız değişkenlerini içermektedir. Bu modeldeki bağımsız değişkenler incelendiğinde Q2 bağımsız değişkeninin AG uygulamalarındaki izleyici cinsi ile ilgili değişken olduğu görülmektedir. Modeldeki Q6 değişkeninin AG uygulamalarındaki etkileşim çeşitleri, Q9 değişkeninin nesne özellik modifikasyon tercihi ve Q11 değişkeninin ise grafik kullanıcı arayüzü özelliği ile ilgili değerlendirmelerde kullanıldığı görülmektedir.

Alt veri setleri arasında performansı en uygun modellerden birisi olan 5 bağımsız değişkene sahip çoklu doğrusal regresyon modeli Q2, Q6, Q9, Q11 ve Q14 bağımsız değişkenlerini içermektedir. Bu modelde 4 bağımsız değişkenden farklı olarak bulunan Q14 değişkeni AG uygulamasında üretilen sanal nesneler üzerinde önceden tanımlanmış farklı benzetimlerin gerçekleştirilmesi olarak açıklanan yazılım özelliğini değerlendirmektedir.

Alt veri setleri arasında performansı en uygun modellerden sonuncusu olan 6 bağımsız değişkene sahip çoklu doğrusal regresyon modeli ise Q2, Q6, Q9, Q11, Q13 ve Q14 bağımsız değişkenlerini içermektedir. Bu modelde ise 5 bağımsız değişkene sahip modelden farklı olarak sistemde veri girişinin ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle gerçekleştirilmesi tercihinin değerlendirildiği Q13 bağımsız değişkeninin bulunduğu görülmektedir.

Açıklanan bu üç model, modellerde bulunan bağımsız değişkenler ve modellerin R^2 ve BIC değerleri açısından değerlendirilmiş ve performansları birbirine yakın modeller arasından 5 bağımsız değişkene sahip ikinci model seçilmiştir. Seçilen model tüm modeller arasında en uygun aralıkta bulunmaktadır. Seçilen model ayrıca 3. modelde Q6 ve Q13 bağımsız değişkenlerinin ikisine birden sahip olması nedeniyle gözlenen tutarsızlığa sahip değildir. Geliştirilen modeller arasında bağımsız değişkeni en iyi açıklayan model olduğuna karar verilen 2. model denklem 5.9'da ifade edilen eşitlikte görülebilmektedir.

$$Y = \{-1.3378 + 2.2329 \times Q_2 + 1.5289 \times Q_6 + 5.4773 \times Q_9 + 1.8291 \times Q_{11} + 1.3380 \times Q_{14}\} \quad (5.9)$$

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1 AG Araçlarında Kullanılabilirlik

Herhangi bir AG uygulamasının etkin ve verimli bir çözüm olarak kabul edilebilmesi için:

- Kullanıcılara gerekli olan bilginin gerçek dünya ile bir araya getirilebilmesine olanak tanıyacak biçimde yüksek çözünürlük, yeterli görüş açısı, kontrast ve aydınlık gibi özelliklere sahip olan güçlü donanım özelliklerine sahip olması
- Doğru izleme, sağlamlık, kalibrasyon kolaylığı, kullanıcı çözümleri ve içerik yönetimi araçları,
- Uygulamanın arayüzü ve etkileşim yönteminde insan faktörlerinin etkisi konularının uygulamada değerlendirmeye alınmış olması gerekmektedir (Akçayır ve diğ., 2016; Palmarini ve diğ., 2018).

AG uygulamalarının geliştirilme sürecinde sistemlerin kullanılabilirliğini ölçme ve uygulamaların son kullanıcı tarafından rahatça ve memnuniyetle kullanılabilmesi için gerekli olan iyileştirmelerin hangi alanlarda gerçekleştirilmesi gerektiğine karar verebilmek amacıyla 2018-2019 Güz yarıyılında biri uzman dördü ise mimarlık alanında eğitimlerine lisans düzeyinde devam etmekte olan toplam 5 katılımcı ile pilot çalışma gerçekleştirilmiştir.

Pilot çalışmada eğitimlerine devam eden ve uzman olmak üzere deneyimleri bakımından birbirlerinden ayrılan iki tip kullanıcıya ait verinin elde edilmesi ile çalışmanın ilerleyen fazlarında uygulamanın kullanılabilirliğini test ederken hangi özelliklere sahip katılımcıların çalışmaya dahil olmalarının araştırmaya daha fazla katkıda bulunacağına karar verilmesi kolaylaşmıştır.

Pilot çalışma sonrasında gerçekleştirilen deneysel çalışmada ise farklı seviyelerde deneyime sahip katılımcıların bulunması, bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanma konusunda deneyimli, bilgi ve iletişim teknolojileri alanında uzmanlaşmış katılımcıların sahip oldukları uzmanlıklarının/alışkanlıklarının/deneyimlerinin uygulamayı kullanma konusunda eğitimlerine devam eden katılımcılara göre avantaj sağlayıp sağlamadıklarını incelenmiştir. Bunun yanında pilot çalışma kapsamında uzman kullanıcı ile yapılan egzersizde AG uygulamasının kullanıcılarına sunduğu sanal tuş takımı ile etkileşim ve ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle etkileşim olmak üzere farklı etkileşim yöntemlerinin tasarım egzersizlerinde kullanılmasının kullanılabilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi mümkün olmuştur.

Pilot çalışmanın uzman katılımcı ile gerçekleştirilen fazında öncelikle ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle etkileşim yöntemini kullandığında nesne seçiminde karşılaşılan problemler ve katılımcıya verilen görevlerin tamamlanma sürelerinin sanal tuş takımı ile gerçekleştirilen etkileşim yöntemine göre uzun olması nedeniyle katılımcının memnuniyetinin ve motivasyonunun azaltığı gözlemlenmiştir. Uzman katılımcının farklı etkileşim yöntemlerinin kullanıldığı egzersizleri göz önünde bulundurarak AG uygulamasının kullanılabilirliğini değerlendirdiği SKÖ ve MAGKÖ anket sonuçları incelendiğinde sanal tuş takımı etkileşim yöntemi kullandığında uygulamanın kullanılabilirliğinin MAGKÖ (85.41) ve SKÖ (87.5) anketleri sonuçlarının ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle etkileşim yöntemine göre (MAGKÖ = 68.74, SKÖ = 40) daha yüksek olduğu görülmektedir.

Uzman kullanıcı ile gerçekleştirilen pilot çalışmanın sonuçlarına göre uzman kullanıcının kendisine verilen görevleri ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle gerçekleştirdiğinde sistemin kullanılabilirliğinin daha düşük puanlarla değerlendirilmesinin ana nedeni olarak yukarıda da belirtildiği gibi kullanılan etkileşim yönteminin görev tamamlama sürelerini uzatması ve kullanıcının motivasyonunu düşürerek kendisine tanınan süre içerisinde gerçekleştirmesi beklenen görevleri tamamlayamayacağı düşüncesine kapılması nedeniyle kaygı seviyesinin artması olduğu düşünülmektedir. Elde edilen bu bulgu jestlerle gerçekleştirilen etkileşimlerin kullanıcılar tarafından daha eğlenceli bulunduğu bulgusuyla örtüşmemektedir. Çalışma sonucunda bu bulgunun elde edilmesinin nedeninin mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarında kullanıcılardan belirli bir süre içerisinde kendilerine verilen görevleri tamamlamalarının istenmesi

olduğu, başka bir deyişle mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarının kullanıcılarının uygulamayı edilgen olarak değil etkin olarak kullanmaları gerekliliğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak kullanıcıların edilgen bir şekilde kullanacağı göz önünde bulundurularak geliştirilen ve uygulama içerisinde sıralı, kurallı ve tümü önceden tanımlanmış eylemlerin gerçekleştirildiği bir AG uygulamasında kullanıcıların jestlerle gerçekleştirilen etkileşim yöntemini kullandıklarında daha az problemle karşılaşmaları ihtimali daha yüksektir.

Bu nedenle pilot çalışma sonrası gerçekleştirilen asıl kullanılabilirlik çalışmasında öncelikle yüz yüze gerçekleştirilecek tasarım egzersizinde katılımcıların iki farklı etkileşim yöntemini de deneyimleyecekleri zamanları olmayacağından, ikinci olarak ise geliştirilen uygulama tasarım alanında kullanılacağından ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerle etkileşim yönteminin katılımcılara çalışma anında gereken kesinliği sağlayamayacağı düşünüldüğünden dolayı çalışmaların sonraki fazlarında sadece sanal tuş takımı ile etkileşim özelliğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

Doktora çalışması kapsamında gerçekleştirilen ikinci pilot çalışma, mimarlık alanında Lisans eğitimlerine devam eden ve birinci sınıfı tamamlamış 4 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılardan uzman katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmaya benzer şekilde AG uygulamasının kullanılabilirliğini değerlendirmeleri beklenmiştir. Katılımcılar uygulamayı MAGKÖ anketi kullanarak 62.6, SKÖ anketi kullanarak 55.6 puanla değerlendirmişlerdir.

Pilot çalışma sonunda uzman ve eğitimlerine devam eden katılımcılardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde uygulamanın kullanılabilirliğinin kullanılan yöntemden bağımsız olarak yakın puanlarla ölçüldüğü görülmüştür (Çizelge 6.1). Böylelikle geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için seçilen iki değerlendirme yönteminin güvenilirliği ve geçerliliği kanıtlanmış ve asıl çalışmada da uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için MAGKÖ ve SKÖ anketlerinin kullanılmasına devam edilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 6.1: Pilot çalışmada elde edilen sonuçlar.

	SKÖ	MAGKÖ (Anlaşılabilirlik)	MAGKÖ (Kullanılabilirlik)	MAGKÖ (Genel)
Uzman Katılımcı				
Sanal Tuş Takımı ile Etkileşim	87.5	77.08	93.75	85.41
Ekrana Dokunarak Gerçekleştirilen Jestlerle Etkileşim	40	72.91	64.58	68.74
Eğitimlerine Devam Eden Katılımcılar				
Sanal Tuş Takımı ile Etkileşim				
K1	75	72.92	79.17	76.04
K2	20	60.42	41.67	51.04
K3	57.5	58.33	64.58	61.46
K4	70	47.92	77.08	62.5
Ortalama	55.63	59.9	65.63	62.76

Pilot çalışmada kullanılan MAGKÖ anketinin alt ölçeklerinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde eğitimlerine devam eden katılımcıların MAGKÖ anlaşılabilirlik ölçeği ortalama puanlarının (59.9) uzman kullanıcının anlaşılabilirlik ölçeği puanından (77.08) önemli ölçüde düşük olduğu gözlenmiştir. Bu farkın nedeninin eğitime devam eden katılımcıların AG uygulamasının geliştirilmesinde kullanılan kavramlar ve terimlerle uzman katılımcı kadar deneyimli olmamaları olabileceği ve bu ön görünün incelenebilmesi için uzman katılımcılardan oluşan daha büyük bir popülasyonda anlaşılabilirlik ile ilgili farklılığın yeniden incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca uygulamanın anlaşılabilirliğinin öneminin göz ardı edilmemesi gerektiği ve uygulamanın anlaşılabilirliği üzerinde iyileştirme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Pilot çalışma sonucunda çalışmanın sadece uzman katılımcılarla yapılması durumunda bu katılımcıların alandaki uzmanlıklarının kendilerine sağlayabileceği avantaj nedeniyle uygulamanın kullanılabilirlik değerinde bir artma gözlemlenebileceği ön görülmüştür.

Pilot çalışmanın tamamlanmasından sonra dünya genelinde yaşanan COVID-19 salgını nedeniyle mimari tasarım alanında en az lisans düzeyinde eğitimlerini tamamlamış kullanıcılarla yapılması planlanan çalışmaya başlama sürecinde salgın hastalık nedeniyle getirilen kısıtlamalar ve çalışmanın yüz yüze gerçekleştirilecek olması gerekçesiyle alınması gereken önlemler nedeniyle bir aksama gerçekleşmiştir. Salgın sürecinin kontrol altına alınmaya başlanmasından ve alınan tedbirlerde hafiflemeler uygulanmasına karar verilmesinden sonra asıl çalışma 2021-2022 döneminde katılımcılarla yüz yüze olarak gerçekleştirilmiştir.

Pilot çalışmadan edinilen deneyimler göz önünde bulundurularak AG uygulamasının anlaşılabilirliğinde iyileştirmeler yapılmıştır. Bu iyileştirmeler grafik kullanıcı arayüzünde ve nesne üretiminde gerçekleştirilmişlerdir. Pilot çalışmaya katılan eğitimini tamamlamamış katılımcılarının çalışmada gözlemlenen deneyim eksiklikleri nedeniyle ve gerçekleştirilmesi planlanan tasarım egzersizinde doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının tasarım sürecinin erken aşamasında kullanımının deneyimlenebilmesi beklendiğinden çalışma kapsamında daha zengin sonuçlar alabilmek için çalışmanın katılımcılarının en az lisans seviyesinde mimari tasarım eğitimlerini tamamlamış katılımcılar arasından seçilmesi kararlaştırılmıştır.

Katılımcıların mimari tasarım alanında deneyimli olmaları nedeniyle katılımcılara verilen tasarım problemi daha kapsamlı ve tanımlı olacak şekilde geliştirilmiş ve çalışma kapsamında katılımcılara faydalanmaları için çalışma arazisinin 1/500 ölçeğinde fiziksel maketi temin edilmiştir.

Yapılan bu değişikliklerden sonra çalışmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden 21 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları incelendiğinde katılımcılardan pilot çalışmaya kıyasla tasarım egzersizi süresince daha kapsamlı bir mimari probleme çözüm geliştirmeleri istenmesine karşın katılımcıların AG uygulamasının kullanılabilirliğini MAGKÖ anketi kullanılarak değerlendirdiklerinde MAGKÖ anlaşılabilirlik (66.57) alt ölçeği ve genel MAGKÖ puanı olarak (64.78) daha yüksek puanlarla değerlendirdikleri görülmüştür.

Pilot çalışmada eğitimlerine devam eden öğrencilerin değerlendirmelerine göre (59.9) kabul seviyesi değerlendirme kriterine göre yorumlandığında “sınırdaki (düşük sınır)” olarak değerlendirilen anlaşılabilirlik ölçeği puanı, 21 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmada 66.57 puanla değerlendirilerek kabul seviyesi değerlendirme kriterine göre “sınırdaki (yüksek sınır)” seviyesine çıkmıştır. MAGKÖ anlaşılabilirlik ölçeği kullanılarak elde edilen sonuçlardaki bu artış, pilot çalışma sonrasında AG uygulamasında gerçekleştirilen iyileştirmelerin başarılı olduğunu göstermektedir.

Pilot çalışma ile asıl çalışmanın sonuçları karşılaştırıldığında sonuçlar arasında en çok göze çarpan fark katılımcıların uygulamanın kullanılabilirliğini SKÖ anketi kullanarak değerlendirdikleri durumda gözlenmektedir. Pilot çalışmanın eğitimlerine devam eden katılımcıları uygulamanın kullanılabilirliğini SKÖ anketi kullanarak 55.63 puanla değerlendirmişlerdir. Eğitimine devam eden katılımcıların cevapları sonucu elde edilen bu sonuç her ne kadar kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunsada kabul seviyesi değerlendirme kriterine göre “sınırdaki (düşük sınır)” olarak yorumlanabilir. 21 katılımcı ile gerçekleştirilen çalışmada ise SKÖ anketi kullanılarak ölçülen uygulamanın kullanılabilirliği tüm veri seti göz önüne alındığında 73.5 puanla değerlendirildiği görülmektedir. Asıl çalışmada elde edilen 73.5 SKÖ puanı kabul seviyesi değerlendirme kriterine göre “kabul edilebilir” olarak değerlendirilmektedir (Çizelde 6.2).

Çizelge 6.2 : Kullanılabilirlik çalışması sonuçları (21 katılımcı).

	SKÖ	MAGKÖ (Anlaşılabilirlik)	MAGKÖ (Kullanılabilirlik)	MAGKÖ (Genel)
21 Katılımcılı Çalışma Ortalamaları	73.5	66.57	63	64.78

AG uygulamasının kullanılabilirliğinin MAGKÖ ve SKÖ anketleri kullanılarak değerlendirildiği pilot çalışmanın sonuçlarına göre asıl çalışmada MAGKÖ anketi ile elde edilen sonuçlarda marjinal, SKÖ anketi ile elde edilen sonuçlarda ise dikkat çekici bir iyileşme görülmektedir. Pilot çalışmadan sonra uygulamadan yapılan iyileştirmeler sonrasında kullanılabilirlik değerlendirmelerinde de iyileşmenin görülmesi nedeniyle kullanılan değerlendirme yöntemlerinin AG uygulamalarının kullanılabilirliğinin değerlendirmede güvenilir sonuçlar verdiğini görülmüştür. Ayrıca seçilen kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri ile elde edilen sonuçların yorumlanması ile AG uygulamalarında gerekli alanlarda yapılan iyileştirmelerin uygulamanın kullanılabilirliği ve kullanıcıların memnuniyeti üzerinde pozitif etkileri olacağı

anlaşılmaktadır. Bunun yanında çalışma seçilen kullanılabilirlik değerlendirme yöntemleri ile doktora çalışması kapsamında geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirlik açısından değerlendirilmesi yapıldığında uygulamanın kullanılabilirliğinin SKÖ anketine göre kabul edilebilir, MAGKÖ anketine göre ise “sınırdan (yüksek sınır)” olarak değerlendirildiği sonucuna varılmıştır.

Elde edilen sonuçlara ve katılımcıların yorumlarına göre AG uygulamasının güncel haliyle endüstri standartlarına göre kabul edilebilir bir noktada bulunduğu ve kullanılabilirlik konusunda yapılacak ufak iyileştirmelerle uygulamanın kolaylıkla kullanıcılar tarafından memnuniyetle tercih edilebilecek bir noktaya gelebileceği sonucu elde edilmiştir.

6.2 AG Araçlarında Kullanılması Tercih Edilen Özellikler

“Mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanılacak AG uygulamalarında bulunması tercih edilen bileşen ve özelliklerin hangileri kullanıcı tercihlerinde daha etkin rol oynamaktadır?” araştırma sorusunu irdeleyen araştırma sonucunda katılımcılarının beklentilerini en fazla izleyiciler (Q2), etkileşim yöntemleri (Q6), nesne özellik modifikasyonu (Q9), grafik kullanıcı arayüzü özelliği (Q11) ve yazılım özelliği (Q14) temalarının etkilediği sonucuna varılmıştır.

Araştırma kapsamında elde edilen veriler değerlendirilerek kurulan modelde kullanıcıların AG uygulamalarında işaretleyicisiz sistemleri (Q2) kullanmayı tercih ettikleri sonucu ortaya çıkmıştır. Yeni bir teknoloji olan işaretleyicisiz izleyicilerin kullanıldığı sistemlerin işaretleyici tabanlı izleyicilerin kullanıldığı sistemlere göre en önemli avantajı nesnelerin koordinatlarının bağlı olduğu fiziksel nesnelerin sistem tarafından tanımlanabilmesi için gerekli olan boyut ve netlik kısıtlamalarına bağlı olmamalarıdır. Başka bir deyişle işaretleyicisiz sistemlerde sanal nesneler sistemin donanım özelliklerinden kameraların çözünürlükleri veya sistemde kullanılan kare kodlarının fiziksel boyutlarına bağlı kalmadan istenilen yerde konumlandırılabilir. İşaretleyici tabanlı izleyici kullanan AG sistemlerine göre daha ağır hesaplamaların yapılmasını gerektiren işaretleyicisiz izleyicilerin kullanıldığı sistemlerle, bu hesaplamaları ve daha karmaşıkları yapacak kapasitedeki mobil AG donanımlarının son kullanıcı tarafından daha erişilebilir hale geleceği öngörülen önümüzdeki yıllarda daha sık karşılaşılabileceği düşünülmektedir.

Kullanıcı tercihlerinde rol oynayan etkenlerden bir diğeri de etkileşim yöntemidir. Katılımcıların ekrana dokunulmadan jestler yoluyla gerçekleştirilen etkileşim yöntemine (Q6) sahip AG uygulamalarını tercih ettikleri görülmektedir. Her ne kadar daha yeni bir etkileşim yöntemi olan jestler yoluyla nesnelerle etkileşim kullanıcılara daha eğlenceli gelse de, mimari tasarım sürecinde kullanılacak bir AG uygulamasının etkileşim yönteminin kesin ve doğru sonuçlar vermesi daha önemli olarak görülmektedir. Mimari tasarım sürecinde kullanılacak bir AG uygulamasında hangi etkileşim türünün daha etkin kullanılabileceğine karar verebilmek için dokunulabilen etkileşim yöntemine sahip bir AG uygulaması ile bir tasarım egzersizinin gerçekleştirilmesi ile bu konuda daha net sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

Katılımcılar tarafından ekrana dokunulmadan gerçekleştirilen jestler yoluyla nesnelerle etkileşim içerisinde bulunulmasının tercih edilmesinin gösterdiği başka önemli bir nokta ise mimari tasarım sürecinin erken evresinde kullanılacak bir AG uygulamasından katılımcıların beklentilerinin uygulamayı kullanırken fiziksel olarak mümkün olduğunca özgün olmayı tercih ettiklerinin ortaya çıkmasıdır. Bağımlı değişkeni en iyi şekilde açıkladığı modelde bulunan bağımsız değişkenlerden birisi olan ekrana dokunulmadan jestlerle etkileşim (Q6) tercihi bu etkileşim tipinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli donanım özellikleri açısından düşünüldüğünde AG uygulamalarının giyilebilir veya en azından mobil akıllı cihazlarda kullanılması gerektiği sonucunu göstermektedir. Her ne kadar ankette bağımsız bir ifade olarak yer alan giyilebilir AG görüntüleme cihazlarını (Q5) şu an katılımcılar tarafından AG uygulaması tercihlerinde etkin bir kriter olarak görülme de, kullanıcının hareketliliğini artırmaları, kullanıcılara iki ellerini de kullanma imkanı tanınmaları ve ergonomik olmaları nedenleriyle ilerleyen senelerde tercih edilen bir sistem özelliği haline gelebileceği öngörülmektedir.

Kullanıcıların tercihlerinde etkin rol oynayan sistem bileşenlerinden bir diğeri de nesne özellik modifikasyonudur (Q9). Araştırma sonuçlarına göre nesne özellik modifikasyonu kullanıcılar tarafından bu sistemin benimsenmesindeki etkin kriterlerden biri olarak görülmektedir. Geliştirilen ankette “Üretilen 3 boyutlu sanal nesnelerin boyut, ölçek, renk ve yönelim özelliklerini değiştirmek isterim” ifadesi kullanılarak değerlendirilen Q9 bağımsız değişkeninin “AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri” anketinde kullanıcıların beklentilerini en fazla etkileyen

kriter olarak ortaya çıkması şaşırtıcı olmamıştır. Çalışmanın gerçekleştirildiği alan göz önünde bulundurulduğunda özellikle mimari tasarım sürecinin erken evresinde kullanılmak için geliştirilen AG uygulamalarında kullanıcıların tasarım süreçlerinde sağlıklı değerlendirmeler yapabilmeleri için bu teknoloji kullanılarak üretilen sanal nesnelerin manipülasyonlarının kabul edilebilir bir seviyede başarılı olarak gerçekleştirilmesi beklenmelidir. Geliştirilecek uygulamalarda sanal nesnelerle olan etkileşim ve nesne manipülasyonlarının gerçekleştirilmesindeki başarı ve kullanıcı memnuniyetinin arttırılması üzerine yapılacak çalışmaların bu sistemlerin son kullanıcı tarafından kabulünü fazlasıyla arttıracakı düşünülmektedir.

Araştırma sonucunda, katılımcıların mimari tasarım sürecinde kullanılacak bir AG uygulamasından beklentilerini en çok etkileyebilecek bir diğer kriter, geliştirilen ankette “Başarılı veya hatalı gerçekleştirilen işlemlerin kullanıcılara çeşitli geri bildirim yolları ile iletilmesini tercih ederim.” şeklinde ifade edilmiş olan grafik kullanıcı arayüzü (Q11) özelliğidir. Geliştirilen sistemlerde kullanıcı eylemlerinin başarısı veya başarısızlığını eş zamanlı olarak kullanıcıya ileten özellik olan geri bildirim özelliği AG uygulamalarının kullanılabilirliğini etkileyen önemli özelliklerden birisi olarak kabul edilmektedir. Gerçekleştirilen araştırmanın sonucuna göre AG uygulamalarının tasarım sürecinde kullanıcıya gerçekleştirmek istediği eylemlerin sonuçlarını farklı etkileşim biçimlerinden birini kullanarak (yazılı, sesli, haptik, veya görsel) bildirmelerinin kullanıcıların tercihlerinde olumlu bir rol oynayacağı görülmüştür.

Katılımcıların tasarım sürecinin erken aşamasında kullanmak için geliştirilen bir AG uygulamasından beklentilerinin incelendiği çalışma sonucunda kullanıcıların tercihlerini etkileyecek sonuncu kriter olarak ankette “Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulaması kullanılarak üretilen tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde 3 boyutlu sanal nesneler üzerinde önceden tanımlanmış farklı benzetimleri/simülasyonları gerçekleştirilebiliyor olmayı tercih ederim.” şeklinde ifade edilmiş olan yazılım özelliği (Q14) olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle erken tasarım aşamasında kütle yönelimi ve yerleşimine ilişkin karar verme aşamasında kullanıcıların faydalanabileceği hakim rüzgar, güneş, gölge ve yaya sirkülasyonu ve benzeri benzetimlerin mimari programa konu olan arazi üzerinde önceden hazırlanarak sisteme tanımlanmış olmasının AG uygulamalarının tasarım sürecinde kullanılmalarında olumlu rol oynayabileceği düşünülmektedir.

İlerleyen aşamalarda bu çalışmadan elde edilen bulgulara dayanarak, katılımcıların tercih ettikleri bileşen ve özelliklere sahip bir AG uygulamasının kullanıldığı bir çalışmanın kurgulanması özellikle mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen AG uygulamalarının bileşen özelliklerinin kullanıcı tercihleri üzerine etkileri konusunda yeni bilgiler edinilmesine yardımcı olabilir. Katılımcıların farklı sistem bileşenlerine sahip AG uygulamalarını tasarım egzersizinde deneyimlemelerinin, mimari tasarım sürecinde kullanılacak AG uygulamaları özelinde tercihlerini oluştururken gerçekçi ve pragmatist bir yaklaşımla karar vermelerini sağlayabileceği varsayılmaktadır.

Çalışmanın özgün katkılarından birisi, özellikle AG uygulamaları bağlamında, teknoloji kabul modellerini oluşturan kriterlere uygulamanın kullanıldığı alan göz önüne alınarak yeni eklemeler yapılabileceğinin gösterilmesidir. Teknoloji kabul modelleri ile uygulamanın kabulünün kullanım kolaylığı, fayda, çaba, sosyal etki, kolaylaştırıcı koşullar, motivasyon, deneyim, mahremiyet, ekonomik maliyet ve benzeri etkenlere bağlı olduğu varsayımından yola çıkılarak değerlendirilen uygulamanın kullanıcılar tarafından ne kadar benimseneceğine yönelik bir değerlendirmede bulunmaktadır. Ancak, mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen bir AG uygulamasının son kullanıcı tarafından benimsenmesinde TKM’de önerilen kriterlerin dışında başka etkenlerin de etkili olabileceği fikrinin sorgulanması önemli bulunmaktadır. Sonuç olarak mimari tasarım sürecinde kullanılan bir AG uygulamasının son kullanıcı tarafından benimsenmesinde “mahremiyet”, “sosyal etkiler” veya “donanımın ekonomik maliyeti” gibi kriterlerden çok uygulamanın kullanıldığı eylemle ve kullanıcıya sunduğu imkanlarla daha yakından ilişkili etkenlerin daha fazla payının olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenlerle çalışma sonucunda elde edilen model göz önünde bulundurularak, tasarım alanında kullanılacak AG uygulamalarının kullanıcı tarafından benimsenmesinin donanım ve yazılım bileşenleri ve özelliklerinden hangilerine bağlı olduğunun gösterilmesinin benzer araçların geliştirilme süreçlerinde önemli katkılarının olacağı beklenmektedir.

AG uygulamalarının geliştirilme süreçlerinin daha etkin bir şekilde sürdürülebilmesi ve kullanıcıların geliştirilen uygulamaları daha kolay kabul etmelerini sağlamak adına özellikle izleyiciler, etkileşim, nesne modifikasyonu, mobilite, yerinde ve zamanında geri bildirimlerle kullanıcı dostu bir sistem geliştirilmesi ve benzetim konularına öncelik verilmesinin geliştirilen uygulamaların son kullanıcı tarafından benimsenme ihtimalini arttıracakı düşünülmektedir.

6.3 Kullanıcı İzlenimleri

Doktora tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışma katılımcılarının AG teknolojisinden faydalanılarak erken mimari tasarım sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen uygulamayı kullanarak gerçekleştirdikleri tasarım egzersizi ile ilgili öznel değerlendirmeleri araştırmacı tarafından geliştirilen “Karşılaştırmalı AG Memnuniyet Anketi” kullanılarak toplanmıştır.

Katılımcıların tasarım egzersizini tamamladıktan sonra cevapladıkları 1’i açık uçlu, 20 tanesi ise 7’li Likert ölçeğine göre hazırlanmış toplam 21 sorudan oluşan ankette ayrıca katılımcılardan geliştirilen AG aracının tasarım sürecinde kullanım potansiyelini tartışmaya açmak amacıyla 8. soruya 5 ve üzerinde puan vermeleri durumunda ve 18. soruya 4 ve altında puan vermeleri durumunda bu değerlendirmelerini açıklamaları istenmiştir.

Katılımcıların “Tasarım egzersizinde AG uygulaması kullanarak, kullanmaya alışkın olduğum araçlarla geliştirdiklerimden daha farklı tasarım çözümleri geliştirdim.” şeklinde kendilerine yöneltilen ifadeye verdikleri puanların ortalaması 3’tür. Kendilerine yöneltilen 8 numaralı ifadeye 5 ve üzerinde puan veren katılımcılardan geliştirdikleri tasarım çözümlerinin hangi açılardan farklı olduğunu düşündüklerini açıklamaları istendiğinde katılımcıların verdikleri cevaplar aşağıda bulunmaktadır.

Cevaplamaları istenen 8 numaralı ifadeye 3 puan veren katılımcı (K1) “Sanal olarak 3 boyutlu tasarımı arazi maketi üzerinde görmek oldukça olumlu, farklı açılardan gözlemlemek faydalı oldu.” şeklinde bir açıklama yapmıştır. 8 numaralı soruya 4 puan veren katılımcı (K2) ise “Uygulamayı başarabilmiş olsaydım veya yeniden deneme imkanım olsaydı tasarım çözümümü geliştirebilirdim.” açıklamasını yapmıştır.

Geliştirilen AG uygulaması ile daha farklı tasarım çözümleri geliştiremediğini düşünen katılımcıların açıklamaları incelendiğinde birinci katılımcının açıklamasında uygulamanın olumlu yönlerine vurgu yaptığı görülmektedir. İkinci katılımcının ise uygulamayı kullanmaya alışması durumunda tasarım çözümünü geliştirebileceğini düşündüğü görülmektedir. Çalışmanın katılımcılarının erken tasarım sürecinde kullanmayı tercih ettikleri yöntemler incelendiğinde katılımcıların yarısının erken tasarım sürecinde yoğun bir şekilde eskiz, eskiz ve maket ve BDT araçlarını kullanmayı tercih ettikleri görülmüştür (Eskiz ortalaması=6,6, Eskiz+Maket ortalaması=6,4, BDT ortalaması=6,2). Erken tasarım sürecinde yoğun olarak bahsedilen 3 farklı yöntemden de faydalanan ve bu araçları kullanmakta deneyimli olan katılımcıların tez kapsamında geliştirilen uygulamayı tasarım egzersizinden önce 15 dakika, tasarım egzersizi esnasında da 45 dakika olmak üzere toplam 1 saat kullandıkları göz önünde bulundurulduğunda, katılımcıların AG uygulamasını kullanma deneyimlerinin artması durumunda uygulamayı erken tasarım aşamasında daha verimli bir şekilde kullanmaya başlayacakları öngörülmektedir.

Karşılaştırmalı AG Memnuniyet Anketi'nde bulunan 8. ifadeye 5 ve üzeri puan veren katılımcılar yanıtlarını:

- (K6) “Hızlı feedback, hızlı temsil”,
- (K8) “Maket veya eskiz yapma aşamasında bazen işler ters gidebiliyor. 3D bir şeyi düşünürken aynı anda hızlı bir şekilde eskizleyebilmek konforlu ve hızlı”
- (K11) “Basit geometriler ile çalışma gereksinimi tasarımda daha farklı noktalara odaklanmamı sağladı”,
- (K13) “AG uygulaması maket pafta ya da coğrafi lokasyona göre kıyaslama, derecelendirme ve alternatif deneme imkanı sunuyor”,
- (K15) “Geri bildirimsel olarak tasarladığınız veya tasarlayacağınız nesnenin duruşunu görmek farklı yönlenmesine sebep olmaktadır”,
- (K18) “Maket üzerinde boyut ve derinlik algısıyla hızlıca kütleyi yerleştirmek ve manipüle etmek, eskiz gibi 2 boyutlu tasarım araçlarındaki düşünsel performansı hızlandırıyor.”

şeklinde açıklamışlardır.

Katılımcıların açıklamaları incelendiğinde geliştirilen AG uygulamasının erken tasarım aşamasında kullanılmasının kullanıcıya 3 boyutlu sanal kütlelerle çalışmanın hızlı bir şekilde kütle üretimi ve manipülasyonuna imkan veren yönü ile erken tasarım sürecinde alınan kararların hızlı bir şekilde temsil edilmesi ve çalışma ortamında görselleştirilmesi ile düşünülen eylemin sonucunun geri bildirim olarak değerlendirilmesine olanak tanıdığının belirtildiği gözlenmiştir. Ayrıca temel geometriler ile çalışma gereksiniminin tasarımda farklı noktalara odaklanmasını sağladığını belirten katılımcının açıklaması, uygulamanın erken tasarım sürecindeki kısıtlı zamanı sadece biçim arayışları ile geçirmek yerine tasarımın diğer noktalarına odaklanılmasını sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermesi açısından önemli bulunmuştur.

Katılımcıların “Tasarım sürecinin erken aşamalarında AG uygulamasını kullanmanın kolay olduğunu düşünüyorum.” şeklinde kendilerine yöneltilen ifadeye verdikleri puanların ortalaması 4.1’dir. Kendilerine yöneltilen 18 numaralı ifadeye 4’ün altında puan veren katılımcılardan AG uygulamasını kullanırken kendilerine zorluk çıkaran unsurları açıklamaları istendiğinde katılımcıların verdikleri cevaplar aşağıda bulunmaktadır.

- (K1) “Ekran boyutu seçim yapmayı etkilemekte, seçim yaparken zorlandım, hareketlerde bir problem olmadı, rotate komutunda birkaç kere sıkıntı yaşadım dönüş yönünü algılamakta.”
- (K2) “Yerleştirdiğim kütleyi bir sonraki kütle çalışmasına geçtiğimde ve tableti bırakıp tekrar elime aldığımda yerleştirdiğim koordinatta bulamadım. Sağa-sola, yukarıya – aşağıya kaymalar oldu her seferinde.”
- (K3) “Kullanıcı ara yüzünün sade olması olumlu, ancak komutları uygularken istenilen kütle değil diğer kütleleri de seçebiliyor ve komutu ona uygulayabiliyor. Bazen kütleleri istenilen açığa ve konuma yerleştirdiğinizi düşünüyorsunuz ancak ekranı oynattığınızda başka bir konuma farklı bir açıyla yerleştirdiğini fark ediyorsunuz.”
- (K5) “Ekran boyutu küçük, ekran üzerinde hareket ettirme içgüdüğü fakat bunu yapamama, seçme fonksiyonu için geriye dönme ihtiyacı”

- (K9) “Cihaz ısınması, kullanıcı arayüzünde fazla buton mevcut, el hareketleri, kaydırma vb. tercih edilebilir. Seçim (objeyi) fonksiyonlarında sorun çıkabiliyor. QR hareketleri objede geç yansıyor”
- (K10) “Arayüz ile ilgili problemler; ui üzerine tıklanıldığında nesnelerin seçimi, UI üzerinde default seçili kutuların tekrar seçilmesi gerekmesi. Devamlı bir telefonu havada tutmak tasarımcıyı yoruyor.”
- (K11) “Komut algılama sorunları, işaretleyicilerin algılanması sorunları”
- (K17) “Dokunma/bastırmanın tanımlanmasının zaman alması, kalibrasyon hassasiyeti, çevre koşullarına karşı hassasiyet.

Arayüz gayet okunaklı, donanımsal birtakım iyileştirmelerle, çok çok daha kullanıcı dostu olabileceğini düşünüyorum.”

- (K18) “Donanımsal olarak yetersiz kalabiliyor. Çok obje eklendiğinde uygulama kapanıyor. Objelerin kitlenebileceği veya perspektifin aynı kalmasının sağlanabileceği bir sabitleyici olabilir. Bunun dışında objeleri kopyalamak ya da birbirlerine göre-çevreye göre- eğime göre hizalama komutları olabilir. Plan şeması üzerindeki maketle eşleyip extrude komutu da güzel olurdu.”
- (K19) “İstenilen eylemlerin (örneğin seçim işlemi, scale komutu) aynı zamanda gerçekleştirilmemesi ya da hatalı bir şekilde gerçekleştirilmesi”
- (K20) “İstenen eylemleri hızlıca yapamamak, QR ekranda olmayınca nesnelerin görünmemesi, yeniden geldiklerinde yönelimlerinin ve konumlarının değişebiliyor olması, maketteki perspektif algısıyla uygulamadaki ölçeği kavramayı zorlaştırması.”

Katılımcıların açıklamaları incelendiğinde karşılaşılan problemlerin menülerle ve donanımla ilgili olduğu görülmüştür. K3, K9, K10, K11, K20 olarak kodlanan kullanıcıların menülerle ilgili özellikle de seçim işlemiyle ilgili problemler yaşadıklarını belirttikleri görülmüştür. Katılımcıların sanal nesnelerin seçimi ile ilgili yaşadıkları problemlerin kullanıcı deneyimini etkilediği ancak AG uygulamasının yazılımında yapılacak iyileştirmeler sonucunda, özellikle seçim metoduna eklenebilecek kontrol operasyonlarının yazılması ile seçim metodu ile ilgili yaşanan problemlerin azalacağı düşünülmektedir. Ayrıca AG uygulamasında kullanılan

işaretleyici tabanlı izleyici yönteminde işlemci gücünü gereksiz olarak harcamamak için kullanılan kısıtlamalarından biri olan izleyicinin veya izleyicinin bulunduğu cihazın işaretleyici takip edememesi durumunda ilişkili sanal nesnenin görselleştirilmesinin iptal edilmesi durumu ile karşılaşan katılımcıların belirttikleri problemle işaretleyici kullanılmayan AG uygulamalarında karşılaşılmamaktadır. Ancak yüksek hesaplama gücüne sahip teknolojik açıdan gelişmiş donanımlara erişmek kullanıcıların AG teknolojisine adaptasyonlarını etkileyebilecek faktörlerden birisi olan ilk yatırım maliyetini artıracığından bu problemin çözümünün donanım yerine yazılım alanında aranması ve uygulama tarafından çalışma alanında kalıcı (persistent) bir şekilde bulunabilecek sanal nesnelerin üretilmesinin yollarının araştırılması gerektiği düşünülmektedir.

Donanımla ilgili yaşadıkları problemlerden bahseden K1, K5, K9, K17, K18 olarak kodlanan kullanıcıların karşılaştıkları problemlerin büyük bir kısmının uygulamanın daha güncel bir mobil akıllı cihaza yüklenmesi ile çözüleceği düşünülmektedir. Genel olarak AG uygulamaları, özel olarak ise kullanıcıların etken bir şekilde önceden tanımlanmamış ve optimize edilmemiş birden fazla eylemi gerçekleştirdikleri AG uygulamaları, yüklendikleri mobil akıllı cihazlar göz önünde bulundurulduğunda, diğer uygulamalara göre daha fazla işlemci gücüne ihtiyaç duyduklarından dolayı yüklendikleri cihazların enerji harcamasını da artırmaktadırlar. Bu nedenle doktora tez çalışması kapsamında yapılan deney katılımcılarının da karşılaştığı cihazın ısınması, kapanması veya uygulamanın beklenmedik bir şekilde kapanması Hussein'e (2022) göre AG uygulamalarının kullanıldığı deneysel çalışmalarda karşılaşılan problemlerden birisidir.

Doktora çalışması kapsamında geliştirilen uygulamanın, katılımcıların belirttikleri kullanılabilirlik ile ilgili problemler göz önünde bulundurulduğunda, öznel ankette ortalamanın üzerinde bir puanla (4.1) ve kullanılabilirliğin değerlendirilmesi için özel geliştirilmiş MAGKÖ ve SKÖ anketleri kullanılarak değerlendirildiğinde de kabul edilebilir seviyede değerlendirilmesi öncelikle geliştirilmesinde izlenen yöntemin başarısının doğrulanması açısından önemli bulunmaktadır. Ayrıca AG teknolojisinden faydalanılarak tasarım alanında kullanılmak üzere geliştirilecek uygulamalarda hangi alanlara özellikle önem vermek gerektiğini vurgulaması nedeniyle katılımcıların açıklamaları çok değerli bulunmuştur.

6.4 Gelecek Çalışmalar

Doktora tez çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” uygulamasının kullanıldığı deneysel çalışmalarda elde edilen verinin analizi sonucunda, öncelikle tez çalışmasında erken tasarım aşamasında kullanılacak AG uygulamalarının geliştirilme süreci için önerilen çerçevenin başarı ile kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. İkinci olarak ise tez kapsamında önerilen uygulama geliştirme çerçevesine uygun bir şekilde geliştirilen “MimAR” uygulamasının tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanıcılarına kabul edilebilir seviyede iş yükü oluşturmaları ve kullanılabilirliğinin katılımcılar tarafından kabul edilebilir bulunması nedenleriyle yeni tasarım önerileri geliştirmekte kullanılabileceği sonucu elde edilmiştir.

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak “MimAR” uygulamasının farklı kullanıcıların deneyimlerinin değerlendirilmesinde, farklı yöntemlerle karşılaştırılmada, tasarım sürecinde kullanılmasının etkilerinin incelenmesinde ve katılımcıların beklentilerine göre yeni bir AG aracının geliştirilmesinde yol gösterici olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Doktora çalışması kapsamında veri toplama sürecinde gerçekleştirilen deneysel çalışmanın katılımcıları en az lisans seviyesinde mimarlık eğitimini tamamlamış kişilerden oluşmaktadır. Bu nedenle “MimAR” veya geliştirilecek AG tabanlı başka bir tasarım aracının lisans eğitime devam eden kişiler tarafından kullanılmasının sonuçlarını incelemenin AG teknolojisinin tasarım eğitime devam eden kişilerin tasarım eylemlerine etkilerinin incelenmesi adına faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca deneysel çalışma katılımcıları arasında yapılan değerlendirmede katılımcıların algıladıkları iş yüklerinin ve AG aracının kullanılabilirliği ile ilgili değerlendirmelerinin cinsiyet, BDT aracı kullanma deneyimi seviyesi gibi etkenlerden etkilenmediği sonucu elde edilmiştir. Benzer bir çalışmanın deneyimsiz katılımcılarla tekrarlanması durumunda nasıl sonuçlar elde edileceği AG uygulamalarının kullanılabilirliğinin ve kullanıcılarına oluşturdıkları iş yükünün kullanıcıların BDT araçları ile geçmiş deneyime sahip olmalarına bağlı olmadığını göstermesi açısından ilgi çekici bulunmaktadır.

Ayrıca doktora tezi kapsamında mimari tasarımın erken evrelerinde kullanılacak bir AG uygulamasından kullanıcı beklentilerinin tanımlanması amacıyla gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak geliştirilecek yeni bir AG

aracı ile “MimAR” uygulamasının aynı egzersizlerde kullanıldığı bir kurguya sahip yeni bir çalışma katılımcıların AG uygulamalarından beklentilerinin daha kesin bir şekilde tanımlanmasının yolunu açabileceği düşünülmektedir.

Üçüncü olarak doktora çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” uygulamasının başka tasarım yöntemleri ile karşılaştırılmasının, uygulamanın diğer yöntemlere göre performansının daha gerçekçi bir şekilde değerlendirilmesini sağlayacağı düşünülmektedir.

Son olarak ise, “MimAR” uygulaması kullanılarak gerçekleştirilecek bir tasarım egzersizinin katılımcıların tasarım süreci içerisindeki davranışlarının incelenmesi sonucunda elde edilecek verinin, AG teknolojisinin tasarım sürecinde kullanılmasının hangi imkanları tasarımcılara sunduğu konusunda farklı öngörülere sahip olunmasını sağlayabileceği düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda ele alınabilecek konular göz önünde bulundurulduğuna doktora çalışması kapsamında geliştirilen “MimAR” uygulamasının hem güncel versiyonu ile hem de güncel versiyonu üzerinde yapılacak değişiklikler sonucunda farklı odak noktalarına sahip çalışmalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Acar, A., Atalay, F. B., Say, S., Tunca, E. M., Çetin, M. C., Çalışkan, Ş. N., Altay, S. A., Öngören, P. G., & Karakaya, A. F. (2022). Kültürel mirasa yönelik coğrafi konum tabanlı mobil artırılmış gerçeklik teknolojisi uygulaması araştırması ve geliştirilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(4), 1931-1944. doi:10.17341/gazimmfd.932478
- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş, H. M., & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- AlFadilat, M., & Al-Azhari, W. (2022). An integrating contextual approach using architectural procedural modeling and augmented reality in residential buildings: the case of Amman city. *Heliyon*, 8(8), e10040. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10040>
- Aliakseyeu, D., Martens, J.-B., & Rauterberg, M. (2006). A Computer Support Tool for the Early Stages of Architectural Design. *Interacting with Computers*, 18(4), 528-555.
- Ariansyah, D., Erkoyuncu, J. A., Eimontaite, I., Johnson, T., Oostveen, A.-M., Fletcher, S., & Sharples, S. (2022). A head mounted augmented reality design practice for maintenance assembly: Toward meeting perceptual and cognitive needs of AR users. *Applied Ergonomics*, 98, 103597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103597>
- Asimow, M. (1962). *Introduction to design*: Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Azuma, R. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47.
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Kinshuk, & Graf, S. (2015). Mobile Augmented Reality in Vocational Education and Training. *Procedia Computer Science*, 75, 49-58. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.203>
- Bai, H., Lee, G. A., & Billinghurst, M. (2012). Freeze View Touch and Finger Gesture based Interaction Methods for Handheld Augmented Reality Interfaces. *Proceedings of the 27th Conference on Image and Vision Computing New Zealand*, 126-131.

- Bai, Z., & Blackwell, A. F.** (2012). Analytic review of usability evaluation in ISMAR. *Interacting with Computers*, 24(6), 450-460. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2012.07.004>
- Baldauf, M., & Zambanini, S. F., Peter; Reichl, Peter.** (2011). *Markerless visual fingertip detection for natural mobile device interaction*. Paper presented at the Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, Stockholm, Sweden. <http://0-dl.acm.org.divit.library.itu.edu.tr/citation.cfm?id=2037457&CFID=926171675&CFTOKEN=21180738>
- Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J.** (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114-123.
- Bangor, A., Kortum, P. T., & Miller, J. T.** (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574-594. doi:10.1080/10447310802205776
- Bayraktar, M. E., & Çağdaş, G.** (2020). A Mobile Design Environment for Building Form Generation. *Journal of Design Studio*, 2(2), 131-142.
- Beitzel, S., Dykstra, J., Huver, S., Kaplan, M., Loushine, M., & Youzwak, J.** (2016). Cognitive performance impact of augmented reality for network operations tasks *Advances in Human Factors in Cybersecurity* (pp. 139-151): Springer.
- Benford, S., Greenhalgh, C., Reynard, G., Brown, C., & Koleva, B.** (1998). Understanding and constructing shared spaces with mixed-reality boundaries. *ACM Transactions on computer-human interaction (TOCHI)*, 5(3), 185-223.
- Billinghurst, M.** (2002). Augmented reality in education. *New horizons for learning*, 12(5), 1-5.
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I.** (2001). The MagicBook - moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(3), 6-8. doi:10.1109/38.920621
- Bland, J. M., & Altman, D. G.** (1997). Statistics notes: Cronbach's alpha. *BMJ*, 314(7080), 572. doi:10.1136/bmj.314.7080.572
- Blattgerste, J., Renner, P., & Pfeiffer, T.** (2018). *Advantages of eye-gaze over head-gaze-based selection in virtual and augmented reality under varying field of views*. Paper presented at the Proceedings of the Workshop on Communication by Gaze Interaction.
- Bolton, A., Burnett, G., & Large, D. R.** (2015). *An investigation of augmented reality presentations of landmark-based navigation using a head-up display*. Paper presented at the Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- Bonamente, M.** (2017). *Statistics and Analysis of Scientific Data* (2nd ed.): Springer New York.
- Brooke, J.** (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.

- Bruegge, B., & Dutoit, A. A.** (1999). *Object-Oriented Software Engineering; Conquering Complex and Changing Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR.
- Buxton, B.** (2007). *Sketching user experiences: getting the design right and the right design* (2nd ed.): Elsevier Science.
- Carrasco, M. D. O., & Chen, P.-H. (2021). Application of mixed reality for improving architectural design comprehension effectiveness. *Automation in construction*, 126, 103677. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103677>
- Caudell, T. P., & Mizell, D. W.** (1992, 7-10 Jan 1992). *Augmented Reality: An Application of Heads-up Display Technology to Manual Manufacturing Processes*. Paper presented at the Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences.
- Chang, K.-E., Chang, C.-T., Hou, H.-T., Sung, Y.-T., Chao, H.-L., & Lee, C.-M.** (2014). Development and behavioral pattern analysis of a mobile guide system with augmented reality for painting appreciation instruction in an art museum. *Computers & Education*, 71, 185-197. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.022>
- Chang, Y.-S., Hu, K.-J., Chiang, C.-W., & Lugmayr, A.** (2020). Applying Mobile Augmented Reality (AR) to Teach Interior Design Students in Layout Plans: Evaluation of Learning Effectiveness Based on the ARCS Model of Learning Motivation Theory. *Sensors*, 20(1), 105.
- Chen, Y.-J., Lai, Y.-S., & Lin, Y.-H.** (2020). BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment. *Automation in construction*, 110, 103041. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103041>
- Chen, Z.-R.** (2007). *How to Improve Creativity*. Paper presented at the Computer-Aided Architectural Design Futures (CAADFutures) 2007, Dordrecht.
- Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C.** (2013). Affordances of Augmented Reality in Science Learning: Suggestions for Future Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22(4), 449-462. doi:10.1007/s10956-012-9405-9
- Chin, J. P., Diehl, V. A., & Norman, K. L.** (1988). *Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface*. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Washington, D.C., USA. <https://0-dl-acm-org.divit.library.itu.edu.tr/citation.cfm?id=57203>
- Choi, J., Park, H., Park, J., & Park, J. I.** (2011, 26-29 Oct. 2011). *Bare-hand-based augmented reality interface on mobile phone*. Paper presented at the 2011 10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality.
- Chu, M., Matthews, J., & Love, P. E. D.** (2018). Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. *Automation in construction*, 85, 305-316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.032>

- Cidota, M., Lukosch, S., Datcu, D., & Lukosch, H.** (2016). Comparing the Effect of Audio and Visual Notifications on Workspace Awareness Using Head-Mounted Displays for Remote Collaboration in Augmented Reality. *Augmented Human Research*, 1(1), 1. doi:10.1007/s41133-016-0003-x
- Coyne, R., Park, H., & Wiszniewski, D.** (2002). Design devices: digital drawing and the pursuit of difference. *Design Studies*, 23(3), 263-286. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(01\)00038-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(01)00038-2)
- Creswell, J. W.** (2012). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* Retrieved from <https://books.google.com.tr/books?id=4PywcQAACAAJ>
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P.** (2017). *Designing and conducting mixed methods research*: Sage publications.
- Dalle Mura, M., & Dini, G.** (2021). An augmented reality approach for supporting panel alignment in car body assembly. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 251-260. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.03.004>
- Dey, A., Billinghamurst, M., Lindeman, R. W., & J. E. Swan, I.** (2016, 19-23 Sept. 2016). *A Systematic Review of Usability Studies in Augmented Reality between 2005 and 2014*. Paper presented at the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct).
- Do, E. Y.-L., & Gross, M. D.** (1996). *Drawing as a means to design reasoning*. Paper presented at the AI and Design.
- Do Hyoung, S., & Dunston, P. S.** (2010). Technology development needs for advancing Augmented Reality-based inspection. *Automation in construction*, 19(2), 169-182.
- Dorta, T.** (2008). Design flow and ideation. *International Journal of Architectural Computing*, 6(3), 299-316.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R.** (2009). Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22. doi:10.1007/s10956-008-9119-1
- Dünser, A., Grasset, R., & Billinghamurst, M.** (2008). *A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies*. Retrieved from New Zealand: https://www.researchgate.net/profile/Mark_Billinghurst/publication/216867631_A_Survey_of_Evaluation_Techniques_Used_in_Augmented_Reality_Studies/links/09e4150782be47b86d000000.pdf
- Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2019). *Türkiye’de artırılmış gerçeklik konusunda gerçekleştirilen çalışmalara kısa bir bakış: Geçmiş, güncel çalışmalar ve yeni ufuklar*. Paper presented at the MSTAS 2019 XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Kocaeli.
- Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2022a). Exploring usability tests to evaluate designers’ interaction with mobile augmented reality application for conceptual architectural design. *ITU J Faculty Arch*, 19(1), 225-242. doi:10.5505/itujfa.2022.90688

- Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2022b, 22-26. 06.2022). *Mimari tasarım sürecinin erken evresinde kullanılacak artırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanıcı tercihlerinin regresyon analizi yöntemi ile belirlenmesi*. . Paper presented at the MSTAS 2022 XVI. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu, Eskişehir.
- Eastman, C.** (2001). New directions in design cognition: studies of representation and recall. *Design knowing and learning: Cognition in design education*, 147-198.
- Everitt, B. S., & Skrondal, A.** (2010). *The Cambridge Dictionary of Statistics* (4th Edition ed.): Cambridge University Press.
- Fazel, A., & Izadi, A.** (2018). An interactive augmented reality tool for constructing free-form modular surfaces. *Automation in construction*, 85, 135-145. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.015>
- Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T., & Webster, A.** (1997). A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Personal Technologies*, 1(4), 208-217. doi:10.1007/BF01682023
- Figueira, J., & Roy, B.** (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2), 317-326. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8)
- Fonseca, D., Martí, N., Navarro, I., Redondo, E., & Sánchez, A.** (2012, 29-31 Oct. 2012). *Using augmented reality and education platform in architectural visualization: Evaluation of usability and student's level of satisfaction*. Paper presented at the 2012 International Symposium on Computers in Education (SIIE).
- Fonseca, D., Villagrasa, S., Martí, N., Redondo, E., & Sánchez, A.** (2013). Visualization Methods in Architecture Education Using 3D Virtual Models and Augmented Reality in Mobile and Social Networks. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 93, 1337-1343. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.040>
- Fukuda, T., Yokoi, K., Yabuki, N., & Motamedi, A.** (2019). An indoor thermal environment design system for renovation using augmented reality. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(2), 179-188. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.05.007>
- Funk, M., Bachler, A., Bachler, L., Kosch, T., Heidenreich, T., & Schmidt, A.** (2017). *Working with Augmented Reality?: A Long-Term Analysis of In-Situ Instructions at the Assembly Workplace*. Paper presented at the Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Island of Rhodes, Greece. <https://0-dl.acm.org.divit.library.itu.edu.tr/citation.cfm?id=3056548&CFID=1023757917&CFTOKEN=31540787>

- Funk, M., Kosch, T., & Schmidt, A.** (2016). *Interactive worker assistance: comparing the effects of in-situ projection, head-mounted displays, tablet, and paper instructions*. Paper presented at the Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing.
- Gabbard, J. L., & J. E. Swan, I.** (2008). Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(3), 513-525. doi:10.1109/TVCG.2008.24
- Geng, J., Song, X., Pan, Y., Tang, J., Liu, Y., Zhao, D., & Ma, Y.** (2020). A systematic design method of adaptive augmented reality work instruction for complex industrial operations. *Computers in Industry*, 119, 103229.
- Gervautz, M., & Schmalstieg, D.** (2012). Anywhere Interfaces Using Handheld Augmented Reality. *Computer*, 45(7), 26-31. doi:10.1109/MC.2012.72
- Gheisari, M., Foroughi Sabzevar, M., Chen, P., & Irizzary, J.** (2016). Integrating BIM and Panorama to Create a Semi-Augmented-Reality Experience of a Construction Site. *International Journal of Construction Education and Research*, 12(4), 303-316. doi:10.1080/15578771.2016.1240117
- Goel, V.** (1995). *Sketches of Thought*: Cambridge: MIT Press.
- Goldschmidt, G.** (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*, 4(2), 123-143.
- Grier, R. A.** (2015). *How high is high? A meta-analysis of NASA-TLX global workload scores*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Gross, M. D.** (1996). The Electronic Cocktail Napkin - computer support for working with diagrams. *Design Studies*, 17(1), 53-69.
- Gross, M. D., & Do, E. Y.-L.** (1996). *Ambiguous intentions: a paper-like interface for creative design*. Paper presented at the Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology.
- Gül, L. F.** (2017a). Studying Architectural Massing Strategies in Co-design. *SharingofComputableKnowledge!*, 703.
- Gül, L. F.** (2017b, 20-22 September 2017,). *Studying Architectural Massing Strategies in Co-design-Mobile Augmented Reality Tool versus 3D Virtual World*. Paper presented at the ShoCK! - Sharing Computational Knowledge! - Proceedings of the 35th eCAADe Conference Sapienza University of Rome, Rome, Italy.
- Gül, L. F.** (2020). The Impact of Digital Technologies On Collaborative Design. *Megaron*, 15(1), 84-98. doi:10.14744/megaron.2019.23281
- Hart, S. G.** (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904-908. doi:10.1177/154193120605000909

- Hart, S. G., & Staveland, L. E.** (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Advances in Psychology* (Vol. 52, pp. 139-183): North-Holland.
- Haynes, P., Hehl-Lange, S., & Lange, E.** (2018). Mobile Augmented Reality for Flood Visualisation. *Environmental Modelling & Software*, 109, 380-389. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.05.012>
- Henrysson, A., Billinghurst, M., & Ollila, M.** (2005). *Virtual object manipulation using a mobile phone*. Paper presented at the Proceedings of the 2005 international conference on Augmented tele-existence.
- Henrysson, A., Marshall, J., & Billinghurst, M.** (2007). *Experiments in 3D interaction for mobile phone AR*. Paper presented at the Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia, Perth, Australia. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1321295>
- Hincapié, M., Díaz, C., Zapata-Cárdenas, M.-I., Rios, H. d. J. T., Valencia, D., & Güemes-Castorena, D.** (2021). Augmented reality mobile apps for cultural heritage reactivation. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107281. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107281>
- Hou, L., Wang, X., Bernold, L., & Love, P. E. D.** (2013). Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 439-451. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000184
- Hürst, W., & van Wezel, C.** (2011). Multimodal Interaction Concepts for Mobile Augmented Reality Applications. In K.-T. Lee, W.-H. Tsai, H.-Y. M. Liao, T. Chen, J.-W. Hsieh, & C.-C. Tseng (Eds.), *Advances in Multimedia Modeling: 17th International Multimedia Modeling Conference, MMM 2011, Taipei, Taiwan, January 5-7, 2011, Proceedings, Part II* (pp. 157-167). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hürst, W., & Van Wezel, C.** (2013). Gesture-based interaction via finger tracking for mobile augmented reality. *Multimedia Tools and Applications*, 62(1), 233-258.
- Hussein, H. A. A.** (2022). Integrating augmented reality technologies into architectural education: application to the course of landscape design at Port Said University. *Smart and Sustainable Built Environment*(ahead-of-print).
- Ibáñez, M.-B., & Delgado-Kloos, C.** (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109-123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Ibrahim, R., & Rahimian, F. P.** (2010). Comparison of CAD and manual sketching tools for teaching architectural design. *Automation in construction*, 19(8), 978-987.

- Igual, L., Seguí, S., Vitrià, J., Puertas, E., Radeva, P., Pujol, O., Escalera, S., Dantí, F., & Garrido, L.** (2017). *Introduction to Data Science: A Python Approach to Concepts, Techniques and Applications*: Springer International Publishing.
- Jacobson, I., Christerson, M., Jonsson, P., & Overgaard, G.** (1992). *Object-oriented software engineering. A use case driven approach* (Vol. 1). [New York], Wokingham, Eng, Reading, Mass: ACM Press, Addison-Wesley Publishing.
- Jarque, C. M., & Bera, A. K.** (1987). A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, 163-172.
- Joklova, V., & Budreyko, E.** (2019, 26-27 March 2019). *Digital Technologies in Architectural Design, Verification and Representation*. Paper presented at the 2019 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT).
- Jonson, B.** (2005). Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. *Design Studies*, 26(6), 613-624. doi:<https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.03.001>
- Kamal, Z., Taghaddos, H., & Metvaei, S.** (2022). BIM-based repair and maintenance for hospital work order management. *Automation in construction*, 143, 104546. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104546>
- Kazi, R. H., Grossman, T., Cheong, H., Hashemi, A., & Fitzmaurice, G. W.** (2017). *DreamSketch: Early Stage 3D Design Explorations with Sketching and Generative Design*. Paper presented at the UIST.
- Keller, J. M.** (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of instructional development*, 10(3), 2. doi:10.1007/bf02905780
- Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., & Woolard, A.** (2006). "Making it real": exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3), 163-174. doi:10.1007/s10055-006-0036-4
- Kerr, J., & Lawson, G.** (2020). Augmented Reality in Design Education: Landscape Architecture Studies as AR Experience. *International Journal of Art & Design Education*, 39(1), 6-21. doi:10.1111/jade.12227
- Kirakowski, J., & Corbett, M.** (1993). SUMI: the Software Usability Measurement Inventory. *British Journal of Educational Technology*, 24(3), 210-212. doi:doi:10.1111/j.1467-8535.1993.tb00076.x
- Klopfer, E.** (2008). *Augmented Learning: Research and Design of Mobile Educational Games*: MIT Press.
- Knight, M., Dokonal, W., Brown, A., & Hannibal, C.** (2005). *Contemporary Digital Techniques in the Early Stages of Design*, Dordrecht.
- Kopinski, T., & Handmann, U.** (2016, 15-18 Feb. 2016). *Touchless interaction for future mobile applications*. Paper presented at the 2016 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC).

- Landauer, T. K.** (1997). Chapter 9 - Behavioral Research Methods in Human-Computer Interaction *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)* (pp. 203-227). Amsterdam: North-Holland.
- Lawson, B.** (1999). "Fake" and "Real" creativity using computer aided design: some lessons from Herman Hertzberger. Paper presented at the Proceedings of the 3rd Conference on Creativity & Cognition.
- Lawson, B., & Loke, S. M.** (1997). Computers, words and pictures. *Design Studies*, 18(2), 171-183. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)85459-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)85459-2)
- Lewis, J. R.** (1992). Psychometric Evaluation of the Post-Study System Usability Questionnaire: The PSSUQ. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 36(16), 1259-1260. doi:10.1177/154193129203601617
- Lewis, J. R.** (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57-78. doi:10.1080/10447319509526110
- Lewis, J. R., & Sauro, J.** (2018). Item benchmarks for the system usability scale. *Journal of usability studies*, 13(3).
- Li, X., Yi, W., Chi, H.-L., Wang, X., & Chan, A. P. C.** (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in construction*, 86(Supplement C), 150-162. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>
- Lin, C.-Y.** (2001). A digital procedure of building construction. *CAADRIA2001, Key Centre of Design Computing and Cognition, University of Sydney*, 459-468.
- Lin, H.-C. K., Chen, M.-C., & Chang, C.-K.** (2015). Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 799-810. doi:10.1080/10494820.2013.817435
- Madsen, B. S.** (2016). *Statistics for Non-Statisticians*: Springer Berlin Heidelberg.
- Maiti, A., Jadliwala, M., & Weber, C.** (2017). Preventing shoulder surfing using randomized augmented reality keyboards. Paper presented at the 2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops).
- Martín-Gutiérrez, J., Luís Saorín, J., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M.** (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), 77-91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cag.2009.11.003>
- Milgram, P., & Colquhoun, H.** (1999). A Taxonomy of Real and Virtual World Display Integration. *Mixed Reality-Merging Real and Virtual Worlds*.
- Mitchell, W. J., & McCullough, M.** (1995). *Digital Design Media* (M. McCullough Ed. 2nd ed.): John Wiley & Sons.
- Mitterberger, D., Dörfler, K., Sandy, T., Salveridou, F., Hutter, M., Gramazio, F., & Kohler, M.** (2020). Augmented bricklaying. *Construction Robotics*. doi:10.1007/s41693-020-00035-8

- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., & Panopoulos, N.** (2020). A Framework for Automatic Generation of Augmented Reality Maintenance & Repair Instructions based on Convolutional Neural Networks. *Procedia CIRP*, 93, 977-982. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.130>
- Mutis, I., & Ambekar, A.** (2020). Challenges and enablers of augmented reality technology for in situ walkthrough applications. *Journal of Information Technology Construction*, 25, 55-71. doi:10.36680/j.itcon.2020.003
- Nasman, J., & Cutler, B.** (2013). Evaluation of user interaction with daylighting simulation in a tangible user interface. *Automation in construction*, 36, 117-127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.08.018>
- Nielsen, J.** (1993). *Usability Engineering*: Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J. B., & Camahort, E.** (2008). *Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education*. Paper presented at the Proceedings of the 5th WSEAS/IASME international conference on Engineering education.
- Oufqir, Z., El Abderrahmani, A., & Satori, K.** (2020). *From Marker to Markerless in Augmented Reality*. Paper presented at the Embedded Systems and Artificial Intelligence, Singapore.
- Paes, D., Arantes, E., & Irizarry, J.** (2017). Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems. *Automation in construction*, 84(Supplement C), 292-303. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.016>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H.** (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>
- Pence, H. E.** (2010). Smartphones, Smart Objects, and Augmented Reality. *The Reference Librarian*, 52(1-2), 136-145. doi:10.1080/02763877.2011.528281
- Piumsomboon, T., Altimira, D., Kim, H., Clark, A., Lee, G., & Billingham, M.** (2014, 10-12 Sept. 2014). *Grasp-Shell vs gesture-speech: A comparison of direct and indirect natural interaction techniques in augmented reality*. Paper presented at the 2014 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR).
- Purcell, A. T.** (1998). Editorial. *Design Studies*, 19(4), 385-387. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(98\)00014-3](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00014-3)
- Rahimian, F. P., & Ibrahim, R.** (2011). Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. *Design Studies*, 32(3), 255-291.
- Rauhala, K.** (2003). Playing games: The role of computers in sketching. *Digital Design*, 347-350.

- Rauschnabel, P. A., & Ro, Y. K.** (2016). Augmented reality smart glasses: An investigation of technology acceptance drivers. *International Journal of Technology Marketing*, 11(2), 123-148. doi:10.1504/IJTMKT.2016.075690
- Rehman, U., & Cao, S.** (2016). Augmented-reality-based indoor navigation: A comparative analysis of handheld devices versus google glass. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 47(1), 140-151.
- Riera, A. S., Redondo, E., & Fonseca, D.** (2014). Geo-located teaching using handheld augmented reality: good practices to improve the motivation and qualifications of architecture students. *Universal Access in the Information Society*, 14(3), 363-374. doi:10.1007/s10209-014-0362-3
- Rohil, M. K., & Ashok, Y.** (2022). Visualization of urban development 3D layout plans with augmented reality. *Results in Engineering*, 14, 100447. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100447>
- Rolland, J. P., & Fuchs, H.** (2000). Optical Versus Video See-Through Head-Mounted Displays in Medical Visualization. *Presence*, 9(3), 287-309. doi:10.1162/105474600566808
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., & Booch, G.** (2004). *The Unified Modeling Language Reference Manual* (Second Edition ed.): Pearson Higher Education.
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T.** (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Ryu, Y. S., & Smith-Jackson, T. L.** (2005). *Development of usability questionnaire items for mobile products and content validity*. Paper presented at the Proceedings of HCI International.
- Ryu, Y. S., & Smith-Jackson, T. L.** (2006). Reliability and validity of the mobile phone usability questionnaire (MPUQ). *J. Usability Studies*, 2(1), 39-53.
- Sachse, P., Leinert, S., & Hacker, W.** (2001). Designing with computer and sketches. *Swiss Journal of Psychology / Schweizerische Zeitschrift für Psychologie / Revue Suisse de Psychologie*, 60(2), 65-72. doi:10.1024//1421-0185.60.2.65
- Sangiorgio, V., Martiradonna, S., Fatiguso, F., & Lombillo, I.** (2021). Augmented reality based - decision making (AR-DM) to support multi-criteria analysis in constructions. *Automation in construction*, 124, 103567. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103567>
- Sanoff, H.** (2016). *Methods of Architectural Programming (Routledge Revivals)*: Routledge.
- Santos, M., Ericson, C. , Polvi, J., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C., & Kato, H.** (2015). Toward Standard Usability Questionnaires for Handheld Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(5), 66-75. doi:10.1109/MCG.2015.94

- Santos, M., Ericson, C., Taketomi, T., Sandor, C., Polvi, J., Yamamoto, G., & Kato, H.** (2014). *A Usability Scale for Handheld Augmented Reality*. Paper presented at the Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, Edinburgh, Scotland. <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2671019>
- Santos, M. E. C., Chen, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Miyazaki, J., & Kato, H.** (2014). Augmented reality learning experiences: Survey of prototype design and evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), 38-56.
- Schön, D. A.** (1991). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action* (London, Arena): Ashgate Publishing Limited.
- Schön, D. A., & Wiggins, G.** (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135.
- Seo, B.-K., Choi, J., Han, J.-H., Park, H., & Park, J.-I.** (2008). *One-handed interaction with augmented virtual objects on mobile devices*. Paper presented at the Proceedings of The 7th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry.
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R.** (2002, 29-29 Sept. 2002). *Using augmented reality for teaching Earth-Sun relationships to undergraduate geography students*. Paper presented at the The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit.
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R.** (2004). Exploring a cognitive basis for learning spatial relationships with augmented reality. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 1(4), 323-357.
- Sheng, Y., Yapo, T. C., Young, C., & Cutler, B.** (2011). A Spatially Augmented Reality Sketching Interface for Architectural Daylighting Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(1), 38-50. doi:10.1109/TVCG.2009.209
- Shih, Y. T., Sher, W. D., & Taylor, M.** (2017). Using suitable design media appropriately: Understanding how designers interact with sketching and CAD modelling in design processes. *Design Studies*, 53, 47-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.005>
- Shneiderman, B., & Plaisant, C.** (2004). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (4th ed.): Pearson Addison Wesley.
- Silva, E., Franco, N., Ferro, M., & Fidalgo, R.** (2019). *Mental Workload Impact of a Visual Language on Understanding SQL Queries*. Paper presented at the Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE).
- Simon, H.** (1996). *The sciences of the artificial* (3rd Edition ed.): MIT Press.
- South, H., Taylor, M., Dogan, H., & Jiang, N.** (2017). *Digitising a medical clerking system with multimodal interaction support*. Paper presented at the Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction.

- Stones, C., & Cassidy, T.** (2007). Comparing synthesis strategies of novice graphic designers using digital and traditional design tools. *Design Studies*, 28(1), 59-72. doi:<https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.09.001>
- Střelák, D., Škola, F., & Liarokapis, F.** (2016). *Examining user experiences in a mobile augmented reality tourist guide*. Paper presented at the Proceedings of the 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments.
- Sutherland, I.** (1965, May 24-29). *The ultimate display*. Paper presented at the Information Processing 1965: Proceedings of the IFIP Congress 65, New York City.
- Sutherland, I. E.** (1968). *A head-mounted three dimensional display*. Paper presented at the Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I.
- Suwa, M., Gero, J. S., & Purcell, T.** (1998). *The roles of sketches in early conceptual design processes*. Paper presented at the Proceedings of Twentieth Annual Meeting of the Cognitive Science Society.
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. S.** (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455-483. doi:[https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00016-7)
- Suwa, M., & Tversky, B.** (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403.
- Suyanto, E. M., Angkasa, D., Turaga, H., & Sutoyo, R.** (2017). Overcome Acrophobia with the Help of Virtual Reality and Kinect Technology. *Procedia Computer Science*, 116(Supplement C), 476-483. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.10.062>
- Swan, J. E., & Gabbard, J. L.** (2005). *Survey of user-based experimentation in augmented reality*. Paper presented at the Proceedings of 1st International Conference on Virtual Reality.
- Sweller, J.** (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Tan, K., & Lim, C.** (2017). Digital heritage gamification: An augmented-virtual walkthrough to learn and explore tangible cultural heritage. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 9(2-12), 125-129.
- Thadewald, T., & Büning, H.** (2007). Jarque–Bera test and its competitors for testing normality—a power comparison. *Journal of applied statistics*, 34(1), 87-105.
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J.** (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>

- Tobar-Muñoz, H., Baldiris, S., & Fabregat, R.** (2017). Augmented Reality Game-Based Learning: Enriching Students' Experience During Reading Comprehension Activities. *Journal of Educational Computing Research*, 55(7), 901-936. doi:10.1177/0735633116689789
- Tullis, T., & Albert, B.** (2008). Measuring the user experience. Burlington, MA: Morgan Kaufman.
- Tullis, T. S., & Stetson, J. N.** (2004). *A comparison of questionnaires for assessing website usability*. Paper presented at the Usability professional association conference.
- Urbano, D., de Fátima Chouzal, M., & Restivo, M. T.** (2020). Evaluating an online augmented reality puzzle for DC circuits: Students' feedback and conceptual knowledge gain. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(5), 1355-1368. doi:<https://doi.org/10.1002/cae.22306>
- Url-1** <<https://developer.vuforia.com>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-2** < <https://www.wikitude.com> >, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-3** <<http://www.filefacts.com/dfusion-augmented-reality-info>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-4** < <https://www.onirix.com>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-5** < <https://www.deepar.ai>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-6** < <https://www.easyar.com>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-7** <<https://www.xlsoft.com/en/products/kudan/index.html>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-8** < <https://developer.maxst.com/> >, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-9** < <http://www.artoolkitx.org>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-10** < <https://www.magicleap.com/en-us/>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-11** < <https://www.inglobetechnologies.com/ar-media/>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-12** <https://www.pikkart.com/servizi/notizie/notizie_homepage.aspx?lang=3>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-13** < <https://developers.google.com/ar> >, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-14** <<https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>>, erişim tarihi 29.12.2022
- Url-15** <<https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/mrtk-unity/mrtk2/?view=mrtkunity-2022-05>>, erişim tarihi 29.12.2022
- van der Meulen, E., Cidota, M. A., Lukosch, S. G., Bank, P. J., van der Helm, A. J., & Visch, V. T.** (2016). *A haptic serious augmented reality game for motor assessment of parkinson's disease patients*. Paper presented at the 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct).
- van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R.** (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1.

- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R.** (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, 47(2), 599-604.
- Verstijnen, I. M., van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., & Hennessey, J.** (1998). Sketching and creative discovery. *Design Studies*, 19(4), 519-546.
- Victoria Zhao, Z., Lopez, C. E., & Tucker, C. S.** (2019). Evaluating the Impact of Idea Dissemination Methods on Information Loss. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 19(3).
- Wagner, D., Reitmayr, G., Mulloni, A., Drummond, T., & Schmalstieg, D.** (2010). Real-Time Detection and Tracking for Augmented Reality on Mobile Phones. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 16(3), 355-368. doi:10.1109/TVCG.2009.99
- Wagner, D., & Schmalstieg, D.** (2007). *ARToolKitPlus for Pose Tracking on Mobile Devices*. Paper presented at the Proceedings of 12th Computer Vision Winter Workshop, 2007.
- Wang, X.** (2009). Augmented reality in architecture and design: potentials and challenges for application. *International Journal of Architectural Computing*, 7(2), 309-326.
- Wenhao, H., Wenyeh, H., Heidi, D. D., & K., I. P.** (2006). A preliminary validation of Attention, Relevance, Confidence and Satisfaction model-based Instructional Material Motivational Survey in a computer-based tutorial setting. *British Journal of Educational Technology*, 37(2), 243-259. doi:doi:10.1111/j.1467-8535.2005.00582.x
- Won, P. H.** (2001). The comparison between visual thinking using computer and conventional media in the concept generation stages of design. *Automation in construction*, 10(3), 319-325. doi:[https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(00\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(00)00048-0)
- Yang, J., Rahardja, S., & Fränti, P.** (2019). *Outlier detection: how to threshold outlier scores?* Paper presented at the Proceedings of the international conference on artificial intelligence, information processing and cloud computing.
- Yi-Ming Kao, G., & Ruan, C.-A.** (2022). Designing and evaluating a high interactive augmented reality system for programming learning. *Computers in Human Behavior*, 132, 107245. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107245>
- Younes, G., Kahil, R., Jallad, M., Asmar, D., Elhadj, I., Turkiyyah, G., & Al-Harithy, H.** (2017). Virtual and augmented reality for rich interaction with cultural heritage sites: A case study from the Roman Theater at Byblos. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 5, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.daach.2017.03.002>



EKLER

Ek A: NASA iş yükü endeksi anketi

Ek B: AG uygulamalarından kullanıcıların beklentileri anketi

Ek C: Sistem kullanılabilirlik ölçüsü anketi

Ek D: Mobil AG kullanılabilirlik ölçüsü anketi

Ek E: AG teknolojisinin kullanıldığı çalışmalar

Ek F: Geçerliliğe etki eden faktörler

Ek G: Pilot çalışmada kullanılan anket ifadelerindeki değişiklikler

Ek H: Tasarım problemi tanımı ve mimari program

Ek I: Katılımcıların tasarım egzersizi kapsamında geliştirdikleri tasarım çözümlerinin görselleri

Ek J: AG Uygulamalarından Kullanıcı Beklentileri anketi sonuçları

Ek K: “AG Uygulamalarından Kullanıcı Beklentileri” anketini oluşturan ifadelerin kriterler arası korelasyon tablosu

Ek L: Karşılaştırmalı memnuniyet anketi



Ek A: NASA iş yükü endeksi anketi

Katılımcı No:
Tarih:

NASA İş Yükü Endeksi

Değerlendirme Ölçeği Tanımları		
Başlık	Değerlendirme Kriterleri	Açıklama
Düşünsel Beklenti (DB)	Düşük x Yüksek	Görevi tamamlamak için ne kadar zihinsel ve algısal aktivite gerekmektedir? (örnek: düşünme, karar verme, hatırlama, arama, vb.) Görev kolay ya da karmaşık mı?
Fiziksel Beklenti (FB)	Düşük x Yüksek	Görevi tamamlamak gereken fiziksel aktivite miktarı ne kadardır? (itme, çekme, döndürme, ayağa kalkma)?
Zamansal Beklenti (ZB)	Düşük x Yüksek	Verilen görev ve alt görevleri size tanınan süre içerisinde tamamlamak için ne kadar baskı altında hissettiniz? Görevleri yavaş ya da acele bir şekilde mi tamamladınız?
Çaba (Ç)	Düşük x Yüksek	Görevleri tamamladığınız performansa ulaşmak amacıyla ne kadar çaba harcamanız gerekti (zihinsel ve fiziksel olarak)?
Performans (P)	İyi x Kötü	Size verilen görevleri gerçekleştirmede ne kadar başarılı olduğunuzu düşünmektesiniz? Bahsedilen amaçlara ulaşmadaki performansınızdan ne derece memnunsunuz?
Kaygı Seviyesi (KS)	Düşük x Yüksek	Size verilen görevi tamamlarken ne kadar güvensiz, cesareti kırılmış, tedirgin, gergin ya da güvenli, hoşnut, memnun, rahat hissettiniz?

İş Yükü Alt Ölçeği Etkenlerinin Çiftli Değerlendirilmesi		
Açıklama: Gerçekleştirdiğiniz görev(ler)i göz önünde bulundurarak, deneyimlediğiniz iş yüküne en çok etkisi olduğunu düşündüğünüz etkeni aşağıda size verilen 15 iş yükü çifti içerisinde her çiftten birisi olmak üzere seçiniz.		
1. FB / DB	6. ZB / FB	11. ZB / KS
2. ZB / DB	7. P / FB	12. ZB / Ç
3. P / DB	8. KS / FB	13. P / KS
4. KS / DB	9. Ç / FB	14. P / Ç
5. Ç / DB	10. ZB / FB	15. Ç / KS

Katılımcı No:
Tarih:

NASA İş Yüğü Endeksi

Düşünsel Gereksinim / Beklenti



Fiziksel Gereksinim / Beklenti



Zamansal Beklenti



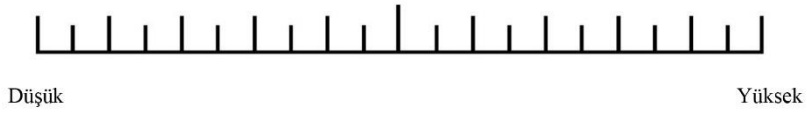
Çaba



Performans



Kaygı Seviyesi



Ek B: AG uygulamalarından kullanıcıların beklentileri anketi

Katılımcı No:

Tarih:

AG Uygulamalarından Kullanıcıların Beklentileri Anketi

Aşağıdaki ifadelere ne derece katıldığınızı, kesinlikle katılıyorum (7) ve kesinlikle katılmıyorum (1) olarak ifade edilen ölçeği kullanarak belirtiniz.

Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulamasında:

1. İşaretleyici tabanlı izleyicilerin bulunmasını tercih ediyorum.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

2. İşaretleyicisiz izleyicilerin bulunmasını tercih ediyorum.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

3. Statik görselleştirme cihazlarının kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

4. Mobil görselleştirme cihazlarının kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

5. Giyilebilen görselleştirme cihazlarının kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

6. Ekran dokunulmadan gerçekleştirilen jestlerin kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

Katılımcı No:

Tarih:

7. Önceden tanımlanmış 3 boyutlu nesnelerin üretilebilmesini tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

8. Görselleştirilecek tüm sanal nesneleri tasarım süreci içerisinde kendim üretmeyi tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

9. Üretilen 3 boyutlu sanal nesnelerin boyut, ölçek, renk ve yönelim özelliklerini değiştirebilmeyi tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

10. Grafik kullanıcı ara yüzünün çalışma alanını kaplamamasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

11. Başarılı ya da hatalı olarak gerçekleştirilen işlemlerin kullanıcılara çeşitli geri bildirim yolları ile iletilmesini tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Katılımcı No:

Tarih:

Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulamasında veri girişi yöntemi olarak:

12. Grafik kullanıcı arayüzü menülerinin kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

13. Ekrana dokunularak gerçekleştirilen jestlerin kullanılmasını tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

14. Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulaması kullanılarak üretilen tasarım alternatiflerinin değerlendirilmesinde 3 boyutlu sanal nesneler üzerinde önceden tanımlanmış farklı benzetimleri/simülasyonları gerçekleştirilebiliyor olmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

15. Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulaması kullanılarak üretilen tasarım alternatiflerinin farklı ortamlarda geliştirilmesine olanak sağlayacak biçimde uygulama dışına farklı uzantılara sahip dosyalar olarak çıkartılabilmesini tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Katılımcı No:

Tarih:

Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulamasını

16. Kullanırken çalışılan arazinin 3 boyutlu sanal modelinin çalışma ortamında görselleştirilmesini tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

17. Masaüstü cihazlarda kullanmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

18. Mobil akıllı cihazlarda kullanmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

19. Kullanırken çalışma alanı içerisinde özgürce dolaşabilmeyi ve ellerimi serbest bir şekilde kullanmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

20. Mimari tasarım sürecinin erken aşamalarında kullanılacak bir AG uygulamasında bulunmasını istediğiniz ancak anket içerisinde değinilmeyen özellikleri belirtebilir misiniz?

Ek C: Sistem kullanılabilirlik ölçüsü anketi

Katılımcı No:
Anketi
Tarih:

Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü

1. Uygulamayı sıklıkla kullanmak isterim.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

2. Uygulamayı karmaşık buldum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

3. Uygulamanın kullanımını kolay buldum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

4. Uygulamayı kullanmak için teknik desteğe ihtiyacım olacağını düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

5. Uygulamanın birçok farklı özelliğinin uyumlu çalıştığını düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

6. Uygulama içerisinde çok fazla tutarsızlık olduğunu düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

Katılımcı No:
Anketi
Tarih:

Sistem Kullanılabilirlik Ölçüsü

7. Birçok insanın uygulamayı kullanmayı kolaylıkla öğrenebileceğini düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

8. Uygulamanın kullanışsız olduğunu düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

9. Uygulamayı kendimden emin bir şekilde kullanabildiğimi düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

10. Uygulamayı etkin bir şekilde kullanmak için daha fazla bilgi edinmem gerektiğini düşünüyorum.

Kesinlikle katılmıyorum								Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5				

Ek D: Mobil AG kullanılabilirlik ölçüsü anketi

Katılımcı No:

Mobil Arttırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Anketi

Tarih:

Anlaşılabilirlik ile ilgili ifadeler:

1. Uygulamayı kullanmanın fazlasıyla zihinsel emek gerektirdiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

2. Ekranda görüntülenen bilgi miktarının yeterli olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

3. Ekranda görüntülenen bilginin zor okunduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

4. Ekranda görüntülenen bilginin yapılan değişikliklere göre yeterince hızlı güncellendiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

5. Ekranda görüntülenen bilginin kafa karıştırıcı olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

6. Ekranda görüntülene kelime ve sembollerin kolay okunabildiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Katılımcı No:
Tarih:

Mobil Arttırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Anketi

7. Ekrandaki görüntünün gerektiğinden fazla titrediğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

8. Ekranda görüntülenen bilginin tutarlı olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Kullanılabilirlik ile ilgili ifadeler:

9. Uygulamayı kullanmanın fazlasıyla fiziksel emek gerektirdiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

10. Uygulamayı kullanırken kollarım ve ellerimde bir rahatsızlık hissetmedim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

11. Uygulamayı kullanırken cihazı tutmanın zor olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

12. Uygulamayı kullanırken kolaylıkla veri girişi yapılabildiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Katılımcı No:
Tarih:

Mobil Arttırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçüsü Anketi

13. Belirli bir süre uygulamayı kullandıktan sonra kollarım ve ellerimin yorulduğunu hissettim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

14. Uygulamayı kontrol etmenin fiziksel olarak kolay olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

15. Belirli bir süre uygulamayı kullandıktan sonra cihazı tutmanın zorlaştığını ve cihazın düşme tehlikesi içerisinde olduğunu düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

16. Uygulamanın karmaşık olmadığını ve rahat bir şekilde kullanılabildiğini düşünmekteyim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	



Ek E: AG teknolojisinin sağladığı olanakların mimarlık alanında kullanımının incelendiği çalışmalar

Çizelge E.1: Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Kamal ve diğerleri (2022)	Tamir ve bakım	Hastane binalarında bakım ve onarım işlerinin BBM ve AG teknolojilerinden faydalanılarak optimizasyonunun yapılması.	Üç teknikerin katıldığı 1 gün süren bir vaka çalışması sonucunda geliştirilen sistemin etkinliği değerlendirilmiştir.	Unity Oyun Motoru, ARCore YGA,	Akıllı mobil telefon.
Moirtizis ve diğerleri (2020)	Tamir ve bakım	AG bakım talimatlarının evrişimsel yapay sinir ağlarından (<i>Convolutional Neural Networks</i>) faydalanılarak otomatik bir şekilde üretilmesinin incelenmesi.	Saha çalışması (S:10)	Unity Oyun Motoru, Vuforia eklentisi, MRTK YGA,	Microsoft Hololens,
Yi-Jao ve diğerleri (2020)	Tamir ve bakım	Yangın güvenliği malzemelerinin kontrol ve bakımında başvuru dokümanların ulaşılması ve incelenmesinin etkinleştirilmesi için BBM ve AG teknolojisinden yararlanılması.	Pilot çalışma (S:9) ve deney ve kontrol gruplarına ayrılan katılımcılarla gerçekleştirilen (S:24) asıl çalışma.	BBM bileşeni olarak Autodesk Revit, Apple ARKit YGA	Akıllı mobil cihaz.
Mura ve Dini (2021)	Tamir ve bakım	Araç kaportasını oluşturan parçaların önceden tanımlanmış toleranslar arasında kalarak hizalanması ve birleştirilmesi işleminde karşılaşılan hataları ve bu işlemin süresini azaltmak	Bir teknikerin katılımıyla gerçekleştirilen çalışmada uygulama kullanılarak otomobil kaportasının belirli bir bölümünün montajı yapılmıştır. Montajı yapılan parçalardaki hata oranları ölçülmüştür.	Unity Oyun Motoru, Vuforia eklentisi	Akıllı mobil cihaz, giyilebilir görüntüleme cihazı
Ariansyah ve diğerleri (2022)	Tamir ve bakım	AG sistemlerinde kullanılan farklı etkileşim yöntemlerinin kullanıcı performansı, iş yükü, bakış davranışları ve bakım montaj işlemlerinde kullanılabilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi.	Kontrol ve test gruplarına ayrılan katılımcılar (N:51) kendilerine verilen görevi istenen yöntemle tamamlamışlardır. Katılımcıların performansları, iş yükleri, fizyolojik değerlendirmeleri, memnuniyetleri ve uygulamanın kullanılabilirliğine ilişkin öznel değerlendirmeleri elde edilmiştir.	Unity oyun motoru, Vuforia eklentisi	Microsoft Hololens

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Bacca ve diğerleri (2015)	Eğitim	Motorlu araç bakım ve tamir eğitimi alan öğrencilerin öğrenim süreçlerini desteklemek amacıyla AG teknolojisinin kullanımının öğrencilerin motivasyon ve memnuniyetlerine etkileri incelenmiştir.	Öğrencilerin katılımıyla (S:13) 1 saat süren deney sonucunda katılımcılar test süreleri, dikkatleri, ilgileri, güvenleri ve memnuniyetlerinin ölçülmesi için hazırlanan motivasyon anketini cevaplamışlardır.	(-)	(-)
Kao ve Ruan (2022)	Eğitim	Programlama kavramlarının daha anlaşılabilir bir hale gelmesi için AG teknolojisinin sunduğu imkanların incelenmesi.	Pilot çalışma. Asıl çalışmada üç gruba ayrılan katılımcıların (S:98) öğrenme performansları ön ve son-test anketleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca katılımcıların öğrenme motivasyonları teknoloji kabulleri ve bilişsel yükleri anketlerle ölçülmüştür.	Unity oyun motoru, Vuforia eklentisi	Akıllı mobil cihaz.
Thees ve diğerleri (2020)	Eğitim	AG teknolojisinden uygulamalı fizik eğitimi alanında faydalanılmasının öğrencilerin konuyla ilgili bilgilerini artırmalarına ve iş yüklerine etkisinin incelenmesidir.	Deney (S:34) ve kontrol (S:40) grubu olarak ikiye ayrılan katılımcılarla (S:74) gerçekleştirilen çalışmada ön-test son test olarak “Kavramsal Bilgi Testi”, son test olarak ise “Bilişsel Yük Ölçeği” ve “Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği” anketleri kullanılmıştır.	Unity oyun motoru, Vuforia eklentisi	Microsoft Hololens
Urbano ve diğerleri (2020)	Eğitim	Mühendislik öğrencilerinin AG uygulaması kullanımları sonrasında deneyimleri ve kavramsal bilgi kazanımlarını incelenmiştir	Birbirini takip eden 3 eğitim dönemi boyunca devam eden çalışmada katılımcılar (S:433) uygulamayı 45 dakika kullanmışlardır. Çalışma tamamlandıktan sonra 15 ifadede oluşan anket cevaplandırılmıştır.	JavaScript Kütüphanesi, JSAR YGA	Kişisel bilgisayar, web kamerası ve internet bağlantısı.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Chang ve diğerleri (2014)	Eğitim	Çalışmada kullanıcıların sanat eserlerini daha iyi anlamalarını sağlayarak bilgileri ve müzelerde geçirdikleri zamanı artırmak amaçlanmıştır.	Uygulama AG rehberli (S:46), ses rehberli (S:43) ve rehbersiz (S:42) olarak üç gruba ayrılan katılımcılar tarafından değerlendirilmiştir. Ön test/son-test şeklinde sanat eseri anlama anketi ve test sonrası gerçekleştirilen akış deneyimi ölçeği anketleri kullanılmıştır. Ayrıca her gruptan rastgele seçilen 10 katılımcı ile röportaj gerçekleştirilmiştir.	(-)	Android işletim sistemine sahip Akıllı mobil cihazlar.
Munoz ve diğerleri (2017)	Eğitim	Okuduğunu anlama konusunda verilen eğitimlerde öğrencilerin motivasyonlarını artırma yollarından birisi olarak AG ve oyun tabanlı öğrenme yöntemlerinin kullanılmasını incelemişlerdir.	Pilot çalışma (S:31) ile uygulamanın iyileştirilmesinin ardından deney ve kontrol grupları olarak iki gruba ayrılan katılımcılar (S:51) çalışma sonunda 8 ifadeden oluşan anketi cevaplamışlardır.	(-)	Android işletim sistemine sahip akıllı telefon ve tabletler.
Hussein (2022)	Eğitim/Tasarım	Peyzaj mimarlığı eğitimi alan öğrencilere ilgi çekici bir öğrenme ortamı sunarak öğrencilerin çevre tasarımı konusundaki bilgilerini artırmalarına yardımcı olmak amaçlanmıştır.	Katılımcılar (S:29) farklı peyzaj mimarlığı eğitimi egzersizlerini tamamlamışlardır. Egzersizlerin ardından peyzaj mimarlığına ilişkin bilgilerinin değerlendirileceği ön-test/son-test şekilde uygulanan anket, uygulamanın avantaj ve dezavantajlarının tanımlanmasında kullanılacak ikinci bölüm ve son olarak katılımcıların eğitimlerinde AG teknolojisi kullanmakla ilgili düşüncelerini ifade etmelerinin istendiği toplam 3 bölümden oluşan anketi cevaplandırılmıştır.	Unity oyun motoru, ARCore YGA	Android işletim sistemine sahip akıllı telefon ve tabletler.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Al Fadalat ve Al Ahzari (2022)	Tasarım/Dijital İmalat	Amman şehrindeki mevcut konut stoğunu vaka olarak kabul ederek, biçim grameri temelli prosedürel modelleme ve AG teknolojisini kullanarak bölgedeki mevcut mimari dil ile uyumlu yeni tasarım olasılıklarının üretilmesinin incelenmesi amaçlanmıştır.	Geliştirilen aracın etkinliğinin belirlenmesi için Lisans seviyesinde eğitimlerine devam eden katılımcılarla (S:30) toplamda 135 dakika süren deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Katılımcılar çalışma tamamlandığında uygulama ile ilgili yaklaşımları ve tercihlerinin belirlenmesi amacıyla hazırlanan anketi cevaplamışlardır.	Houdini Digital Asset, Augin (ücretli), makine öğrenmesi kullanılarak tasarım olasılıklarının uygunluklarının değerlendirilmesi.	Akıllı mobil cihazlar.
Fazel ve Izadi (2018)	Tasarım	Gündelik kullanımda olan ulaşılabilir cihazlarda çalışabilen interaktif ve çok işaretleyicili AG uygulaması kullanılarak modüler serbest biçimli yüzeylerin düşük maliyetli bir şekilde üretilme olasılığını incelemişlerdir.	Geliştirilen AG uygulamasının kullanılabilirliğinin değerlendirilebilmesi amacıyla 5 ayrı vaka çalışması (S:5) gerçekleştirilmiştir. İnşa edilen yapı elemanlarının pozisyonlarındaki hatalar kontrol edilmiştir.	ARToolKit YGA aracı kullanılarak “Processing” dilinde yazılmıştır. OpenCV kitaplığı kullanılmıştır.	Kişisel mobil bilgisayar ve giyilebilir görüntüleme cihazı.
Mitterberger ve diğerleri (2020)	Tasarım/Dijital İmalat	İmalatlarda robotik fabrikasyon yöntemi kullanılarak elde edilebilen geometrik karmaşıklık ve kesinliğe AG teknolojisi kullanarak ulaşmak amaçlanmıştır.	Uygulama bir vaka çalışması kapsamında kullanılarak test edilmiştir.	(-)	Monitör, hesaplama bilgisayar, görselleştirme bilgisayar, kamera ve atalet ölçüm ünitesi, oyun kumandası.
Nasman ve Cutler (2013)	Tasarım	Çalışmada Mimari tasarım sürecinde geliştirilen tasarım alternatiflerinin gün ışığı analizi kullanılarak değerlendirilmesi amacıyla AG teknolojisinden faydalanılmasının avantajlarının incelenmesi hedeflenmiştir.	Mimar (S:6) ve mimar olmayan (S:7) katılımcılardan (S:13) birbirini takip eden dört görevi tamamlamaları ve görevlerin bitiminde görev ve performansları ile ilgili düşüncelerini ifade edecekleri anketleri cevaplamaları istenmiştir.	(-)	Kamera, projektörler, fiziksel kullanıcı arayüzleri (<i>tangible user interface</i>), kişisel bilgisayar.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Fukuda ve diğerleri (2019)	Tasarım	Restorasyon projelerinde geliştirilen tasarım alternatiflerinin kolay görselleştirmeler kullanılarak termal performanslarına göre değerlendirilebileceği BBM ve HAD'ın kullanıldığı AG tabanlı bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.	Uygulamanın değerlendirilmesi için kurgulanan vaka çalışmasında ele alınan iç mekanın termal performansı 4 farklı senaryo kullanılarak incelenmiş ve görselleştirilmiştir.	BBM modelinin geliştirilmesi için Autodesk Revit, HAD simülasyonu için OpenFOAM, Unity oyun motoru, OvrvisionPro YGA	Masaüstü kişisel bilgisayar, Oculus Rift (AG), HTC Vive (VR), oyun kumandası.
Carrasco ve Chen (2021)	Tasarım	Mimari proje önerilerinin daha etkin ve doğru bir şekilde değerlendirilebilmeleri için KG teknolojisinin kullanılmasının sağladığı avantajların incelenmesi amaçlanmıştır.	Kontrol (S:20) ve deney (S:22) olmak üzere iki gruba ayrılan katılımcılarla ofis tipolojisine uygun (66 m ²) bir odanın tasarımı değerlendirilmiştir. Katılımcılar kısmi olarak yapılandırılmış anket sorularını cevaplamışlardır.	2B teknik çizimler ve 3B modelin oluşturulması için Autodesk Revit ve AutoCAD, modelin incelenmesi için Sketchup	Masaüstü kişisel bilgisayar, Hololens.
Sangiorgio ve diğerleri (2021)	Tasarım	Performans kriterlerinin nesnel bir şekilde değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan ÇKKVA ve özellikle AHS yöntemlerini desteklemek için AG teknolojisinden nasıl faydalanılabileceği incelenmiştir.	Güney İtalya'da bulunan bir binanın cephesinin termal performansı yüksek yeni nesil deneysel prekast beton panellerle yenilenmesi değerlendirilmiştir.	(-)	(-)
Riera ve diğerleri (2014)	Tasarım/Eğitim	Eğitimsel içeriklerin gerçek ortamda görselleştirilmesinin öğrencilerin kendi ürettikleri mimari tasarım önerilerini değerlendirmelerinde ve mekansal becerilerinin artması üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.	Üç gruba ayrılan katılımcılardan (S:11) birinci grup kampüsteki binaları, ikinci ve üçüncü grup ise yeni projeleri (3 adet) modellemişlerdir. Projeler inceledikten sonra tasarım özellikleri ile ilgili ifadeler ve AG teknolojisinin ve geliştirilen sisteminin kullanılabilirliğini ölçen olmak üzere iki anket cevaplandırılmıştır.	Layar uygulaması kullanılarak mobil akıllı cihazlarda çalışacak AG uygulaması geliştirilmiştir.	Akıllı mobil cihaz.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Kerr ve Lawson (2020)	Tasarım/Eğitim	Peyzaj tasarımı konusunda Lisans düzeyinde eğitimlerinin birinci yılındaki öğrenciler ve tasarım disiplininin dışındaki kişilerin peyzaj mimarlığı konusundaki temel prensipleri AG teknolojisi kullanılarak öğrenmelerini incelemek amacıyla “Master of Time” adındaki uygulama geliştirilmiştir.	Uygulama, uygulamayı geliştiren ekip, üniversite çalışanları ve öğrencilerden oluşan gönüllü katılımcılar (S:7) tarafından kullanılmış ve katılımcıların deneyimleri sözlü olarak kayıt altına alınmıştır.	(-)	Akıllı mobil cihaz.
Bayraktar ve Çağdaş (2020)	Tasarım	Proje güncel tasarım ve modelleme programlarının tasarımcılara özellikle erken tasarım aşamasında fikirlerini kolayca paylaşma ve alternatif tasarım olasılıklarını hızlı bir şekilde üretme imkanı tanımaması olarak tanımlanan eksikliklerini AG teknolojisinden faydalanarak giderme olasılıklarını inceleme amacıyla gerçekleştirilmiştir.	Profesyonel deneyime sahip mimar katılımcılar (S:10) gökdelen tipolojisine ait örnek proje listesinden bir proje seçerek benzer bir formu modellemelerinin istendiği tasarım egzersizine katılmışlardır. Katılımcıların süreçle ilgili deneyimleri 9 ifadeye sahip ankete verdikleri cevaplar kullanılarak değerlendirilmiştir.	Unity oyun motoru, ARCore YGA.	Akıllı mobil cihaz.
Gül (2017b)	Tasarım	Araştırmanın amacı MAG ve SG teknolojilerini tasarım süreçlerinde kullanan tasarımcıların kütle üretme stratejilerindeki farkların incelenmesidir.	Katılımcılardan (S:6) AG ve SG olmak üzere farklı tasarım ortamlarında benzer karmaşıklığa ve inşaat alanına sahip karma kullanım işlevli iki farklı tasarım programına uygun tasarım (ofis ve konut ve ticari) gerçekleştirmeleri istenmiştir. Tasarım egzersizleri video ile kayıt altına alınmış, tasarımcıların eylem ve konuşmalarından protokoller üretilmiştir. Üretilen protokoller özel olarak geliştirilen kodlama şeması kullanılarak incelenmiş ve kodlanmıştır.	MAG kurgusu için Unity oyun motoru ve Vuforia eklentisi kullanılmış, SG kurgusu için ise Second Life programı kullanılmıştır.	MAG kurgusu için akıllı mobil cihaz, SG kurgusu için masaüstü kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Gül (2020)	Tasarım	Araştırmada dijital teknolojilerin kullanıldığı işbirlikli çalışma ortamlarında tasarımcıların tasarım sürecinde kullanılan farklı temsil yöntemleri ile etkileşimi ve bu farklı temsil yöntemlerinin tasarımcı davranışlarına etkileri incelenmiştir.	Analog eskiz, uzaktan erişimli eskiz, MAG ve SG olmak üzere farklı çalışma ortamında mimarlık bölümü son sınıf öğrencileri ve mimarlık alanında yüksek lisans eğitimlerine devam eden katılımcılarla (S:41) toplam 83 deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler video ve ses kayıt cihazlarıyla kayıt altına alınmış, katılımcıların tasarım süreçleri protokol analizi kullanılarak incelenmiştir.	Uzaktan erişimli eskiz kurgusu için Groupboard uygulaması, AG kurgusu için Unity oyun motoru ve Vuforia eklentisi, SG kurgusu için Second Life uygulaması kullanılmıştır.	Uzaktan eskiz kurgusu için dijital kalemli tablet ve dijital kalemli cam masa, AG kurgusu için akıllı mobil cihazlar, SG kurgusu için masaüstü kişisel bilgisayar ve webcam kullanılmıştır.
Chang ve diğerleri (2020)	Tasarım/Eğitim	AG teknolojisi kullanılarak geliştirilen bir mobil AG uygulamasının iç mimarlık alanında eğitim gören öğrencilerin öğrenme süreçlerine katkısının incelenmesi amaçlanmıştır.	Kontrol (S:48) ve deney (S:52) olmak üzere iki gruba ayrılan katılımcıların bilişsel farkındalıkları, bilgi ve yorumlama becerileri anketlerin değerlendirilmesi ile yorumlanmıştır.	Unity oyun motoru, Vuforia eklentisi.	Akıllı mobil cihazlar.
Rohil ve Ashok (2022)	Tasarım	BBM yazılımları kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu modellerin AG teknolojisi kullanılarak kent dokusu içerisinde görselleştirilmesinin sunduğu potansiyellerin incelenmesi amaçlanmıştır.	BBM ile geliştirilen 3B modeller arazide AG uygulaması kullanılarak görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Katılımcı sayısı veya değerlendirme araçlarından bahsedilmemektedir.	3B modellerin üretilmesi için Revit programı, AG sistemi için Unity oyun motoru kullanılmıştır	Akıllı mobil cihazlar, Hololens,
Chu ve diğerleri (2018)	Tasarım	AG teknolojisi ile BBM'nin beraber kullanılmasının yapı kataloğuna erişim hızını artırarak iş yerindeki etkinliğe katkısının incelenmesi amaçlanmıştır.	Çalışmada kontrol ve deney olarak iki gruba ayrılan katılımcılar (S:20) 4 görev gerçekleştirmişlerdir. Görev tamamlama süreleri kaydedilmiş ve deney sonrası anketi cevaplandırılmıştır.	Wikitude YGA	Android işletim sistemine sahip akıllı mobil cihazlar.

Çizelge E.1 (devam): Çalışmaların yazarları, araştırma alanları, amaç, yöntem, yazılım ve donanım özellikleri.

Yazarlar	Alan	Amaç	Yöntem	Yazılım Bileşenleri	Donanım
Acar ve diğerleri (2022)	Tasarım/Kültürel Miras	Araştırmanın amacı fiziksel ve strüktürel sağlamlığını kaybeden kültürel ve arkeolojik miras eserine uygun bir şekilde geliştirilmiş formel olmayan, bedava ve eğitici içerik ve bu içeriğin kullanılacağı AG temelli bir ortam geliştirmektir.	Vaka çalışması kapsamında Ankara’da bulunan Augustus Tapınağının 3B modeli hazırlanmış ve ilgili içerikle geliştirilen AG uygulamasında deneyimlenebilir bir hale getirilmiştir.	Unity oyun motoru ve Wikitude YGA kullanılmıştır.	Android işletim sistemine sahip akıllı mobil cihazlar.
Hincapie ve diğerleri (2021)	Tasarım/Kültürel Miras	Araştırmada kültürel miras alanlarının yeniden kullanıma açılması sürecinde bu alanın geçmişine ilişkin bilgilerin öğrenilmesinde AG teknolojisinin etkisinin ve kullanıcı algısının belirlenmesi hedeflenmiştir.	Deney (S:26) ve kontrol (S:22) olmak üzere iki gruba ayrılan katılımcılarla gerçekleştirilen çalışmada kültürel miras alanı ile ilgili yeni bilgilerin öğrenilmesi ve uygulamanın kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacıyla iki ayrı anket kullanılmıştır.	Unity oyun motorunda Mapbox kitaplığı ve EasyAR eklentileri kullanılarak geliştirilmiştir.	Akıllı mobil cihazlar.
Younes ve diğerleri (2017)	Tasarım/Kültürel Miras	Çalışmada ziyaret edilen kültürel miras alanında ziyaretçilerin zengin bir deneyim edinebilmeleri için AG teknolojilerinden nasıl faydalanılabileceğinin incelenmesi amaçlanmıştır.	Vaka çalışması kapsamında Lübnan’da bulunan Roma dönemine ait bir tiyatronun yeniden canlandırılması amacıyla AG uygulaması geliştirilmiştir. Değerlendirme çalışmasının katılımcıları veya ölçüm yöntemleri ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.	Unity oyun motoru,	Akıllı mobil cihaz, Ovrvision kamerası eklenmiş Oculus Rift giyilebilen görüntüleme cihazı, oyun kumandası
Tan ve Lim (2017)	Tasarım/Kültürel Miras	Araştırmanın amacı genç bireylerin kültürel miras alanlarına olan ilgilerinin oyunlaştırma bileşenlerine sahip bir AG uygulamasını kullanmaları ile artma potansiyelinin incelenmesidir.	Geliştirilen uygulamanın sahada değerlendirildiği çalışmada katılımcılar (S:50) ön-test son-test kurgusuna uygun bir şekilde 3 bölümden ve 20 ifadeden oluşan anketi cevaplamışlardır.	(-)	Akıllı mobil cihazlar

Ek F: Geçerliliğe etki eden faktörler

İç geçerliği etkileyen faktörler:

Geçmiş: Çalışmanın başlangıcından sonuna kadara geçen süre ve bu sürede gerçekleşen olaylar elde edilecek sonucu etkileyebilir. Örneğin ön test- son test kurgusuna göre bir çalışma yapıldığında ön test ve son test arasında geçen sürede katılımcıların çalışma ile ilgili ek bilgi edinmeleri sonucu değiştirebilir. Eğitim alanında yapılan çalışmalarda tüm olayların ve çalışmanın yapılacağı çevrenin kontrol altında tutulması çok olası olmasa da araştırmacı kontrol ve deney gruplarının, deney grubu hariç, aynı olayları deneyimlemesini sağlayabilmektedir.

Olgunlaşma: Katılımcılar deney süresince yaşlanabilir, daha bilgili, daha güçlü ve daha deneyimli hale gelebilirler. Katılımcıların durumlarında görülebilecek bu gelişme veya değişimler ön test ve son test puanlarının değişmesine neden olabilir. Kontrol ve test gruplarına ait katılımcıların çalışma süresince benzer deneyimler yaşayacak kişiler arasından seçilmesi olgunlaşma problemini engelleyebilir.

Regresyon: Araştırmacılar katılımcıları en yüksek ve ya düşük puanlara sahip kişilerden seçerlerse katılımcıların puanları araştırmada incelenen olgudan bağımsız olarak son testte ön testten daha başarılı (veya başarısız) olarak elde edilecektir. Katılımcıların puanları zaman içerisinde ortalamaya yakınsarlar. Örneğin çeşitli temsil yöntemlerini kullanmak konusunda yeteri kadar deneyim sahibi olmayan kullanıcılarla temsil konusunda kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlayan bir aracı denemeleri gereken bir çalışma yapıldığında katılımcılar alternatif yöntemleri kullanmakla ilgili deneyimsizlikleri nedeniyle değerlendirilen yöntemin kendilerine sunduğu avantajlardan etkilendiklerinden dolayı farklı temsil araçlarını kullanmakla deneyimli kullanıcılara göre araçla ilgili fazlasıyla pozitif izlenimlere sahip olacaklardır. Araştırmalarda iç geçerlikle ilgili karşılaşılabilen bu problem çok uç noktalarda deneyime sahip olmayan katılımcıların seçilmesiyle giderilebilir.

Seçim: Araştırmanın deney grubu katılımcıların zeki, denenen durumla ilgili deneyime sahip denenen durumla ilgili olumlu yaklaşımlara sahip kişilerden seçilmesi elde edilen sonucu etkileyebilmektedir. Grupları oluşturacak katılımcıların gelişigüzel seçilmeleri bu tehlikeyi kısmen azaltabilir.

Sonluluk: Katılımcıların yapılan çalışmadan herhangi bir nedenle ayrılmaları çalışmada elde edilen veriden sonuç alınmasını zorlaştırabilmektedir. Araştırmacıların

çalışmadan ayrılacak katılımcıları da göz önünde bulundurarak geniş bir örneklem oluşturmaları ve çalışmadan ayrılanlarla çalışmayı tamamlayan katılımcıların sonuca etkilerini karşılaştırmaları gerekmektedir.

Test: Araştırmada iç geçerliği etkileyebilecek etkenlerden bir diğeri de katılımcıların değerlendirme ölçüleri ve cevaplara alışkın hale gelmeleridir. Ön test - son test veya tekrarlı ölçüm gibi yöntemlerin kullanıldığı araştırmalarda değerlendirmeler birden fazla kez alınabilir. Bu durumun araştırmanın iç geçerliğini etkilememesi adına araştırmacıların ölçümleri daha az sıklıkla yapmaları veya ön-test sırasında kullandıkları ifadelerden başka ifadeleri son-testte kullanmaları faydalı olabilmektedir.

Araçlar: Ön-test ve son-test arasında araştırmada kullanılan değerlendirme araçlarının değiştirilmesi de iç güvenirliğe tehdit oluşturan durumlardan birisidir. Böyle bir problem yaşanmaması için araştırmacıların çalışma süresince aynı ölçekleri veya araçları kullanmaları gerekmektedir.

Dış geçerliği etkileyen faktörler:

Araştırmacılar gerçekleştirdikleri deneylerde dış faktörlerin deneye etki etmediğini ve araştırma kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın araştırmanın sonucunu etkilediğini varsayarak çalışmanın sonuçların genellenebileceği ile ilgili varsayımlarda bulunurlar. Dış geçerliliğe etki edebilecek tehditler örneklemden elde edilen verinin başka insanlar, durumlar ve ölçülerle ilgili sonuçlar elde etmek için genellenmesine engel olabilecek etkenlerdir. Dış geçerliliği tehdit eden ve sonuçların genellenmesini etkileyebilecek etkenler üç ana başlık altında incelenebilirler:

Uygulama ve seçim arasındaki etkileşim: Dış geçerliliği olumsuz yönde etkileyebilecek bu tehdit çalışmanın gerçekleştirildiği katılımcı grubunu ötesinde, diğer sosyal, coğrafi, yaş, cinsiyet veya kişilik özelliklerine sahip gruplara genellenemiyor olması olarak açıklanabilir. Araştırmacılar araştırmaya katılımın popülasyon içerisindeki tüm gruplar için olabildiğince elverişli hale getirilmesi ile çalışmanın genellenebilirliğini artırılmaya çalışabilirler.

Uygulama ve çevre arasındaki etkileşim: Araştırmanın dış geçerliliğini olumsuz yönde etkileyebilecek bu tehdit araştırmanın, yapıldığı çevreden/ortamdan başka bir çevreye/ortama genellenemiyor olması olarak açıklanabilir. Örneğin çalışma belirli bir disiplinin uzmanlarıyla gerçekleştirildiyse diğer sonuçlar diğer disiplinlerin

uzmanlarına genellenemez. Aynı şekilde katılımcılarını tüm öğrencilerin oluşturduğu bir çalışmanın sonuçları belirli bir sınıfa giden öğrencilere genellenememektedir. Araştırmacının çalışmada gözlenecek uygulamayı ilgili çevre/ortamla ilişkilendirilerek analiz etmesi dış geçerliliğe olumsuz etkide bulunabilecek bu probleme karşı kullanılabilir.

Uygulama ve geçmiş arasındaki etkileşim: Araştırmanın dış geçerliliğine olumsuz etkide bulunabilecek son etkenle araştırmacının bulguları geçmiş ve gelecekteki durumların tümüne genellemesi halinde karşılaşılmaktadır. Örneğin doğalgaz kullanımı ile ilgili bir çalışmanın kış aylarından gerçekleştirilmesi ile yaz aylarında gerçekleştirilmesinin farklı sonuçlar verebileceği açıktır. Çalışmanın gerçekleştirildiği zamanın elde edilen sonuçları etkileyebileceği çalışmalarda çalışmanın sonuçlarının genellenmesi yerine aynı çalışmanın farklı zamanlarda tekrarlanması bu tehlikeye karşı alınabilecek önlemlerdendir.



Ek G: Pilot çalışmada kullanılan anket ifadelerindeki değişiklikler

Mobil Artırılmış Gerçeklik Kullanılabilirlik Ölçeği anketindeki değişiklikler:

“Ekranı bulan bilgiin okunabilirliğinin düşük olduğunu düşünmekteyim”
(MAGKÖ anketi 3. İfade, orjinal)

- “Ekranı görüntülenen bilgiin zor okunduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 3. İfade, güncellenmiş)

- “Ekranı bulan bilgiin yeterince hızlı değiştiğini düşünmekteyim”
(MAGKÖ anketi 4. İfade, orjinal)

- “Ekranı görüntülenen bilgiin yapılan değişikliklere göre yeterince hızlı güncellendiğini düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi, 4. İfade, güncellenmiş)

- “Ekranı bulan bilgiin muğlak/kafa karıştırıcı olduğunu düşünmekteyim”
(MAGKÖ anketi 5. İfade, orjinal)

- “Ekranı görüntülenen bilgiin kafa karıştırıcı olduğunu düşünmekteyim”
(MAGKÖ anketi 5. İfade, güncellenmiş)

- Ekranın gerektiğinden fazla titrediğini düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 7. İfade, orjinal)

- “Ekrandaki görüntünün gerektiğinden fazla titrediğini düşünmekteyim”
(MAGKÖ anketi 7. İfade, güncellenmiş)

- “Ekranı bulan bilgiin tutarlı olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 8. İfade, orjinal)

- “Ekranı görüntülenen bilgiin tutarlı olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 8. İfade, güncellenmiş)

- “Uygulamayı kullanırken belirli bir süre geçtikten sonra kollarım ve ellerimin yorulduğunu hissettim” (MAGKÖ anketi 13. İfade, orjinal)

- “Belirli bir süre uygulamayı kullandıktan sonra kollarım ve ellerimin yorulduğunu hissettim” (MAGKÖ anketi 13. İfade, güncellenmiş)

- “Uygulamanın kullanımının kolay olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 14. İfade, orjinal)

- “Uygulamayı kontrol etmenin fiziksel olarak kolay olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 14. İfade, güncellenmiş)
- “Uygulamayı kullanırken belirli bir süre sonra cihazı tutmanın zorlaştığını ve cihazın düşme tehlikesi içerisinde olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 15. İfade, orjinal)
- “Belirli bir süre uygulamayı kullandıktan sonra cihazı tutmanın zorlaştığını ve cihazın düşme tehlikesi içerisinde olduğunu düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 15. İfade, güncellenmiş)
- “Uygulamayı kullanmanın basit ve karmaşık olmadığını düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 16. İfade, orjinal)
- “Uygulamanın karmaşık olmadığını ve rahat bir şekilde kullanılabildiğini düşünmekteyim” (MAGKÖ anketi 16. İfade, güncellenmiş)

Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği anketindeki değişiklikler:

- “Sistemi gereksiz karmaşık buldum” (SKÖ anketi 2. İfade, orjinal)
- “Uygulamayı karmaşık buldum” (SKÖ anketi 2. İfade, güncellenmiş)
- “Sistemi kullanmayı birçok insanın kolaylıkla öğrenebileceğini düşünüyorum.” (SKÖ anketi 7. İfade, orjinal)
- “Büyük insanın uygulamayı kullanmayı kolaylıkla öğrenebileceğini düşünüyorum.” (SKÖ anketi 7. İfade, güncellenmiş)
- “Sistemi kendime güvenle kullandığımı düşünüyorum” (SKÖ anketi 9. İfade, orjinal)
- “Uygulamayı kendimden emin bir şekilde kullanabildiğimi düşünüyorum” (SKÖ anketi, 9. İfade, güncellenmiş)
- “Sistemi uygun bir şekilde kullanmak için daha fazla deneyim edinmem gerektiğini düşünüyorum” (SKÖ anketi 10. İfade, orjinal)
- “Uygulamayı etkin bir şekilde kullanmak için daha fazla bilgi edinmem gerektiğini düşünüyorum.” (SKÖ anketi 10. İfade, güncellenmiş)

NASA İş Yüğü endeksi anketindeki değışiklikler:

- “Görevi tamamlamak için ne kadar fiziksel aktivite gerekmektedir, (itme, çekme, döndürme)” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Fiziksel Beklenti kriteri açıklaması), orjinal
- “Görevi tamamlamak için gereken fiziksel aktivite miktarı ne kadardır? (itme, çekme, döndürme, ayağı kalkma)” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Fiziksel Beklenti kriteri açıklaması, güncellenmiş)
- Verilen görev ve alt görevleri tamamlamak için gereken zaman sizi ne kadar baskı altında hissettirdi? (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Zamansal Beklenti kriteri açıklaması, orjinal)
- Verilen görev ve alt görevleri size tanınan süre içerisinde tamamlamak için ne kadar baskı altında hissettiniz? Görevleri yavaş ya da acele bir şekilde mi tamamladınız? (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Zamansal Beklenti kriteri açıklaması, güncellenmiş)
- “Görevleri tamamlarken ulaştığınız performansa ulaşmak amacıyla ne kadar çalışmanız gerekti (zihinsel ve fiziksel olarak)” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Çaba kriteri açıklaması, orjinal)
- “Görevleri tamamladığınız performansa ulaşmak amacıyla ne kadar çaba harcamanız gerekti (zihinsel ve fiziksel olarak)” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Çaba kriteri açıklaması, güncellenmiş)
- “Kendiniz ya da araştırmacı tarafından ortaya konulan görevi tamamlama hedeflerinizi ne derece başarı ile gerçekleştirdiğinizi düşünmektesiniz? Bahsedilen amaçlara ulaşırken kendi performansınızdan ne derece memnunsunuz?” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Performans kriteri açıklaması, orjinal)
- “Size verilen görevleri gerçekleştirmede ne kadar başarılı olduğunuzu düşünmektesiniz? Bahsedilen amaçlara ulaşmadaki performansınızdan ne derece memnunsunuz?” (NASA İş Yüğü Endeksi Anketi, Performans kriteri açıklaması, güncellenmiş)

- “Gerçekleştirdiğiniz görev(ler)i gözönünde bulundurarak deneyimlediğiniz iş yüküne en çok etkisi olduğunu düşündüğünüz etkeni aşağıda size verilen çiftler içerisinden seçiniz” (NASA İş Yükü Endeksi Anketi, İş Yükü alt ölçek seçim açıklaması, orjinal)
- “Gerçekleştirdiğiniz görev(ler)i gözönünde bulundurarak deneyimlediğiniz iş yüküne en çok etkisi olduğunu düşündüğünüz etkeni aşağıda size verilen 15 iş yükü çifti içerisinde, her çiftten birisi olmakzere seçiniz” (NASA İş Yükü Endeksi Anketi, İş Yükü alt ölçek seçim açıklaması, güncellenmiş)



Ek H: Tasarım problemi tanımı ve mimari program

Konu: Maçka'da Dinlenme / Çalışma işlevlerini karşılayacak mekan tasarımı

İstanbul Teknik Üniversitesi Maçka Kampüsü sınırları içerisinde halihazırda İ.T.Ü. Vakfı Otoparkı olarak kullanılan arazi üzerinde İ.T.Ü öğrencilerinin kullanımına sunulacak dinlenme / çalışma işlevlerini karşılayacak bir mekan tasarımı.

Tasarım alanı tasarımcının konuyu ele alış biçimine bağlı olarak arazinin istenen herhangi bir kısmında olabilir. İ.T.Ü. Maçka kampüsü içerisinde bulunan bu noktanın üniversite mezunları, çalışanları ve öğrencilerini kullanımına açık, şehir merkezinde bir çalışma noktası olarak işlev görmesinin yanı sıra bir dinlenme noktası olarak da tasarlanması istenmektedir.

Tasarımcılardan doğa verilerinin değerlendirildiği yarı açık alanlar bağlamında dinlenme / çalışma kavramına bir yorum getirerek mekansal çözümler getirmeleri beklenmektedir.

Ön program

Çözümün 1500 m³ lük bir hacim içerisinde gerçekleştirilmesi düşünülmektedir. Bu hacimsel sınırlamanın yanında, tasarım esnekliği ve özgünlüğü açısından boyutsal bir sınırlamaya gidilmemiştir. Ayrıca açık ve yarı açık mekanların da tasarımı düşünülecektir. 1500 m³ lük dinlenme / çalışma mekan kurgusunun gerektirdiği oranda servis (mutfak, depo, wc, vd.) hacmi sağlanacaktır.

Toplu ya da bireysel çalışılmaya uygun çalışma ve toplantı odaları.

İtu markalı ürünlerin satılacağı bir satış alanı

Mesai saatleri dışında hizmet verebilecek bir restaurant ve cafe işlevlerini karşılayabilecek açık ve yarı açık alanlardan oluşan bir sosyal tesis tasarlanması beklenmektedir.

40 çalışan için yaklaşık 300 m² ofis alanı

30 kişiye akşam yemeği ve özel toplantılarda hizmet verebilecek restaurant (100 m²)

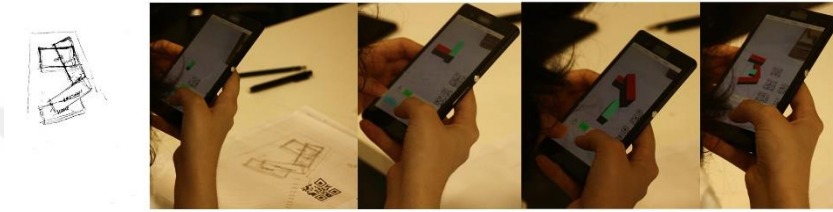
50 kişiye gün boyu hizmet verebilecek kafeteria (100 m²)



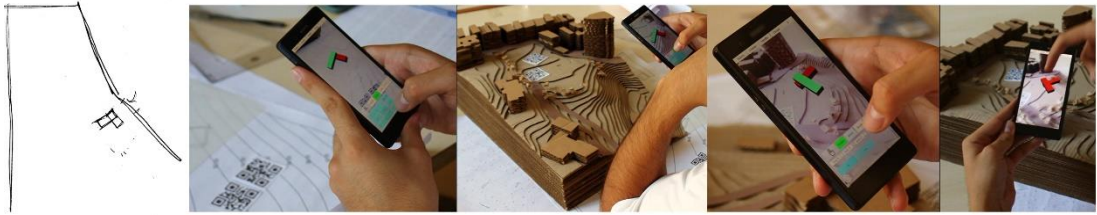
EK I: Katılımcıların tasarım egzersizi kapsamında geliştirdikleri tasarım çözümlerinin görselleri



Şekil I.1: 2 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



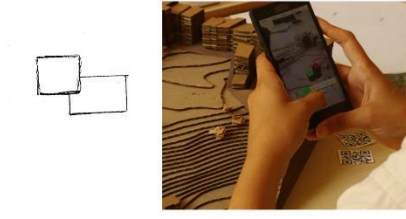
Şekil I.2: 3 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.3: 6 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.4: 7 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.5: 8 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.6: 9 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.7: 10 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.8: 11 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



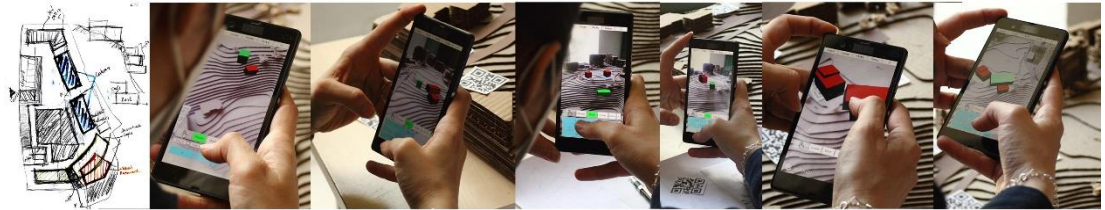
Şekil I.9: 12 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.10: 13 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.11: 14 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.12: 15 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



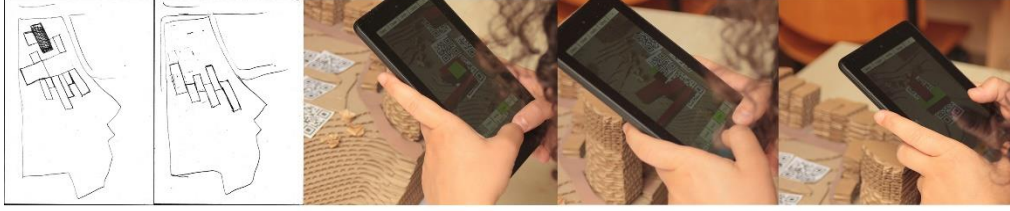
Şekil I.13: 16 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.14: 17 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.15: 18 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.16: 19 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.17: 20 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri



Şekil I.18: 21 numaralı katılımcının tasarım egzersizinde geliştirdiği tasarım çözümüne ait eskiz ve MimAR uygulaması ekran görüntüleri

Ek J: AG Uygulamalarından Kullanıcı Beklentileri anketi sonuçları

Katılımcılar	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
K1	7	1	4	5	5	5	5	6	7	4	4	6	4	6	7	4	2	6	5
K2	4	3	6	4	4	4	7	3	6	5	3	4	4	4	5	6	1	7	7
K3	6	4	3	5	6	3	6	5	7	6	6	6	5	6	7	3	1	7	7
K4	6	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	3	3	6	6	6	3	6	4
K5	4	4	6	2	1	1	4	6	6	5	7	7	7	4	6	4	7	2	7
K6	3	6	2	6	7	3	5	3	7	5	4	6	6	2	7	7	7	7	6
K7	4	6	3	6	6	4	5	3	6	5	3	6	6	6	6	5	2	5	5
K8	2	6	1	7	7	7	2	6	7	4	5	4	6	6	7	7	3	2	6
K9	2	7	2	6	7	7	4	6	6	4	7	6	6	7	7	7	3	6	7
K10	4	6	6	4	4	3	6	5	6	6	3	6	4	5	6	6	6	3	5
K11	4	4	4	4	7	6	6	6	7	7	4	4	6	6	7	7	4	5	7
K12	3	6	1	5	6	4	2	7	6	4	6	6	3	6	6	7	3	7	6
K13	7	3	1	7	4	4	5	5	6	4	5	6	6	7	5	4	4	7	3
K14	4	6	3	7	7	5	6	7	7	7	7	6	6	6	7	6	6	7	7
K15	2	6	5	7	6	3	2	5	7	2	6	4	6	6	7	7	7	4	7
K16	6	3	4	6	4	6	4	4	7	7	5	5	5	4	7	7	7	7	7
K17	1	7	1	7	7	7	7	7	7	1	7	1	7	7	7	1	7	7	7
K18	3	6	2	6	7	2	3	6	7	7	7	6	7	3	7	3	3	6	7
K19	3	6	1	6	5	7	6	6	6	6	5	4	7	7	7	6	6	6	7
K20	1	7	2	6	7	6	7	7	7	4	6	4	3	6	7	5	2	7	7
K21	2	6	3	5	7	3	4	2	6	6	5	2	6	4	7	5	1	4	6



Ek K: “AG Uygulamalarından Kullanıcı Beklentileri” anketini oluşturan ifadelerin kriterler arası korelasyon tablosu

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Total
Q1	1	-0.86	0.34	-0.18	-0.48	-0.16	0.15	-0.13	-0.1	0.39	-0.28	0.43	-0.26	0.01	-0.38	-0.08	-0.12	0.21	-0.54	-0.08
Q2	-0.86	1	-0.44	0.35	0.55	0.13	-0.13	0.17	0	-0.23	0.34	-0.23	0.25	0.09	0.4	0.08	0.18	-0.11	0.33	0.27
Q3	0.34	-0.44	1	-0.59	-0.52	-0.38	0.18	-0.26	-0.19	0.25	-0.27	0.08	-0.31	-0.3	-0.2	0.16	0.06	-0.34	-0.04	-0.23
Q4	-0.18	0.35	-0.59	1	0.6	0.48	-0.13	0.15	0.36	-0.31	0.24	-0.28	0.16	0.36	0.21	0.01	0.11	0.36	-0.14	0.45
Q5	-0.48	0.55	-0.52	0.6	1	0.39	-0.04	0.12	0.44	-0.08	0.18	-0.38	0.03	0.15	0.5	0.08	-0.26	0.27	0.17	0.37
Q6	-0.16	0.13	-0.38	0.48	0.39	1	0.25	0.38	0.15	-0.17	0.05	-0.47	-0.09	0.61	0.23	0.2	-0.01	0.26	0.06	0.54
Q7	0.15	-0.13	0.18	-0.13	-0.04	0.25	1	0.02	-0.03	0.13	-0.23	-0.25	-0.18	0.16	-0.1	-0.33	-0.07	0.42	-0.01	0.22
Q8	-0.13	0.17	-0.26	0.15	0.12	0.38	0.02	1	0.25	-0.21	0.61	0.04	-0.08	0.54	0.22	-0.16	0.19	0.09	0.17	0.54
Q9	-0.1	0	-0.19	0.36	0.44	0.15	-0.03	0.25	1	-0.06	0.2	-0.09	0.13	-0.12	0.61	-0.13	0.19	0.18	0.41	0.42
Q10	0.39	-0.23	0.25	-0.31	-0.08	-0.17	0.13	-0.21	-0.06	1	-0.18	0.3	-0.02	-0.4	0.09	0.24	-0.12	0.02	0.05	0.18
Q11	-0.28	0.34	-0.27	0.24	0.18	0.05	-0.23	0.61	0.2	-0.18	1	-0.05	0.26	0.19	0.23	-0.31	0.2	0.11	0.37	0.42
Q12	0.43	-0.23	0.08	-0.28	-0.38	-0.47	-0.25	0.04	-0.09	0.3	-0.05	1	-0.02	-0.2	-0.15	0.14	0.04	-0.02	-0.12	0.01
Q13	-0.26	0.25	-0.31	0.16	0.03	-0.09	-0.18	-0.08	0.13	-0.02	0.26	-0.02	1	-0.06	0.22	-0.26	0.42	-0.26	0.3	0.16
Q14	0.01	0.09	-0.3	0.36	0.15	0.61	0.16	0.54	-0.12	-0.4	0.19	-0.2	-0.06	1	-0.03	-0.09	-0.1	0.09	-0.18	0.34
Q15	-0.38	0.4	-0.2	0.21	0.5	0.23	-0.1	0.22	0.61	0.09	0.23	-0.15	0.22	-0.03	1	0.05	0.25	-0.13	0.48	0.48
Q16	-0.08	0.08	0.16	0.01	0.08	0.2	-0.33	-0.16	-0.13	0.24	-0.31	0.14	-0.26	-0.09	0.05	1	0.11	-0.16	0.04	0.18
Q17	-0.12	0.18	0.06	0.11	-0.26	-0.01	-0.07	0.19	0.19	-0.12	0.2	0.04	0.42	-0.1	0.25	0.11	1	-0.13	0.19	0.44
Q18	0.21	-0.11	-0.34	0.36	0.27	0.26	0.42	0.09	0.18	0.02	0.11	-0.02	-0.26	0.09	-0.13	-0.16	-0.13	1	0.04	0.37
Q19	-0.54	0.33	-0.04	-0.14	0.17	0.06	-0.01	0.17	0.41	0.05	0.37	-0.12	0.3	-0.18	0.48	0.04	0.19	0.04	1	0.36
Total	-0.08	0.27	-0.23	0.45	0.37	0.54	0.22	0.54	0.42	0.18	0.42	0.01	0.16	0.34	0.48	0.18	0.44	0.37	0.36	1

EK L: Karşılaştırmalı memnuniyet anketi

Katılımcı No:

Tarih:

Karşılaştırmalı Arttırılmış Gerçeklik (AG) Memnuniyet Anketi

Aşağıdaki ifadelere ne derece katıldığınızı, kesinlikle katılıyorum (7) ve kesinlikle katılmıyorum (1) olarak ifade edilen ölçeği kullanarak belirtiniz.

Tasarım sürecinin erken aşamalarında:

1. Eskiz kullanarak tasarım yapmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

2. Eskiz ve maket kullanarak tasarım yapmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

3. Bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanarak tasarım yapmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

Tasarım egzersizinde kullandığım AG uygulaması,

4. tasarım fikirlerimi 3 boyutlu olarak hızlı bir şekilde görselleştirmemde faydalı oldu.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

5. tasarım fikirlerimi kolay bir şekilde görselleştirmemde faydalı olmadı.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

6. tasarım fikirlerimi 3 boyutlu olarak görselleştirerek kolaylıkla değerlendirmemi sağladı.

Kesinlikle katılmıyorum						Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7

Katılımcı No:

Tarih:

7. Tasarım egzersizinde kullandığım AG uygulamasını kullanarak yeni tasarım önerileri geliştirebildim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

8. Tasarım egzersizinde AG uygulamasını kullanarak, kullanmaya alışkın olduğum araçlarla geliştirdiklerimden daha farklı tasarım çözümleri geliştirdim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Yukarıdaki soruya 5 ve üzerinde puan verdiyseniz, AG uygulaması kullanarak geliştirdiğiniz tasarım çözümlerinin hangi açılardan farklı olduğunu düşündüğünüzü açıklayınız.

9. AG uygulamasını kullandığım tasarım sürecinde 3 boyutlu kütle çalışmaları yaparak tasarımımın kendi içersindeki mekan kurgusunu ve çevre ile kurduğu ilişkiyi üçüncü boyutta yeterli biçimde analiz edebildim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Erken tasarım evresinde tasarım fikirlerimi 3 boyutlu olarak (aynı süre içerisinde):

10. Eskiz çizerek hızlı bir şekilde ifade edebilirim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

11. Eskiz ve maket kullanarak hızlı bir şekilde ifade edebilirim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

12. Bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanarak hızlı bir şekilde ifade edebilirim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

Katılımcı No:

Tarih:

13. Eskiz ve AG uygulamasını kullanarak daha hızlı bir şekilde ifade edebilirim.

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Tasarım sürecinin erken aşamalarında:

14. Eskiz kullanarak daha fazla tasarım alternatifi geliştirip değerlendirdiğimi düşünüyorum.

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

15. Eskiz ve maket kullanarak daha fazla tasarım alternatifi geliştirip değerlendirdiğimi düşünüyorum.

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

16. Bilgisayar destekli tasarım araçlarını kullanarak daha fazla tasarım alternatifi geliştirip değerlendirdiğimi düşünüyorum.

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

17. Eskiz ve AG uygulamasını kullanarak daha fazla tasarım alternatifi geliştirip değerlendirdiğimi düşünüyorum..

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

18. AG uygulamasını kullanmanın kolay olduğunu düşünüyorum.

Kesinlikle
katılmıyorum

Kesinlikle
katılıyorum

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

Katılımcı No:

Tarih:

Yukarıdaki soruya 4'ün altında bir puan verdiyseniz, AG uygulamasını kullanırken size sorulmuş çıkaran unsurları açıklayabilir misiniz? Örn. Ekran boyutu, cihazın hızı gibi donanımsal problemler ya da karmaşık kullanıcı arayüzü, istenen eylemlerin hatalı bir şekilde gerçekleştirilmesi gibi yazılımla ilgili problemler.

19. AG uygulamasını kullanarak tasarım fikirlerimi 3 boyutlu olarak görselleştirmeyi ve değerlendirmeyi tasarım süreci için faydalı buluyorum.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

20. Erken tasarım evresinde eskiz ve AG uygulamasını kullanarak tasarım yapmayı tercih ederim.

Kesinlikle katılmıyorum							Kesinlikle katılıyorum
1	2	3	4	5	6	7	

21. AG uygulaması kullanarak yürüttüğünüz tasarım sürecini kendi cümlelerinizle değerlendirebilir misiniz?

Çalışmaya katkınızdan dolayı teşekkürler.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mahmut Çağdaş DURMAZOĞLU

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans:2008, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Yüksek Lisans Programı

Doktora: 2023, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Anabilim Dalı, Mimari Tasarımda Bilişim Doktora Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Serbest mimar olarak çalışmaktadır.
- İstanbul Medipol Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık bölümünde Öğretim Görevlisi olarak “Tasarıma Giriş I”, “Tasarıma Giriş II” ve “Interdisciplinary Studio I” derslerini vermiştir.

DOKTORA TEZİNDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2019), Mimari tasarım sürecinin erken evrelerinde kullanılacak bir arttırılmış gerçeklik uygulamasının geliştirilmesi ve değerlendirilmesi. In N. Çakıcı, M. Ezel, D. Öner, & E. Baran (Eds.), *MSTAS 2019 XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu* (pp. 99-117). KÜV Yayınları.
- **Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2019), Türkiye’de arttırılmış gerçeklik konusunda gerçekleştirilen çalışmalara kısa bir bakış: Geçmiş, güncel çalışmalar ve yeni ufuklar. In N. Çakıcı, M. Ezel, D. Öner, & E. Baran (Eds.), *MSTAS 2019 XIII. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu* (pp. 119-135). KÜV Yayınları.
- **Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L., F.,** (2022). Mimari tasarım sürecinin erken evresinde kullanılacak arttırılmış gerçeklik uygulamalarında kullanıcı tercihlerinin regresyon analizi yöntemi ile belirlenmesi. M. A. Altın, M. İnceoğlu, H. G. Demirkol, O. Ülker, F. M. Alhan, T. Torun, S. C. Hatipoğlu, İ. Küçüköğlu, B. Topsakal, B. İnan, B. Bölek, Ö. G. Tokgöz (Eds). *MSTAS 2022 XVI. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu* (pp. 426 - 435).Eskişehir Teknik Üniversitesi Yayınları.
- **Durmazoğlu, M. Ç., & Gül, L. F.** (2022). Exploring usability tests to evaluate designers’ interaction with mobile augmented reality application for conceptual architectural design. *A/Z ITU Journal*, 19(1), 225-242. <https://doi.org/10.5505/ituifa.2022.90688>

DİĞER YAYINLAR SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Durmazoglu, M. Ç., & Çağdas, G.** (2007) An agent-based system to help designers for free-form shape generation in digital media. In C. Soddu (Eds.), GA2007: Generative Art 10th International Conference (pp. 166-177). DiAP. (<http://www.generativeart.com/on/cic/papersGA2007/17.pdf>)
- **Durmazoglu, M. Ç., Çağdas, G., & Tong, H.** (2008) An agent-based approach for evaluation of free-form surfaces, In M. Muylle (Eds.), Architecture 'in computro': Integrating methods and techniques 26th eCAADe International Conference. (pp. 405-412). Antilope Printing. (http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2008_127.content.pdf)
- **Gül, L. F., Halıcı, S. M., Esengün, M., Uzun, C. & Durmazoğlu, M. Ç.,** (2016). Artırılmış gerçeklik ortamının tasarım sürecinde kullanımı tasarımıyla etkileşimi nasıl etkiler. In A.A. Aksan, C. Erten, F. Akipek, H. Oral, K. Karabağ, & T. Yazar (Eds.), 10. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu MSTAS 2016 Karşılaşmalar: Krizler ve İmkanlar (pp. 266-278). İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.