

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİMDE KULLANILAN OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ
GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI
KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman ER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ

ŞUBAT 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ÜRETİMDE KULLANILAN OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ
GERÇEKLIK TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI
KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Osman ER
(507161122)**

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ

ŞUBAT 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 507161122 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Osman ER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÜRETİMDE KULLANILAN OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alp ÜSTÜNDAĞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Emre ÇEVİKCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üye. Ayşenur BUDAK
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Ocak 2022
Savunma Tarihi : 17 Şubat 2022





Aileme ve sevdiklerime,



ÖNSÖZ

Dijital dönüşüm ve yeni teknolojiler günlük hayatımızda olduğu kadar, üretim sistemlerinde de önemli potansiyeller getirmektedir. Bu teknolojik gelişmeler, endüstri için de yaratacağı değerler noktasında artık tamamen insanı odağına almaktadır. Bu noktada ön plana çıkan ise giyilebilir teknolojiler ve artırılmış gerçeklik kavramıdır. Bu tez çalışmasında insanı odağına alan dijital dönüşüm yaklaşımıyla artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanıcılar tarafından etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışma süresince, hem endüstri mühendisliği yaklaşımı, hem dijital dönüşüm ve endüstri 4.0 konuları başta olmak üzere pek çok noktada değerli bilgi birikimini paylaşan ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Alp Üstündağ'a sonsuz teşekkürlerimi ifade etmek isterim.

Yüksek lisans süresince her daim yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen canım annem Sevcan Er'e, canım babam Yıldırım Er'e ve canım ablam Burcu Şahin'e teşekkürü borç biliyorum. Yanımda olduğunuz, sizlerle olduğum müddetçe üstesinden gelemeyeceğim hiçbir şey olmadığından eminim.

Yüksek lisans süresince desteklerini unutamayacağım Arçelik Üretim Teknolojileri ve Atölye 4.0 ailesine, Arçelik ve Atölye 4.0'daki hayatım boyunca mesai arkadaşı, yönetici ve her şeyden öte dostum olan Turgut Köksal Yalçın'a, süreç boyunca sağladığı destekler için değerli yöneticilerimden Haldun Dinceç'e, Gökhan Engin'e, Ercan Gündüz'e ve Arçelik'te yöneticim olan, ama daha da ötesi benim için her zaman bir ağabey olacak olan Ömer Faruk Özer'e tüm destekleri için minnettarlığımı belirtir ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya kapılarını açan MEXT ekibi başta olmak üzere, özellikle Semih Özkan'a, Yasir Tunçer'e, Fevzi Murat Solmaz'a ayrı ayrı teşekkür ederim. MEXT ekibinden, değerli dostum Oğuzhan Şimşir'e ayrı ve özel bir teşekkürü de belirtmek isterim.

Çalışma boyunca her türlü bilgi ve desteği esirgemeyen Mustafa Esengün'e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımdaki yeri ve değerinin karşılığı olmayan, canım, yol arkadaşım, kıymetlim Çiğdem Yalçın'a, yanımda olduğu, bu noktaya gelmemde tarifi mümkün olmayan emeği için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Şubat 2022

Osman Er

Kontrol ve Otomasyon Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ – DİJİTAL DÖNÜŞÜM.....	1
1.1 Tezin Amacı	4
2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK SİSTEMLERİ	7
2.1 Artırılmış Gerçeklik Tanımı	7
2.2 Kronolojik Akış	10
2.3 Mevcut Durum Analizi.....	15
2.4 Üretim Sistemlerinde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları	20
2.5 Artırılmış Gerçeklik Sistemlerinde Gelecek Trendleri	25
3. KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI.....	29
3.1 Tanım.....	29
3.2 Değerlendirme Metodları	31
3.2.1 Denetim Metodları	32
3.2.2 Test Metodları	33
3.2.3 Kullanıcı Raporları.....	34
3.3 Öne Çıkan Anket Yöntemleri.....	36
3.3.1 SUS	40
3.3.2 PSSUQ	41
3.3.3 ASQ.....	42
3.3.4 NASA-RTLX	43
3.4 Artırılmış Gerçeklik ve Kullanılabilirlik Kavramı.....	44
4. KULLANIM SENARYOSU: ÜRETİMDE OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI.....	51
4.1 MESS Teknoloji Merkezi (MEXT).....	51
4.2 Kullanım Senaryo İçerikleri	53
4.2.1 Projeksiyon uygulaması	53
4.2.2 Mobil cihaz - tablet uygulaması.....	54
4.2.3 Akıllı gözlük uygulaması	55
4.3 Demografik Bilgiler ve Ölçümler.....	57
4.4 Uygulama Bazlı Sonuçlar.....	58
4.4.1 Projeksiyon uygulaması ölçüm sonuçları	59
4.4.2 Mobil cihaz - tablet uygulaması ölçüm sonuçları	62
4.4.3 Akıllı gözlük uygulaması ölçüm sonuçları	65
4.5 Karşılaştırmalı Analiz.....	68

4.6 Değerlendirme	80
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	95



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AI	: Artificial Intelligence
ANOVA	: Analysis of Variance
AR	: Augmented Reality
ASQ	: After Scenario Questionnaire
AWS	: Amazon Web Services
COVID-19	: Coronavirus Disease 2019
ER	: Expectation Ratings
EFFRA	: European Factories of the Future Research Association
GPS	: Global Positioning System
HARUS	: Handheld Augmented Reality Usability Scale
ISO	: International Organization for Standardization
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
MES	: Manufacturing Execution System
MESS	: Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası
MEXT	: MESS Teknoloji Merkezi
ML	: Machine Learning
NASA-TLX	: The National Aeronautics and Space Administration Task Load Index
NASA-RTLX	: The National Aeronautics and Space Administration-Raw Task Load Index
NFT	: Natural Feature Tracking
NFT	: Non-Fungible Token
PSSUQ	: Post Study System Usability Questionnaire
QR	: Quick Response
QUIS	: The Questionnaire for User Interaction Satisfaction
SDK	: Software Development Kit
SEQ	: The Single Ease Question
SIRI	: Smart Industry Readiness Index
SLAM	: Simultaneous Localization and Mapping

SMEQ	: The Subjective Mental Effort Question
SUMI	: The Software Usability Measurement Inventory
SUS	: System Usability Scale
TRL	: Technology Readiness Level
UME	: Usability Magnitude Estimation
VR	: Virtual Reality



SEMBOLLER

P	: SUS Pozitif Bileşen Skoru
N	: SUS Negatif Bileşen Skoru
P_i	: SUS Pozitif Bileşenler
N_i	: SUS Negatif Bileşenler
S_i	: PSSUQ ve ASQ Bileşenler
A_i	: NASA-TLX ağırlıkları
NR_i	: NASA-TLX ve NASA-RTLX Bileşenler
n	: Eleman Sayıları
i	: Dizi Toplam Eleman Değişkenleri



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Kullanılabilirlik değerlendirme metodları.....	31
Çizelge 3.2 : Kullanılabilirlik çalışma sonrası anket yöntemleri.....	37
Çizelge 3.3 : Kullanılabilirlik senaryo sonrası anket yöntemleri.	38
Çizelge 4.1 : Kullanım senaryoları anket katılımcıları demografik bilgileri.....	58
Çizelge 4.2 : Projeksiyon uygulaması SUS sonuçları.	59
Çizelge 4.3 : Projeksiyon uygulaması SUS skor sonuçları.....	59
Çizelge 4.4 : Projeksiyon uygulaması ASQ sonuçları.....	60
Çizelge 4.5 : Projeksiyon uygulaması ASQ skor sonuçları.....	60
Çizelge 4.6 : Projeksiyon uygulaması PSSUQ sonuçları.	61
Çizelge 4.7 : Projeksiyon uygulaması PSSUQ skor sonuçları.	61
Çizelge 4.8 : Projeksiyon uygulaması NASA-RTLX sonuçları.	61
Çizelge 4.9 : Projeksiyon uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.	62
Çizelge 4.10 : Mobil cihaz - tablet uygulaması SUS sonuçları.	62
Çizelge 4.11 : Mobil cihaz - tablet uygulaması SUS skor sonuçları.	63
Çizelge 4.12 : Mobil cihaz - tablet uygulaması ASQ sonuçları.	63
Çizelge 4.13 : Mobil cihaz - tablet uygulaması ASQ skor sonuçları.....	63
Çizelge 4.14 : Mobil cihaz - tablet uygulaması PSSUQ sonuçları.....	64
Çizelge 4.15 : Mobil cihaz - tablet uygulaması PSSUQ skor sonuçları.	64
Çizelge 4.16 : Mobil cihaz - tablet uygulaması NASA-RTLX sonuçları.....	65
Çizelge 4.17 : Mobil cihaz - tablet uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.....	65
Çizelge 4.18 : Akıllı gözlük uygulaması SUS sonuçları.	65
Çizelge 4.19 : Akıllı gözlük uygulaması SUS sonuçları.	66
Çizelge 4.20 : Akıllı gözlük uygulaması ASQ sonuçları.....	66
Çizelge 4.21 : Akıllı gözlük uygulaması ASQ skor sonuçları.....	66
Çizelge 4.22 : Akıllı gözlük uygulaması PSSUQ sonuçları.	67
Çizelge 4.23 : Akıllı gözlük uygulaması PSSUQ skor sonuçları.	67
Çizelge 4.24 : Akıllı gözlük uygulaması NASA-RTLX sonuçları.....	67
Çizelge 4.25 : Akıllı gözlük uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.....	68
Çizelge 4.26 : SUS ANOVA analiz sonuçları.....	70
Çizelge 4.27 : SUS skor sonuçları karşılaştırma.	71
Çizelge 4.28 : SUS skor ANOVA analiz sonuçları.....	72
Çizelge 4.29 : ASQ ANOVA analiz sonuçları.	73
Çizelge 4.30 : ASQ skor sonuçları karşılaştırma.....	73
Çizelge 4.31 : ASQ skor ANOVA analiz sonuçları.	74
Çizelge 4.32 : PSSUQ analiz sonuçları.	75
Çizelge 4.33 : PSSUQ skor ANOVA analiz sonuçları.....	77
Çizelge 4.34 : PSSUQ skor sonuçları karşılaştırma.	77
Çizelge 4.35 : PSSUQ skor ANOVA analiz sonuçları.....	78
Çizelge 4.36 : NASA-RTLX ANOVA analiz sonuçları.....	79
Çizelge 4.37 : NASA-RTLX skor sonuçları karşılaştırma.	80
Çizelge 4.38 : NASA-RTLX skor ANOVA analizi sonuçları.....	80

Çizelge 4.39 : Kullanım senaryoları, yöntem skorları sonuç tablosu.	82
---	-----------



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Endüstri devrimleri.....	1
Şekil 1.2 : Farklı ülkeler için dijital dönüşüm kavramları.	2
Şekil 1.3 : Veri tarihsel akışı.....	3
Şekil 2.1 : Gerçeklik ve sanallık doğrultusu.	7
Şekil 2.2 : Artırılmış gerçeklik fonksiyonel diyagramı.	10
Şekil 2.3 : Sutherland artırılmış gerçeklik sistemi.....	11
Şekil 2.4 : Caudell ve Mizell konsepti.....	11
Şekil 2.5 : Tur amaçlı oluşturulan mobil artırılmış gerçeklik sistemi.	12
Şekil 2.6 : Nokia AR-Tennis uygulaması.	13
Şekil 2.7 : Google Glass.	13
Şekil 2.8 : Microsoft Hololens.....	14
Şekil 2.9 : Pokemon Go uygulaması.....	15
Şekil 2.10 : Artırılmış gerçeklik ekosistemi kritik paydaşları.	16
Şekil 2.11 : Epson BT-300.....	17
Şekil 2.12 : Yıllara göre patent sayısı trendi.....	18
Şekil 2.13 : Yıllara göre yapılan yayın sayıları.	19
Şekil 2.14 : Ülkelere göre yayın sayısı dağılımı.....	19
Şekil 2.15 : Yayınların uygulama alanı dağılımları.....	21
Şekil 2.16 : Yayınlarda kullanılan donanımların dağılımı.....	22
Şekil 2.17 : Sektör ve uygulama konularının dağılımı.	22
Şekil 2.18 : Uygulama senaryo dağılımları.	23
Şekil 2.19 : Kullanılan donanımların dağılımı.	23
Şekil 2.20 : Artırılmış gerçeklik pazar payı öngörüsü.....	25
Şekil 2.21 : Göz lensi konsepti.	26
Şekil 2.22 : Metaverse kullanıcı konsepti.....	27
Şekil 3.1 : Sistem kabul edilebilirlik alt katmanları.	30
Şekil 3.2 : Kullanılabilirlik test yöntemleri fonksiyonel diyagramı.	34
Şekil 3.3 : Çalışmalarda kullanılan yöntem dağılımları.	36
Şekil 3.4 : Sunulan mobil artırılmış gerçeklik kullanılabilirlik kriterleri.	45
Şekil 4.1 : MESS Teknoloji Merkezi (MEXT) dijital fabrika.....	52
Şekil 4.2 : Kullanım senaryosu 1 - projeksiyon uygulaması.	53
Şekil 4.3 : Kullanım senaryosu 2 - mobil cihaz, tablet uygulaması.	54
Şekil 4.4 : Kullanım senaryosu 2 - demontaj adımları.	55
Şekil 4.5 : Kullanım senaryosu 3 - akıllı gözlük uygulaması.....	56
Şekil 4.6 : Kullanım senaryosu 3 - yönlendirme metodu.	56
Şekil 4.7 : Kullanım senaryosu 3 - demontaj talimatları.	57
Şekil 4.8 : SUS sonuçları karşılaştırma grafiği.....	68
Şekil 4.9 : ASQ sonuçları karşılaştırma grafiği.....	72
Şekil 4.10 : PSSUQ sonuçları karşılaştırma grafiği.....	74
Şekil 4.11 : NASA-RTLX sonuçları karşılaştırma grafiği.	78



ÜRETİMDE KULLANILAN OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK TEKNOLOJİLERİNİN KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

2010'lu yıllardan başlayarak hayata temas eden pek çok alanla birlikte üretim sistemleri için de bir dijital dönüşüm söz konusudur. Teknolojinin de gelişmesiyle birlikte, yaşam tarzları da değişmekte, özellikle değer zincirindeki müşteri beklentileri de farklılaşmaktadır. Müşteriler, özellikle kullandıkları ürün ve hizmetlerde kişiselleştirme beklentilerinin karşılanmasına, şirketlerin e-ticaret kanallarının kullanımına açık olmasına ve pazardaki ürün çeşitliliğini alışveriş tercihlerinde daha çok ön plana çıkarmaktadır. Bir diğer deyişle, bir mağazadan sabit bir ürün almaktansa, çevrimiçi kanallardan, kişiselleştirilebilen ürünler müşteri tercihlerinin üst sıralarında gelmektedir.

Değişen bu müşteri ihtiyaç ve beklentileri, ürün ve hizmet sunan şirketleri de dönüştürmektedir. Bu noktada belki de en önemlisi, tüm beklentileri karşılayacak esnek, uçtan uca bütünleşmiş ve çevik bir üretim sistemi altyapısının gerçekleştirilebilmesidir. İşte bu noktada, 2011 Hannover Fuarı'na katılan ziyaretçiler, tüm bu beklentilerin karşılanabilmesi adına yepyeni bir üretim yaklaşımı ile karşılaştılar.

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan bu yaklaşım ile, üretim sahalarında dijital dönüşüm odaklı yaklaşımlarla; kalite, verimlilik, üretkenlik artışı sağlayarak, değişen pazarda müşteri beklentilerinin de karşılanabilmesi mümkün olacaktır. Bu gelişme, 1800'lü yıllarda Watt'ın buhar makinesini bulması ile başlayan sanayi devrimleri akışının dördüncü evresi olarak belirtilmekle beraber, seri üretim ve otomasyondan sonra gelen üretimdeki bilişim devrimidir.

Endüstri 4.0 konseptinin ilk ortaya çıktığı zamanlarda, rekabetteki önemli parametrelerden olan işgücü maliyetlerini en küçükmek için, %100 otomasyona dayalı karanlık fabrikalara ulaşmak hedefi ön plana çıkmaktaydı. Ancak, fabrikalarda, özellikle montaj hatlarındaki insan kabiliyet ve esnekliğine duyulan ihtiyaç ve ürün tasarım, arge faaliyetlerindeki insanın yaratıcılığının yerine bir karşılığın olmaması, bu dijital dönüşümün insanı odağına alarak ilerlemesini sağlamıştır. İnsanı odağına alan, Japonya'nın öncülük ettiği Toplum 5.0 düşüncesi ile bu ilerleme tescillenmiştir.

Bu odak çevresinde de Endüstri 4.0'ın bazı teknolojileri ön plana çıkmıştır. Bunlardan biri de Artırılmış Gerçeklik teknolojisidir.

Artırılmış Gerçeklik teknolojisi, tıpkı Endüstri 4.0 gibi 2010'lu yılların başıyla ciddi bir ilerleme evresine girmesine ragmen, aslında daha uzun bir geçmişe sahiptir. 1960'lı yıllarla başlayan gelişim aşamaları ile bugünlere gelen teknoloji, en ciddi sıçramasını "Google Glass" ürünü ile yapmıştır. Daha sonra gelen Microsoft Hololens ve Epson firmalarının gelişmeleri, özellikle giyilebilir teknolojiler alanıyla bu teknolojinin eşleşmesini sağlamıştır. Ancak, artırılmış gerçeklik teknolojileri mobil cihazlar ve

projektör gibi cihazlarla da kullanıcıların deneyimleyebilmesini mümkün kılmaktadır. PokemonGo ve IKEA uygulamaları ile kullanıcılar özellikle mobil cihazlarla farklı deneyimler yaşayabilmektedir.

Artırılmış gerçeklik uygulamaları, tasarım, mühendislik, eğitim, oyun, pazarlama, turizm gibi pek çok sektörde uygulama senaryoları yaratabilmektedir. Bu alanlara ek olarak, üretim sahalarındaki uygulamalarla da önemli değerler mümkün olabilmektedir.

Üretimde artırılmış gerçeklik senaryoları ise, bilgi ve deneyim aktarımı odağında kurulan uygulamalara odaklanmaktadır. Çoğu uygulama montaj operasyonları, bakım ve onarım süreçlerine yönelik geliştirilmektedir. Burada, her iki süreçte de uygulanan adım adım talimatlara dayanan uygulamalarla süreçlerin doğruluğu sağlanmaktadır. Montaj operasyonları için oluşturulan bu tip uygulamalarla deneyimsiz yeni çalışanlar için de iş başı eğitimleri oluşturulabilmektedir. Bakım süreçlerindeki uygulamalar yine deneyim etkisini en aza indirebilirken, uzaktan bağlantı ile deneyimli teknik kişilerin gerçek zamanlı etkileşimle sorunları çözebilmesi sağlanabilmektedir. Üretimde artırılmış gerçeklik ile verilerin görselleştirilmesi ise, operatörlerin karar verme süreçlerini güçlendirilebilmektedir. Endüstri 4.0 ile gelen bir diğer yaklaşım olan insan-robot etkileşimli iş hücrelerinin oluşturulmasında da artırılmış gerçeklik desteği mümkün olabilmektedir. Hem üretim akışı ile olan enregrasyon hem de robotla sağlanan etkileşimde rol oynayan artırılmış gerçekliğin bu senaryolarla da üretimde değer yaratabilmektedir.

Bu faydaların yanında geliştirilen uygulamalar ve kullanılan donanımlar sebebiyle de kullanıcılar bazı kısıtlarla da karşılaşmaktadır. Özellikle giyilebilir ürünlerdeki ergonomik kısıtlar ve kullanıcıların bu ürünleri yeni yeni deneyimleyebiliyor olması bu ürünlerin son kullanıcı seviyesindeki kabul edilebilirliğini etkilemektedir. Mobil cihazlar ise üretimdeki çoğu operasyonun çift el ile çalışmayı gerektirmesinden dolayı handikaplar yaratabilmektedir. Ayrıca cihazdan farklı olarak geliştirilen kullanıcı arayüzlerinin kullanıcı ihtiyacına uygun olarak geliştirilmemesi de yine uygulamaların son kullanıcı özelindeki kabul edilebilirliği etkilemektedir.

Bu noktada literatürde sıklıkla üzerine çalışılan kullanılabilirlik kavramı ortaya çıkmaktadır. ISO standartına göre, kullanılabilirlik, bir sistem, ürün veya hizmetin kullanıcılar tarafından etkin, verimli ve kullanıcılara memnuniyet veren şekilde hedeflere ulaşma doğrultusunda ne kadar kullanılabileceği olarak tanımlanmaktadır.

Bu kavram çerçevesinde yapılan çalışmalarla kullanıcıların sistemlerle ilgili deneyimleri, yönelimleri ve değerlendirmeleri tespit edilebilmektedir. Buradan sağlanan çıktılarla sistemlerin kullanıcıların beklentisine uygun güncellenebilmesi sağlanmaktadır.

Kullanılabilirlik çalışmalarındaki çıktıları elde edebilmek için, denetlemeye dayalı yöntemler, test yöntemleri ve kullanıcı görüşmelerine dayanan raporlama yöntemleri kullanılmaktadır. Kullanıcı görüşmeleri ile uygulanan anket çalışmaları, kullanıcıların sistem ile ilgili öznel değerlendirmelerini tespit edebilmek açısından kritik ve değerlidir. Literatürde bu noktada, genel-geçer hale gelmiş evrensel yöntemler bulunmakta ve pek çok akademik çalışmada da kullanılmaktadır. SUS, PSSUQ, ASQ ve NASA-RTLX gibi yöntemlerle yapılan çalışmalar değerlendirilen sistem ile ilgili kullanıcı deneyimlerini net ve odaklı bir şekilde yansıtmaktadır. Bu çıkarımlardan hareketle de sistemin performans iyileştirmeleri yapılabilmektedir.

Tüm bunların ışığında, bu tez çalışması ile üretimde kullanılan operatör destekli artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanılabilirlik kavramı kapsamında değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Yukarıda belirtilen, giyilebilir teknoloji, mobil cihaz ve projeksiyon tekniklerinden oluşan bu teknolojilere yönelik 3 tane kullanım senaryosu belirlenmiştir. Her 3 kullanım senaryosu da benzer içeriklerde olup, üretim süresince eğitim, bilgi ve iş talimatı noktalarında kullanıcıları desteklemeyi sağlamaktadır.

Her bir katılımcıya kullanım senaryolarındaki deneyimlerine istinaden SUS, PSSUQ, ASQ ve NASA-RTLX anketleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlardan yöntem skorları elde edilerek artırılmış gerçeklik teknolojileri karşılaştırılmıştır. Ayrıca her bir yöntemde detaylı analizler yapılmış, kullanıcıların sistemlerle ilgili olumlu ve olumsuz değerlendirmeleri tespit edilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılan ANOVA analizleriyle de istatistiksel olarak desteklenmektedir.

Yapılan bu faaliyetler ile elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; tüm yöntemler özelinde projeksiyon uygulaması kullanıcıların en çok benimsediği ve olumlu bulunduğu artırılmış gerçeklik uygulaması olmuştur. Kullanıcılar; sıklıkla kullanım isteği, kullanım kolaylığı, entegre fonksiyonlar, çabuk öğrenme, kullanım esnasında kendinden emin hissetme, görev tamamlama kolaylığı ve süresi, bilgi ve arayüz kalitesi anlamında projeksiyon uygulamasını ön plana çıkarmıştır. Mobil cihaz - tablet uygulaması ve akıllı gözlük uygulamasını bu kriterler anlamında olumsuz değerlendirmektedir. Burada akıllı gözlük uygulaması daha olumsuz içgörülere sahip olup; sistem karmaşıklığı, teknik destek ihtiyacı, kullanım elverişsizliği, tutarsızlık, kullanım öncesi gerekli bilgi ihtiyacı açısından da yine olumsuz değerlendirilmektedir. Bunlara ek olarak, zihinsel yük, zamansal yük, performans, çaba ve isteksizlik anlamında da akıllı gözlük olumsuz değerlendirmelere sahiptir. Fiziksel yük anlamında ise mobil cihaz - tablet uygulaması en olumsuz değerlendirmeyi alarak üretim sahalarındaki çift el kullanım yoğunluğunun etkisini göstermektedir.

Yapılan bu çalışmayla, artırılmış gerçeklik ve kullanılabilirlik literatürüne, tüm artırılmış gerçeklik teknolojilerinin üretimde operatör destek odağında karşılaştırmaları ve en iyi değerlendirilen yöntemin bulunmasıyla katkı sağlanması amaçlanmıştır. Türkçe olarak yazılan bu çalışma ile Türkçe literatüre de konu ve sonuçları itibarıyla katkı sağlanmıştır.



EVALUATION OF OPERATOR SUPPORT-BASED AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES USED IN PRODUCTION WITHIN THE CONCEPT OF USABILITY

SUMMARY

With the 2010s, there is a digital transformation for production systems along with many areas that come into contact with life. With the development of technology, lifestyles are changing, especially customer expectations in the value chain are changing. Customers are more interested in meeting their personalization expectations, companies' e-commerce channels are growing, and product diversity in the market is more prominent in shopping preferences, especially in the products and services they use. In other words, rather than buying a fixed product from a store, products that can be personalized through online channels come out on top of customer preferences.

These changing customer needs and expectations are also transforming the companies of products and services. Perhaps the most important thing at this point is that a flexible, end-to-end integrated and agile production system infrastructure can be carried out to meet all expectations. At this point, visitors attending the 2011 Hannover Fair encountered a brand new production approach in order to meet all these expectations.

With this approach, called Industry 4.0, it will be possible to meet customer expectations in the changing market by providing quality, efficiency and productivity increase with digital transformation-oriented advances in production sites. This development is stated as the 4th phase of the flow of industrial revolutions that began in the 1800s when Watt found the steam engine, but it is the information revolution in production that follows the mass production and automation revolutions.

The Industrial Internet of the United States, China's "Made in China 2025" and Japan's Society 5.0 formations are different approaches to this transformation. However, the basis of all of them is the digitalization of production and the management of intelligent systems. In addition to these countries, France demonstrates its approach to this transformation with a program called "New Industrial France".

When the industry 4.0 concept first presented, the goal of reaching dark factories based on 100% automation was at the forefront in order to minimize labor costs, which are important parameters in competition. However, the need for human capability and flexibility in factories, especially assembly lines, and the lack of a substitute for human creativity in product design, R&D activities, have enabled this digital transformation to move forward with human focus. This progress has been registered with the idea of Society 5.0, which is led by Japan.

Around this focus, some technologies of Industry 4.0 have highlighted and one of the popular one is "Augmented Reality" technology.

The concept of augmented reality is a concept associated with virtual reality. With virtual reality applications, the user loses his or her own reference and takes part in a

completely digital environment. In augmented reality, in contrast, it places virtual or digital objects in users' physical worlds without disturbing their own views. Rather than changing the reality of individuals, it shows support to increase the perception of reality through these virtual or digital supports.

From here, the 3 main features for augmented reality are shared. First of all, it brings the virtual and the reality together. Secondly, it enables real-time interaction and lastly, it makes it possible in 3D. Together with these three features, not only wearable glasses and equipment such as head kits, but also different techniques pave the way for the development of augmented reality applications.

Although Augmented Reality technology, similar to Industry 4.0, entered a serious phase of progress in the early 2010s, it actually has a longer history. The technology, which has come to this day with its development stages starting in the 1960s, has made its most serious leap with the "Google Glass" product. The subsequent advances of Microsoft Hololens and Epson have made this technology a match, especially in the field of wearable technologies. However, augmented reality technologies also make it possible for users to experience it with devices such as mobile devices and projectors. With PokemonGo and IKEA apps, users can have different experiences, especially with mobile devices.

Facebook's activities with the Oculus investment have recently revealed a movement called Metaverse. With the Covid 19 pandemic, there has been a remarkable increase in the virtualization of life. According to Facebook, which also changed its name to Meta, Metaverse is a new method or evolved form of social interaction. With the 3D universe presented with Metaverse, users can experience socialization, learning, collaborative development and gaming. Here, virtual reality, augmented reality and smart glasses technologies stand out as tools that provide and enhance the experience. In addition to these experiences that come with Metaverse, experiences such as NFT, cryptocurrencies, and virtual events will be critical to the future of augmented and virtual reality technologies.

Augmented reality applications can create application scenarios in many sectors such as design, engineering, education, gaming, marketing, tourism. In addition to these areas, important values can be possible with applications in production shopfloor areas.

Augmented reality scenarios in production focus on applications established on the basis of knowledge and experience transfer. Most applications are developed for assembly operations, maintenance and repair processes. Here, the accuracy of the processes is ensured by applications based on step-by-step instructions applied to both processes. With such applications created for assembly operations, on-the-job trainings can also be created for inexperienced new employees. Applications in maintenance processes can again minimize the impact of experience, while remote connection allows experienced technical people to solve problems with real-time interaction. Visualization of data with augmented reality in production can strengthen the decision-making processes of operators. Augmented reality support is also possible in the creation of human-robot interactive work cells, another approach that comes with Industry 4.0. Both the integration with the production flow and the augmented reality that plays a role in the interaction with the robot can also create value in production with these scenarios.

In addition to these benefits, users also face some limitations due to the applications developed and the hardware used. Ergonomic constraints, especially in wearables, and

the fact that users can experience them newly affect the acceptability of these products at the end-user level. Mobile devices, on the other hand, can create handicaps because most operations in production require working with both hands operation. In addition, the failure to develop user interfaces developed differently from the device in accordance with the user needs also affects the acceptability of the applications in the end user specific.

At this point, the concept of usability, which is often studied in the literature, arises. According to the ISO standard, usability is defined as how much a system, product or service can be used by users to achieve goals in a way that is effective, efficient and pleasing to users.

A definition refers to the concept of usability as acceptable for users under designated tasks, such as a system or product, which effectively influences user performance and satisfaction, and demonstrates ease of use and the availability of the product or system.

Within the framework of this concept, users' experiences, orientations and evaluations related to the systems can be determined. The outputs provided here ensure that the systems can be updated in accordance with the expectations of the users.

Inspection-based methods, test methods, and reporting methods based on user interviews are used to obtain outputs from usability studies. Survey studies carried out with user interviews are critical and valuable in order to detect subjective evaluations of users related to the system. At this point in the literature, universal methods that have become general-passing are also used in many academic studies. Studies with methods such as SUS, PSSUQ, ASQ and NASA-RTLX clearly and focused on user experiences related to the changed system. Performance improvements of the system can be made based on these inferences.

In light of all this, it is aimed to evaluate the operator-assisted augmented reality technologies used in production within the scope of the concept of usability with this thesis study. Three use case scenarios have been identified for these technologies, which consist of wearable technology, mobile device and projector techniques mentioned above. All 3 use case scenarios have similar content and provide support to users at training, information and work instruction points during production.

Each participant was given SUS, PSSUQ, ASQ and NASA-RTLX questionnaires based on their experience in use case scenarios. In addition, detailed analyses were carried out in each method and positive and negative evaluations of the users about the systems were determined. These evaluations are also supported statistically by ANOVA analyses.

The results obtained by these activities show that; In all methods, the projection application has been the most adopted and positive augmented reality application of users. Users can use the frequently, ease of use, integrated functions, quick learning, feeling confident during use, ease and duration of task completion, information and interface quality have brought projection application to the forefront. Mobile device - tablet application and smart glasses application are evaluated negatively in terms of these criteria. Here, the smart glasses application has more negative insights; system complexity, technical support need, use unfavorable, inconsistency, need for necessary information before use are also evaluated negatively. In addition, smart glasses have negative assessments in terms of mental load, temporal load, performance, effort and frustration. In terms of physical load, the mobile device - tablet application takes the

most negative evaluation and shows the effect of double-hand usage in production sites.

Similar to this study, the increase in the number of technology comparison and user-specific usability studies will benefit the development of this technology and increase the acceptability of these systems for users.

With this study, it is aimed to contribute to the literature of augmented reality and usability by comparing all augmented reality technologies with operator support focus in production and finding the best evaluated method. With this study written in Turkish, input was provided to the Turkish literature as a result of its subjects and outputs.

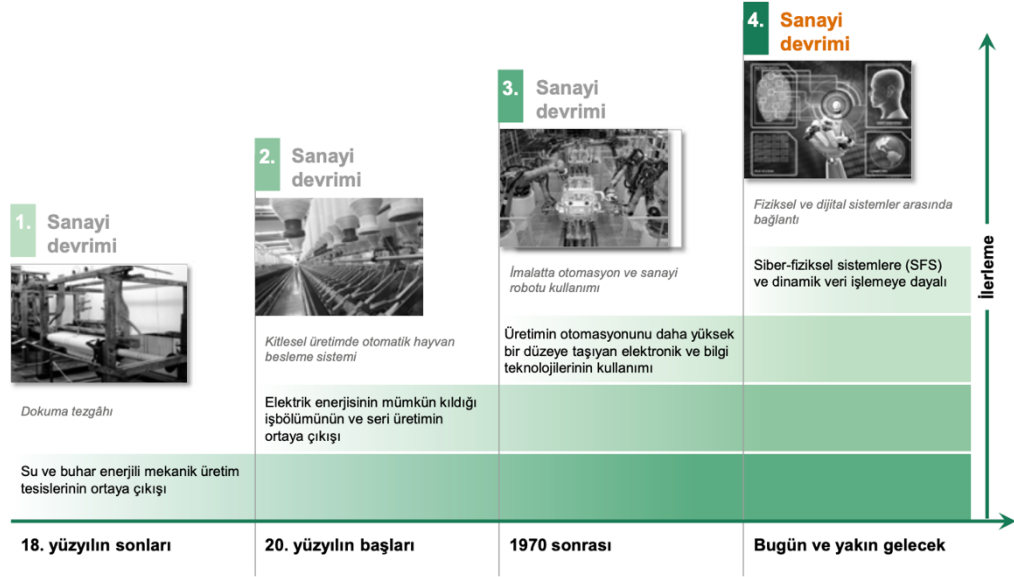
To summarize, it is important to underline that with these developments, the potential of augmented reality systems is high and the value it will create with production applications will be important. Both augmented reality technology and production systems will benefit from a human-focused digital induction approach. In order to achieve this, the usability and user experience work will be extremely critical.



1. GİRİŞ – DİJİTAL DÖNÜŞÜM

2011 yılında Almanya’da, Hannover fuarında ortaya atılan Endüstri 4.0 fikri ile üretim sistemleri için yepyeni bir dönüşüm evresi başlamıştır [1]. Endüstri 4.0, yeni nesil dijital değer yapılarını kurabilmek amacıyla, üretim alanları, tedarik zinciri ve hizmet katmanlarının birbirleriyle olan entegrasyonunu sağlamaktadır. Bunu sağlamak için ise, veri, robot, katmanlı üretim yaklaşımı, artırılmış gerçeklik gibi teknolojilerden faydalanmaktadır [2].

4. Sanayi devrimi olarak da nitelendirilen, bu teknolojik gelişimin 18. asır itibariyle başlayan sanayi devriminin 4. ve mevcut evresi olduğu ve bilişim ve veri odaklı bir dönüşüm getirdiği belirtilmektedir [3]. Şekil 1.1’de bu 4 aşama da görülmektedir.



Şekil 1.1 : Endüstri devrimleri [3].

Şekil 1.2’de de görselleştirildiği üzere, ABD’nin Endüstriyel İnternet’i, Çin’in “Çin Üretimi 2025” ve Japonya’nın Toplum 5.0 oluşumları bu dönüşümün farklı birer yaklaşımlarıdır. Ancak, hepsinin temelinde üretimin dijitalleşerek, akıllı sistemler ile yönetilmesi yatmaktadır [4,5]. Bu ülkelere ek olarak, Fransa da kendine özgü “Yeni Endüstriyel Fransa” adındaki bir programla bu dönüşüme yönelik yaklaşımını ortaya koymaktadır [5].

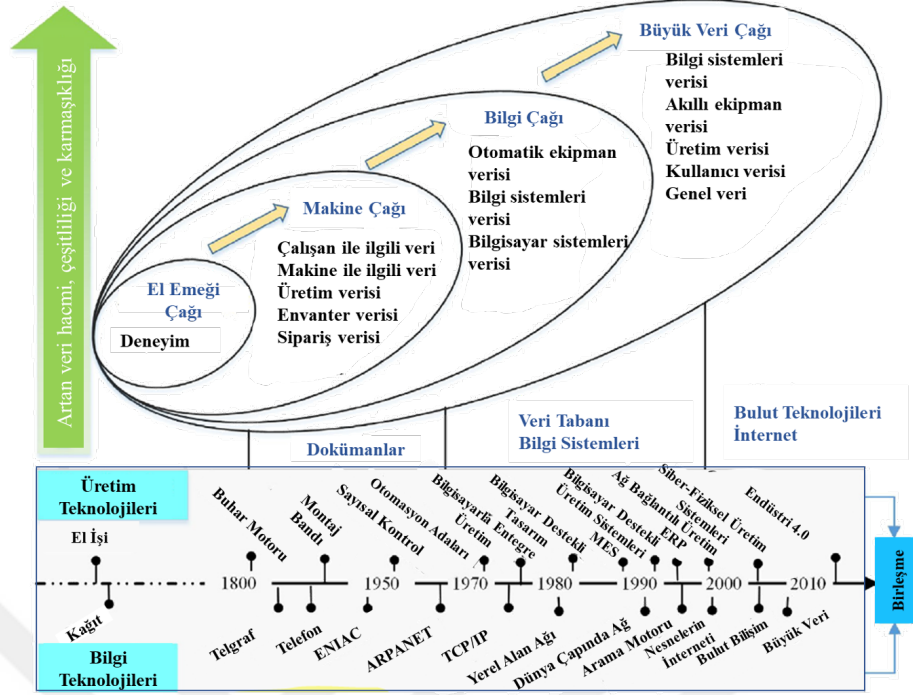


Şekil 1.2 : Farklı ülkeler için dijital dönüşüm kavramları.

Endüstri 4.0 konseptinin ilk ortaya çıkışıyla birlikte, otomasyon yoğunluklu karanlık fabrika fikri benimsenmiş olsa da geline nokta bu süreçlerin insan bağımsız olamayacağı ve insanı temel alması gerektiği noktasında birleşmiştir. İster üretim sahalarında çalışan insanlardan gelen, ister fiziksel ekipmanlardan gelen veriler olsun; verinin bu noktadaki önemi ve yaratacağı değer de yine tüm paydaşların hem fikir olduğu bir durumdur.

Bu noktada, akıllı üretimin temelini, üretim sistemlerinden ve ürün yaşam döngüsü boyunca elde edilecek tüm verilerden hareketle en ideal kararı verecek bir yapıda olduğu görülmektedir [4].

Üretim sistemleri gibi üretim verisi de tarihsel bir geçmişe sahiptir. Şekil 1.3’de görülen akışla bu tarihsel ilerleme; el becerisi çağı, makine çağı, bilişim çağı ve büyük veri çağıdır. Çağlar geçtikçe verinin hacmi, çeşitliliği ve karmaşıklığının arttığı görülmektedir. Ek olarak, verinin yönetiminin manuellikten, otomatik sistemlere doğru evrilmekte olduğu da bir gerçektir [4].



Şekil 1.3 : Veri tarihsel akışı [4].

İnsanın temel alınması durumunda ise Toplum 5.0 kavramı ön plana çıkmıştır. 2016 yılında hükümet öncülüğünde başlayan bu girişim, yukarıdaki farklı ülkelerdeki dijital dönüşüm yaklaşımının Japonya'daki karşılığı olup, toplum odaklı olması vesilesiyle de diğerlerinden ayrılmaktadır [6].

Ayrıca, yeni sanayi devriminin sürdürülebilir olmasında ve değer etkenleri arasında da insan faktörünün önemi görülmektedir. Çalışanlarında bu gelişmeler eksenin de bir dönüşüm yaşayacağı ancak değer zincirinin bir parçası olmaya devam edeceğini belirtmek gerekir. Artırılmış ve sanal gerçeklik ile sağlanan eğitimler, siber fiziksel sistemler odağındaki yaklaşımları insanın yaratıcılığı ile donatmak gibi aksiyonlar insanın bu dönüşümdeki yerini göstermekte, sürdürülebilir dijital dönüşüm için yapılabilecekler için örnek teşkil etmektedir [7].

Endüstri 4.0 ve 4. Sanayi devriminin zamanla insan ve veri odaklı bu yaklaşıma dönüşmesiyle birlikte artırılmış gerçeklik teknolojisi de ön plana çıkan endüstri 4.0 araçlarından biri olmuştur. Giyilebilir teknolojileri de kullanan artırılmış gerçeklik teknolojileri üretim sistemlerinde, operatörlerin verimliliğini sağlayabilecek çözümler sunabilmektedir. Ayrıca, hem çalışanlara sağladığı farklı veriler, hem de çalışanların bu sistemler vasıtasıyla üst katmanlara ilettiği verilerle, üretim sistemlerinde yaratılabilecek değer potansiyeli artmaktadır.

Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin akıllı ve dijital fabrika yaklaşımlarıyla harmanlanması, Endüstri 4.0 konseptinin amaçladığı üretim esnekliğine katkı sağlamaktadır. Artırılmış gerçeklik destekli modüler üretim hücreleri ile daha esnek yapıda, daha yüksek veri zenginliğinde sistemler elde etmek mümkün olabilecektir [8].

Fabrikalarda yaygınlaşmaya başlayan insan-robot etkileşimli iş hücrelerinde ise, operatöre sağlanan artırılmış gerçeklik teknolojisi ile kritik montaj işlemleri daha etkin yapılırken, robot ile etkileşimin üretim verimliliği açısından olumlu etkilendiği de görülmüştür [9].

Üretim sistemlerindeki bakım faaliyetlerini desteklemek dijital üretimdeki artırılmış gerçeklik kullanım senaryolarından biridir. Geleneksel talimat ve belgelendirme yöntemlerine göre artırılmış gerçeklikle oluşturulan bakım yönergeleri daha etkili olabilmekte ve önemli bir potansiyel vaat etmektedir [10].

Üretim süreçlerinden gelen verilerle oluşturulan dijital ikizler, endüstri 4.0'ın önemli bileşenlerindendir. Bu modellerden iletilen verilerin, artırılmış gerçeklik aracılığıyla kullanıcılar için görselleştirilmesi üretim kontrolü açısından, operatör karar verme süreçlerini iyileştirmektedir [11].

Bu amaçlarla geliştirilen artırılmış gerçeklik gibi giyilebilir teknolojilerin, artan veri boyutu da göz önüne alınarak, insanın adaptasyonunu ve verimliliğini artıracığı görülmektedir. Burada senaryoya en uygun özelliklerle donatılması, giyilebilir teknolojilerin, kullanıcı verimliliğini artıracaktır [12].

1.1 Tezin Amacı

Yukarıda verilen bu bilgilerden hareketle, insan odaklı üretimde dijital dönüşüm yaklaşımı için artırılmış gerçeklik sistemlerinin önemi görülmektedir. Bu noktada bu sistemlerin kullanıcılar tarafından benimsenmesi, uygulamaların yaygınlaşması için son derece kritiktir. Burada ortaya çıkan kullanılabilirlik kavramı ile kullanıcı odaklı değerlendirmelerle sistemlerin gelişim potansiyelleri belirlenebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, üretimde operatör destek odaklı artırılmış gerçeklik uygulamalarının kullanılabilirlik kavramı açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. İmalat sanayi özelinde değerlendirilen kullanım senaryoları ile tüm artırılmış gerçeklik tekniklerinin değerlendirileceği bu çalışmada, kullanıcıların hangi

yöntemi daha olumlu bulduğu ve her bir yöntem özelindeki olumsuz, gelişime açık noktalar da detaylandırılacaktır.

Özellikle imalat sanayii göz önüne alındığında, giyilebilir teknolojilerin son kullanıcı özelinde, sahip olduğu olumsuz içgörülerin sebepleri, akademik literatürde bilinen yöntemlerle tespit edilmesi hedeflenmektedir. Bu noktada ortaya çıkan kullanılabilirlik ölçümlerinin, literatürde tanımlanan tüm artırılmış gerçeklik teknikleri üzerinde uygulanarak, kullanıcıların olumlu ve olumsuz tüm içgörülerini tespit etmek çalışma ana odağında olacaktır. Özellikle giyilebilir teknolojilerin mevcut durumu ve kullanıcı içgörülerini de tespit ederek bu teknolojilerin son kullanıcılar özelinde içselleştirilmesinin önündeki sebeplerin detaylandırılması yine çalışmanın amacı arasında olacaktır.

Artırılmış gerçeklik ve kullanılabilirlik kavramları ile birlikte oluşturulan bu çalışma Türkçe literatüre de katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Özellikle kullanılabilirlik kavramı göz önüne alındığında, Türkçe literatür içerisinde bir kaynak sağlamak da ön plana alınmıştır. Ek olarak, üretim sahalarında artırılmış gerçeklik sistemleri değerlendirilmesi anlamında da yine Türkçe literatüre katkı sağlamak hedefte olacaktır.

Ayrıca artırılmış gerçeklik ve kullanılabilirlik kavramları çerçevesindeki bu çalışma ile, imalat sanayii için aktif kullanımda olan kullanım senaryoları ile kullanıcı içgörülerinin tespitini sağlamak yine ana odaklar arasındadır. Literatürdeki kontrollü ortam çalışmalarından farklı olarak bu nokta çalışmanın önemli bir amacı olarak belirtilebilmektedir. Ek olarak, bu kapsam ile de çalışmanın literatüre katkı sağlaması amaçlanmıştır.

Bu çalışmalara giderken ilk olarak artırılmış gerçeklik kavramı; tanımı, kronolojik ilerlemesi, mevcut durumu, literatürdeki üretim uygulamaları ve gelecek trendleri başlıklarında incelenecektir.

Ardından, kullanılabilirlik kavramı ve yöntemleri üzerinde durulup, uygulama çalışmasındaki değerlendirme yöntemleri detaylandırılacaktır.

Sonraki aşamada ise, kullanım senaryoları özelinde gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışmaları anlatılacak ve sonuçlar istatistiksel analizlerle paylaşılacaktır.

Sonuç olarak, tüm çalışma değerlendirilip, çıktılar yorumlanmış ve öneriler oluşturulmuş şekilde tüm detaylar paylaşılacaktır.



2. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK SİSTEMLERİ

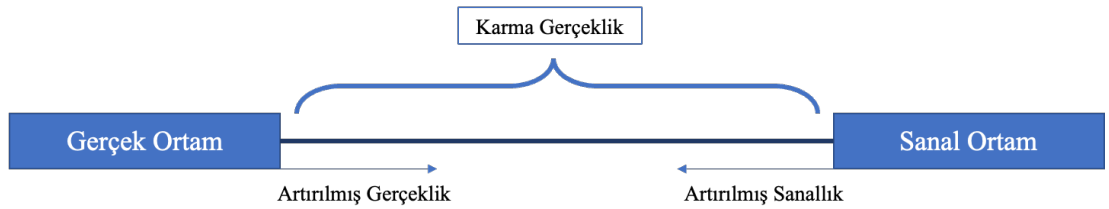
Artırılmış Gerçeklik sistemleri dijital dönüşüm konularıyla birlikte popülerleşen teknolojik başlıklardan bir tanesidir. Kullandığımız mobil uygulamalardan, bilinen markaların donanım ürünlerine kadar, günümüz hayatına pek çok farklı noktadan girmiş olan bu kavramın detaylarında bilinen, popüler bilgilerin dışında daha farklı bilgiler de mevcuttur.

Bu teknolojinin uygulama alanlarını, gelişim potansiyellerini ve gelecekte olabileceği yeri doğru yorumlayabilmek için bu teknolojinin tanımını ve kronolojik gelişim aşamalarını da iyi bir şekilde irdelemek gerekir.

Bu amaç çerçevesinde, çalışmanın bu bölümünde, artırılmış gerçeklik kavramı detaylandırılacaktır. Bu kavramın tanımı ve literatürdeki teknolojik uygulama yöntemleri ile ilk adım atılacak olup, kronolojik gelişim aşamalarıyla da bugünkü seviyeye nasıl ve hangi aşamalardan geldiği detaylandırılacaktır. Teknolojinin mevcut durumu ve çalışmanın odağında bulunan üretim sistemlerindeki uygulama alanları ile teknoloji uygulamaları paylaşılacaktır. Son olarak, gelecek trendler ile artırılmış gerçeklik teknolojisi için potansiyel konular ve gelecek fırsatlar belirtilecektir.

2.1 Artırılmış Gerçeklik Tanımı

Artırılmış gerçeklik kavramı, sanal gerçeklik ile Şekil 2.1'deki gibi ilişkili bir kavramdır.



Şekil 2.1 : Gerçeklik ve sanallık doğrultusu [13].

Sanal gerçeklik uygulamaları ile kullanıcı kendi referansını kaybedip, tamamen dijital bir ortamda yer almaktadır. Buna karşılık, artırılmış gerçeklikte ise, kullanıcıların kendi görüşlerini bozmadan, fiziksel dünyalarına sanal veya dijital nesneleri

yerleştirmektedir. Kişilerin gerçekliğini değiştirmekten ziyade, bu sanal veya dijital desteklerle gerçeklik algısını artırma desteğini göstermektedir [13]. Artırılmış gerçeklik kavramı, sanal gerçekliğe nazaran daha yeni olan bir araştırma ve geliştirme konusudur [14].

Artırılmış gerçeklik söylendiğinde akla ilk olarak, akıllı gözlük benzeri giyilebilir teknolojiler gelmektedir. Ancak, artırılmış gerçeklik kavramı, akıllı gözlükler gibi sadece giyilebilir teknolojilerle sınırlandırılmamalıdır.

Buradan hareketle, artırılmış gerçeklik için 3 ana özellik aşağıda paylaşılmıştır.

- Gerçek ve sanalı bir araya getirir
- Gerçek zamanlı etkileşimi mümkün kılar
- 3 boyutlu mümkün kılar

Bu üç özellikle birlikte sadece giyilebilir gözlükler ve baş seti gibi donanımlar değil farklı tekniklerle de artırılmış gerçeklik uygulamalarının geliştirilmesinin n açılmış olmaktadır [13].

Artırılmış gerçeklik uygulamaları için bir diğer önemli nokta ise, fiziksel gerçekliğe eklenecek olan bu sanal nesne veya bilgilerin hangi referansa göre yapılacağıdır. Bir diğer deyişle, sistemin çalışabilmesi için alması gereken referanstır.

İlk yöntem, uygulamanın kullanılacağı alanda bazı işaretler kullanmaktır. Bu noktada QR ile yönlendirme oldukça yaygındır. Diğeri ise, herhangi bir işaret kullanılmadan yapılan yöntemdir. Buradaki yöntemler, doğal özellik izleme (NFT) ve eşzamanlı yerini saptama ve haritalama yöntemleridir [15].

NFT yöntemi esasen görüntü işlemeye dayanmaktadır. Bu yöntemde, alınan görüntüdeki bazı referans noktalara göre sanal nesnelerin konumlandırılması yapılmaktadır [15]. Aslında, görüntü işleme teknikleri kullanılarak, referans bir fotoğraf datasına göre alınan gerçek zamanlı görüntüye sanal nesnelerin yerleştirilmesi olarak da ifade edilebilir.

SLAM algoritmaları, özellikle mobil robotlar için gerçek zamanlı konum ve yönlendirme için geliştirilmiş olup, artırılmış gerçeklik sistemlerine de entegre edilmiştir. Bu yöntem, temelde kamera gibi belli başlı bazı sensörler ile 3 boyutlu nokta bulutu tabanlı bir harita çıkarılmasına dayanmaktadır [15]. Bu harita verisi ile yönlendirme sağlanmaktadır.

Bu yönlendirme metodları ve karakteristik özelliklerden hareketle, artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanılan donanımlara göre aşağıdaki 3 başlıkta toplanabilir.

- Giyilebilir baş seti donanımlar
- Mobil Cihazlar
- Projektörler

Giyilebilir baş seti donanımlar ile akıllı gözlük gibi donanımlar belirtilmektedir. Bu tip donanımlara entegre kameralar ile gerçek dünya algılanır ve gözlüklerdeki yarı saydam bir ayna vesilesi ile de kullanıcılara gösterimi sağlanır [15].

Artırılmış gerçeklik sistemleri, sanal nesneler için referanslar, ki bu işaretçiler olabilir, bunları kullanıcıya iletmek için monitör, ve yapılacak işlemler için gerekli işlemci gücünü içermelidir. Kamera ve benzeri sensörlerle de kullanıcı hareketleri izlenmeli, gözlük gibi donanımlarla da hem sanal nesneler gösterilmeli, hem de kullanıcının fiziksel dünyayı görmesi sağlanmalıdır [14].

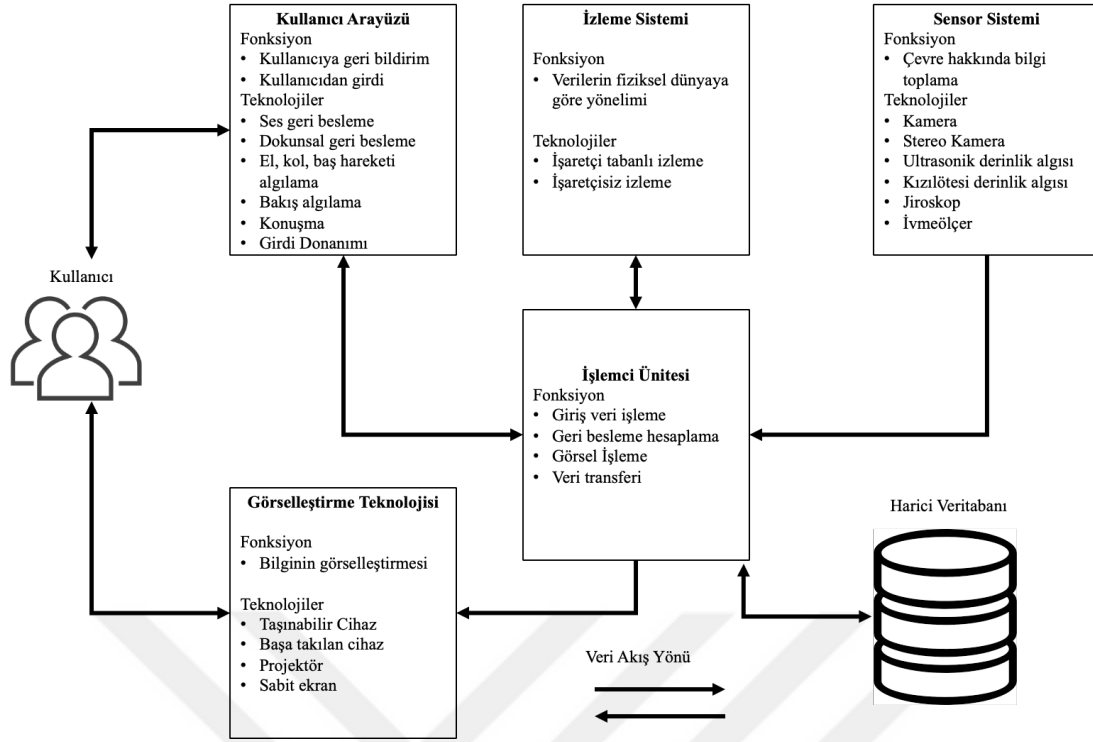
Akıllı telefon ve tablet gibi mobil cihazlar, kameraları vasıtasıyla görüntüyü alırlar ve işlenen bilgileri ekranlarına yansıtırlar [14].

Projektör ise, mekansal artırılmış gerçeklik (SAR) kavramı ile eşleşmektedir. Burada, çalışma ortamındaki gerçekliğin artırımı projektörler vasıtasıyla olmaktadır [15].

Şekil 2.2’de görülen blok diyagramı, bir artırılmış gerçeklik sisteminin arka plandaki bileşenlerini göstermektedir.

Görselleştirme, sensor, izleme, işlemci ve kullanım arayüzünden oluşan bu bileşenlerin birbiri arasındaki etkileşimler de belirtilmiştir. Kullanıcı ile başlayan akış; işlemci ünitesinin kullanıcı arayüzü, izleme sistemi ve sensor sisteminden gelen verileri, harici veri tabanı ile sağladığı çift yönlü haberleşme ile görselleştirme teknolojilerine iletmesi ve işlenerek üretilen anlamlı bilginin yeniden kullanıcıya iletilmesi ile son bulmaktadır [16].

Buradaki blok diyagramının, yukarıda belirtilen giyilebilir teknolojiler, mobil cihazlar ve projektörler için de geçerli olduğunu belirtmek gerekir. Arayüz, sensor ve görselleştirme katmanlarında kullanılan ekipmanlar her birini, birbirinden farklılaştırmaktadır.



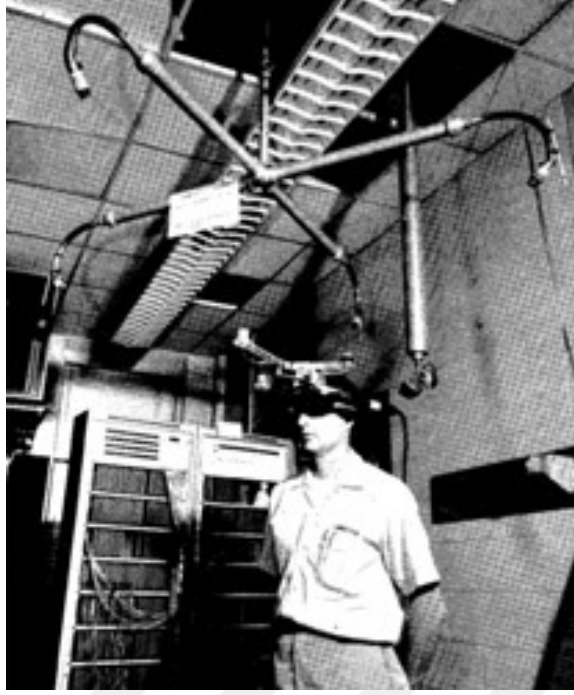
Şekil 2.2 : Artırılmış gerçeklik fonksiyonel diyagramı [13, 16].

2.2 Kronolojik Akış

Artırılmış gerçeklik teknolojisinin gelişimi veya popülerleşmesi yakın yıllara dayanıyor gibi algılansa da, aslında çok daha uzun yıllar öncesine dayanmaktadır. Kronolojik olarak bu teknolojinin ilerleyişini detaylandırmak, gelişim aşamalarına hakim olmak ve gelecek potansiyellerin neler olabileceğini yorumlamak açısından son derece faydalı olacaktır.

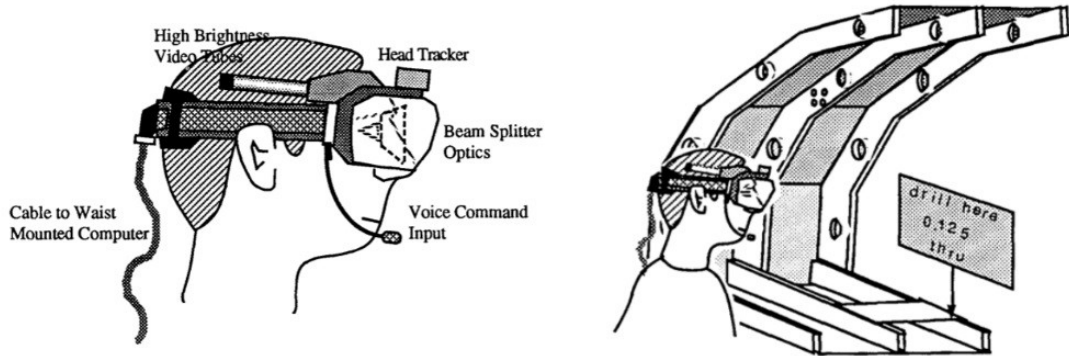
Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile ilgili ilk kullanımın Lyman Frank Baum tarafından 20. yüzyıl başlarında yapıldığı belirtilmektedir. “The Master Key” adlı çalışmasında Baum giyilebilir akıllı gözlük konseptine ilişkin bazı işaretler oluşturmaktadır. 1929 yılına geldiğimizde ise, uçuş eğitimi odaklı bir sistem geliştirdi. Bu sistem 2. dünya savaşı sırasında pek çok pilotun eğitimlerini sağladı, yeteneklerini artırdı [17].

1962 yılında Morton Heilig, rüzgar ile birlikte, ses, koku ve dokunma gibi hislerin deneyimini sağlayan, Sensorama adındaki bir motorsiklet simülasyonu kapsamında, 3 boyutlu ilk uygulamayı gerçekleştirmiş oldu [14].



Şekil 2.3 : Sutherland artırılmış gerçeklik sistemi [18].

1968 yılına gelindiğinde ise Ivan Sutherland, hem sanal hem de artırılmış gerçeklik için ilk olarak kabul edilen sistemi geliştirmiştir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere başa takılan giyilebilir bir ürün olan bu donanımda mekanik ve ultrasonik olmak üzere 6 serbestlik dereceli iki farklı izleme ekipmanı bulunmaktadır [18].



Şekil 2.4 : Caudell ve Mizell konsepti [18].

1992 yılında ise, Tom Caudell ve David Mizell yaptıkları çalışmada artırılmış gerçeklik kavramına ilişkin detayları işlemişlerdir. Çalışmalarında, Şekil 2.4'deki konsepti sunup, artırılmış gerçeklik kavramının sanal gerçekliğe göre avantajlarını belirtmişlerdir. 1994 yılına gelindiğinde ise, Steve Mann 1996 yılına kadar olan süreçte bir web kamerası giymeye başlamıştır. Buna dahil olan ekranla birlikte, görüntü kayıtları da almıştır. Her iki cihazı da bir web uygulamasına bağlayarak, web

üzerinden kendi gördüklerinin izlenebilmesine ve buradan giymiş olduğu mobil ekrana mesajlar gönderilmesine imkan sağlamıştır [18].

Bugünkü pek çok popüler kullanım senaryosunda, buradaki mantıktan hareketle, uzaktan teknik destek sağlamak artırılmış gerçeklik kavramının önemli uygulamaları arasına girmektedir.

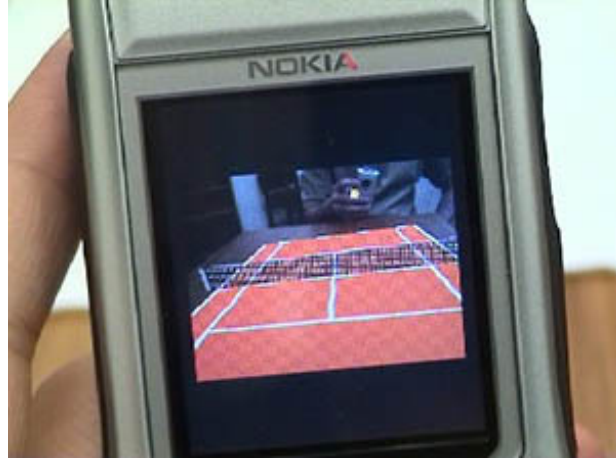
1997 yılında Azuma, yukarıdaki bölümde de bilgisi verilen, şu anda da literatürde yer etmiş artırılmış gerçeklik tanımını yapmıştır. Aynı yıl Feiner ve diğerleri, tur makinesi adında ilk mobil artırılmış gerçeklik sistemini geliştirmişlerdir. Şekil 2.5’de görülen bu sistem, başa takılan bir ekran, bağlanılabilirlik için bir mobil bilgisayar, GPS, kablosuz bağlantı ekipmanları ve dokunmatik bir mobil bilgisayara sahiptir. Kullanıcıların yaptıkları turlar esnasında navigasyon ve bilgilendirme sağlamaktadır [18].



Şekil 2.5 : Tur amaçlı oluşturulan mobil artırılmış gerçeklik sistemi [18].

1999 yılında “ARToolKit” adında açık kaynak bir pozisyon izleme kütüphanesi yayınlanmıştır. 2000 yılına gelindiğinde ise, AR-Quake adında, bir bilgisayar oyunu için ek özellik geliştirilmiştir. 2001 yılında yayınlanan “BatPortal” isimli uygulama ile, kablosuz mobil cihaz tabanlı artırılmış gerçeklik konsepti ortaya konmuştur [17,18].

2005 yılında ilk mobil artırılmış gerçeklik oyunu uygulaması Şekil 2.6’da da görülen “AR-Tennis” adında kullanıma sunulmuştur. Symbian işletim sisteminde ARToolKit kütüphanesi ile oluşturulan bu uygulama, kendi alanında ödüllendirilmiştir [17,18].



Şekil 2.6 : Nokia AR-Tennis uygulaması [18].

2006 yılında Nokia MARA uygulamasını geliştirmiştir. Rehberlik odaklı bir uygulamadır. Cep telefonu kamerası ile alınan görüntüye dijital nesne ve bilgiler eklemektedir.

2009 yılında ise, şehir ve bölge tasarımı odaklı ve kent planı için yapılan mobil artırılmış gerçeklik uygulaması SiteLens geliştirilmiştir. Aynı yıl, iPhone’da SLAM algoritması çalıştıran uygulama sunulmuştur. Cep telefonu gibi mobil cihazlarda SLAM algoritmalarının çalışması açısından önemli bir örnektir. 2011 yılına gelindiğinde ise, uygulama geliştiricilere, ortam sağlayan SDK platformu, Qualcomm tarafından duyurulmuştur. Bu yapı sonralarda “Vuforia” adını almıştır [18].

2012 yılında ise giyilebilir teknoloji olarak “Google Glass” pazara sunulmuştur. Şekil 2.7’de de görülen ve giyilebilir akıllı gözlük olan bu ürün, artırılmış gerçeklik dünyasında önemli bir adım olmuştur [17,18].



Şekil 2.7 : Google Glass.

Şekil 2.7’deki “Google Glass” ile birlikte 2010’lu yıllar artırılmış gerçeklik teknolojilerinde önemli gelişmelerin yaşandığı yıllardır. Bu yıllarda hızlanmaya başlayan dijital dönüşüm rüzgarı, artırılmış gerçeklik adına yapılan çalışmalarda da kendini göstermektedir.

Giyilebilir teknolojilerdeki bu gelişme rüzgarı ile birlikte hem artırılmış gerçeklik hem de sanal gerçeklik pazarının, donanım geliştirme ve yazılım yetkinlikleri açısından hareketlenmeye başladığı görülmektedir. Hızlanan bu faaliyetler pazardaki ticari hamlelere de yansımıştır. Bu noktada Oculus firmasının geliştirmeleri ve nihayetinde Facebook’un bu firmayı satın alması önemli bir örnektir.

2015 yılında ise, Microsoft önemli bir adımla, Şekil 2.8’de görülen 1. versiyon Hololens ürününü pazara sunmuştur [18]. Cihazda, bir pc, çok sayıda kamera ve sensör ve kullanıcının çevresini görebildiği bir ekran bulunmaktadır. Bu ürün, artırılmış ve sanal tarafların tam ortasında karma gerçeklik olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.8 : Microsoft Hololens.

Google Glass, Hololens gibi donanımlar artırılmış gerçeklik teknolojik gelişiminde önemli ivmelenme sağlamışlardır.

Benzer bir etki PokemonGo isimli oyunda da görülmektedir. Şekil 2.9’daki gibi bir deneyim sunan, PokemonGo özellikle artırılmış gerçekliğin bireysel kullanımı için yeni bir dönem açan uluslararası popüleriteye sahip bir uygulamadır [17].



Şekil 2.9 : Pokemon Go uygulaması.

Son olarak, Microsoft Hololens ürünü için 2. versiyonu pazara sunarak bu alandaki faaliyetlerini ve verdiği önemi açıkça göstermiştir.

Görüldüğü gibi önemli pek çok aşamadan geçen artırılmış gerçeklik teknolojisi, hem giyilebilir teknoloji, hem de mobil uygulamalar açısından önemli bir mesafe kat etmiştir. Pazarın hem donanım hem de yazılım geliştiricileri yıllar içerisinde faaliyetlerini artırarak farklı çıktılarla hem teknoloji dünyasına hem de kullanıcılara farklılıklar sunmaktadır.

2.3 Mevcut Durum Analizi

Tanım ve teknolojik gelişmelerle birlikte artırılmış gerçeklik sistemlerinin, pazarda hangi alanlarda kullanıldığı, araştırma çalışmalarındaki uygulama alanları, ticari gelişmeler de bu teknolojinin sınırlarını ve yaratabileceği değeri anlamak için son derece önemlidir.

Artırılmış gerçeklik'in sahip olduğu teknolojik çeşitlilik uygulama alanlarında da geniş bir yelpazeye sahip olmasını sağlamaktadır. Endüstri 4.0 ve üretimdeki dijital dönüşüm ile üretim sistemlerindeki uygulamalar yakın dönemlerin popüler uygulama konularıdır. Ayrıca eğitim alanı da yapılan çalışmalar itibariyle önde gelen kullanım alanlarındanıdır.

Özellikle eğitim alanındaki artırılmış gerçeklik araştırma trendlerinin anlaşılması için yapılan araştırmada, mobil ve elektronik öğrenme kavramlarının yapılan yayınlarda

yoğunlukla görülen kavramlar olduğu belirtilmektedir. Yakın dönem incelenen yayınlar öğrenci başarıları odaklı araştırmalar olduğu belirtilmektedir. Çalışmalarda odaklanılan parametrelerin ise, motivasyon, akademik başarı ve kullanıcı tutumları olduğu saptanmıştır. Son olarak mobil çözümlerin daha yoğunlukla görüldüğü belirtilmiştir [19].

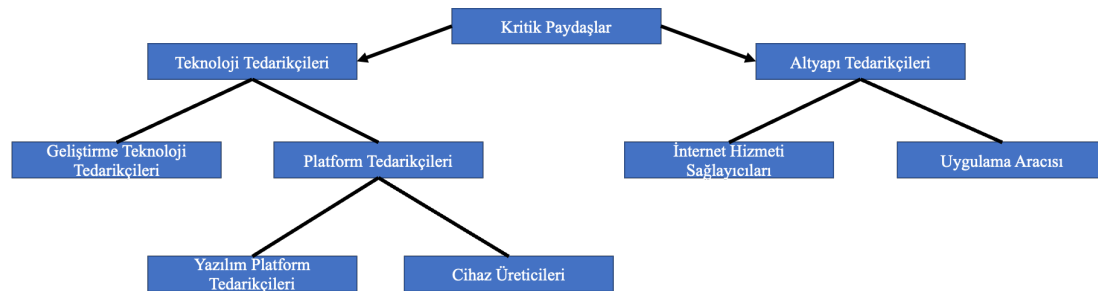
Bunlara ek olarak; sanat, mimarlık, inşaat, endüstriyel tasarım, sağlık, oyun ve eğlence, turizm, savunma sanayi de artırmış gerçeklik uygulamaları açısından odakta olan endüstriyel alanlardır [20].

3.5 milyar dolarlık piyasa değerine sahip olan artırılmış gerçeklik teknolojisinin, 2020’li yıllar için 1 milyar veya üzerinde bir kullanıcı kapasitesine sahip olması beklenmektedir. Reklam sektöründe, geliştirilecek yeni uygulamaların yaklaşık 3’te 2’si için bu teknolojinin kullanım beklentisi mevcuttur. Bu teknolojiyi yoğunlukla 16-34 yaş arası grup kullanmaktadır [20].

ABD öncü girişimci platformlarından birinin belirttiği bilgilere göre, 1684 tane artırılmış gerçeklik girişimci şirketinden söz edilmektedir. Ayrıca bu sektör için 2113 tane de yatırımcıdan söz edilmektedir. Bu platformda en öne çıkan şirket ise başa takılan giyilebilir ürün üreten, Leap Motion şirketi olmuştur [20].

Geçtiğimiz yıllarla birlikte, Mark Zuckerberg’in Oculus yatırımıyla birlikte artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik, teknoloji dünyasında önemli bir ilgi odağı oldu. Yakın zamanda ve bugünkü teknolojik gelişmelerde Sony, Samsung, HTC ve Google gibi pek çok bilinen diğer birçok şirket VR ve AR’ye büyük yatırımlar yapmaktadırlar [14].

Artırılmış gerçeklik pazarında pek çok farklı kuruluş farklı roller üstlenmektedir. Cihaz üreticilerinden, altyapı sağlayıcılarına, uygulama geliştiricilerden yazılım platformu geliştiricilere kadar kurumlar farklı rollerde bulunmaktadır. Şekil 2.10’da bu etkileşim görülmektedir.



Şekil 2.10 : Artırılmış gerçeklik ekosistemi kritik paydaşları [20].

Özellikle yazılım geliştirme noktasında, son dönemde anahtar teslim uygulama geliştirmenin de yanında, kullanıcılara kendi uygulamalarını geliştirebilecekleri platform ürünler ön plana çıkmaktadır.

Artırılmış gerçeklik kavramı ile ilgili bir gündem oluştuğunda pek çok kişinin aklına doğal olarak giyilebilir akıllı gözlük ürünleri gelmektedir. Bu durum, artırılmış gerçeklik ile ilgili pek çok dikkat çeken gelişmenin bu ürün gamıyla alakalı olmasından kaynaklıdır.

Artırılmış gerçeklik giyilebilir gözlük ürünleri son yıllarda ciddi bir Pazar yükselişine sahip olan ürünlerdir. Bu noktada da ihtiyaca en uygun ürünü tespit edebilmek kullanıcılar için gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Yapılan çalışmada buradaki tercih ve değerlendirme yönteminin nasıl olması gerektiği irdelenmiştir. Ürün ağırlığı, sensör özellikleri, entegrasyon kabiliyetleri, şarj süresi gibi değerlendirme kriterlerinden hareketle 12 farklı ürün incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, bu başlıkta tercih edilebilecek en ideal ürünün Şekil 2.11’de de görülen Epson Moverio BT-300 ürünü olduğu belirtilmiştir [21].



Şekil 2.11 : Epson BT-300.

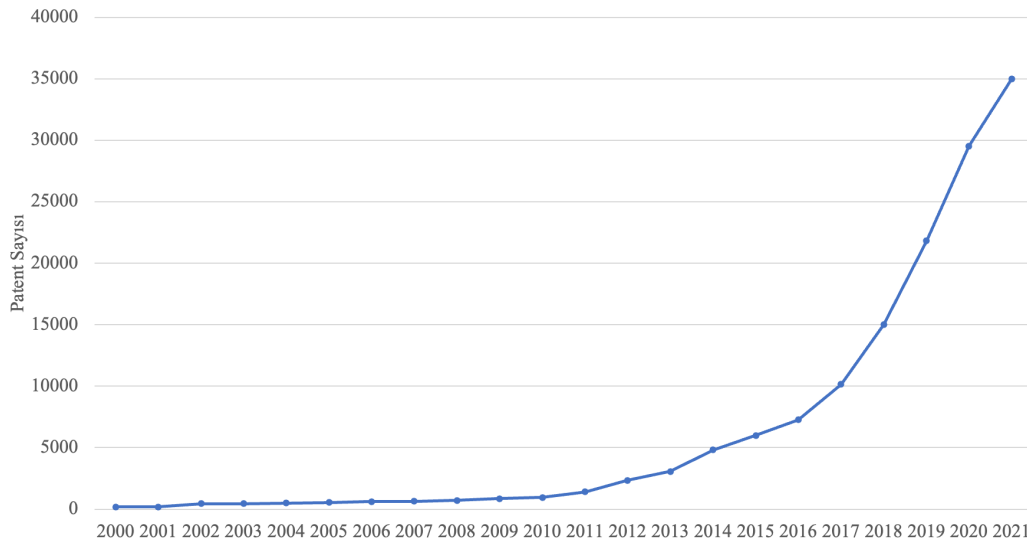
Akıllı gözlükler ile ilgili bir diğer çalışmada ise, mevcut durumu ve uygulamalardaki kısıtları, imalat sanayisi özelinde incelenmiştir. Artırılmış gerçeklik akıllı gözlüklerin bazı donanımlarının TRL seviyelerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Ekranlar için TRL 7, izleme yapıları için ise TRL 5 değerleri verilmektedir [22].

Mevcut akıllı gözlük pazarı incelendiğinde ise, özellikle imalat sanayi uygulamaları için, cihaz ağırlıkları, şarj dayanım süresi, görüş açısı gibi özellikler değişkenliğe sahip olup kullanıcılar için kısıt yaratmaktadır [22].

Yapılan araştırmada 2016 yılında, bu tip ürünlerden tam 150 bin adet satış olduğu belirtilmiştir. 2017 yılı 340 bin adet ile devam etmiştir. 2018 yılında gönderi 3.7 milyon, 2019 yılında ise, 6.5 milyon kargo tespit edilmiştir. 2022 yılı için tahmin ise tüm dünyada 22.8 milyon adet satışın olmasıdır [20].

Araştırma faaliyetleri, ticari pazar analizlerine ek olarak, patent ve yayınlanan makale çalışmaları da artırılmış gerçeklik sistemlerinin mevcut konumuna yönelik durumda son derece önemlidir.

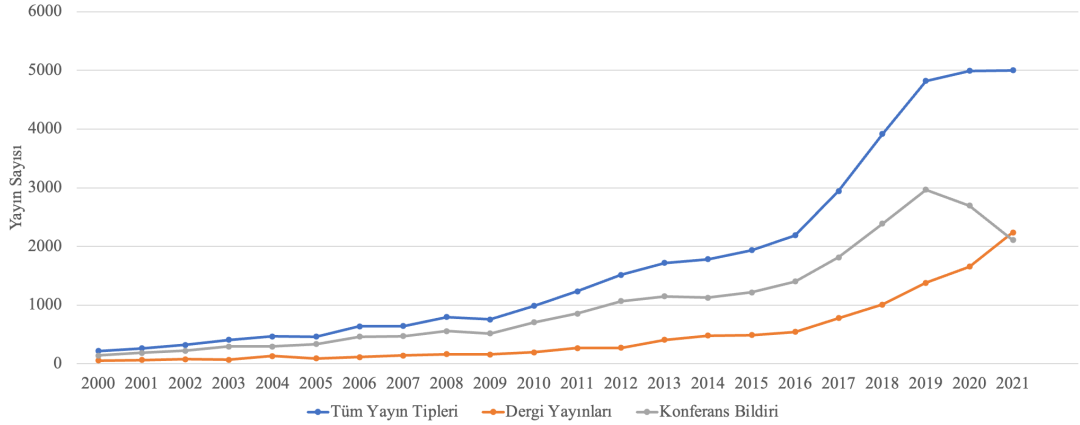
Araştırma trendlerini detaylandırmak ve netleştirmek adına, "Artırılmış Gerçeklik" sorgusu ile Scopus veritabanı verileri kullanılmıştır. Bu araştırmada 2000 - 2021 yılları arasındaki yayınlar ve patentlere odaklanılmıştır. Bu yıllar arasında 38024 adet akademik yayın yapılmıştır. Ayrıca, bu dönemde 142466 adet de patent alınmıştır [23]. Şekil 2.12'de görülen grafikte, yıllara göre alınan patent sayıları görülmektedir. Bu grafikten de hareketle 2010'lu yılların başı itibariyle patent faaliyetlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 2.12 : Yıllara göre patent sayısı trendi.

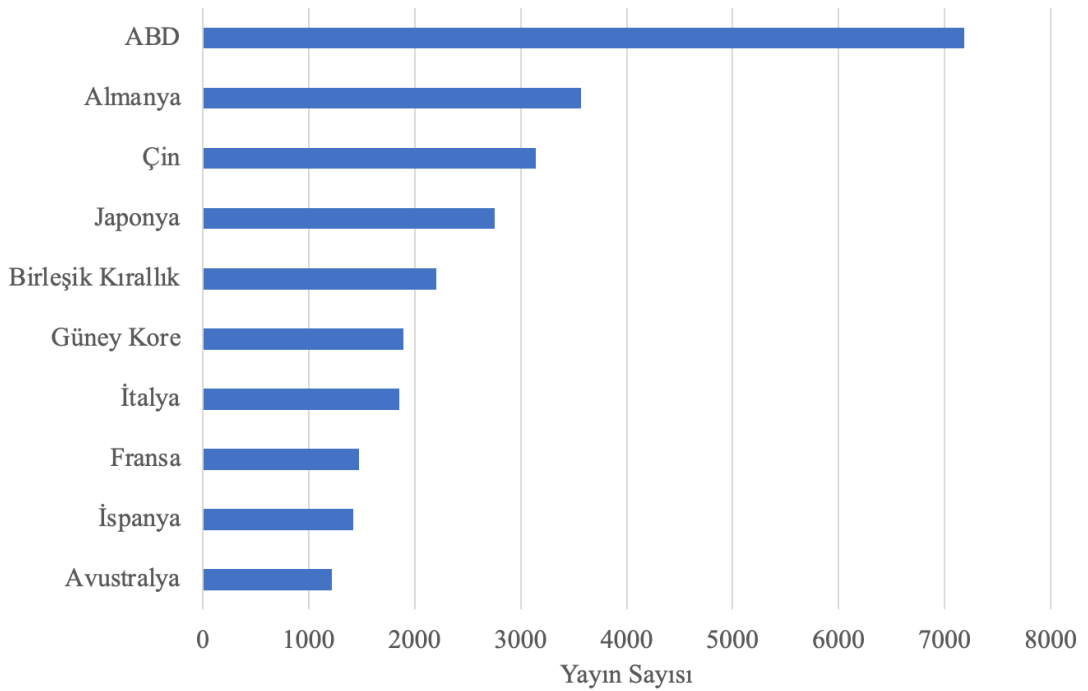
Şekil 2.13'de ise, yapılan yayın faaliyetlerinin detayları görülmektedir. Özellikle 2010'lu yıllarla birlikte çalışma sayılarında önemli bir artış olmuştur. Burada dergi makalelerinde de artan bir ivme görmek mümkündür. Ancak, 2020 ve 2021 yıllarına

bakıldığında konferans bildirileri azalırken ve toplam yayın sayı adeti artışı duruyorken; dergi yayınları artışını sürdürmektedir.



Şekil 2.13 : Yıllara göre yapılan yayın sayıları.

Şekil 2.14’de ise, bu analizdeki belirtilen yıllar arasında yapılan yayınların, sayı bakımından ülkelere göre dağılımları gösterilmektedir. Bu dağılımdan da hareketle artırılmış gerçeklik yayın faaliyetlerinin Amerika Birleşik Devletleri’nde açık ara önde olduğu görülmektedir. Almanya ve Çin ise ABD’yi takip etmektedir.



Şekil 2.14 : Ükelere göre yayın sayısı dağılımı.

Özetlemek gerekirse, mevcut durumda, artırılmış gerçeklik teknolojileri farklı alanlarda ve farklı tekniklerle uygulanmaktadır. 2010’lu yıllarla birlikte akademik

faaliyetler ve patentlerin artışta olduğu görülmektedir. Teknoloji olarak ise, en yoğun gelişim giyilebilir akıllı gözlük ürünlerinde olmuştur.

2.4 Üretim Sistemlerinde Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları

Artırılmış Gerçeklik teknolojileri, yukarıda belirtilen teknolojik ilerlemeyle birlikte farklı alanlarda uygulama konularına sahip olmuştur. Üretimde dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 yaklaşımlarıyla birlikte 2010'lu yıllarla birlikte, başta imalat sanayi olmak üzere, üretimin pek çok farklı sektöründe uygulamalar geliştirilmiş, kullanım senaryoları oluşturulmaya çalışılmıştır.

Özellikle beyaz eşya ve otomotiv üretim sektörü gibi seri üretim süreçlerinde, montaj hatlarındaki yüksek insan gücü oranı, bu teknolojinin bu sektörlerde değer yaratabilecek kullanım senaryoları oluşturmaya imkan sağlamaktadır.

Üretim sektöründeki rekabetin gün geçtikçe arttığı görülmektedir. Bu rekabet, şirketler için, zaman ve maliyet parametrelerini en iyilerken, kaliteli ürün çıkışını da en büyükmek gibi bir durumu ortaya koymaktadır. Üretimdeki dijitalleşme faaliyetleri de bu parametreleri sağlayan üretim altyapıları oluşturmayı hedef almaktadır. Artırılmış gerçeklik teknolojisi, bu noktada üretim sahalarında değer yaratacak teknolojik araçlardan biridir. Bu kapsamda fabrika veya üretimdeki faaliyetlerde, bakım ve onarım çalışmaları, işbaşı ve teknik eğitimler, ürün geliştirme ve tasarım faaliyetleri, fabrika yerleşim tasarımı gibi pek çok farklı uygulama artırılmış gerçeklik teknolojileri, üretim operasyonlarında önemli değerler yaratacaktır [2].

Bakım faaliyetlerinde, bakım teknisyeni için destek sağlayacak bilgi ve talimatlar, bakım ve onarım işlerinin verimini artıracaktır. Ayrıca, ilgili konu ile ilgili teknik bir uzman desteği sağlayabilmesi ve özellikle giyilebilir teknolojiler sayesinde anlık görsel iletişime de imkan sağlar [2].

Montaj işlemleri için de geliştirilecek uygulamalar, montaj operatörlerinin etkin çalışması için son derece önemlidir. Talimatlar için kağıt veya ekran gibi araçlardan ziyade, giyilebilir teknolojilerle yapılacak montaj operasyonları, çevrim süresi ve işlem kalitesini olumlu etkileyecektir. Bu etkileşim ile montaj sürecine daha hızlı adapte olabilmek mümkün olacaktır [2].

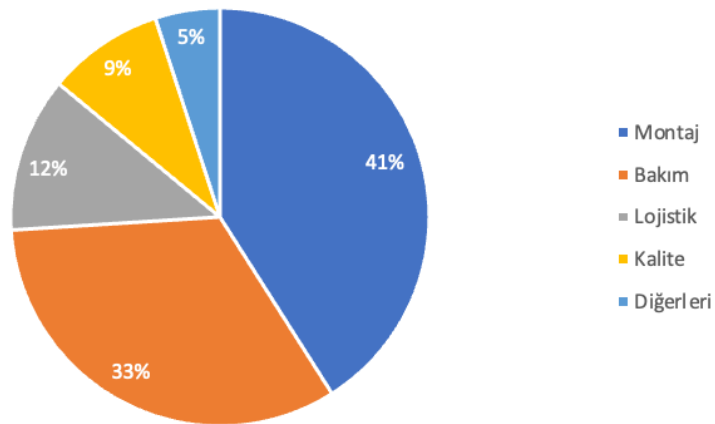
Deneyimsiz personelin iş başı eğitimlerinde de bu gibi sistemlerin kullanılması, hızlı adaptasyonu sağlayacak ve insan-saat olarak her anlamda şirketlere olumlu katkısı olacaktır.

Bu örneklerle birlikte, Artırılmış Gerçeklik Destekli İmalat kavramı ile yeni bir yaklaşım belirtilmiştir. Bilgisayar destekli imalat kavramından hareketle ortaya çıkan bu fikir, programlama, ürünlerin ölçüm ve kontrolü, tezgah ekipmanları gibi pek çok noktanın bağlı olmasına dayanmaktadır. Buradan da hareketle, artırılmış gerçeklik destekli robot kumanda ve kontrolü ve montaj operasyonlarına ilişkin kullanım senaryoları ile bu konseptin gerçekleşmesi gösterilmiştir [24].

İmalat ve üretim endüstrisi için yapılan bir literatür araştırmasında, montaj ve bakım odaklı araştırma sayısı çok net bir şekilde ilk iki sırada gelmektedir. Özellikle bu iki konu, bu alanlarda yapılan yıllar içerisindeki değerlendirmede 2010'lu yıllardan sonra ciddi bir yükseliş yakalamıştır. Kullanılan artırılmış gerçeklik tekniğinde ise, giyilebilir başa takılan cihazlar ön plandadır [25].

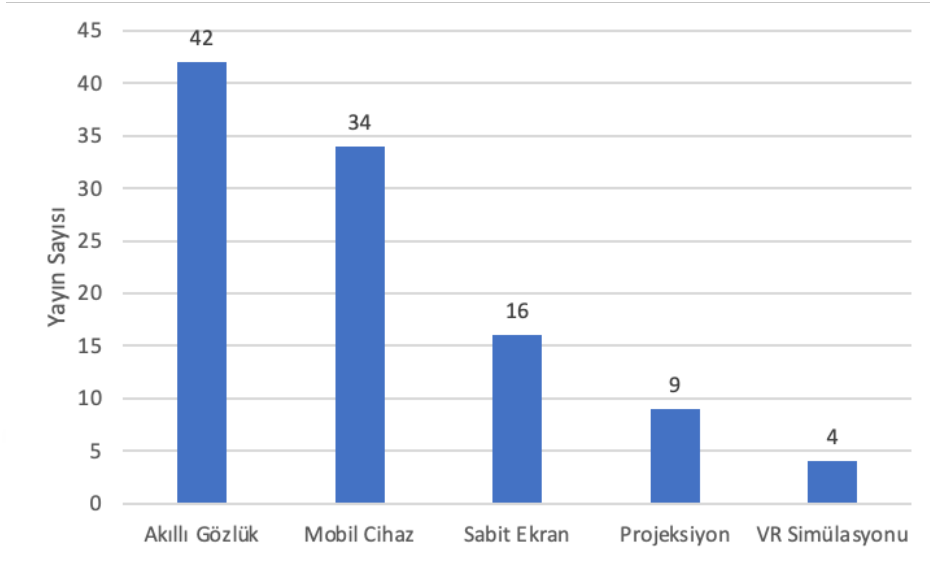
Yapılan bir literatür araştırmasında, 2011 yılından başlayıp, 2018 yılına kadar yapılan 96 adet çalışma incelenmiştir. Akıllı ve dijital fabrika yaklaşımlarında insan faktörünün sürece dahil olmasını kolaylaştıran bir özellikte olduğu belirtilen artırılmış gerçeklik ile ilgili senaryo dağılımı ve donanım kullanımı açısından önemli bilgiler tespit edilmiştir [16].

Şekil 2.15'de yapılan yayınlardaki dağılım görülmektedir. Bu noktada montaj süreçleri ile bakım ve onarıma yönelik çalışmaların ezici olduğu açıktır.



Şekil 2.15 : Yayınlarda uygulama alanı dağılımları [16].

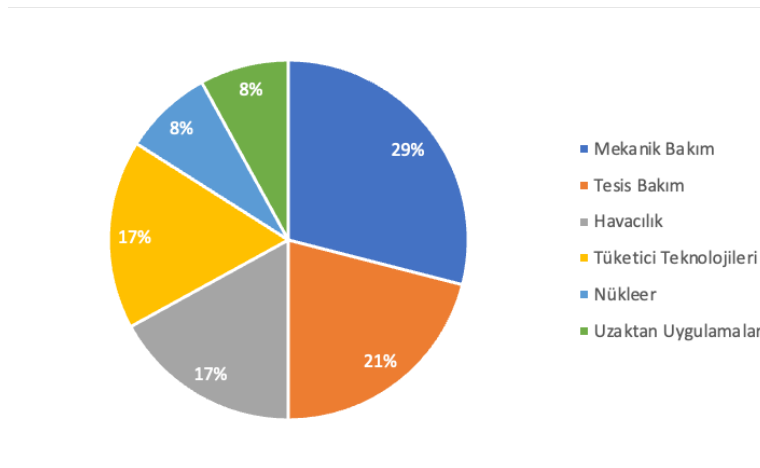
Şekil 2.16’da ise, yapılan çalışmalardaki kullanılan cihazların dağılımı verilmiştir. Giyilebilir akıllı gözlük ile mobil cihazlar burada diğer alternatiflere daha fazla sayıda çalışmada yer almışlardır.



Şekil 2.16 : Yayınlarda kullanılan donanımların dağılımı [16].

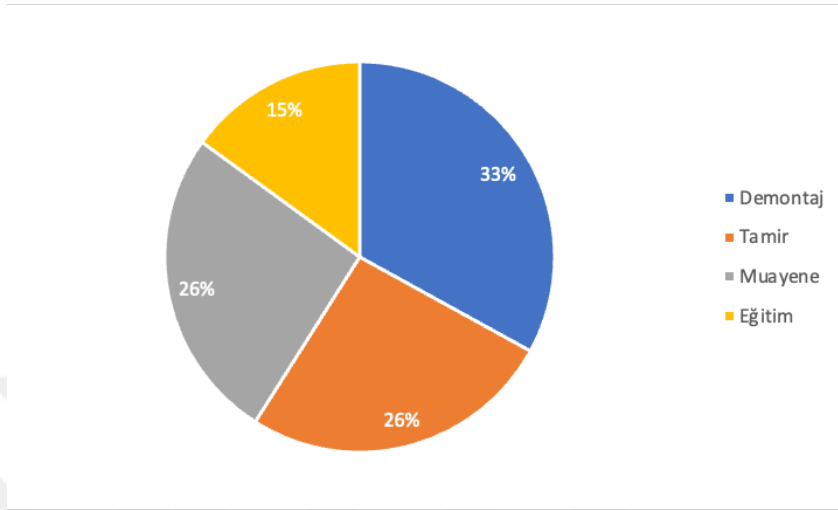
Yukarıda belirtildiği gibi üretimde gerçekleştirilen önemli bir uygulama alanı bakım ve onarım süreçleridir. Bu süreçler pek çok üretim tesisinde aynı zamanda bakım teknisyeninin deneyiminin de ön planda olduğu süreçlerdir. Deneyimsiz veya henüz yeni olan teknik bir personelin hızlı adaptasyonu için artırılmış gerçeklik sistemleri, dijital üretim sistemleri kapsamında etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda, artırılmış gerçeklik, bakım ve onarım odağında yapılan 30 farklı çalışma incelenmiş ve çalışmalara özgü bazı önemli çıktılar türetilmiştir [26]. Şekil 2.17, çalışmalardaki sektör ve uygulama konuları dağılımlarını göstermektedir.



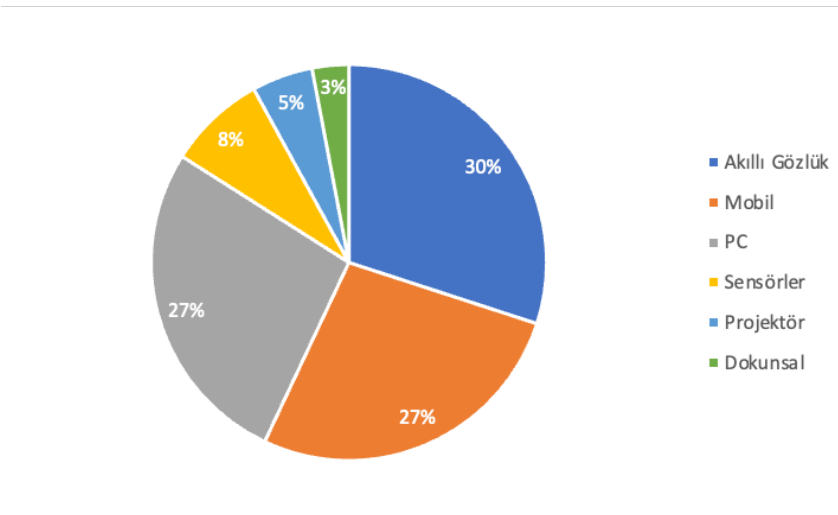
Şekil 2.17 : Sektör ve uygulama konularının dağılımı [26].

Bu kapsamda mekanik bakım en yoğun görülen konu olmuş, tesis bakım da onu takip etmiştir. Havacılık gibi bakım faaliyetlerinin kritik olduğu bir sektörde de yapılan uygulamaların yüzdesi önemli seviyededir. Şekil 2.18 ise çalışmalarda uygulama senaryolarını göstermektedir.



Şekil 2.18 : Uygulama senaryo dağılımları [26].

Demontaj ve tamir işlemlerinde gerekecek deneyime paralel olarak, bu alanlara yoğunlaşılması ihtiyacı ve elde edilebilecek değeri net bir şekilde göstermektedir. Şekil 2.19 ise kullanılan donanımlara dair bir dağılımı belirtmektedir.



Şekil 2.19 : Kullanılan donanımların dağılımı [26].

Giyilebilir akıllı gözlük teknolojisinin tercih edilmesinde çift el çalışma gerekliliği tekrardan ortaya çıkmaktadır.

Montaj operasyonlarında ise, operasyon talimatı odaklı, operator destek uygulamalarına ek olarak; Endüstri 4.0 ile birlikte popülerleşen, insan-robot etkileşimi

veya insan-robot işbirliğini odağına alan artırılmış gerçeklik uygulamaları literatürde üzerinde çalışılan uygulama konularından biridir.

Geliştirilen bir uygulama, operatörleri montaj sürecinde üretim talimatları sağlayarak desteklemektedir. Otomotiv endüstrisinden bir robotik montaj hücresinde devreye alınan bu artırılmış gerçeklik uygulaması ile operatöre montaj işlemi ile ilgili bilgiler, robot çalışma alanı ve robot yörüngesinin görselleştirilmesi, sesli ve görsel uyarılar ile üretim durumuna ilişkin veriler sağlanmaktadır. Fiziksel ekipman üzerindeki 3 boyutlu montaj talimatları, çevrim süresi, model bilgisi verilerinin yanı sıra robottan kaynaklı oluşabilecek güvenlik durumları ile ilgili tüm detaylar uygulama ile operatöre iletilebilmektedir. Bu uygulama ile oluşabilecek duruşların önüne geçmek, talimatlar ile de sürecin doğruluğundan emin olunmak istenmiştir [27].

Bu konu ile ilgili bir diğer çalışmada ise, robot ve artırılmış gerçeklik sistemini tek bir çatı altında toplayan bir yazılım platformu sunulmuştur. Robotlarla birlikte üretimin daha esnek bir yapıya erişebileceğini belirten çalışmada, artırılmış gerçeklik teknolojisiyle birlikte desteklenecek operatörlerin bu esnekliğe katkısı olacağı belirtilmiştir. Avrupa birliği tarafından fonlanan bu çalışmada, ROS işletim sistemi ve Hololens ürününden faydalanılmıştır [28].

Bir diğer çalışmada, giyilebilir akıllı gözlük ve mobil cihaz özelinde geliştirilen artırılmış gerçeklik uygulamaları ile insan-robot etkileşimi üzerinde durulmuş, donanımlar farklı kullanıcılar özelinde değerlendirilmiştir [29]. İnsan robot etkileşimi için artırılmış gerçeklik insanı daha etkin hale getirmektedir. Burada robot kumanda ve kontrolü, bakım ve durum izleme açısından artırılmış gerçeklik, robot ile birlikte çalışan operatöre fayda sağlayacak, üretim akışını olumlu etkileyecek bir araçtır [30].

Son olarak, çalışan eğitimi de artırılmış gerçeklik üretim endüstrisi için kıymetli olacak uygulamalar arasındadır. Dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 ile birlikte, esasen şirketlerin yalnızca fabrikaları veya tesisleri değil, insan kaynağının da dönüşümü söz konusudur. Artırılmış gerçeklik teknolojileri de tüm eğitim tekniklerini etkileyeceği gibi üretimdeki çalışanların da eğitim sistematiklerini değiştirecektir [31]. Riskler ve kısıtların doğru değerlendirilmesiyle burada da artırılmış gerçeklik gelişimi için önemli çıktılar elde edilebilecektir.

Üretim sektöründeki uygulamalar için Endüstriyel Artırılmış Gerçeklik kavramı da kullanılmakta olup. bu noktadaki kısıtların da belirtilmesi, hem başarılı bir devreye

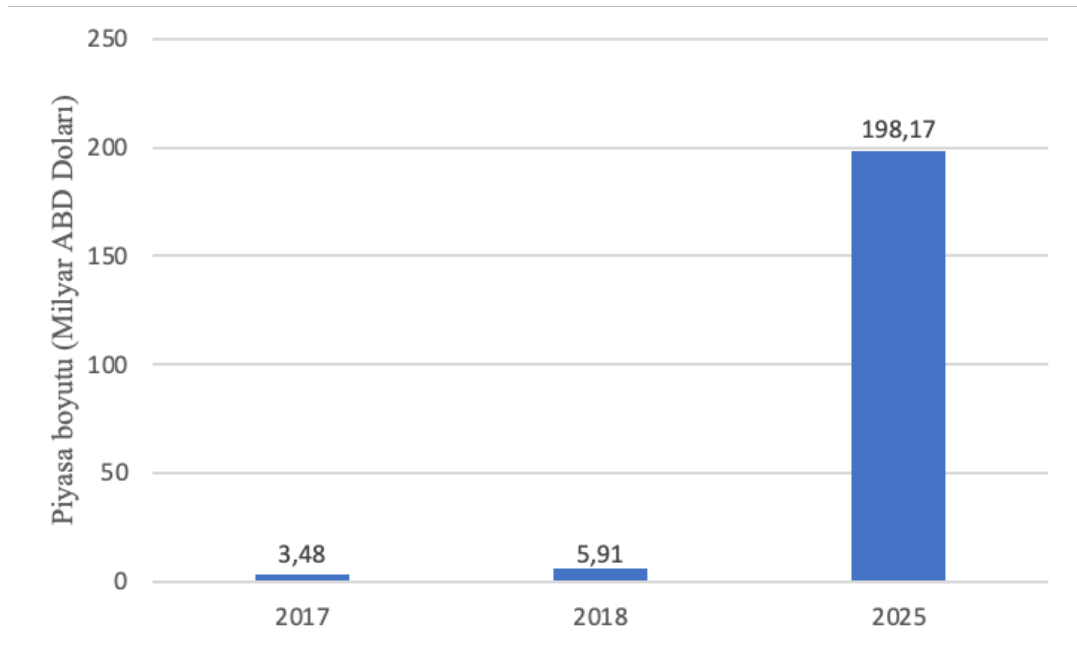
alma hem de teknolojinin olgunlaşması için oldukça önemlidir. Bu kısıtlar, teknoloji, kurum organizasyonu ve çevre başlıklarında toparlanmıştır. Teknolojik olarak, ergonomi ve yazılım kategorileri ön plana çıkmaktadır. Giyilebilir cihazların kütle durumları, kullanıcı arayüzlerindeki zorluklar ve tüm bunlardan hareketle kullanıcılar özelindeki kabul edilebilirlik kriteri ön plandaki kısıtlar olarak belirtilmiştir [16, 32].

Özetle, üretim ve imalat sanayi sektörü, artırılmış gerçeklik teknolojileri açısından son derece fazla potansiyele sahip olan sektörlerdir. Bu sektörlerde yapılan çalışmalar, aslında dijitalleşme çalışmalarındaki insan odağının da bir göstergesidir.

2.5 Artırılmış Gerçeklik Sistemlerinde Gelecek Trendleri

Artırılmış gerçeklik tanım, kronolojik gelişmeleri, mevcut durum analizi ve üretim uygulamalarının ardından, teknoloji için gelecek potansiyelleri de son derece önemlidir. Yukarıdaki bilgilerden hareketle, ergonomik iyileşmeler, işlemci hızlarındaki artış, farklı yeni donanımlar, uygulama geliştirmedeki yeni deneyimler ve potansiyellerin teknoloji paydaşlarının gelecek rotalarında olacağı açıktır.

Şekil 2.20’de yıllara göre artırılmış gerçeklik pazar payı dağılımı ve öngörüsü gösterilmektedir. Buradaki verilerden de görüldüğü üzere 2025 yılı özelinde ciddi bir artışın olacağını ön görülmektedir [33].



Şekil 2.20 : Artırılmış gerçeklik pazar payı öngörüsü [33].

Artırılmış gerçeklik pazar payı büyürken, sistem gereksinimlerindenki gelişmeler de hızlanmaktadır. Bu noktada cihazların bağlanabilirlik özellikleri açısından 5G gelişmeleri de son derece önem taşımaktadır. Artan bant genişlikleri, bağlı cihaz sayısının artması, haberleşmedeki gecikmeler üretim sistemleri için dijital dönüşümde önemli kısıtlardır. 5G ile birlikte bu noktaların geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu çözümlerle birlikte özellikle gerçek zamanlı etkileşim odaklı artırılmış gerçeklik uygulamalarının performanslarında olumlu farklılıklar olacaktır. Deneyim aktarımı odaklı uzaktan teknik destek senaryoları çok daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilecektir [34]. 5G performansı ile birlikte, sanallaştırılma odağında yeni geliştirme alanları da mümkün olabilecektir.

2020 yılının başı itibariyle tüm dünyayı etkisi altına alan Covid-19 küresel salgını ile birlikte de artırılmış gerçeklik teknolojilerinin önemi bir başka boyuta taşınmıştır. Sosyal mesafe, evde kalma ve uzaktan seyahat deneyimi, pandemi döneminde artırılmış ve sanal gerçeklik gibi teknolojilerin sunduğu imkanlar arasındadır [35].

Covid-19 süresi, bu teknolojilerin Pazar boyutunun artmasını sağlamıştır. 2020 yılında bir önceki yıla göre %50 artış olmuştur. Ayrıca artırılmış gerçeklik, bu dönemde uzaktan alışveriş için de kullanılmıştır. 2027 yılına kadar ise eksponansiyel bir artış öngörülmektedir.

Lenslerin, AR konsepti ile birlikte değerlendirilmesi ve geliştirilmesi yenilikçi bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. AR ve giyilebilir teknolojiler anlamında önemli bir gelecek potansiyeli olarak görülmekle birlikte, göz sağlığına etkisi önemli bir kısıttır [36].



Şekil 2.21 : Göz lensi konsepti [36].

İnsan robot etkileşiminde artırılmış gerçeklik kullanımı gelecek için de önemli potansiyeller teşkil edecektir. Artırılmış gerçeklik ile robot programlayabilmek üzerinde çalışılan ve gelecek yıllarda da önemli gelişmelerin olacağı bir çalışma konusudur [37]. Deneyim aktarımı ve hızlı devreye alım açısından, artırılmış gerçeklik ile robot etkileşiminin önemli bir gelecek potansiyeli bulunmaktadır.

Artırılmış gerçeklik teknolojileri için özellikle giyilebilir ve mobil cihazlarda bulut bilişim entegrasyon kabiliyetlerinin de önemi artacaktır. Artan ihtiyaçlarla birlikte AI algoritmalarının da getirdiği yükü mevcut donımların işlemci performanslarında önemli kısıtlar bulunmaktadır. Bulut imkanları ile bu kısıtların üstesinden gelinebilecektir [38].

5G entegrasyonu ile elde edilecek hız ve bulut ile sağlanacak işlem gücü ve karar veren algoritma desteği ile, gelecek dönemde artırılmış gerçeklik uygulamaları için önemli değerleri ortaya koymak mümkün olabilecektir.

Son olarak, yukarıdaki bölümlerde de belirtildiği üzere, Facebook'un Oculus yatırımı ile başlattığı faaliyetler, son zamanlarda Metaverse adında bir akımı ortaya çıkarmıştır. Covid 19 pandemisiyle birlikte, yaşamın sanallaşmasında dikkate değer bir artış olmuştur.

İsmi Meta olarak da değiştiren Facebook'a göre, Metaverse, sosyal etkileşimin yeni bir yöntemi veya evrimleşmiş halidir. Metaverse ile birlikte sunulan 3 boyutlu evren ile kullanıcılar; sosyalleşme, öğrenme, iş birliği geliştirme ve oyun oynama deneyimlerini yaşabilmektedirler. Burada sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve akıllı gözlük teknolojileri deneyimi sağlayan ve artıran araçlar olarak ön plana çıkmaktadır [39].



Şekil 2.22 : Metaverse kullanıcı konsepti.

Metaverse ile birlikte gelen bu deneyimlerin yanında, NFT, kripto paralar ve sanal etkinlikler gibi deneyimler, artırılmış ve sanal gerçeklik teknolojilerinin geleceği için son derece kritik olacaktır.



3. KULLANILABİLİRLİK KAVRAMI

Bu bölümde, kullanılabilirlik kavramına ilişkin detaylar verilecektir. Kavramın literatür tanımı ile başlanacak olup, yine literatürde var olan ölçüm yöntemlerine ilişkin bilgiler paylaşılabilecektir. Buradan hareketle çoğu kullanılabilirlik çalışmasında da kullanılan anket yöntemleri irdelenecektir. Çalışmada kullanılan anket yöntemleri ise detaylıca paylaşılmıştır. Son olarak, literatürdeki artırılmış gerçeklik sistemlerine yönelik gerçekleştirilen kullanılabilirlik çalışmaları ile ilgili bilgiler paylaşarak bu bölüm tamamlanmıştır.

3.1 Tanım

1980’li yılların başıyla birlikte çalışmalarda görülmeye başlayan kullanılabilirlik kavramı, kullanıcı dostu olmak ve kullanım kolaylığı gibi kavramlarla ilişkilendirilmekteydi [40, 41]. Kavramın çıktığı ilk yıllarla birlikte farklı tanımlar yapılmış olsa da kullanılabilirlik kavramı için net ortak bir tanım yapılamamıştır [40].

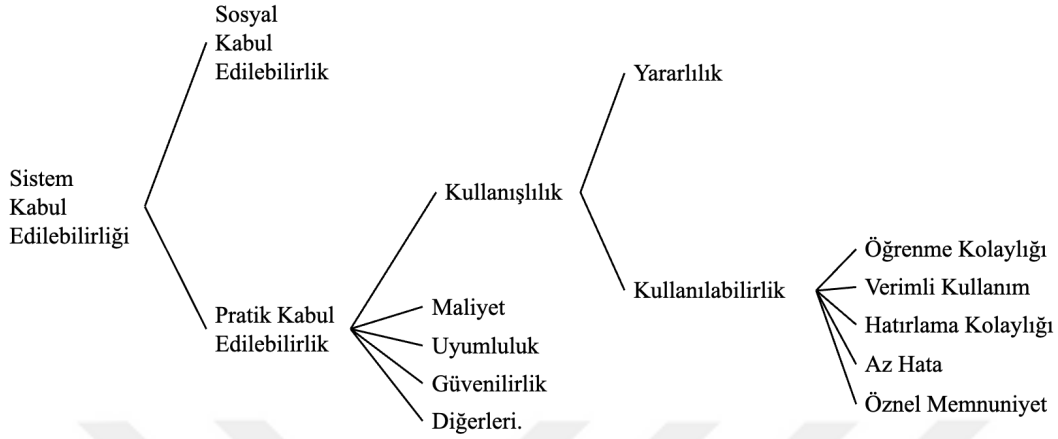
Yapılan bir tanım, kullanılabilirlik kavramını, bir sistem veya ürün özelinde, belirlenmiş görevler altındaki kullanıcılar için, kullanıcı performansını ve memnuniyetini etkileyen, kullanım kolaylığı ve ürün veya sistemin kullanım durumunu gösteren, kabul edilebilirlik olarak belirtmektedir [40].

ISO standartına göre ise, kullanılabilirlik, bir sistem, ürün veya hizmetin kullanıcılar tarafından etkin, verimli ve kullanıcılara memnuniyet veren şekilde hedeflere ulaşma doğrultusunda ne kadar kullanılabileceği olarak tanımlanmaktadır [42].

Bir diğer tanımda ise, kullanılabilirlik kavramı, bir sistem için, sistem işlevselliğinin kullanıcılar tarafından ne kadar etkin kullanılıp kullanılmadığının sorgulanmasıdır. Ancak, sistemin genel kabul edilebilirliğinin yanında, kullanılabilirlik daha dar kapsamda olmakta, bir nevi kabul edilebilirliğin alt kümesi olmaktadır [43].

Kullanılabilirlik kavramını, pek çok sistem arayüzü için kullanılan, kullanıcı dostu olma özelliği ile tanımlamak yeterli olmamaktadır. Bu kavramın tanımlanması daha geniş bir çerçevede olmalıdır. Kullanıcı arayüzünün tek bir özelliği olarak

belirtilemeyecek olan kullanılabilirlik kavramı beş farklı özellik ile ilişkilendirilmektedir [43]. Şekil 3.1’de sistem kabul edilebilirliğinin alt dallarından hareketle oluşturulan geniş çerçeve kullanılabilirliğin de konumunu göstermektedir.



Şekil 3.1 : Sistem kabul edilebilirlik alt katmanları [43].

Belirtilen bu geniş kapsam öğrenilebilirlik, verimlilik, akılda kalıcılık, hatalar ve memnuniyet kavramları ile oluşturulmaktadır [43].

Bu alt başlıklarla;

- Kullanıcının işlere hızla adapte olması ve sistemdeki öğrenme kolaylığı,
- Verimli kullanım ile öğrenimin akabinde üretkenliğin sağlanması,
- Hatırlama kolaylığı ile kullanıma ara verilse de yeniden öğrenime gerek kalmaması,
- Düşük hata oranı ile daha az hata ve hatayı çabuk telafi edebilme,
- Kullanım esnasında sağlanacak memnuniyet ile kullanıcıların tatmin olması,

gibi odakların kullanıcılara sağlanması belirtilmektedir [43].

Görüldüğü gibi, kullanılabilirlik kavramı bir sistemin yalnızca belirli bir özelliğine temas etmeyen geniş ölçekli bir kavramdır. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi geniş bir kümenin içeriği oldukça fazla olan ve önemli noktalara temas eden bir alt kümesidir. Bu kapsamda da bir sistemin kullanıcılar için ne kadar kullanılabilir olup olmadığını tespit edebilmek veya ölçebilmek önemli bir nokta olacaktır.

3.2 Değerlendirme Metodları

Yukarıda belirtilen kullanılabilirlik kavramı karakteristiklerinin bir ürün veya sistemde olup olmadığını belirleyebilmek ve kullanıcıların bu özelliklerin varlığını onaylaması son derece önemlidir. Bu kapsamda kullanılabilirlik kriterlerinin, değerlendirilmesi veya ölçümlenebilmesi için de bir metod ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Yukarıdaki farklı tanımlama yaklaşımlarından da hareketle, kullanılabilirlik kavramının değerlendirilmesi, bir diğer deyişle ölçülmesi noktasında da tek bir yol ortaya çıkmamaktadır.

Odağında sistem veya ürünün değerlendirilmesi amacı olan kullanılabilirlik çalışmaları, kullandığı yöntemler ile bilimsel olup, bu yöntemleri kullanarak ulaşmak istediği çıkarımları kanıtlayabilmek için ölçüm ve veriler ile desteklemektedir. Genel olarak belirlenen kriterleri ölçmek odağında olan bu çalışmalarda görev tamamlama süresi, hata sayısı gibi ölçüm kriterleri belirlenebilir. Buna ek olarak, sisteme yönelik oluşan memnuniyet hissiyatı veya değer algısı gibi öznel olan kriterlerde ise çalışmalarda kullanıcı anketleri kullanılabilmektedir [44].

Çizelge 3.1 : Kullanılabilirlik değerlendirme metodları [45].

Kategori	Kullanılabilirlik Değerlendirme Metodları
Denetim Metodları	Sezgisel Değerlendirme Bilişsel Gözden Geçirme Çoğulcu Gözden Geçirme Özellik Denetimi Kılavuz Kontrol Listesi Bakış Açısı Odaklı Denetim
Test Yöntemleri	Soru Sorma Protokolü Sesli Düşünme Protokolü Performans Ölçümü Saha Gözlemi Laboratuvar Gözlemi
Kullanıcı Raporları	Mülakat Anket

Kullanılabilirlik çalışmaları amacı, kullanıcıya en ideal deneyimi sağlamak ve bu noktada verimi en iyilemektir. Bu noktada, tasarım aşamasında yapılacak etkileşimli çalışma ile bazı hususların daha önceden de giderilmesi amaçlanabilir.

Ancak Lowderwilk'e göre, kullanıcılarla tasarım aşamasında etkileşim ve alınacak geribildirim süreci, önemini kaybetmemiş olmasına rağmen, kullanıcıları doğrudan

gözlemlene, onların ihtiyacını tespit etmek için en güçlü yoldur. Bu çalışmalar ve değerlendirme yöntemleriyle kullanıcıların sistem veya ürüne yönelik tüm geri bildirimleri belgelenir ve önemli bir bakış açısı sağlar [44].

Literatürde yer etmiş bazı yöntemler mobil uygulamalar ve web arayüzleri odağında özelleşmiş yöntemlerdir. Çizelge 3.1’de denetleme metodları, test yöntemleri ve kullanıcı raporları olmak üzere 3 ana başlıkta yaygın kullanılan değerlendirme yöntemleri detaylandırılmıştır [45].

Denetleme metodları, denetleyicilerin temelde olduğu yaklaşımlardır. Test yöntemleri ise, laboratuvar çalışmaları gibi görevlerin odakta olduğu çalışmalardır. Kullanıcı raporları ise, anket ve mülakatlardan oluşan faaliyetlerdir.

Burada, anket ve mülakatlar kullanıcı yönelimleri ve öznel veriler için son derece yararlı araçlardır. Bunun karşılığında, denetim yöntemleri, AR sistemleri özelinde ergonomik ve tasarım odaklı kılavuz yönergelerine sahip olmadığından daha kısıtlı olacaktır [46].

3.2.1 Denetim Metodları

Denetim odaklı yöntemler, sorunların belirlenmesi için sistem veya ürün arayüzünün, belirlenmiş standartlar ölçeğinde, iyileştirmesini amaçlayan belirli yöntemlerden oluşur [47].

Bu yöntemlerin gerçekleştirilmesi, eğitimli denetleyiciler tarafından yapılmaktadır. Değerlendirme süresi göz önüne alındığında diğer yöntemlere göre daha az zaman ihtiyacı olduğu söylenebilir [45].

Çizelge 3.1’den de hareketle, bu yöntemler; sezgisel değerlendirme, bilişsel gözden geçirme, çoğulcu gözden geçirme, özellik denetimi, kılavuz kontrol listesi ve bakış açısı odaklı denetim olarak alt kategorilere ayrılmaktadır.

Özellikle sezgisel değerlendirme bu alt kategorilerin içerisinde, en çok bilinen ve ön plana çıkan yöntemdir [48].

Sezgisel değerlendirme yönteminde, denetleyiciler standartlaşmış 10 kullanılabilirlik ilkesine göre sistemi, ürünü incelerler ve sorunların tespitine odaklanmaya çalışırlar [45].

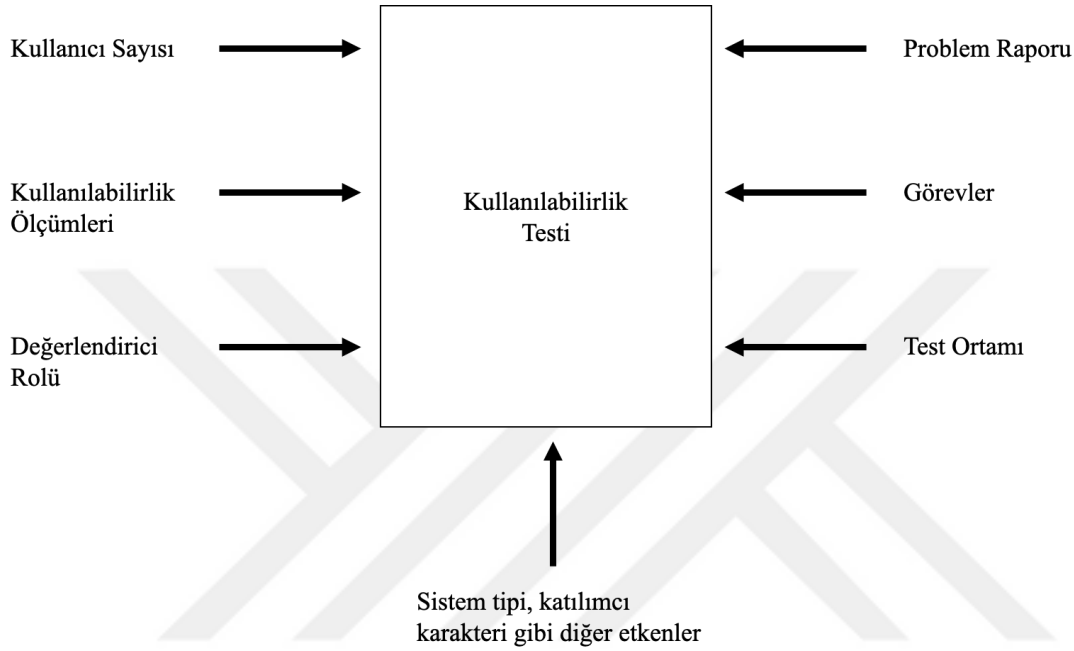
Bu 10 ilke ve detayları aşağıdaki gibi sıralanmıştır [45, 49].

- Sistem durumunun görünürlüğü için kullanıcılara geri bildirimler paylaşılmalı ve neler olduğu ile ilgili bilgiler verilmelidir.
- Gerçek dünya ile uyum sağlanmalı, kullanıcının aşına olduğu kelimeler, ifadeler ve kavramlar kullanılmalıdır.
- Kullanıcılara, olası kaçınılacak durumlarda doğru idame edilebilmesi için tam kapsamda kontrol verilmelidir.
- Sistem kendi içinde tutarlı olmalı, aynı durum veya kavramlar sistem içerisinde farklı anlamlar taşımamalıdır.
- Hata mesajlarına ek olarak, hatayı önleyecek bir sistem akışı, hata yönetimi için son derece kritiktir.
- Kullanıcının ihtiyacı olabilecek tüm talimatlar görünür olmalı, farklı durumlarda bilgileri hatırlama zorunluluğu olmamalıdır.
- Hem deneyimli hem de acemi kullanıcılara da hitap ederek, sistemde esneklik ve kullanım verimliliği sağlanmalıdır.
- Tasarımın etkinliğini de göz önünde bulundurarak, sistem diyalogları ilgisiz veya nadiren gerekli bilgileri içermemelidir.
- Hata mesajlarının net ve sorunu tam olarak belirtmesine önem verilmeli ve mutlaka çözüm önerisinde bulunulmalıdır.
- Olası durumlarda kullanıcılara yardım ve belge desteği sağlanmalı, içeriklerinin de kullanımı kolay ve açık olmasına dikkat edilmelidir [45].

3.2.2 Test Metodları

Gerçek kullanıcılarla, gerçekleştirilen kullanılabilirlik testleri en temel kullanılabilirlik çalışma aracı olarak görülmektedir. Güvenilirlik ve geçerlilik hususları bu çalışmalarda da tıpkı diğer test uygulamalarında olduğu gibi dikkat edilmesi gereken noktalardır. Güvenilirlik, farklı tekrarlar da kullanıcının aynı sonucu alıp almamasına, geçerlilik ise, sonucun istenen kullanılabilirlik sorunlarını ne kadar kapsadığına odaklanmaktadır [43]. Sistem veya ürünün kullanıcılarının yer aldığı test yöntemleri, diğer metodlara göre daha fazla zaman isteyen ve daha maliyetli olan metodlardır [43,45].

Hedefteki ürün veya sistemin tasarımcıları ve kullanılabilirlik uzmanları süreçte yer almamaktadır. Şekil 3.2’de görülen, kullanıcı sayısı, kullanılabilirlik ölçümleri, değerlendirici rolü, problem raporu, görevler, test ortamı, sistem tipi, katılımcıların karakteri gibi faktörler, kullanılabilirlik testlerini etkileyen faktörlerdir. Çizelge 3.1’de de görüldüğü üzere, soru sorma protokolü, sesli düşünme protokolü, performans ölçümü, saha gözlemi ve laboratuvar gözlemi gibi alt başlıkları bulunmaktadır [45].



Şekil 3.2 : Kullanılabilirlik test yöntemleri fonksiyonel diyagramı [45].

Burada, laboratuvar gözlemi adı verilen, gerçek kullanım şartlarını oluşturma odaklı, kontrollü ortamlarda kurgulanan, deney çalışmaları, en çok ön plana çıkan yöntemdir. Bu yöntemle kullanım senaryolarının gerçekleşmesi esnasında alınabilecek ses veya video gibi verilerle daha çok analiz yapma imkanı oluşacaktır. Bu verilerle değerlendiriciler yapılan hata, tamamlanma süresi, kullanıcı memnuniyeti gibi kriterleri daha etkin bir şekilde saptayabileceklerdir [45]. Bu yöntemde, kullanıcılara tanımlanan görevlerin yerine getirilmesi beklenir.

3.2.3 Kullanıcı Raporları

Kullanıcı raporları ise, kullanıcılara uygulanan anket çalışmaları ile kullanıcılara yapılan mülakatları kapsamaktadır.

Yukarıda belirtilen diğer yöntemlere nazaran daha az zamanda yapılan bu çalışmalarda, kullanıcılar doğrudan sürece dahil olmaktadır [45].

Bu yöntemler, sayısal veya tarafsız olarak ölçülmesi kolay olmayan, kullanıcıların deneyiminden ortaya çıkan olumlu ve olumsuz durumları tespit etmede etkilidir. Anket çalışmaları, sistem tasarımı için yeterli olmasalar da, kullanıcıların kullanım esnasındaki deneyimlerini, tercihlerini tespit edebilmek için faydalıdır. Anketlere göre daha basit olan mülakatlarda ise, mülakat akışı kullanıcıdan detayları alabilmeyi sağlayacak bazı formlarla yapılabilmektedir [47].

Kullanıcıya sorulan belirli sorular temelinde olan bu yöntemler aslında birbirlerine çok benzerdir. Anket çalışmaları basılı kopyalar veya dijital kaynaklar yardımıyla yapılabildiğinden, kullanıcı ile doğrudan temasa ihtiyaç duymayabilir. Mülakatlarda ise, cevapların bir belgeye doldurulması yerine, görüşmeyi yapan araştırmacı tarafından kaydedilmesine dayanan bir akış vardır. Bu sebeple, mülakatla yapılacak kullanılabilirlik çalışmaları daha çok zaman ve insan kaynağı gerektirecektir. Fakat daha detaylı bilgiler alabilmek mümkün olabilecektir. Ancak, anket çalışmaları için çok önemli olarak belirtilebilecek noktanın, farklı kullanıcı grupları arasındaki veya aynı kullanıcıların farklı teknolojik uygulamalara yaklaşımını da ortaya çıkarabilmesi açısından tek kullanılabilirlik yöntemi olmasıdır [43].

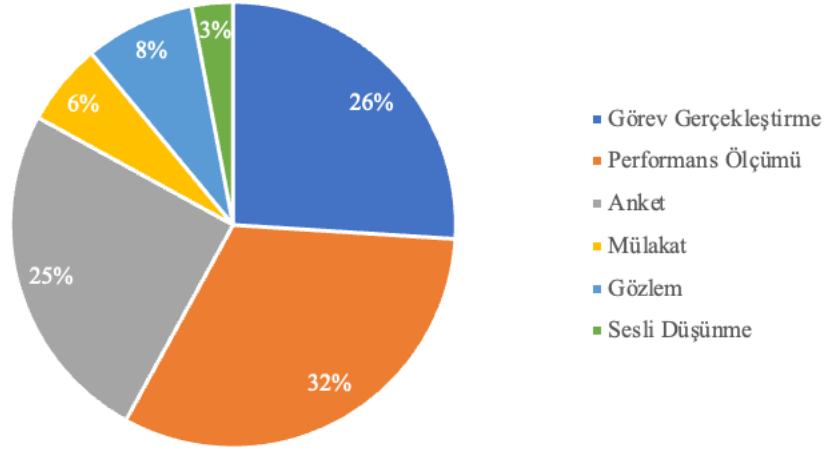
Anket çalışmalarında, ilk olarak kullanıcının mevcut sistemi deneyimlemesi sağlanır. Ardından, belirlenen anket formları kullanıcılar tarafından doldurulur. Buradan elde edilen verilerle gerçekleştirilen istatistiksel analizler ile kullanıcı yönelimlerine yönelik çıkarımlar istatistiksel olarak da desteklenmiş olur [45].

Ayrıca anket çalışmalarının verileriyle istatistiksel analizin mümkün olması, bu yöntemin önemli bir artı özelliğidir [47].

Cavalcanti ve diğerleri, yaptıkları araştırmada, 32 farklı yayını tarayıp bu kaynaklardaki kullanılabilirlik değerlendirme yöntemlerine odaklanmışlardır. Şekil 3.3’de yöntemlerin yüzdesel dağılımları görülmektedir [46]. Şekil 3.3’deki grafikten de anlaşılacağı üzere %25 oranında anket yöntemi kullanımı görülmektedir. Mülakatın da değeri eklendiğinde bu oran 3’te 1’e çıkmaktadır [46].

Şekil 3.3’deki verilerden hareketle anket yönteminin literatürde kullanımının yaygın olduğu çıkarılabilmektedir. Ayrıca, yukarıda da belirtildiği gibi, farklı kullanıcı grupları arasındaki farklar ve kullanıcıların farklı sistemlere yönelik değerlendirmeleri açısından anket yöntemi son derece kullanışlıdır. Bu verilerle istatistiksel analizlerin yapılabilmesi, kullanıcı değerlendirmelerine ulaşmada, değerlendiricilere veya

araştırmacılara güçlü dayanaklar sağlamaktadır. Son olarak, prototip veya bitmiş ürün özelinde uygulanması ve diğer yöntemlere göre zaman ve maliyet avantajı sebebiyle anket yöntemi ön plana çıkmaktadır.



Şekil 3.3 : Çalışmalarda kullanılan yöntem dağılımları [46].

Bu çalışmadaki amaç doğrultusunda ve belirtilen bu bilgiler ışığında anket yöntemi değerlendirme yöntemi olarak seçilmiştir. Kullanılabilirlik kavramı için bu başlıktaki bilinen yöntemler sonraki bölümde detaylandırılacaktır.

3.3 Öne Çıkan Anket Yöntemleri

Anket çalışmalarında literature yerleşmiş, standart hale gelmiş ve çoğu kullanılabilirlik çalışmasında da araştırmacıların kullandığı yöntemler bulunmaktadır. Araştırmalar için yeni yöntemler önerilse de, standart haline gelmiş bu yöntemler halen daha araştırmacılar tarafından kullanılan önemli referanslardır.

Akademik literatürde rüştünü ispat etmiş olan bu yöntemleri kullanmanın araştırmacılara sağladığı bazı faydalar da bulunmaktadır [50].

Standart anket yöntemleri, tüm kullanılabilirlik çalışmaları için, birbirine bağlı olmadan, ölçüm çıkarımlarını bağımsız olarak belirler ve birbirlerini teyit etmelerine imkan verir. Bu sınıfta toparlanabilecek yöntemler, diğer yöntemlere kıyasla daha güvenilirlerdir. Sahip olunan bu güvenilirlik, yöntemlerin farklı çalışma senaryoları özelinde kullanım tekrarını da sağlayabilmektedir. Bu yöntemlerin sağladığı matematiksel ve istatistiksel veri analizleri imkanlarıyla, öznel çıkarımlardan daha

fazla detayı içeren sonuçlara sahip olmayı mümkün kılmaktadır. Bu yöntemlerin standarlaşmasına kadar geçen sürede önemli seviyede emek harcanırken, standart olduktan sonra kullanımı tüm araştırmacılar için zaman ve kaynak yönetimi açısından ekonomiktir. Bu yöntemler, etkin bir iletişim sağlarlar. Buradaki verimsizlik çalışmanın doğru bir şekilde ilerlemesini engelleyebilmektedir. Son olarak, yapılan çalışmadan elde edilen çıkarımların bilimsel olarak genelleştirilebilmesi, literatüre yerleşmiş bu tip yöntemlerle mümkün olmaktadır [50].

Bu anketlere bakıldığında, bir çalışmanın sonunda kullanılanlar ve görevin veya senaryonun sonunda kullanılanlar olmak üzere iki başlıkta ön plana çıktığı görülmektedir [50].

ANSI ve ISO gibi uluslararası standartlardan da hareketle, aşağıda çalışma sonrası kullanılabilirlik anketleri sıralanmıştır [50].

- QUIS,
- SUMI
- PSSUQ
- SUS

QUIS yöntemi bu yöntemler içerisinde ilk yayınlanan yöntemlerden biridir. Kullanıcı etkilişimi ve memnuniyetine odaklanmaktadır. SUMI yöntemi, yazılım kullanılabilirliğine odaklı bir yaklaşım içermektedir. PSSUQ metodu, bilgisayar tabanlı uygulamalar için kullanıcı memnuniyetini tespit edebilmek amacıyla, IBM tarafından geliştirilmiştir. SUS yöntemi ise, 1990'lı yılların ortası itibarıyla literatürde yer alan, son yıllarda kullanılabilirlik araştırmalarında popüler hale gelen hızlı bir yöntemdir [50].

Bu 4 yöntem için kritik özellikleri karşılaştırabilmek adına Çizelge 3.2'deki bilgiler derlenmiştir.

Çizelge 3.2 : Kullanılabilirlik çalışma sonrası anket yöntemleri [50].

Anket Yöntemi	Lisans Durumu	Güvenilirlik	Soru Sayısı
QUIS	Var (\$50-750)	0.94	27
SUMI	Var (0€-1000)	0.92	50
PSSUQ	Yok	0.94	16-19
SUS	Yok	>0.89	10

Çizelge 3.2’de de görüldüğü gibi yöntemlerin güvenilirlik seviyeleri birbirlerine oldukça yakındır. PSSUQ ve SUS yöntemi düşük soru adedi vesilesiyle kullanıcıları odaklayabilmek açısından daha etkin yöntemler olarak belirtilebilir. Ayrıca bu iki yöntem lisans gereksinimi olmaması vesilesiyle kullanılabilirlik çalışması için daha ideal olmaktadır.

Bu sebeple, bu çalışmada PSSUQ ve SUS yöntemleri, kullanılabilirlik faaliyetlerinde tercih edilmiştir.

Bir kullanılabilirlik görev veya senaryosu akabinde kullanılan literatür yöntemleri ise yine aşağıdaki gibi listelenmiştir [50].

- ASQ
- ER
- UME
- SEQ
- SMEQ

ASQ yöntemi, PSSUQ yöntemi ile benzer zamanda yayınlanan kısa ve öz bir yöntemdir. ER metodu, görev veya senaryo için öncesi ve sonrası kullanıcı görüşlerini tespiti amaçlamaktadır. UME anketi ise, kullanılabilirlik çalışmalarında oran ölçümünü araştırmacılara sağlamaktadır. SEQ anketi, kullanılabilirlik çalışmasındaki kullanıcıların görevi yerine getirme kolaylığına odaklanmıştır. SMEQ anketi, tek bir skaladan oluşan ve zihinsel yükü tespite yöneliktir [50].

Çizelge 3.3’de bu 5 senaryo sonrası anket yöntemi için farklı kriterlerdeki veriler derlenmiştir.

Çizelge 3.3 : Kullanılabilirlik senaryo sonrası anket yöntemleri [51].

Anket Yöntemi	Güvenilirlik	Soru Sayısı
ASQ	0.96	3
ER	Yayınlanmamış	2
UME	Yayınlanmamış	1
SEQ	>0.94	1
SMEQ	>0.94	1

Çizelge 3.3’den de hareketle diğer anket yöntemlerine göre güvenilirlik değerinin yüksek olması ve daha fazla değerlendirme kriteri ile ASQ değerlendirme anketi, bu

tez çalışmasında değerlendirilecek olan kullanım senaryolarında kullanılacaktır. Özetle, çalışmada kullanılacak yöntemler SUS, PSSUQ ve ASQ yöntemleridir. Assila ve diğ. [51] belirttikleri üzere, bu yöntemler bir websitesi veya mobil uygulama özelinde olmayıp, literatüre yerleşmiş, küresel, genel-geçer yöntemlerdir. Bu yöntemlerle; sistem kullanışlılığı, bilgi kalitesi, arayüz kalitesi, kullanılabilirlik, öğrenilebilirlik, görevi gerçekleştirme kolaylığı, görev süresi ve destek bilgiler ile ilgili memnuniyet gibi kullanılabilirlik kriterleri tespit edilebilmektedir.

[51]'da da görüldüğü üzere, kullanılabilirlik kriterlerin biri de iş yüküdür. Kullanılabilirlik çalışmalarındaki bir diğer odak noktası olan bilişsel iş yükü değerlendirmesi, sistem kullanıcılarının bu yöndeki davranış ve değerlendirmelerinin analiz edildiği çalışmalardır. Kullanıcıların bilişsel görev veya iş yükünün aşılması durumunda, kullanıcıların sistemi öğrenmesi ve görevden beklenen kullanıcı performansı olumsuz etkilenecektir. Burada değerlendirme yöntemleri performansa dayalı yöntemler ve kullanıcı perspektifi ile yapılan öznel değerlendirmeler olarak sınıflandırılabilir [52].

Bu değerlendirme yöntemleri içerisinde ise, NASA-TLX yöntemi yapılan çalışmalarda açık bir şekilde ön plana çıkmaktadır. NASA Ames Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen bu yöntem, çalışmalardaki alıntılanma sayısı, akademik veritabanlarında ilgili arama kriterindeki sonuç sayısı itibarıyla, bu kapsamdaki önemini ortaya koymaktadır [53].

Zamanla farklı versiyonlara da sahip olan bu yöntem için NASA-RTLX adını alan versiyon literatürdeki çalışmalarda da yoğun bir şekilde araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır [54].

Özetle, Bu yöntemler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'teki bilgilerden de hareketle yüksek güvenilirliğe sahip, sadece belirli bir odağa sahip olmayan kullanılabilirlik literatürü için evrensel hale gelmiş yöntemlerdir. Ayrıca, sonraki bölümlerde de detaylandırılacağı üzere, bu yöntemler, sorguladıkları başlıklar açısından da Şekil 3.1'de belirtilen kullanılabilirlik kriterlerinden; öğrenme kolaylığı, verimli kullanım, hatırlama kolaylığı ve öznel memnuniyet başlıklarına yönelik maddeler içermektedirler. Bu kriterler ayrıca NASA-RTLX yöntemi ile de yönteme özgü bakış açısıyla da sağlanmaktadır. Ek olarak, SUS yönteminin kullanıcılardan sadece olumlu

çıkarımları değil olumsuz çıkarımları da çıkarması sonuçların çeşitliliği ve güçlülüğü anlamında katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak, SUS, PSSUQ, ASQ kullanılabilirlik anketlerine ek olarak NASA-RTLX iş gücü yöntemi de bu tez çalışmasındaki kullanım senaryolarında, kullanıcılara uygulanacaktır. Böylelikle iş veya görev yükü kriterleri de değerlendirilmiş olacaktır.

3.3.1 SUS

SUS [55] yöntemi, sistem kullanılabilirlik ölçeği olarak açılımı yapılan, literatürdeki kullanılabilirlik çalışmaları arasında en yoğun tercih edilen yöntemdir.

Brooke, 1996 yılında yayınladığı bu yöntemi hızlı ve kirli bir yöntem olarak belirtmiştir. Bu yöntem özelinde yapılan çalışmalarla birlikte hızlı olduğu görülmekte ancak belirtildiği şekilde kirli olmadığı düşünülmektedir [50].

SUS yöntemi 10 adet sorudan oluşmaktadır. Bu sorulardan tek sayıda olanlar, olumlu anlam taşımakta olup; çift sayıda olanlar ise olumsuz anlam taşımaktadır [50, 55].

SUS yönteminin uygulanması akışında ilk olarak, kullanıcılar sistemi veya ürünü deneyimlemektedirler. Ardından, kullanıcılar, değerlendiricilerden kaynaklı herhangi bir görüş alışverişi olmaksızın SUS anketini tamamlanır [50].

SUS yönteminin kendine özgü bir puanlama yöntemi bulunmaktadır. SUS yöntemindeki 10 kriter 5'li Likert ölçeği ile puanlanmaktadır. Bu puanlamadan hareketle de yöntemin toplam skoru hesaplanmaktadır [50, 55].

SUS skoru hesaplanırken olumlu ifadeler ve olumsuz ifadelerin skor katkılarındaki farklar gözetilmiştir.

$$P = \sum_{i=1}^9 (P_i - 1) , i = 1,3,5,7,9 \quad (3.1)$$

$$N = \sum_{i=2}^{10} (5 - N_i) , i = 2,4,6,8,10 \quad (3.2)$$

$$SUS Skoru = (P + N) \times 2,5 \quad (3.3)$$

Likert 5 ölçeği ile birlikte her bir anket maddesinin skora olan katkısı 0 ile 4 arasında olabilmesi için olumlulardan 1 eksiltilip, olumsuzlar ise 5'ten çıkarılmaktadır. Olumlu ve olumsuz ifadelerden gelen değerlerin toplamı ise 2,5 ile çarpılır ve toplam SUS skoru elde edilir. SUS skorları, 0-100 arasında yerleşmektedir.

Bu skor yapısı bu çalışmada ve diğer çalışmalarda karşılaştırma faaliyetlerini kolaylaştırmaktadır.

SUS yöntemini yapılacak kullanılabilirlik araştırmasında kullanmak için herhangi bir lisans bedeli gerekmemektedir [55].

SUS yöntemi, literatürde zaman içinde yapılan çalışmalarda farklı revizyonlar da geçirmiştir. Bu noktada odak skorum yapısı ve farklı dillerdeki çeviriler olmuştur.

Skorum için 0-100 arasında hem harf notu hem de sayısal değerlendirmeler yapılmıştır. Bu noktada kabul edilebilir seviyenin 68 puan olduğu ve bunun iyi olarak değerlendirildiği görülmektedir. Ayrıca, bunun da harf notu olarak C'ye karşılık geldiği belirtilmiştir [56].

SUS yöntemi pek çok farklı dile çevrildiği gibi, Türkçe çeviri çalışması da literatürde bulunmaktadır. SUS-TR olarak kısaltılan bu çalışmada, çeviri teknikleri kullanılmış, çevirmenlerin desteği alınmıştır. 324 üniversite öğrencisine uygulanan bu çalışma ile SUS-TR'nin güvenilir olduğu belirtilmiştir [57].

3.3.2 PSSUQ

PSSUQ yöntemi, çalışma sonrası yöntemlerinden biridir. Yukarıda belirtildiği gibi kullanımı ücretsiz olan bu yöntemin güvenilirliği yüksektir.

IBM tarafından geliştirilen bu yöntemin ilk versiyonunda 18 farklı ifade bulunmaktaydı. [58,59]. Daha sonra yapılan çalışmalarda üretkenlik kriterini de dahil etmek amacıyla, 2. versiyona ulaşıldı ve yöntem 19 ifade içerdi. [60]. Burada güvenilirliği artırma amacıyla 3 adet ifadenin sadeleştirilmesiyle 3. versiyon elde edildi ve 16 maddeden oluştu. Ancak bu iyileşmenin çok küçük miktarda olduğunu da belirtmek önemlidir [50,58,59]. Bu sebeple bu çalışmadaki kullanım senaryolarında 19 maddelik versiyon kullanılmıştır.

PSSUQ yöntemi 19 farklı ifadeyi, Likert 7 ölçeğinde puanlamaktadır. Burada 1 puan “Tamamen Katılıyorum” anlamına gelmekte olup, 7 puan “Hiç Katılmıyorum” anlamındadır. [60]. Bu yaklaşımda, yüksek puandan ziyade düşük puanın sistem veya ürün hakkında daha olumlu bilgi verdiğinin altını çizmek gerekir. PSSUQ yönteminin Likert 7 ölçeğindeki puanlaması ile, araştırmacılar aşağıdaki 4 farklı alt kategoride puanları elde etmiş olurlar.

- OVERALL
- SYSUSE
- INTERQUAL
- INFOQUAL

OVERALL, toplam skoru belirtmekte olup, 1'den 19'a kadar olan ifadelerin ortalamasını ifade etmektedir. SYSUSE, system kullanımına odaklı olup, 1'den 8'e kadar olan ifadelerin ortalamasıdır. INFOQUAL, sistemin veya ürünün sahip olduğu bilgi altyapısına yönelik fikir vermektedir ve 9-15 arasındaki ifadelerin ortalamasını belirtmektedir. Son olarak, INTERQUAL ise, arayüz noktasındaki değerlendirmeleri belirtir ve 16-18 arasındaki ifadelerin ortalaması ile hesaplanmaktadır [60].

Si 19 PSSUQ maddesini ifade etmek üzere, aşağıdaki denklemler skor hesaplamalarını belirtmektedir.

$$OVERALL = \frac{\sum_{i=1}^{19} Si}{n}, i = 1,2,3, \dots, 19, n = 19 \quad (3.4)$$

$$SYSUSE = \frac{\sum_{i=1}^8 Si}{n}, i = 1,2,3, \dots, 8, n = 8 \quad (3.5)$$

$$INFOQUAL = \frac{\sum_{i=9}^{15} Si}{n}, i = 9,10, \dots, 15, n = 7 \quad (3.6)$$

$$INTERQUAL = \frac{\sum_{i=16}^{18} Si}{n}, i = 16,17,18, n = 3 \quad (3.7)$$

PSSUQ yöntemi de tıpkı, SUS gibi lisans gerektirmeyen, güvenilirliği yüksek, kullanılabilirlik çalışmaları için evrensel bir yöntemdir.

3.3.3 ASQ

ASQ yöntemi de, PSSUQ yöntemi ile benzer olarak IBM tarafından kullanılan ve öne sürülen bir yöntemdir. Bu yöntem, bir görev veya senaryo sonrası uygulanma odağında geliştirilmiştir [60].

ASQ anketi 3 maddeden oluşmaktadır. Kullanılabilirlik kavramının önemli kriterlerinden; görevi gerçekleştirme kolaylığı, görev esasında geçen süre ve sistem destek özellikleri noktasındaki kullanıcı memnuniyeti gibi kriterlere yönelik çıkarımlar bu yöntem vesilesiyle elde edilebilmektedir [60].

Bu yöntemde de, PSSUQ yöntemine benzer olarak Likert 7 ölçeği kullanılmaktadır. Burada 1 puan “Tamamen Katılıyorum” anlamına gelmekte olup, 7 puan “Hiç Katılmıyorum” anlamındadır [60].

Bu puanlama metodolojisinden hareketle, 3 maddeye verilen yanıtların ortalama değeri ASQ yönteminin skorunu oluşturmaktadır [50].

$$ASQ SKOR = \frac{\sum_{i=1}^3 Si}{n}, i = 1,2,3, n = 3 \quad (3.8)$$

Bu yaklaşımda da, PSSUQ yöntemi gibi yüksek puandan ziyade düşük puanın sistem veya ürün hakkında daha olumlu bilgi verdiğinin altını çizmek gerekir. ASQ yöntemi de araştırmacılar için bir lisans bedeli gerektirmeyen literatürdeki genel-geçer yöntemlerden biridir.

3.3.4 NASA-RTLX

NASA-TLX yöntemi iş gücü endeksi ölçümlmeleri için sıklıkla kullanılan bir anket yöntemidir. 1988 yılında yayınlanan bu yöntem, yapılan bir çalışmada kullanıcılar üzerinde iş yükünün tespit edilmesini amaçlamaktadır [61].

Bu yöntem sahip olduğu aşağıda listelenen 6 farklı kategori ile kullanıcıların perspektiflerinden topladığı verilerden de hareketle, kurgulanan senaryo ölçeğinde, kullanıcıların iş yükünü belirlemeyi sağlamaktadır.

- Zihinsel Yük
- Fiziksel Yük
- Zamansal Yük
- Performans
- Çaba
- İsteksizlik

Bu başlıklar özelinde kullanıcılar 0 ile 100 arasında puanlama yaparak, yapılan çalışma sonrasında iş yükü değerlendirmelerini paylaşmaktadırlar. Performans başlığı için 0 puan iyi, 100 puan kötü anlamına gelmesine rağmen, diğer başlıklarda, 0 puan düşük, 100 puan ise yüksek anlamına gelmektedir.

NASA-TLX yönteminde skorumu yapmak için ise, kullanıcılara devam eden ayrı bir anket de uygulanmaktadır. Bu aşamada yukarıdaki 6 kriterin kullanıcılar tarafından

ağırlıklandırılması süreci yapılmaktadır [61]. 6 başlığın 2'li kombinasyonlarından oluşan 15 maddelik bu anketle kullanıcılar ilgili maddelerden seçim yapmaktadır ve böylece her bir başlığın ağırlıklandırma katsayısı belirlenmektedir [62].

Ai katsayıları ilgili ağırlıkları ve Ni de sırasıyla 6 kategori puanlarını belirtmek üzere, NASA-TLX skoru aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$NASA TLX SKOR = \frac{\sum_{i=1}^6 (AixNRi)}{n}, i = 1,2, \dots, 6, n = 15 \quad (3.9)$$

NASA-TLX yöntemi de diğer anket yöntemleri gibi zamanla literatürde revizyonlara sahip olmuştur. Bu noktada en ön plana çıkan yöntem NASA-RTLX yöntemidir. Bu yöntemde kullanıcılara sadece 6 başlıktaki anket uygulanır ve gelen sonuçların ortalaması nihai skoru oluşturmaktadır [62].

Bu sadeleştirme ile yöntemi uygulamak daha basit olduğundan, NASA-RTLX yönteminin araştırmalarda kullanımı artmıştır. Literatürdeki farklı çalışmalarda, NASA-TLX ile NASA-RTLX yöntemleri duyarlılık kapsamında karşılaştırıldığında genel bir çıkarıma ulaşılamamıştır.

Ni de sırasıyla 6 kategori puanlarını belirtmek üzere, NASA-RTLX skoru aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$NASA RTLX SKOR = \frac{\sum_{i=1}^6 NRi}{n}, i = 1,2, \dots, 6, n = 6 \quad (3.10)$$

Bu yöntemde de kullanıcılar, her bir başlık altındaki değerlendirmelerini, tıpkı NASA-TLX yönteminde olduğu gibi 0 ile 100 puan arasında puanlamaktadır.

Sonuç olarak, yukarıdaki bilgilerden de hareketle, iki yöntem arasında duyarlılık farklı olmaması ve sade yöntemin basit uygulanabilirliğinden ötürü, bu çalışmadaki kullanım senaryolarında NASA-RTLX yönteminin kullanıcılar özelinde uygulanması tercih edilmiştir.

3.4 Artırılmış Gerçeklik ve Kullanılabilirlik Kavramı

Yukarıda önemli kriterler, önemli yöntemler ve önemli anketler gibi bilgilerin verildiği kullanılabilirlik kavramı, artırılmış gerçeklik sistemlerinin de kullanıcı odaklı çalışmalarında da tercih edilen bir araştırma, çalışma konusu olmuştur.

Literatürde, bu iki kavramın bir araya geldiği pek çok yayın yapılmıştır. Bu yayınlar literatürde yapılan çalışmaların derlenmesi, mevcut yöntemler kullanılarak yapılan

Kullanılabilirlik geleneksel yazılım ürünlerinin yanı sıra artırılmış gerçeklik için de son derece kritiktir. Denetim, test ve kullanıcı odaklı kullanılabilirlik metodları artırılmış gerçeklik için de kullanılabilmektedir. Ama teknoloji özgü metodların da gelişim açısından faydası olacağı vurgulanmaktadır [63].

Mobil cihazlara yönelik bir diğer yaklaşım ise, kullanılabilirlik kriterlerini belirlemek yönünde olmuştur. Akıllı telefon artırılmış gerçeklik uygulamaları için kullanılabilirlik ilkeleri incelenmiş ve Şekil 3.4'teki ilkeler oluşturulmuştur.



Şekil 3.4 : Sunulan mobil artırılmış gerçeklik kullanılabilirlik kriterleri [66].

Akıllı telefonlarla güçlendirilmiş uygulamalar kullanılarak bu ilkeler aracılığıyla Kore'deki insanlarla sezgisel değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirme ışığında,

akıllı telefon AR uygulama prototipleri ile kullanılabilirlik testi yapılmıştır. Bu ilkelerin ışığında yapılan prototipin kullanılabilirlik testi ile uygulamanın tasarımında önemli geliştirmeler sağlanmıştır. Bu sonuç sayesinde, bu çalışmada geliştirilen kullanılabilirlik ilkelerinin ve sezgisel değerlendirme yöntemlerinin artırılmış gerçeklik uygulama değerlendirmesine uygun olduğunu doğrulanmıştır [66]. Tüm bu süreçlerin sonunda Şekil 3.4’de görülen ilkeler bütünü ortaya çıkmış ve sunulmuştur.

Giyilebilir artırılmış gerçeklik gözlüklerinin dış alanda kullanımına yönelik çalışmada ise, 8 katılımcıyla belirlenen görevler odağında anket değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen anket, donanım, arayüz, el hareketi algılama, kullanılabilirlik kategorilerinde 14 soru ile derlenmiştir [67].

Tıp eğitimi alanında yapılan bir çalışma ile artırılmış gerçeklik uygulamasının kullanılabilirliği araştırılmaktadır. 40 öğrenci ile yapılan çalışmada, giyilebilir gözlükler kullanılmıştır. Anatomi senaryolarından oluşan görevler sonrası 11 sorudan oluşan bir anket uygulanmıştır. Sonuçlar katılımcıların artırılmış gerçeklik uygulamasını destekleyen ve faydalı bulan şekilde olmuştur [68].

Yapılan bir literatür araştırmasında, artırılmış gerçeklik kullanılabilirlik çalışmaları derlenmiştir. Kullanıcı temelli artırılmış gerçeklik araştırmalarını odağa alan çalışma; iş birliği, eğitim, eğlence ve oyun, endüstri, etkileşim, tıp, navigasyon ve sürüş, algılama, turizm ve keşif başlıklarındaki araştırmalar sınıflandırılmıştır. Üretimdeki kullanılabilirlik ölçümü için, 30 farklı çalışma bu başlıkta incelenmiştir. Çalışmaların çoğunda bakım ve imalat / montaj ile ilgili senaryolar ortaya çıkmıştır. Kullanılan artırılmış gerçeklik cihazları olarak ise kafada sabitlenen – giyilebilir cihazlar ön plana çıkmaktadır. Bunun sebebi ise, senaryoların çoğunda iki elin birden kullanılması gerekliliğinden ötürüdür. Rehberlik ve bakım sıklıkla karşılaşılan kavramlar olmuşlardır [69].

Yapılan bir diğer literatür çalışması, artırılmış gerçeklik motor iyileştirme çalışmaları incelenerek, kullanılabilirlik değerlendirme metodlarından hangilerinin yoğunlukla kullanıldığını odağa koymaktadır. Taranan 32 yayında, nesnel ölçümler ve performans analizinin ön plana çıktığı belirtilmektedir [46].

Karma ve artırılmış gerçeklik özelinde yapılan bir literatür çalışması da taranan 248 makaleden 53’ünde bu donanımlara özgü kullanılabilirlik odağında değerlendirme

alışmaları yapıldığını göstermektedir. Kullanılan anket yntelerinde ise SUS yntemiminin ilk sırada olduğu değerlendirilmektedir [70].

Bu aşamada ilginç bir başlık ise, artırılmış gerçeklik teknolojisinin, kullanılabilirlik değerlendirmelerinde bir araç olarak kullanılmasıdır. Beyaz eşya ve tüketiciler elektronikleri sektöründeki ürün tasarımı faaliyetlerine özgü bu çalışma ile kullanılabilirlik ölçümlerinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin yararı belirtilmektedir [71].

Buna ek olarak, artırılmış gerçeklik kullanılarak, bir ürünle ilgili ilk deneyimi değerlendirmeyi hedefleyen, kullanılabilirlik test metodu da çalışılan konular arasında olmuştur. Test ve anket yöntemlerinin nasıl kullanılması gerektiği sonuç ve önerilerde detaylandırılmıştır [72].

Mobil projektör ürünlerinin gelişimi ile birlikte, bu teknik tabanlı artırılmış gerçeklik çalışmalarının yaygınlaşacağı düşünülmektedir. 10 kişiden oluşan bir katılımcı ekibiyle yapılan görev ve test tabanlı kullanılabilirlik çalışmasında, el projektörü ve tek elle çalışma odağa alınmıştır [73].

Elektronik sektöründeki bir montaj operasyonunda operatör destek amaçlı uygulanan projektör tabanlı artırılmış gerçeklik sistemi 21 kişinin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. SUS yöntemi kullanılmıştır. 85.5 bandında alınan skorlar ile kullanıcıların sistem özelindeki olumlu deneyimleri tespit edilebilmiştir [74].

Masaüstü, görüntü işleme yaklaşımlı artırılmış gerçeklik uygulaması maliyet odaklı yaklaşım vesilesiyle tercih edilebilecek yöntemlerden olabilmektedir. Bu kapsamda bu yaklaşımın farklı yöntemlerini karşılaştırabilmek adına kullanılabilirlik çalışması tasarlanmıştır. Performans lm ve anket yönteminin karma olarak uygulandığı bu çalışmada, kullanıcıların, biri başta diğeri kullanıcı arkasında olmak üzere 2 kameradan oluşan senaryonun en iyi sonuçları sağladığını göstermiştir [75].

Eğitim ve artırılmış gerçeklik, kullanılabilirlik açısından değerlendirilen bir diğer başlıktır. Fizik ve matematik dersi için geliştirilen, derinlik kamerası ve ekran tabanlı artırılmış gerçeklik uygulaması için 18 kişilik öğrenciler grubuyla kullanılabilirlik çalışması yapılmıştır. SUS yöntemi ile ölçüm yapılan bu çalışmada, artırılmış gerçeklik uygulaması 83.4 ile olumlu olarak değerlendirilmiştir [76].

Tayvan’da geliştirilen artırılmış gerçeklik öğrenme sisteminin kullanılabilirlik ölçümü, benzer şekilde SUS ile yapılmıştır. Dokunmatik ekran ile oluşturulan

uygulamanın amacı ÷lkedeki balık tür ve çeşitliliğinin öğrenilmesidir. 33 kişiyle yapılan SUS çalışmasında, 78 skoru elde edilmiş ve sistem olumlu sonuçlar vermiştir [77].

Eğitim odaklı bir diğer araştırma, sezgisel değerlendirme ve test yöntemleri üzerinden çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Güçlü sonuçlar elde edebilmek adına çalışmalarda, her iki yöntemin de birlikte kullanılması önerilmektedir [78].

Eğitim başlığında, elektronik öğrenme yöntemleri de değerlendirildiğinde artırılmış gerçeklik önemli bir noktadadır. Yapılan kullanılabilirlik araştırmasında, anket tabanlı değerlendirmelerin çoğunlukla kullanıldığı belirtilmiştir. Web 2.0 ve artırılmış gerçeklik teknolojisinin başarıml kriteri açısından faydası vurgulanmıştır [79].

Mühendislik eğitimi özelinde yapılan bir başka çalışmada ise, tercih edilen yöntem benzer şekilde anket yöntemi olmuştur. Kullanıcı memnuniyeti, teknoloji, içerik, eğitim araçları kapsamında oluşturulan sorular 24 mühendislik öğrencisine görev senaryoları sonrası uygulanmıştır. Kullanıcı geribildirimleri, geliştirilen artırılmış gerçeklik uygulamasının bu kapsamda olumlu olduğuna yöneliktir [80].

Sağlık alanı da artırılmış gerçeklik uygulamaları için son derece önemli bir alandır. Bu kapsamda burada da kullanılabilirlik çalışmaları çıktıları itibariyle değerli olacaktır. Yapılan kullanılabilirlik çalışmasında, ortopedik ameliyatlrlar için geliştirilen uygulamalar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar için test ve görev odaklı bir değerlendirme yaklaşımı belirlenmiş; süre, iş yükü, görüntü sayısı, yerleştirme işlemi doğruluğu gibi kriterler üzerinden verimlilik tespit edilmiştir [81].

Sağlık alanındaki bir diğer artırılmış gerçeklik uygulması yine öğretme odaklıdır. 37 tıp fakültesi öğrencisinin katılımıyla oluşturulan çalışmada, bir sistemin kullanımı ve muayene odaklı bir senaryo ardından, verimlilik, özgüven, zihinsel yük, zaman ve başarıml özdeğerlendirme gibi başlıklarla oluşturulan bir anket ile değerlendirme yapılmıştır. Sonuçlar artırılmış gerçeklik uygulamasının olumlu etkisini göstermiştir [82].

Turizm sektörü de artırılmış gerçeklik uygulamaları açısından potansiyeli yüksek bir sektördür. İspanya'da yapılan çalışmada, kullanılabilirlik ölçümü için gözleme dayalı değerlendirme yöntemi uygulanmıştır. Turistlere yapılan bu çalışmayla, turizm içeriği ile olan etkileşimin sağlanması ve bilgilendirme açısından kullanıcıların yararlı olarak değerlendirmeleri derlenmiştir [83].

Giyilebilir başa takılan cihazlar için yapılan bir kullanılabilirlik çalışması ile bu donanımların kullanıcılarda oluşturduğu kısıtlar incelenmiştir. Bu noktada anket tabanlı bir yöntem geliştirilmiş, buradan gerçek dünyadaki referansın kaybolması ve dış dünya ile olan etkileşimler önemli kısıtlar olarak belirtilmiştir [84].

El hareketi algılama ve konuşma veri girişi gibi, çoklu veri girişine imkan sağlayan artırılmış gerçeklik için kullanılabilirlik çalışmasında ise, kriterler, senaryo gerçekleştirme süresi, hata sayısı ve kullanıcı sistem memnuniyeti şeklinde olmuştur. El hareketine yönelik kullanıcı çıktıları memnuniyet ifade etmez iken, konuşma bazındaki veri girişi kullanıcıları memnun eden bir özellik olmuştur [85].

Yöntem geliştirme noktasında, kullanıcıyı merkeze alarak, kullanıcı odaklı geliştirmeler ve uzman değerlendirmesinin de olduğu, süreklilik arz eden kullanılabilirlik mühendisliği için bir yaklaşım oluşturulmuş ve bu dış mekan kullanım senaryoları ile desteklenmiştir [86].

Kullanıcı merkezli bir diğer çalışmada ise, nicel ve nitel verilerden hareketle bir değerlendirme yapılmıştır. Belirlenen senaryolardaki testlerden hareketle, bakım faaliyetleri için teknisyenlerin, artırılmış gerçekliğin olumlu etkisini vurguladığı belirtilmektedir. Yapılan anket değerlendirmelerinde ise, SUS ve NASA-RTLX yöntemleri kullanılmış ve olumlu skorlar alınmıştır [87].

Son dönemde, Türkiye’de yapılan bir çalışma ise, enerji sektöründeki artırılmış gerçeklik kullanımını kapsama almıştır. Çalışma ile üretim sahalarındaki artırılmış gerçeklik teknolojilerinin düşük benimsenme oranının sebepleri irdelenmektedir. Çalışma ile önerilen bulut AR yapısının endüstriyel kullanım senaryosu kullanılabilirlik kavramı ile değerlendirilmiştir [88].

Özetlemek gerekirse, kullanılabilirlik kavramı, literatürde yoğunlukla kullanılan bir kavram olmasının yanında, artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanıcı değerlendirmesinde de sıklıkla karşılaşılan bir araştırma konusudur.

Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, literatür tarama ile trendleri ve odakları belirlemek, yeni yöntemler önermek, bilinen yöntemlerle kullanımı değerlendirmek çalışmaların genelinde bulunmaktadır.

Üretim ve eğitim konuları kullanılabilirlik açısından yoğun çalışılan konular olarak görülmektedir. Uygulama konusu ve deney tasarımı açısından eğitim alanında çalışma

yapabilmek, üretime nazaran daha kolay olduğundan, çalışmalardaki bu yöndeki odak anlaşılabilmektedir.

Yukarıda yöntem detaylarının açıklanması ile birlikte de belirtildiği gibi, SUS yöntemi anket yönteminin tercih edildiği çalışmalarda yoğunlukla tercih edilen yöntem olarak ön plana çıkmaktadır.



4. KULLANIM SENARYOSU: ÜRETİMDE OPERATÖR DESTEK ODAKLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK UYGULAMALARI

Bu bölümde, yukarıdaki başlıklardaki bilgilerden de hareketle kullanılabilirlik çalışmaları için tanımlanan kullanım senaryoları ile ilgili iş akışı, donanım ve yazılım odaklı detaylar paylaşılacaktır. Bu kullanım senaryoları literatürde de tanımlı olan projeksiyon, mobil cihaz-tablet ve akıllı gözlük teknolojileri temelinde oluşturulmuş operatör destek senaryolarıdır.

Bu uygulamaların geliştirildiği ve kullanıldığı yer olan MESS Teknoloji Merkezi ile ilgili bilgilere ek olarak anket çalışmaları ve katılımcı demografik bilgileri de bu bölümün içerikleri arasındadır.

4.1 MESS Teknoloji Merkezi (MEXT)

Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası (MESS) tarafından Kasım 2019’da tanıtımı, Ağustos 2020’de resmi açılışı yapılan MESS Teknoloji Merkezi (MEXT) Türkiye’deki dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 çalışmalarının önde gelen bir markası konumundadır.

MEXT alanında öncü teknoloji tedarikçileri, ana ve yardımcı sanayiler, üniversiteler ve enstitülerden oluşan, etkin bir dijital dönüşüm ekosisteminin merkezinde yer almaktadır. Teknoloji Merkezi, başta MESS üyeleri olmak üzere, tüm sanayi kuruluşlarının dijital dönüşüm süreçlerini; dijital fabrika, eğitim ve gelişim, ekosistem, dijital olgunluk kapsamlarında desteklemektedir. Bu kapsamda üretim süreçlerinin her seviyesinin gelişimin amaçlayan, dönüşüm odaklı, deneyimleme temelinde programlar sunmaktadır [89].

Dijital fabrika, teknoloji merkezinin imalat sanayiine odaklı seri üretim ve proses sanayiine yönelik sürekli üretim konseptlerinden meydana gelmektedir. Sürekli üretim, mevcutta kullanılan kontrol sistemi altyapısıyla demir-çelik üretiminin sanal bir versiyonu olup, dijitalleşme odaklı farklı kullanım senaryoları sunmaktadır [89].

Seri üretimde, bir başka deyişle kesikli üretimde ise dişli kutusu üretimini sağlayan fiziksel üretim ekipmanları ile üretimdeki dijital dönüşüm için ihtiyaç olan örnek

alışmalar sergilenmektedir. Aşağıda detayları bulunan tez uygulama çalışması kullanım senaryoları, bu alanda kullanılan sistemlerdir.



Şekil 4.1 : MESS Teknoloji Merkezi (MEXT) dijital fabrika [89].

Eğitim ve gelişim kapsamında ise, üretim sahalarındaki çalışanlardan üst düzey yönetici seviyesine kadar yetkinlik geliştirme odaklı programlar tasarlanmakta ve uygulanmaktadır. Tasarım odaklı düşünme metodolojisi ve teknoloji deneyimi odağı ile geliştirilen bu programlarla, dijital dönüşümün getirdiğı katma değeri kullanıcıların kıyaslayabilmesi ve deneyimleyebilmesi amaçlanmaktadır [89].

MEXT; Fraunhofer, Microsoft, Siemens, AWS, KUKA, SAP, İTÜ, Boğaziçi Üniversitesi, EFFRA, Endüstriyel İnternet Konsorsiyumu ve benzer seviyedeki küresel ve yerli kurumlarla oluşturduğu bu dijital dönüşüm ekosistemi ile doğrudan etkileşim, ortak geliştirme ve çalışma imkanları, girişimcilik teşviklerini sağlamaktadır ve tüm paydaşları, merkezinde kendisinin bulunduğu tek bir çatıda toplamaktadır [89].

MEXT, teknoloji deneyimi, yetkinlik gelişimi ve ekosistem oluşumlarının yanında, tüm sanayi kuruluşlarına dijital dönüşüm çalışmalarında belki de ilk yapılması gereken aşama olan, dijital olgunluk değerlendirme çalışmalarını da sunmaktadır. Bu alışma ile mevcut seviyenin belirlenerek, firmalar için dijital dönüşüm sürecinin bir yol haritasının çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmalarda küresel olarak kabul görmüş SIRI modeli uygulanmaktadır [89].

4.2 Kullanım Senaryo İçerikleri

Bu tez çalışmasının uygulama kısmını oluşturan ve kullanıcı verilerini sağlayan kullanım senaryoları, yukarıda bahsedilen dijital fabrika altındaki kesikli üretim senaryosunda kullanılan sistemlerdir. Dişli kutusu üretimi yapılan bu alanda 3 farklı artırılmış gerçeklik uygulaması kullanılmaktadır. Literatürdeki artırılmış gerçeklik yöntemlerini de içeren bu uygulamalarla projeksiyon, mobil cihaz ve akıllı gözlük teknolojilerini deneyimleyebilmek mümkündür. Bu bölümde her 3 uygulamayla ilgili detaylar paylaşılacaktır.

4.2.1 Projeksiyon uygulaması

Projeksiyon yöntemi artırılmış gerçeklik teknolojilerinin literatürde kabul görmüş yöntemlerden biridir. Tez çalışması kapsamında operatör destek odaklı kullanılan bu sistem üzerinden kullanıcı anketleri toplanmıştır.

Bu kullanım senaryosu, dişli kutusu üretimi esnasında oluşabilecek hatalara karşı ürün üzerinde yapılacak yeniden işlem veya tamir için ilgili operatöre destek sağlaması için oluşturulmuştur.



Şekil 4.2 : Kullanım senaryosu 1 - projeksiyon uygulaması.

“Active Assist” adındaki bu uygulama ile tamir operatörüne ürünün hangi komponentinde hata bulunduğu gösterilmekte ve bu hatayı gidermesi için gerekli talimatlar adım adım iletilmektedir. Projektör, ekran ve kamera komponentlerinden

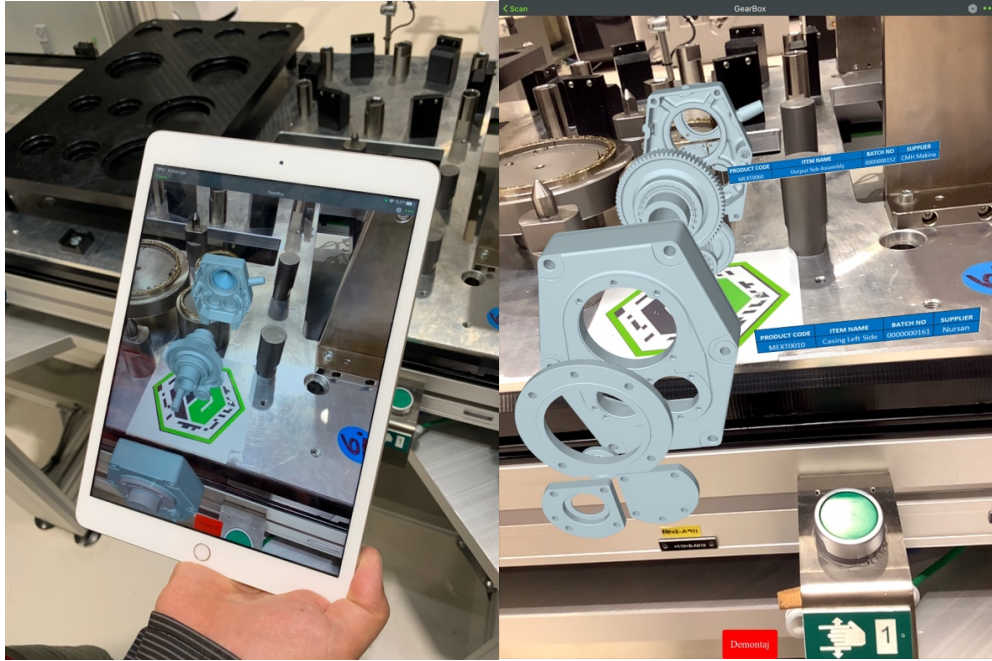
oluşan bu sistem ile seri üretimde tamir veya yeniden işlem istasyonlarında süreç güvenilirliği artırılabilir. Çünkü bu 3 komponent ve bağlı iş aleti sayesinde işlemin doğru tamamlanıp tamamlanmadığı veriye dayalı olarak belirlenebilmektedir.

Bu sistem, dijital fabrikada var olan MES katmanı ile entegre olup, üretim akışındaki tamir ihtiyacı oluşabilecek durumlarda ürün özelinde iş emirleri oluşturulmakta ve duruma göre hangi talimatların uygulanması gerektiği belirlenmektedir. Böylelikle hem işlemin doğruluğu sağlanmakta hem de operatöre işlemlerle ilgili destek verilip, deneyimi artırılabilir.

Bu sistem Bosch Rexroth markasının şu an pazara sunduğu ürünlerden biridir.

4.2.2 Mobil cihaz - tablet uygulaması

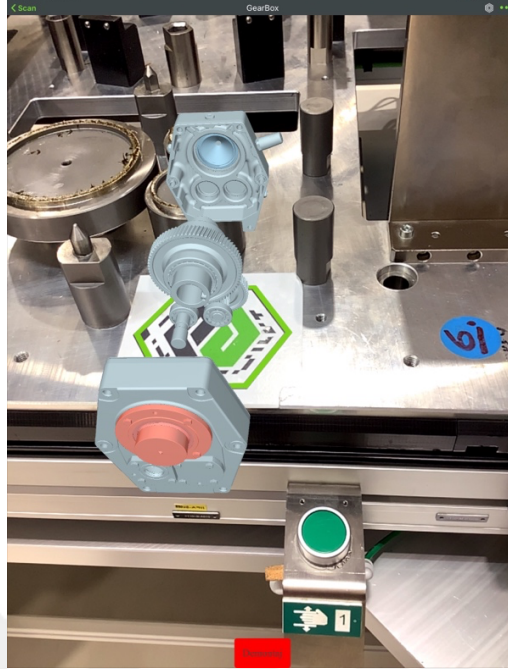
Kullanım senaryolarından bir diğeri mobil cihaz - tablet yöntemi ile uygulanan çözümdür. Yine operatör destek odaklı bu sistem ile montaj bandı sonu durum görüntülemenin yanı sıra dişli kutusu komponentlerinin herhangi birinde oluşmuş hataların giderilmesi de sağlanabilmektedir.



Şekil 4.3 : Kullanım senaryosu 2 - mobil cihaz, tablet uygulaması.

Şekil 4.3’de görüldüğü üzere QR kod ile tanımlama yöntemi kullanılan bu uygulamada, kullanıcılar komponent bazında ürün kodu, üretim sipariş bilgisi ve üretici yardımcı sanayi bilgilerini görüntüleyebilmektedir. Bu bilgiler vasıtasıyla olası

hataların yardımcı sanayi ve üretim planı detayında bulunabilmesi nihai ürünlerdeki hataların önüne üretim aşamasında geçebilmektedir.



Şekil 4.4 : Kullanım senaryosu 2 - demontaj adımları.

Bunlara ek olarak; Şekil 4.4’de görüldüğü gibi hatalı parçanın kırmızı renk ile gösterilmesi ve adım adım demontaj bilgilerinin sağlanması; ürünlerdeki komponent hatasının giderilmesi ve operasyon doğruluğu açısından operatörü desteklemektedir.

Buradaki QR kod yönlendirmeli uygulama PTC firmasının Thigworx IoT platformu ve Vuforia Studio araçları vesilesiyle geliştirilmiştir.

4.2.3 Akıllı gözlük uygulaması

Kullanım senaryolarından üçüncü ve sonuncusu ise giyilebilir teknolojiler sınıfında olan akıllı gözlük teknolojisi. Bu uygulamanın da odağında operatör destek olup, uygulama kullanıcılarına teknik eğitim imkanı da sunmaktadır. Buradaki senaryoda ise, dişli kutusu nihai kullanım yerinde çalışmaktadır. Fiziksel sistem olarak iki adet motora bağlı olan merdane düzeneği kurulmuş, dişli kutuları da buralardaki aktarma organı işlevini görmektedir.



Şekil 4.5 : Kullanım senaryosu 3 - akıllı gözlük uygulaması.

Şekil 4.5’deki geliştirilen artırılmış gerçeklik uygulaması ile, bakım operatörlerine fiziksel sistem ile ilgili hem durum izleme hem de olası arıza durumlarında ilgili komponentin nasıl değiştirileceği ile ilgili adım adım talimatlar iletilebilmektedir.



Şekil 4.6 : Kullanım senaryosu 3 - yönlendirme metodu.

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi uygulama yönlendirmesi yine QR kod ile yapılmaktadır. Bu yöntem ile akıllı gözlükte açılan uygulama ile fiziksel sistemin kontrol sistemi altyapısına bağlanılmakta ve ilgili tüm kritik verilerin görselleştirilmesi akıllı gözlük yardımıyla bakım operatörüne iletilebilmektedir. Bu verilerden hareketle tespit

edilebilecek durumlar hata mesajı olarak da iletilebilmektedir. Hata mesajlarının yanı sıra bütünleşmiş verilerden de hareketle hataya sebep veren dişli kutusu komponenti 3 boyutlu ortamda Şekil 4.7’deki adım adım gösterilmektedir.



Şekil 4.7 : Kullanım senaryosu 3 - demontaj talimatları.

Bu özellikleri ile, akıllı gözlük teknolojisi, sistem durum izleme ve arıza müdahale özellikleri ile operatör faaliyetlerini desteklemektedir. Hem giyilebilir teknoloji hem de sistem veri entegrasyonu ile bakım süreçlerinin dijitalleşmesi de sağlanmaktadır. Bunlara ek olarak, bu sistem tecrübesiz operatörler için de eğitim amaçlı kullanılabilir.

Bu kullanım senaryosunda kullanılan akıllı gözlük modeli ise, Microsoft Hololens 2 ürünüdür. Uygulama geliştirme tarafında ise mobil cihaz uygulamasındaki gibi PTC altyapısı kullanılmıştır.

4.3 Demografik Bilgiler ve Ölçümler

Yukarıdaki kullanım senaryolarını, MEXT teknoloji merkezindeki, aşağıda demografik bilgileri verilmiş olan katılımcılarda uygulanmıştır. Anket çalışmaları toplamda 20 kişiye uygulanmıştır. Katılımcılar, 5 kadın, 15 erkekten oluşmaktadır. Montaj uzmanlığından, farklı disiplinlerdeki mühendisler kadar uzmanlıklar katılımcı kitlesinde bulunmaktadır.

Çizelge 4.1 : Kullanım senaryoları anket katılımcıları demografik bilgileri.

Katılımcı	Yaş	Cinsiyet	Eğitim
1	36	Erkek	Kontrol ve Otomasyon Mühendisi
2	30	Erkek	Kontrol ve Otomasyon Mühendisi
3	42	Erkek	Elektrik Teknisyeni
4	34	Erkek	Elektronik Mühendisi
5	31	Kadın	Montaj Uzmanı (Lise)
6	31	Kadın	Montaj Uzmanı (Lise)
7	43	Erkek	Makine Teknisyeni
8	28	Erkek	Teknik Ressam
9	30	Erkek	Mekatronik Teknisyeni
10	34	Erkek	Elektrik Mühendisi
11	28	Kadın	Mekatronik Mühendisi
12	29	Erkek	Elektrik Mühendisi
13	31	Erkek	Makine Teknisyeni
14	31	Erkek	Gemi İnşaat Mühendisi
15	35	Erkek	Endüstri Mühendisi
16	30	Erkek	Kontrol ve Otomasyon Mühendisi
17	30	Erkek	Mekatronik Mühendisi
18	32	Erkek	Bilgisayar Mühendisi
19	30	Kadın	Elektrik-Elektronik Mühendisi
20	30	Kadın	Endüstri Mühendisi

Katılımcı yaşları 28 ile 43 arasında olup, ortalamaları 32,25'dir. 20 kişinin 13'ü Mühendislik formasyonuna sahip olup, diğer katılımcılar teknisyenlik ve üretim montaj uzmanlıklarına sahiptir.

Bu katılımcılara bölüm 3'te teorik detayları verilen kullanılabilirlik anketleri uygulanmıştır.

4.4 Uygulama Bazlı Sonuçlar

Yukarıda detayları verilen her bir uygulama için, katılımcılara SUS, ASQ, PSSUQ ve NASA-RTLX anketleri uygulanmıştır. Bu anketlerden SUS, ASQ, PSSUQ kullanılabilirlik ölçümü amacıyla uygulanmış olup; NASA-RTLX ise operatörlerin teknoloji uygulamaları esnasındaki fiziksel ve zihinsel yüklerin tespiti için gerçekleştirilmiştir. Uygulanan her bir anketin kendine göre bir skor hesaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu bölümde projeksiyon, mobil cihaz-tablet ve akıllı gözlük uygulamaları için her bir yöntemin sonuçları detaylandırılacaktır.

4.4.1 Projeksiyon uygulaması ölçüm sonuçları

İlk olarak SUS yönteminin içerdiği 10 sorudaki sonuçlardan hareketle, her biri için ortalama, standart sapma, en büyük ve en küçük değerler ve varyasyon katsayısı hesaplamaları yapılmıştır.

Çizelge 4.2’de görüldüğü üzere, Likert-5 skalasında olan bu yöntemde olumlu anlamda olan 1,3,5,7,9 numaralı sorularda kullanıcıların ortalaması “Katılıyorum” seçeneğine oturmaktadır. Bu soruların tamamında en büyük değer 5 olarak görülmektedir. Diğer yandan, olumsuz anlam içeren 2,4,6,8,10 numaralı sorularda ise “Katılmıyorum” seçeneği ortalamalarda ön plana çıkmaktadır. Verilerden hareketle 2 ve 8 numaralı soruların “Hiç Katılmıyorum” seçeneğine yakınsadığı görülmektedir. Olumsuz anlamlı bu sorularda en küçük değerler 1 olarak ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.2 : Projeksiyon uygulaması SUS sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	4,20	0,77	5	2	18,28%
2	1,40	0,50	2	1	35,90%
3	4,30	0,98	5	1	22,76%
4	1,85	0,93	4	1	50,45%
5	4,10	0,72	5	2	17,52%
6	1,60	0,82	4	1	51,30%
7	4,75	0,55	5	3	11,58%
8	1,40	0,50	2	1	35,90%
9	4,20	0,77	5	2	18,28%
10	2,10	1,02	4	1	48,61%

SUS yöntemi için bir değer işlem ise, SUS skor hesaplamaları olmuştur. Bu skor verilerinden hareketle, ortalama, standart sapma, en büyük ve en küçük değerler, varyasyon katsayısı ve 68 puandan düşük skor adedi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 : Projeksiyon uygulaması SUS skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı	68’den Küçük Skor Adeti
83	11,34	100	60	13,67%	2

Çizelge 4.3’de de görüldüğü üzere katılımcıların skor ortalamaları 83 ve 11,34 standart sapma ile hesaplanmıştır. En büyük 100 skorunun olduğu bu dağılımda hesaplanan en küçük değer 60 olarak bulunmuştur. Bu yöntem için eşik değeri olan 68 puandan daha düşük skorlu sonuç ise 2 adet olmuştur. Ortalama skor değerine bakıldığında ise,

kullanıcıların SUS yöntemine göre ve 83 skor puanı ile bu sistemi kullanışlı bulduğu görülmektedir.

Bir diğer kullanılabilirlik ölçüm yöntemi olan ASQ yönteminin sorularından hareketle sonuçlar Çizelge 4.4'deki gibi olmuştur. Bölüm 3'te de belirtildiği gibi, bu yöntem Likert-7 skalasında cevaplar almakta olup, en olumlu cevap 1 ve en olumsuz cevap ise 7 şeklindedir. Bu sebeple bu aralıkta 1'e yakınsayan değerler olumlu anlam taşımaktadır. Her 3 sorunun cevap ortalamaları da göstermektedir ki; sistem ile ilgili geri dönüşler bu yöntemde de olumludur.

Çizelge 4.4 : Projeksiyon uygulaması ASQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	1,45	0,60	3	1	41,71%
2	1,85	1,04	4	1	56,22%
3	2,10	1,55	7	1	73,93%

Çizelge 4.5'de ASQ yöntemi için tüm cevapların ortalamaları ile hesaplanan skor ise 1,80/7 olmuştur. Skor dağılımlarında ise standart sapma ise 0,95'tir. Bu skor dağılımında en iyi skor 1/7 ve en kötü skor ise 4,67/7 şeklinde hesaplanmıştır. Varyasyon katsayısı ise hesaplanan skorlardaki değişkenliği göstermektedir.

Çizelge 4.5 : Projeksiyon uygulaması ASQ skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1,80	0,95	4,67	1	13,67%

Çalışmada uygulanan bir diğer yöntem olan PSSUQ da cevap skalası ve anlamı açısından ASQ ile aynıdır. Burada da daha düşük değerdeki skorlar olumlu anlama sahip olacaktır. Bölüm 3'te de belirtildiği gibi 19 sorudan oluşan bu yöntemin soru detayları Çizelge 4.6'da görülmektedir. Ortalama değerlerin tamamı bu sistem için katılımcıların olumlu geri dönüş yaptıklarını göstermektedir. Öyle ki, tüm sonuçlarda en büyük değer en olumlu cevap olan 1 olarak çıkmıştır.

Bu 19 sorudan hareketle elde edilen değerler; toplam skor, kullanışlılık, bilgi kalitesi ve arayüz kalitesi skorları olarak da ortaya çıkmakta olup, Çizelge 4.7'de detayları görülmektedir. Hesaplanan tüm skorların skaladaki olumlu tarafta olduğu görülmektedir. Ek olarak, skor değerlerine 4'ten büyük sonuç olmaması tüm skor hesaplarının skaladaki olumlu tarafta olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.6 : Projeksiyon uygulaması PSSUQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	1,65	0,67	3	1	40,66%
2	1,65	0,59	3	1	35,58%
3	1,45	0,60	3	1	41,71%
4	1,65	1,14	6	1	68,89%
5	1,70	0,86	4	1	50,85%
6	1,85	1,04	4	1	56,22%
7	1,55	0,69	3	1	44,28%
8	1,75	1,07	4	1	61,14%
9	2,50	1,47	6	1	58,76%
10	2,25	1,25	5	1	55,61%
11	2,05	1,28	5	1	62,26%
12	2,05	1,00	4	1	48,72%
13	1,70	0,86	4	1	50,85%
14	1,60	0,68	3	1	42,53%
15	1,85	0,93	4	1	50,45%
16	1,70	0,86	3	1	50,85%
17	1,60	0,82	3	1	51,30%
18	1,95	0,89	4	1	45,49%
19	1,55	0,76	4	1	48,98%

Çizelge 4.7 : Projeksiyon uygulaması PSSUQ skor sonuçları.

Skor	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
OV	1,79	0,65	3,53	1	36,38%
SYSUSE	1,66	0,64	3,50	1	38,71%
INFOQUAL	2,00	0,85	3,86	1	42,73%
INTERQUAL	1,75	0,72	3	1	41,40%

Son olarak, NASA-RTLX yöntemi ile kullanıcıların iş yükü hesaplanmıştır. Bölüm 3'te de belirtildiği gibi yöntemdeki 6 soru farklı kavramlara karşılık gelmektedir. Çizelge 4.8'de görüldüğü gibi her bir parametrenin ortalamasının iş yükü anlamında daha az olan tarafa yakınsadığı ortadadır.

Çizelge 4.8 : Projeksiyon uygulaması NASA-RTLX sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Zihinsel	34,25	22,14	100	15	64,64%
Fiziksel	34,25	22,55	85	15	65,85%
Zamansal	47,00	25,57	100	15	54,40%
Performans	21,75	9,90	55	15	45,54%
Çaba	34,25	20,41	100	15	59,59%
İsteksizlik	20,75	13,70	70	5	66,00%

Bölüm 3’te de belirtildiği üzere, bu yöntemde de düşük puanlar daha olumlu anlama gelmektedir. Bir başka deyişle daha düşük skor, daha düşük iş yükü anlamına gelmektedir.

Bu sonuçlardan hareketle hesaplanan toplam skor ise 32,04 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.9’da belirtildiği üzere 13,63 standart sapma hesaplanmıştır. Buradaki sonuçlarda en büyük ve en küçük değerler arasındaki çeşitlilik daha geniş bir aralıkta yayılmaktadır.

Çizelge 4.9 : Projeksiyon uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
32,04	13,63	69,17	15	42,54%

4.4.2 Mobil cihaz - tablet uygulaması ölçüm sonuçları

Mobil cihaz - tablet uygulaması için de SUS yönteminin içerdiği 10 sorudaki sonuçlar Çizelge 4.10’da gösterilmektedir. Olumlu anlamdaki sorularda ortalamalar “Katılıyorum” seçeneğine yakınsamakta veya örtüşmektedir. Olumsuz anlamda ise, çekimser puana daha yakın ortalamalar dikkati çekmektedir.

Çizelge 4.10 : Mobil cihaz - tablet uygulaması SUS sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	3,35	0,81	4	2	24,26%
2	2,45	0,94	4	1	38,55%
3	3,75	1,02	5	1	27,19%
4	2,35	1,18	4	1	50,30%
5	3,35	1,04	5	1	31,04%
6	1,85	0,88	4	1	47,30%
7	4,00	1,03	5	2	25,65%
8	2,20	1,06	4	1	48,01%
9	3,90	0,79	5	2	20,21%
10	2,30	1,08	4	1	47,00%

Mobil cihaz - tablet uygulaması için, SUS skoru hesaplamaları Çizelge 4.11’de belirtildiği gibidir. Görüldüğü üzere katılımcıların skor ortalamaları 68 ve 15,84 standart sapma ile hesaplanmıştır. En büyük 92,50 skorunun olduğu bu dağılımda hesaplanan en küçük değer 35 olarak bulunmuştur. Eşik değeri 68 noktasında ise, daha düşük skorlu sonuç ise 10 adet olmuştur. Ortalama skor değerine bakıldığında ise, kullanıcıların SUS yöntemine göre ve 68 skor puanı ile bu sistemi kullanışlı bulduğu

görülmektedir. Ancak eşik altı değer sayısı ve en büyük, en küçük değerler göz önüne alındığında, kullanıcıların görüşlerinin bir yöne odaklı olmasından ziyade; skalanın geniş bir aralığında yayıldığı görülmektedir.

Çizelge 4.11 : Mobil cihaz - tablet uygulaması SUS skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı	68'den Küçük Skor Adeti
68	15,84	92,50	35	23,30%	10

Mobil cihaz - tablet uygulaması için, ASQ yönteminin sonuçları Çizelge 4.12'deki gibi olmuştur. Her 3 sorunun cevap ortalamaları da göstermektedir ki; sistem ile ilgili geri dönüşler bu yöntemde de olumludur. Ancak bu olumlu durumun çekimser tarafa daha yakın olduğu da görülmektedir.

Çizelge 4.12 : Mobil cihaz - tablet uygulaması ASQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	2,40	1,27	6	1	53,05%
2	2,95	1,61	6	1	54,41%
3	2,90	1,80	7	1	62,19%

Çizelge 4.13'te ASQ yöntemi için tüm cevapların ortalamaları ile hesaplanan skor ise 2,75/7 olmuştur. Skor dağılımlarında ise standart sapma ise 1,45'tir. Bu skor dağılımında en iyi skor 1/7 ve en kötü skor ise 6/7 şeklinde hesaplanmıştır. Bu değerler kullanıcıların sistem ile ilgili görüşlerinin çeşitliliğini ve skala genelindeki geniş yayılımını göstermektedir.

Çizelge 4.13 : Mobil cihaz - tablet uygulaması ASQ skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
2,75	1,41	6	1	51,11%

Bir sonraki yöntem olan PSSUQ yöntemi için soru bazlı sonuçları da cevap skalası ve anlamı açısından ASQ ile aynıdır. Burada da daha düşük değerdeki Çizelge 4.14'de görülmektedir. Ortalama değerlerin tamamı bu system için katılımcıların olumlu geri dönüş yaptıklarını göstermektedir. Ancak yine sonuçların çekimser tarafa yakınsadığını belirtmek gerekir.

PSSUQ yönteminin alt başlıkları olan; toplam skor, kullanılabilirlik, bilgi kalitesi ve arayüz kalitesi de Çizelge 4.15’de görülmektedir. Hesaplanan tüm skorların skaladaki olumlu tarafta olduğu görülmektedir. Buradaki 4’ten büyük hesaplanan sonuçlar da kullanıcılar arasındaki değerlendirme farklılıklarını göstermektedir.

Çizelge 4.14 : Mobil cihaz - tablet uygulaması PSSUQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	2,75	1,45	5	1	52,60%
2	2,60	1,47	6	1	56,36%
3	2,50	1,73	7	1	69,28%
4	2,85	1,63	7	1	57,23%
5	2,65	1,50	7	1	56,47%
6	2,85	1,60	6	1	56,09%
7	2,75	1,16	5	1	42,33%
8	2,95	1,19	6	1	40,37%
9	3,45	1,47	7	2	42,55%
10	2,95	1,36	7	1	45,98%
11	2,75	1,25	6	1	45,50%
12	2,75	1,29	6	1	47,01%
13	2,25	1,12	6	1	49,69%
14	2,15	1,35	6	1	62,72%
15	2,30	1,26	6	1	54,81%
16	2,30	1,22	5	1	52,97%
17	2,40	1,35	6	1	56,39%
18	3,35	1,76	7	1	52,40%
19	2,75	1,37	6	1	49,88%

Çizelge 4.15 : Mobil cihaz - tablet uygulaması PSSUQ skor sonuçları.

Skor	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
OVR	2,70	1,05	5,63	1,26	39,00%
SYSUSE	2,74	1,25	5,50	1	45,66%
INFOQUAL	2,66	1,11	6,29	1,29	41,73%
INTERQUAL	2,68	1,30	5,67	1	48,44%

Mobil cihaz - tablet uygulaması için, NASA-RTLX yöntemi sonuçları ise Çizelge 4.16’da görüldüğü gibi olmuştur. Sonuçlar, her bir soru için yüksek değişkenlik durumunu vurgulamaktadır. Fiziksel ve zamansal parametrelerin olumsuz tarafta kalması dikkati çeken bir diğer unsurdur.

Bu sonuçlardan hareketle hesaplanan toplam skor ise 43,13 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.16’da belirtildiği üzere 15,72 standart sapma hesaplanmıştır. Ortalama skor genel skalanın olumlu tarafında ancak çekimser tarafı yakın olmuştur. Soruların aksine

skor dağılımlarında daha düşük bir çeşitlilik göze çarpmaktadır. Öyle ki en büyük ve en küçük değer arasındaki aralık, sorulara nazaran küçülmüştür.

Çizelge 4.16 : Mobil cihaz - tablet uygulaması NASA-RTLX sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Zihinsel	43,25	25,97	100	15	60,04%
Fiziksel	55,75	28,80	100	15	51,67%
Zamansal	51,00	25,21	85	15	49,44%
Performans	29,75	20,87	100	5	70,14%
Çaba	45,75	20,86	85	15	45,58%
İsteksizlik	33,25	20,54	70	5	61,77%

Çizelge 4.17 : Mobil cihaz - tablet uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
43,13	15,72	66,67	15	36,46%

4.4.3 Akıllı gözlük uygulaması ölçüm sonuçları

SUS yönteminin 10 sorusunun sonuçları, akıllı gözlük uygulaması için Çizelge 4.18’de görülmektedir. Olumlu anlamdaki soruların ortalamalarının çekimser noktada olduğu ortalama değerlerden görülmektedir. Benzer şekilde olumsuz anlamdaki soruların ortalama değerlerinin de çekimser noktada olmuştur. Yalnızca 4.soruda, yani teknik destek ihtiyacının belirtildiği soruda olumlu tarafta yakınsama mevcuttur.

Çizelge 4.18 : Akıllı gözlük uygulaması SUS sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	3,70	1,08	5	2	29,21%
2	2,70	1,13	5	1	41,80%
3	3,10	1,12	5	1	36,10%
4	3,55	1,28	5	1	35,95%
5	3,85	0,99	5	2	25,66%
6	2,10	0,79	4	1	37,53%
7	3,05	1,36	5	1	44,47%
8	2,45	1,23	5	1	50,38%
9	3,20	1,32	5	1	41,31%
10	2,90	1,45	5	1	49,91%

Çizelge 4.19’da görüldüğü üzere katılımcıların skor ortalamaları 58 olarak, 21,50 standart sapma ile hesaplanmıştır. 58 değeri ile bu yöntem için eşik altında kalmıştır. Eşik değeri olan 68 puandan daha düşük skorlu sonuç ise 14 adet olmuştur. Bu da

kullanıcıların çoğunluğunun SUS yanıtlarıyla bu sistemi kullanışlı bulmadığını göstermektedir.

Çizelge 4.19 : Akıllı gözlük uygulaması SUS sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı	68'den Küçük Skor Adeti
58	21,50	97,5	20	37,07%	14

Akıllı gözlük uygulaması için ASQ yönteminin sorularından hareketle sonuçlar Çizelge 4.20'de gibi olmuştur. Her 3 sorunun cevap ortalamalarından hareketle kullanıcıların skalanın olumlu tarafında olduğu görülmektedir. Ancak bu ortalamalar çekimsiz noktaya yakınsamaktadır.

Çizelge 4.20 : Akıllı gözlük uygulaması ASQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	3,25	1,68	6	1	51,75%
2	3,30	1,66	6	1	50,23%
3	3,20	1,44	7	1	44,89%

Çizelge 4.21'de görüldüğü gibi ASQ yöntemi için tüm cevapların ortalamaları ile hesaplanan skor ise 3,25/7 olmuştur. Skor dağılımlarında ise standart sapma 1,49'dur. Bu skor dağılımında en iyi skor 1/6 ve en kötü skor ise 6/7 şeklinde hesaplanmıştır. Hesaplanan yöntem skoru olumlu tarafta olup, yine sorular gibi çekimsiz noktaya yakınsamaktadır. En büyük ve en küçük değer arasındaki fark da yayılımın genişliğini göstermektedir.

Çizelge 4.21 : Akıllı gözlük uygulaması ASQ skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
3,25	1,49	6	1	45,73%

PSSUQ sonuçları akıllı gözlük uygulaması için Çizelge 4.22'de görülmektedir. Ortalama değerlerin tamamı bu sistem için katılımcıların olumlu geri dönüş yaptıklarını ancak bu değerlerin çekimsiz noktaya yakın olduğunu göstermektedir.

Akıllı gözlük uygulaması için PSSUQ alt başlıkları olan toplam skor, kullanışlılık, bilgi kalitesi ve arayüz kalitesi skorları da Çizelge 4.23'deki gibi hesaplanmıştır. Hesaplanan tüm skorların skaladaki olumlu tarafta olduğu görülmektedir. Tıpkı

sorularda olduğu gibi burada da ortalamaların çekimser noktaya yakınlığı göze çarpmaktadır. En büyük değerlerdeki 7'ye yakınsama durumu olumsuz değerlendirmelerin de varlığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.22 : Akıllı gözlük uygulaması PSSUQ sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
1	3,50	1,91	7	1	54,45%
2	3,60	1,76	6	1	48,87%
3	2,70	1,53	6	1	56,49%
4	3,10	1,62	7	1	52,22%
5	2,95	1,54	6	1	52,14%
6	3,45	1,82	6	1	52,76%
7	3,90	2,02	7	1	51,89%
8	3,15	1,73	6	1	54,77%
9	3,20	1,51	6	1	47,12%
10	3,60	1,35	6	1	37,59%
11	3,25	1,25	6	1	38,50%
12	3,30	1,69	7	1	51,18%
13	3,15	1,53	7	1	48,61%
14	2,95	1,50	6	1	50,97%
15	3,20	1,58	7	1	49,25%
16	3,05	1,93	7	1	63,36%
17	3,05	1,93	6	1	63,36%
18	3,20	1,36	5	1	42,53%
19	3,15	1,53	6	1	48,61%

Çizelge 4.23 : Akıllı gözlük uygulaması PSSUQ skor sonuçları.

Skor	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
OV	3,23	1,28	5,63	1	39,63%
SYSUSE	3,29	1,56	6,25	1	47,36%
INFOQUAL	3,24	1,27	6,29	1	39,31%
INTERQUAL	3,10	1,53	5,33	1	49,47%

Son olarak, akıllı gözlük, NASA-RTLX sonuçları Çizelge 4.24'de görülmektedir.

Çizelge 4.24 : Akıllı gözlük uygulaması NASA-RTLX sonuçları.

Soru	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Zihinsel	54,50	23,45	100	15	43,02%
Fiziksel	53,75	30,86	100	15	57,41%
Zamansal	53,75	23,28	100	15	43,30%
Performans	40,25	20,29	85	5	50,42%
Çaba	54,75	24,79	100	15	45,27%
İsteksizlik	40,00	22,00	85	5	55,01%

Sonuçlardan hareketle, ortalama ve en büyük değerleri ile birlikte; zihinsel, fiziksel, zamansal yük ve çaba parametrelerindeki olumsuz dağılım göze çarpmaktadır. Sonuçlar arasındaki yüksek değişkenlik ön planda olan diğer bir durumdur.

Bu sonuçlardan hareketle hesaplanan toplam skor ise 16,32 standart sapma ile 49,50 olarak Çizelge 4.25’de görülmektedir. Ortalama skor genel skalanın çekimser tarafına çok yakındır. Soruların aksine skor dağılımlarında daha düşük bir çeşitlilik mevcuttur. İş yükünün olumsuz olarak değerlendirildiği hem soruların yayılımından hem de skor değerlerinin yayılımından görülmektedir.

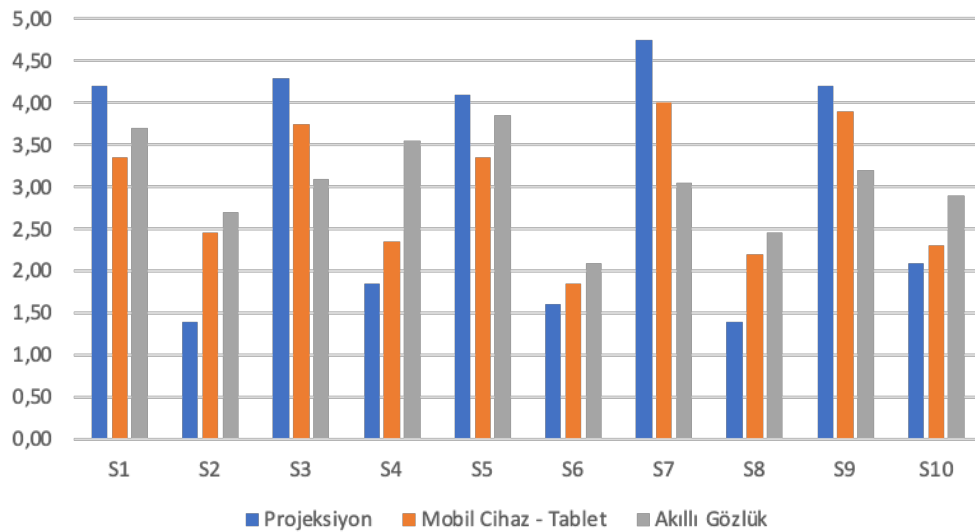
Çizelge 4.25 : Akıllı gözlük uygulaması NASA-RTLX skor sonuçları.

Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
49,50	16,32	83,33	22,50	32,98%

4.5 Karşılaştırmalı Analiz

Elde edilen tüm bu sonuçlardan hareketle her bir anket yöntemi için tüm uygulamaların karşılaştırılması bu bölümün içeriğini oluşturmaktadır. Yukarıda hesaplanan skorların özetlerinin yanı sıra; tüm verilere tek yönlü ANOVA yöntemi de uygulanarak, verilerin istatistiksel olarak da birbirinden farklı olup olmadığı sonuçlarına ulaşılmıştır. İstatistiksel analizler “Minitab 20” yazılımında gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak SUS yöntemine ilişkin soru detayında tüm sonuçlar Şekil 4.8’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : SUS sonuçları karşılaştırma grafiği.

Şekil 4.8’de de görüldüğü gibi projeksiyon uygulamasının sonuçları olumlu anlam ifade eden 1,3,5,7,9 numaralı sorularda en yüksektir. Olumsuz anlamdaki 2,4,6,8,10 numaralı sorularda ise akıllı gözlük uygulaması kullanıcılardan daha yüksek sonuçlar olarak daha olumsuz bir tablo çizmiştir.

SUS yöntemi 1.soru yanıtlarına bakıldığında, kullanıcıların projeksiyon uygulamasını sıklıkla kullanma değerlendirmesinde olduğu ve arkasından akıllı gözlük ve tablet uygulaması geldiği görülmektedir. Ancak farklar birbirinden çok keskin değildir.

3. sorunun yanıtlarından hareketle de, kullanıcıların yine projeksiyon yönteminin kullanım kolaylığı açısından en önde değerlendirildiği görülmektedir.

5. soru ile sistemdeki fonksiyonlar noktasında yine projeksiyon uygulaması en iyi olarak değerlendirilmiş olup, akıllı gözlük uygulaması burada projeksiyona yakın sonuçlarda değerlendirilmiştir.

7. sorunun sonuçları ile projeksiyon yönteminin çoğu kullanıcı tarafından çabuk öğrenileceği diğer iki yönteme göre belirtilmektedir.

9. sorunun sonuçları projeksiyon yönteminin kullanımı esnasında kullanıcıların kendilerine olan eminliğini göstermektedir. Burada mobil cihaz - tablet uygulaması projeksiyon uygulamasına yakın sonuçlara sahiptir.

SUS yönteminin olumsuz manadaki sorularından ilki 2.soruda, akıllı gözlük uygulaması kullanıcılar tarafından karmaşık değerlendirilmiştir. Mobil cihaz - tablet uygulaması ise burada akıllı gözlük uygulamasına yakın sonuçlar almıştır.

4. soruda, kullanım için daha teknik bir kişinin desteği ihtiyacı en çok akıllı gözlük uygulamasında ortaya çıkmıştır.

6. soruda ise akıllı gözlük uygulamasının diğer uygulamalara göre daha fazla tutarsızlığa sahip olduğu değerlendirilmiş olup, sonuçlar birbirine yakın olarak görülmektedir.

8. soruda ise kullanım elverişsizliği akıllı gözlük uygulamasında daha yüksek görülmektedir. Mobil cihaz - tablet uygulaması ise oldukça yakın sonuçtadır.

Son olarak 10. Soruyla birlikte kullanıcılar akıllı gözlük uygulaması için öncesinde bir çok öğrenmeleri gerektiğini değerlendirmişlerdir.

Tüm bu sonuçların istatistiksel detaylarını ve farklılıklarını göstermek amacıyla tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.26’da görülmektedir.

Çizelge 4.26 : SUS ANOVA analiz sonuçları.

Soru	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
1	Gruplar Arası	2	7,3	3,65	4,53	0,015
	Gruplar İçi	57	45,95	0,8061		
	Toplam	59	53,25			
2	Gruplar Arası	2	19,03	9,5167	11,81	0
	Gruplar İçi	57	45,95	0,8061		
	Toplam	59	64,98			
3	Gruplar Arası	2	14,43	7,217	6,66	0,003
	Gruplar İçi	57	61,75	1,083		
	Toplam	59	76,18			
4	Gruplar Arası	2	30,53	15,267	11,75	0
	Gruplar İçi	57	74,05	1,299		
	Toplam	59	104,58			
5	Gruplar Arası	2	5,833	2,9167	3,4	0,04
	Gruplar İçi	57	48,9	0,8579		
	Toplam	59	54,733			
6	Gruplar Arası	2	2,5	1,25	1,82	0,171
	Gruplar İçi	57	39,15	0,6868		
	Toplam	59	41,65			
7	Gruplar Arası	2	29,03	14,517	13,63	0
	Gruplar İçi	57	60,7	1,065		
	Toplam	59	89,73			
8	Gruplar Arası	2	12,03	6,0167	6,24	0,004
	Gruplar İçi	57	54,95	0,964		
	Toplam	59	66,98			
9	Gruplar Arası	2	10,53	5,2667	5,34	0,007
	Gruplar İçi	57	56,2	0,986		
	Toplam	59	66,73			
10	Gruplar Arası	2	6,933	3,467	2,42	0,098
	Gruplar İçi	57	81,8	1,435		
	Toplam	59	88,733			

ANOVA sonuçları p değerlerinden de hareketle sadece 6. ve 10. sorularda 0,098 ve 0,171 değerleri sebebiyle istatistiksel bir farklılığa ulaşılamamıştır. Yukarıdaki soruların ortalama değerlerinden hareketle ulaşılan tüm sonuçlar sadece bu iki soruda istatistiksel olarak desteklenememektedir.

Bir diğer deyişle, kullanım isteği, kullanım kolaylığı, entegre fonksiyonlar, sistemin çabuk öğrenilmesi, kullanım esnasındaki kendinden emin hissetme noktalarındaki farklılıkların istatistiksel olarak da desteklenmiş ve projeksiyon uygulaması bu noktada ön plana çıkmıştır. Kullanım isteği ve entegre fonksiyonlar noktasında akıllı gözlük hemen sonra gelirken; kullanım kolaylığı, sistemin çabuk öğrenilmesi ve kullanım esnasındaki kendinden eminlikte ise mobil cihaz - tablet projeksiyondan sonra gelmektedir.

Sistemin karmaşıklığı, teknik bir kişinin desteğine olacak ihtiyaç ve kullanım elverişsizliği için istatistiksel farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu değerlendirmelerde ise, akıllı gözlük uygulaması kullanıcılar tarafından ön plana çıkarılmıştır. Her birinde mobil cihaz - tablet uygulaması takip eden uygulama olmuştur. Sistem tutarsızlığı ve kullanım öncesinde bir çok şeyin öğrenilmesi gerekliliği sonuçları istatistiksel farklılık açısından desteklenememiştir.

Detaylı soru analizine ek olarak, her bir yöntem için hesaplanan SUS skorları ve detayları Çizelge 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27 : SUS skor sonuçları karşılaştırma.

Uygulama	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Projeksiyon	83	11,34	100	60	13,67%
Mobil Cihaz - Tablet	68	15,84	92,5	35	23,30%
Akıllı Gözlük	58	21,50	97,5	20	37,07%

Çizelge 4.27’de görüldüğü üzere en yüksek skoru projeksiyon uygulaması almıştır. Skor dağılımlarına bakıldığında en düşük değişkenlik projeksiyon uygulamasında, en yüksek ise akıllı gözlük uygulamasında yer almaktadır. En büyük ve en küçük değerlere bakıldığında projeksiyon uygulamasının daha küçük bir aralıkta yayılması bu durumu deteklemektedir. SUS yönteminin eşik değeri olan 68 skorunu ise yalnızca akıllı gözlük uygulaması sağlayamamıştır.

Bunlara ek olarak, skor dağılımlarının tek yönlü ANOVA analizi de yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.28’de görülmektedir. Elde edilen p değeri uygulama bazlı skor

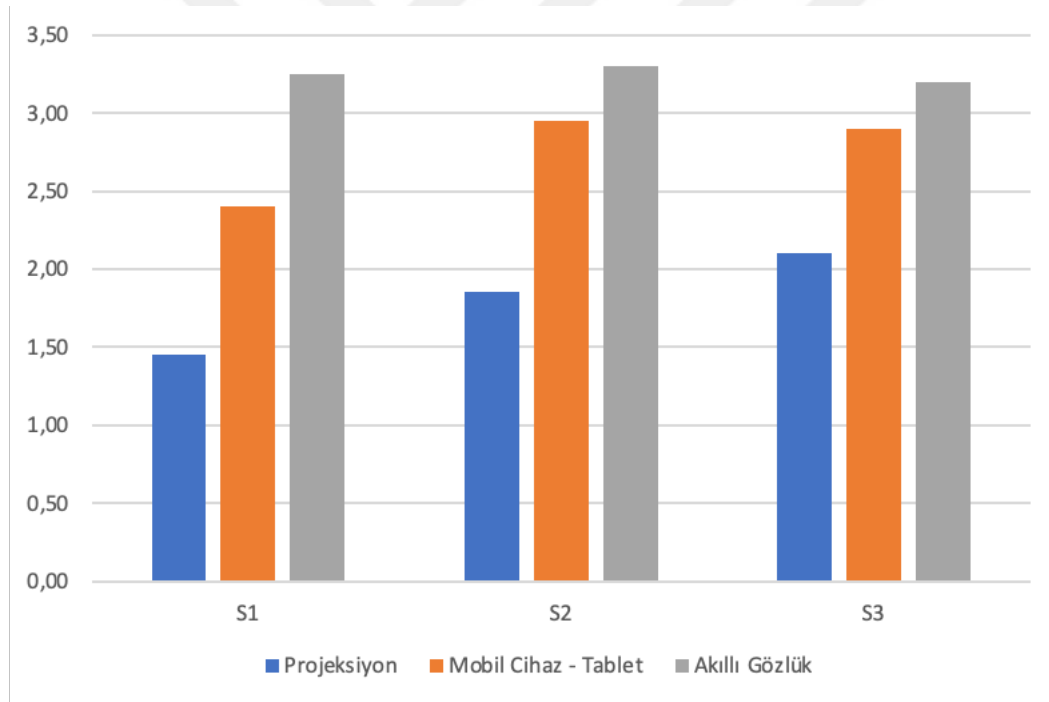
dağılımlarının istatistiksel olarak farklı olduğunu belirtmektedir. Böylelikle elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak da desteklenmiştir.

Çizelge 4.28 : SUS skor ANOVA analiz sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
SUS Skor	Gruplar Arası	2	6333	3166,7	11,28	0
	Gruplar İçi	57	15997	280,7		
	Toplam	59	22331			

SUS yöntemiyle elde edilen tüm bu sonuçlar ve yapılan analizlerle birlikte projeksiyon yönteminin kullanıcılar tarafından diğer uygulamalara göre daha kullanışlı olarak değerlendirildiği sonucuna ulaşılmaktadır.

ASQ yönteminin her bir sorusu için elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.9'daki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.9 : ASQ sonuçları karşılaştırma grafiği.

Şekil 4.9'dan hareketle tüm sorularda olumlu anlamda projeksiyon, mobil cihaz - tablet, akıllı gözlük sıralaması göze çarpmaktadır.

ASQ yönteminde sorular, sırasıyla; görevi tamamlamanın kolaylığı, tamamlama süresi, ve sistemde sağlanan destek bilgilerinden kaynaklı oluşan memnuniyeti belirtmektedir. Elde edilen sonuçlar, projeksiyon yönteminin tüm sonuçlarda daha çok memnuniyet yarattığını göstermektedir. 2. ve 3. sorularda; tamamlama süresi, ve

sistemde sağlanan destek bilgilerinde mobil - cihaz uygulaması sonuçları, akıllı gözlük uygulaması sonuçlarına yakın olmuştur.

Bu sonuçların istatistiksel olarak farklılıklarını belirlemek adına tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.29’de görülmektedir.

Çizelge 4.29 : ASQ ANOVA analiz sonuçları.

Soru	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
1	Gruplar Arası	2	32,43	16,217	10,1	0
	Gruplar İçi	57	91,5	1,605		
	Toplam	59	123,93			
2	Gruplar Arası	2	22,9	11,45	5,36	0,007
	Gruplar İçi	57	121,7	2,135		
	Toplam	59	144,6			
3	Gruplar Arası	2	12,93	6,467	2,51	0,09
	Gruplar İçi	57	146,8	2,575		
	Toplam	59	159,73			

ANOVA sonuçları p değerlerinden hareketle, 1 ve 2. soru sonuçlarının istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu, 3. soruda ise bu farklılığın bulunmadığı görülmektedir.

Görevi tamamlamanın kolaylığı ve tamamlama süresi maddelerinde elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak da desteklenmiş olup, sağlanan destek bilgileri için elde edilen sonuç istatistiksel farklılıkla desteklenememiştir.

Sorular üzerinden elde edilen sonuçlardan hareketle ASQ yöntemine ilişkin skor değerleri Çizelge 4.30’da görülmektedir.

Çizelge 4.30 : ASQ skor sonuçları karşılaştırma.

Uygulama	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Projeksiyon	1,80	0,95	4,67	1	52,86%
Mobil Cihaz - Tablet	2,75	1,41	6	1	51,11%
Akıllı Gözlük	3,25	1,49	6	1	45,73%

Burada en iyi ASQ skorun projeksiyon yöntemine ait olduğu ortaya çıkmaktadır. Projeksiyon yönteminin skor dağılımının diğer iki yönteme göre daha dar olduğu Çizelge 4.30’daki verilerden hareketle ortaya çıkmıştır.

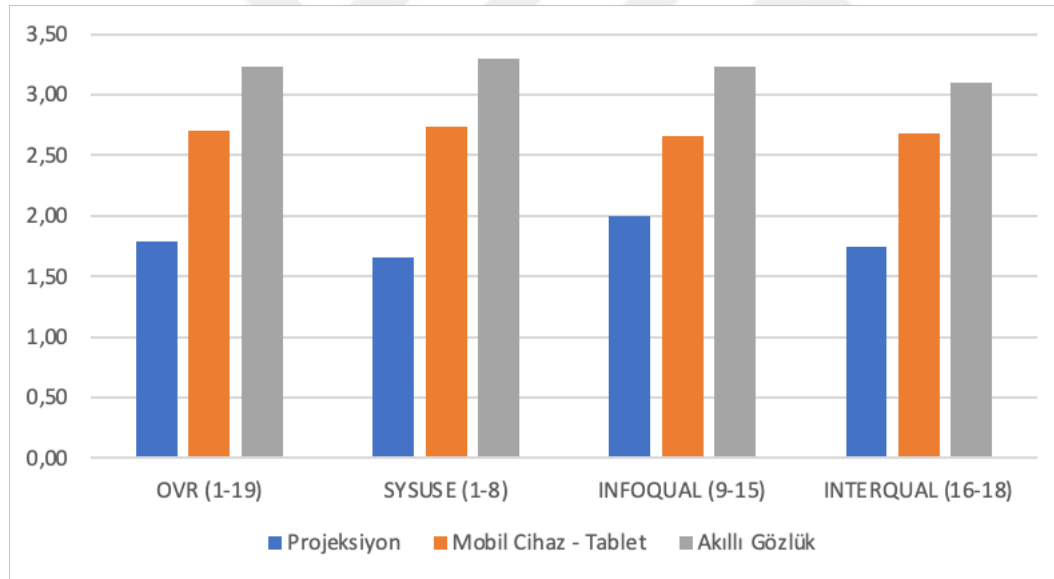
ASQ skorları arasındaki farklılığı istatistiksel olarak da destekleyebilmek için tek yönlü ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.31’de belirtilmiştir. Elde edilen p değeri skor dağılımlarının istatistiksel olarak farkını göstermektedir.

Çizelge 4.31 : ASQ skor ANOVA analiz sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
ASQ Skor	Gruplar Arası	2	21,7	10,85	6,4	0,003
	Gruplar İçi	57	96,7	1,696		
	Toplam	59	118,4			

ANOVA analizi ile birlikte ASQ yönteminde kullanıcıların projeksiyon uygulamasını diğer uygulamalara göre daha kullanışlı bulduğu ön plana çıkmaktadır.

PSSUQ yönteminde ise anlamlı olan yöntem çıktılarını göstermek amacıyla, 19 sorunun sonuçlarını tek tek göstermek yerine, belirtilen alt başlıklar detaylandırılmıştır. Şekil 4.10’da alt kategoriler özelindeki grafik görülmektedir.



Şekil 4.10 : PSSUQ sonuçları karşılaştırma grafiği.

Şekil 4.10’den hareketle tıpkı ASQ yöntemi sonuçlarındaki gibi tüm kategorilerde olumlu anlamda projeksiyon, mobil cihaz - tablet, akıllı gözlük sıralaması göze çarpmaktadır.

PSSUQ alt kategorileri olan; sistem kullanışlılığı, bilgi kalitesi, arayüz kalitesi açısından da projeksiyon uygulaması diğer uygulamalara göre kullanıcıların daha olumlu değerlendirmelerini almıştır.

Bu sonuçların istatistiksel olarak farklılıklarını belirlemek için her bir soruya yönelik tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.32’de ve altkategorilere ilişkin tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.33’de görülmektedir.

Çizelge 4.32 : PSSUQ analiz sonuçları.

Soru	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
1	Gruplar Arası	2	34,63	17,317	8,41	0,001
	Gruplar İçi	57	117,3	2,058		
	Toplam	59	151,93			
2	Gruplar Arası	2	38,03	19,017	10,21	0
	Gruplar İçi	57	106,15	1,862		
	Toplam	59	144,18			
3	Gruplar Arası	2	18,03	9,017	4,75	0,012
	Gruplar İçi	57	108,15	1,897		
	Toplam	59	126,18			
4	Gruplar Arası	2	24,03	12,017	5,48	0,007
	Gruplar İçi	57	124,9	2,191		
	Toplam	59	148,93			
5	Gruplar Arası	2	17,03	8,517	4,77	0,012
	Gruplar İçi	57	101,7	1,784		
	Toplam	59	118,73			
6	Gruplar Arası	2	26,13	13,067	5,64	0,006
	Gruplar İçi	57	132,05	2,317		
	Toplam	59	158,18			
7	Gruplar Arası	2	55,23	27,617	13,99	0
	Gruplar İçi	57	112,5	1,974		
	Toplam	59	167,73			
8	Gruplar Arası	2	22,93	11,467	6,21	0,004
	Gruplar İçi	57	105,25	1,846		
	Toplam	59	128,18			
9	Gruplar Arası	2	9,7	4,85	2,21	0,119
	Gruplar İçi	57	125,15	2,196		
	Toplam	59	134,85			
10	Gruplar Arası	2	18,23	9,117	5,22	0,008
	Gruplar İçi	57	99,5	1,746		
	Toplam	59	117,73			

Çizelge 4.32: PSSUQ analiz sonuçları (devam).

Soru	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
11	Gruplar Arası	2	14,53	7,267	4,58	0,014
	Gruplar İçi	57	90,45	1,587		
	Toplam	59	104,98			
12	Gruplar Arası	2	15,7	7,85	4,27	0,019
	Gruplar İçi	57	104,9	1,84		
	Toplam	59	120,6			
13	Gruplar Arası	2	21,43	10,717	7,4	0,001
	Gruplar İçi	57	82,5	1,447		
	Toplam	59	103,93			
14	Gruplar Arası	2	18,43	9,217	6,09	0,004
	Gruplar İçi	57	86,3	1,514		
	Toplam	59	104,73			
15	Gruplar Arası	2	18,9	9,45	5,73	0,005
	Gruplar İçi	57	93,95	1,648		
	Toplam	59	112,85			
16	Gruplar Arası	2	18,3	9,15	4,6	0,014
	Gruplar İçi	57	113,35	1,989		
	Toplam	59	131,65			
17	Gruplar Arası	2	21,1	10,55	5,07	0,009
	Gruplar İçi	57	118,55	2,08		
	Toplam	59	139,65			
18	Gruplar Arası	2	23,63	11,817	6,2	0,004
	Gruplar İçi	57	108,7	1,907		
	Toplam	59	132,33			
19	Gruplar Arası	2	27,73	13,867	8,66	0,001
	Gruplar İçi	57	91,25	1,601		
	Toplam	59	118,98			

Çizelge 4.32'deki PSSUQ yönteminin 19 sorusunun tek yönlü ANOVA analiz sonuçlarına göre tüm sorulara alınan cevapların dağılımlarının, her birinde istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.33'deki ANOVA sonuçları p değerlerinden hareketle, tüm PSSUQ alt kategorileri için, sonuçların istatistiksel olarak da birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Tüm soruların cevaplarına yönelik analiz sonuçlarına ek olarak; sistem kullanımı, bilgi kalitesi ve arayüz kalitesi alt kategorilerinde elde edilen analiz sonuçları ile birlikte istatistiksel farklılık gösterilmiştir.

Alt kategori özelinde yapılan çıkarımlar da bu sonuçlarla istatistiksel olarak desteklenmiştir.

Çizelge 4.33 : PSSUQ skor ANOVA analiz sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
SYSUSE	Gruplar					
	Arası	2	27,73	13,866	9,44	0
	Gruplar İçi	57	83,72	1,469		
	Toplam	59	111,45			
INFOQUAL	Gruplar					
	Arası	2	15,29	7,645	6,41	0,003
	Gruplar İçi	57	67,99	1,193		
	Toplam	59	83,28			
INTERQUAL	Gruplar					
	Arası	2	19,11	9,557	6,28	0,003
	Gruplar İçi	57	86,77	1,522		
	Toplam	59	105,88			

Bu kategorilerden elde edilen sonuçlardan hareketle PSSUQ yöntemine ilişkin skor değerleri Çizelge 4.34’de görülmektedir.

Çizelge 4.34 : PSSUQ skor sonuçları karşılaştırma.

Uygulama	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Projeksiyon	1,79	0,65	3,53	1	36,38%
Mobil Cihaz - Tablet	2,70	1,05	5,63	1,26	39,00%
Akıllı Gözlük	3,23	1,28	5,63	1	39,63%

Genel skorların belirtildiği Çizelge’de projeksiyon uygulaması diğer iki uygulamadan daha iyi bir skor elde etmiştir. Projeksiyon uygulaması skor sonuçları daha az değişkenliğe sahip olup, daha küçük bir aralıkta yayılım göstermektedir. Burada dikkat çeken bir diğer nokta ise, mobil cihaz - tablet uygulamasında hiç en olumlu tam puan çıkmamasına rağmen, akıllı gözlük uygulamasına göre bu uygulamanın genel skorunun daha iyi olmasıdır.

Bu sonuç ve çıkarımları istatistiksel olarak desteklemek amacıyla uygulanan tek yönlü ANOVA analizi sonuçları Çizelge 4.35’de görülmektedir.

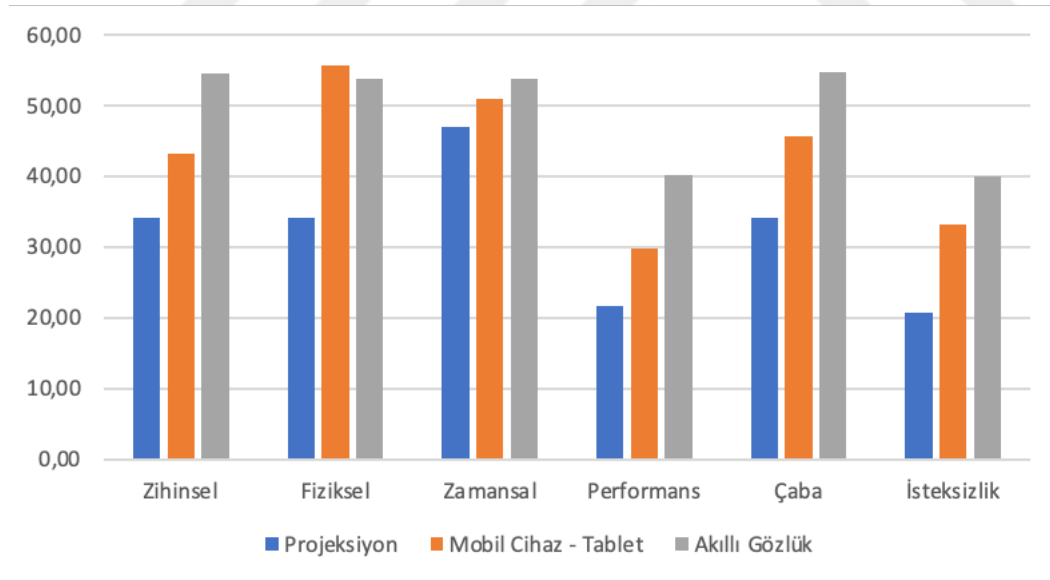
Çizelge 4.35 : PSSUQ skor ANOVA analiz sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
PSSUQ Skor	Gruplar					
	Arası	2	21,26	10,631	10,04	0
	Gruplar İçi	57	60,35	1,059		
	Toplam	59	81,62			

ANOVA sonuçları p değerlerinden hareketle, elde edilen sonuçların istatistiksel olarak birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. Böylece sonuçlar ve çıkarımlar istatistiksel analiz sonuçlarıyla da desteklenmiştir.

PSSUQ yönteminde altında yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar ile kullanıcıların projeksiyon uygulamasını diğer uygulamalara göre daha kullanışlı olarak değerlendirdiği görülmektedir.

Son olarak iş yükü değerlendirme yöntemi olan NASA-RTLX yönteminin sonuçları Şekil 4.11’deki grafikte özetlenmiştir.



Şekil 4.11 : NASA-RTLX sonuçları karşılaştırma grafiği.

Şekil 4.11’deki grafikten de hareketle kullanıcıların; akıllı gözlük uygulamasında daha fazla zihinsel yük altında oldukları, görev için daha kötü performans gösterdikleri zamansal yüklerinin daha fazla olduğu, görevi tamamlamak için daha çok çaba gösterdikleri ve daha fazla isteksizliğe sahip oldukları görülmektedir. Fiziksel yük

noktasında ise mobil cihaz - tablet uygulaması, kullanıcılar tarafından daha fazla olarak değerlendirilmiştir.

Projeksiyon uygulaması ise tüm başlıklarda diğer uygulamalara göre daha olumlu olarak değerlendirilmiştir. Projeksiyon uygulaması adına en belirgin farklar ise zihinsel yük, fiziksel yük, performans, çaba ve isteksizlik maddelerinde görülmektedir. Zamansal yük maddesinde ise daha yakın sonuçlar bulunmaktadır.

Bu sonuçların istatistiksel olarak farklılıklarını belirlemek adına tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.36'da görülmektedir.

Çizelge 4.36 : NASA-RTLX ANOVA analiz sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
Zihinsel	Gruplar Arası	2	4118	2058,8	3,6	0,034
	Gruplar İçi	57	32572	571,4		
	Toplam	59	36690			
Fiziksel	Gruplar Arası	2	5643	2821,7	3,7	0,031
	Gruplar İçi	57	43521	763,5		
	Toplam	59	49165			
Zamansal	Gruplar Arası	2	460,8	230,4	0,38	0,687
	Gruplar İçi	57	34793,8	610,4		
	Toplam	59	35254,6			
Performans	Gruplar Arası	2	3443	1721,7	5,46	0,007
	Gruplar İçi	57	17961	315,1		
	Toplam	59	21405			
Çaba	Gruplar Arası	2	4223	2111,7	4,32	0,018
	Gruplar İçi	57	27851	488,6		
	Toplam	59	32075			
İsteksizlik	Gruplar Arası	2	3816	1907,9	5,23	0,008
	Gruplar İçi	57	20777	364,5		
	Toplam	59	24593			

ANOVA analizi sonucunda ortalama değerleri birbirine yakın olan zamansal yük maddesi verilerinde istatistiksel bir farklılığa ulaşılamamıştır. Ancak diğer tüm maddelerdeki p değerleri, elde edilen çıkarımları istatistiksel olarak desteklemektedir.

NASA-RTLX yöntemi ile elde edilen verilerden hareketle Çizelge 4.37'de uygulamaların skor bilgileri derlenmiştir.

Çizelge 4.37 : NASA-RTLX skor sonuçları karşılaştırma.

Uygulama	Ortalama	Standart Sapma	En Büyük Değer	En Küçük Değer	Varyasyon Katsayısı
Projeksiyon	32,04	13,63	69,17	15	42,54%
Mobil Cihaz - Tablet	43,13	15,72	66,67	15	39,00%
Akıllı Gözlük	49,50	16,32	83,33	22,50	39,63%

Çizelgedeki verilerden hareketle projeksiyon uygulaması kullanıcılar tarafından daha düşük iş yükü endeksinde olarak belirtilmiştir. Projeksiyon uygulaması en büyük ve en küçük değerler açısından diğer uygulamalara göre daha küçük bir aralıkta yayılım göstermiştir. Akıllı gözlük uygulamasının skoru ise çekimser tarafa çok yakında durmaktadır. En büyük değer diğer uygulamalara göre daha yüksek olması, bu uygulamadaki kullanıcıların daha fazla iş yüküne sahip olma değerlendirmesini yaptıklarını göstermektedir.

NASA-RTLX skor dağılımlarındaki istatistiksel fark için yapılan tek yönlü ANOVA analizinin sonuçları Çizelge 4.38’de görülmektedir.

Çizelge 4.38 : NASA-RTLX skor ANOVA analizi sonuçları.

Kategori	Kaynak	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F Değeri	P Değeri
NASA-RTLX Skor	Gruplar					
	Arası	2	2283	1141,7	3,82	0,028
	Gruplar İçi	57	17023	298,6		
	Toplam	59	19306			

Elde edilen p değeri veriler arasındaki istatistiksel farkı ortaya koymaktadır. Böylelikle iş yükü anlamında yapılan çıkarımlar istatistiksel olarak da desteklenmiştir.

NASA-RTLX yöntemin altında yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar ile kullanıcılar, projeksiyon uygulamasında diğer uygulamalara göre daha az iş yüküne sahip olmuşlardır.

4.6 Değerlendirme

Yukarıdaki bilgilerden de hareketle, SUS, ASQ, PSSUQ, NASA-RTLX’den oluşan anket yöntemleri, üretim sistemleri odağında tanımlanan operatör destek odaklı kullanım senaryoları üzerinden projeksiyon, mobil cihaz - tablet, akıllı gözlük’ten oluşan artırılmış gerçeklik teknolojisi ile kullanıcılara sunulmuştur. Bu senaryolardaki

operatör destekleri çoğunlukla adım adım ilerleyen iş talimatları olduğu gibi uzaktan teknik destek ve işbaşı eğitimi gibi başlıkları da içermektedir.

Bu anket çalışmalarına farklı formasyonlara sahip 20 kullanıcı katılmıştır. Anketlerden elde edilen çıkarımların istatistiksel olarak daha güçlü olması için bu sayının daha çok olması gerektiği söylenebilir. Ancak bu noktada, yapılan bu anket çalışmalarının sistemleri deneyimleme, belirlenen senaryoları uygulama odaklı olduğu unutulmamalıdır. Bu tip kullanım ve deneyim odaklı üretim sistemi senaryoları için yüksek sayılara ulaşmak diğer akademik anket çalışmalarında olduğu gibi kolay değildir. Bu durumu belirtmekle birlikte, bu çalışmadaki katılımcı sayısının istatistiksel çalışma yapabilmek ve kullanıcıların sistemlerle ilgili değerlendirmelerini elde edebilmek için için yeterli olduğunu literatürdeki farklı örneklerden de hareketle belirtmek gerekir.

Uygulanan anketlerden SUS, ASQ ve PSSUQ kullanılabilirlik kavramına odaklanırken, NASA-RTLX iş yükü ölçümünü sağlamaktadır. Bir sistemin kullanımı esnasında, kullanıcıların yaşadığı iş yükünün, sistem ile ilgili değerlendirmeye etkisi olacağı açıktır.

Kullanılabilirlik anket çalışmaları göstermiştir ki, kullanım isteği, kullanım kolaylığı, entegre fonksiyonlar, sistemin çabuk öğrenilmesi, kullanım esnasındaki kendinden emin hissetme kriterlerinde projeksiyon uygulaması daha öndedir. Buna ek olarak, görev tamamlama kolaylığı ve süresi, bilgi ve arayüz kalitesi açısından da kullanıcılar tarafından ön plana çıkarılmıştır. Bu noktalarda mobil cihaz - tablet ve akıllı gözlük uygulamaları geri planda değerlendirilmektedir.

Sistem karmaşıklığı, teknik destek ihtiyacı, kullanım elverişsizliği, tutarsızlık ve öncesinde gerekli olabilecek bilgi ihtiyacı akıllı gözlük uygulamasında kullanıcıların dikkat çektiği kriterler olmuştur.

Kullanıcılar, uygulamaları deneyimledikten sonra, daha çok iş yükününün akıllı gözlük uygulamasında olduğunu değerlendirmişlerdir. Burada dikkat çeken nokta ise fiziksel yükün mobil cihaz - tablet uygulamasında en fazla olmuş olmasıdır.

Bu bilgilerden de hareketle projeksiyon uygulamasının kullanıcılara, çalışma esnasında herhangi bir ergonomik yük getirmemesinden ötürü olumlu sonuçları normaldir.

Akıllı gözlük teknolojileri kullanıcılar için yeni cihazlardır. Çalışmalar esnasında bazı kullanıcıların yaşadığı adaptasyon sıkıntıları da gözlenmiştir. Bunun sebebi Hololens 2 gibi bu tip gözlüklerin baş, göz ve burun bölgesinden oluşturduğu baskının yanı sıra; gözlüğün kullanımı esnasında gereken el hareketleridir.

Tabletler kullanıcıların yabancı olmadığı mobil cihazlar olsalar da; üretim sistemlerindeki operasyonlar esnasında kullanıcılara fazladan yük getirebilmektedir. Bu da anketlerden gelen olumsuz çıktıların bir karşılığıdır.

Çizelge 4.39 : Kullanım senaryoları, yöntem skorları sonuç tablosu.

Kategori / Uygulama	Projeksiyon	Mobil Cihaz - Tablet	Akıllı Gözlük
SUS	83	68	58
ASQ	25,71*	39,28*	46,42*
PSSUQ	25,57*	38,57*	46,15*
NASA-RTLX	32,04	43,13	49,50

Tüm bu bilgi ve sonuçları özetlemek için Çizelge 4.39 derlenmiştir. Yöntem genel skorlarının görüldüğü bu çizelge, tüm çalışmaların bir özeti niteliğini taşımaktadır. Tabloda ASQ ve PSSUQ yöntemleri sonuçları işaretli olarak gösterilmektedir. Bunun sebebi ise özet çizelgedeki bütünlük anlamında, bu yöntemlerin ana skorlarının 7'lik ölçekten, 100'lük ölçeğe oranlanmış olmasıdır. ASQ, PSSUQ ve NASA-RTLX yönteminde daha düşük skorların olumlu çıkarım olduğunu belirtmek gerekir. Bu çalışmada yapılan tüm anket yöntemleri projeksiyon uygulamasının kullanıcılar tarafından üretimde operatör destek uygulamalarında daha olumlu değerlendirdiklerini göstermektedir. Çizelge 4.39'daki özet skor tablosun da koyu ile gösterilen bu skorlar bu çıkarımı açıkça göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında üretimde dijital dönüşüm ve Endüstri 4.0 kavramlarıyla birlikte daha da ön plana çıkan Artırılmış Gerçeklik teknolojileri detaylandırılmıştır. Artırılmış gerçekliğin kronolojik akışından hareketle, gelişim aşamaları uygulama alanları ve gelecek potansiyel çalışma konuları üzerinde durulmuştur. Özellikle üretim alanında yapılan çalışmalar da irdelenerek, böylesine süratle gelişen bu teknoloji için kullanıcıların sistemlere olan kabul edilebilirliklerini bulabilmek önemli olmuştur.

Bu durumu tespit edebilmek için ise, literatürde önemli bir araştırma konusu olan kullanılabilirlik kavramı anlatılmıştır. Bu kavramın teorik altyapısı ve değerlendirme yöntemleri detaylandırılmıştır. Kullanıcılarla yapılan anketlere dikkat çekilmiş ve burada ön plana çıkan genel-geçer yöntemler değerlendirilmiştir.

Özellikle, insan işgücünün yoğun olduğu imalat ve montaj sanayiii için ciddi potansiyel taşıyan artırılmış gerçeklik uygulamaları, bu çalışma için ana odak olarak belirlenmiştir.

Bu kapsamda, üretimde kullanılan operatör destek amaçlı artırılmış gerçeklik sistemlerinin, kullanıcılar özelindeki etkilerini belirlemek bu çalışmadaki ana amaç olmuştur.

Bu amaçla, literatürde tanımı yapılan, projeksiyon, mobil cihaz ve akıllı gözlük olmak üzere 3 farklı artırılmış gerçeklik tekniğine uygun kullanım senaryolarına, Türkiye’deki dijital dönüşümün en önemli merkezlerinden biri olan MEXT vesilesiyle ulaşılmıştır. Burada bu sistemleri kullanan kullanıcılara SUS, PSSUQ, ASQ ve NASA-RTLX anketleri uygulanmıştır. Anketlerin sonuçları, ilgili yöntemdeki anlamlarıyla değerlendirilmiş ve ANOVA yöntemiyle de istatistiksel olarak desteklenmiştir.

Sonuçlardan hareketle, kullanıcıların projeksiyon yöntemi ile geliştirilen uygulamanın kullanılabilirlik skorlarını her 3 kullanılabilirlik yönteminde de daha iyi değerlendirdiği görülmüştür. Ayrıca iş yükü ölçümlerinden hareketle, projeksiyon yöntemi, kullanıcılara diğer yöntemlere göre daha az bir yük oluşturmaktadır.

Mobil cihaz-tablet ve akıllı gözlük yöntemleri ise, projeksiyon yöntemine göre kullanıcılar tarafından daha geride değerlendirilmiştir. Mobil cihaz kullanımı günümüzde pek çok kişi tarafında yaygın olmasına rağmen, üretim sistemlerindeki kullanım senaryolarındaki çift el kullanımı gerekliliği burada önemli bir handikap oluşturmaktadır.

Akıllı gözlük ise, teknoloji ve deneyim olarak üretim sahalarında yavaş yavaş yoğunluğu artan bir yöntemdir. Bu sebeple, kullanıcıların bu teknolojiye Teknik destek ihtiyacı ön plana çıkmaktadır. Yeni alışılan bu teknolojiyle oluşturulan kullanım senaryolarında, kullanıcılara daha çok iş yükü gelmektedir. Bundan ötürü de, kullanıcı değerlendirmelerinde, verilen çaba ve deneyim sonrasında çıkan isteksizlik ön plana çıkmaktadır.

İmalat sanayii gibi seri üretim sahalarında aktif artırılmış gerçeklik uygulaması bulabilmek oldukça zor iken, bu çalışma literatürde tanımlanan tüm artırılmış gerçeklik tekniklerini içermesiyle bu alandaki çalışmalara göre farklı ve literatüre katkı sağlayan bir noktadır. Literatüre katkı noktasında bir diğer konu ise, kullanılabilirlik çalışmalarının laboratuvar gibi kontrollü ortamlarda daha fazla olmasından kaynaklı aktif üretim sahalarında çok fazla örnek çalışma görülememesidir. Bu çalışma, gerçek bir üretim akışında aktif kullanılan artırılmış gerçeklik uygulamaları için kullanıcı içgörülerini tüm literatür teknikleri özelinde ortaya koyması açısından da literatüre katkı sağlamaktadır.

Literatürdeki artırılmış gerçeklik tekniklerinden akıllı gözlük uygulamaları özelinde elde edilen kullanıcı değerlendirmeleri ise bu alandaki hem donanım hem de yazılım geliştirme faaliyetlerine katkı sağlayacak niteliktedir. Son kullanıcıların bu teknolojileri içselleştirmesi için bu çıktılar tasarım ve geliştirme çalışmalarına girdi olarak da değerlendirilebilmektedir.

Artırılmış gerçeklik ve kullanılabilirlik kavramları ile birlikte oluşturulan bu çalışma Türkçe akademik literatüre de katkıda bulunmuştur. Özellikle kullanılabilirlik kavramı açısından Türkçe yazılan bu çalışma bu kavramdaki yapılan bilimsel çalışmalara olumlu girdi sağlamayı amaçlamaktadır. Ek olarak artırılmış gerçeklik teknolojisi ve kullanılabilirlik çalışmaları odağındaki bu çalışma yine Türkçe akademik literatürüne katkısını ortaya koymaktadır.

Sonraki çalışmalar kapsamında, çalışmayı ilerletmek ve kapsamını geliştirmek anlamında değerlendirmek gerekmektedir. Gelecek çalışma yine tüm artırılmış gerçeklik teknikleri ile tekrardan kurgulanmalıdır. Ancak bu aşamada, kullanım senaryolarının her bir teknik özelinde bire bir aynı içerik ve akışa sahip olmaları sağlanmalıdır. Gelecek çalışmalarda, bu benzerliği yakalayıp, her 3 artırılmış gerçeklik yöntemini kullanıcılar özelinde değerlendirmek, elde edilen sonuçlar açısından daha etkin olacaktır. Sonuçların etkinliğini sağlayabilmek adına ise, katılımcı sayısının en büyüklenmesi istatistiksel sonuçlar açısından da kritik olacaktır.

Özellikle devam eden çalışmanın bir doktora çalışması kurgulanırsa, literatürden de hareketle mutlaka bir kullanılabilirlik değerlendirme yöntemi üzerine çalışılmalı ve yeni bir yöntem önerilmelidir. Önerilen yöntem için yukarıdaki koşullar sağlanıp, verimliliği ve güvenilirliği özelinde çıktılarla etkinliği gösterilmelidir. Ek olarak, sadece imalat sanayii gibi seri üretim sektörü dışında, enerji sektörü gibi artırılmış gerçeklik teknolojilerinin değer yaratabileceği sektörlerde de kullanım senaryoları bulunarak çıktıların daha geniş bir paydaya hitap etmesi sağlanmalıdır.

Farklı sektörler özelinde yapılacak bu çalışma, özellikle uygulama geliştirme aşamasında, adım adım, aşama aşama değerlendirme ile kullanıcı için en ideal yapıya ulaşacak şekilde kurgulanmalıdır. Her değerlendirme sonrası sağlanan tasarım iyileşmeleri ile özellikle giyilebilir teknolojiler özelinde kullanıcıların uygulamaları içselleştirmesi sağlanmalıdır. Bunu sağlayacak kullanılabilirlik yönteminin geliştirilmesi, hem farklı sektörler hem de akademik literatür açısından son derece önemli ve faydalı olacaktır. Böyle bir yöntem dijital dönüşüm olgunluk seviye modeli gibi çalışmalara da referans oluşturabilecektir.

Bu çalışmada yapılan değerlendirmelere benzer olarak, teknoloji karşılaştırma ve kullanıcılar özelindeki kullanılabilirlik çalışmalarının sayısının artması bu teknolojinin gelişmesine fayda sağlayacak ve kullanıcıların bu sistemleri kabul edilebilirliklerini artıracaktır.

Artırılmış gerçeklik sistemleri, 5G entegrasyonu ile bulut bilişim kabiliyetlerini geliştirecek ve kullanıcılara daha kabiliyetli içerikler sunabilecektir. Bu yüksek işlemci gücü gerektiren AI ve ML gibi uygulamaların artırılmış gerçeklikle olan entegrasyonunu artırabilecektir.

Sonuç olarak, bu gelişmelerle birlikte, artırılmış gerelik sistemlerinin potansiyelinin yüksek olduğu ve üretim uygulamaları ile yaratacağı değerin önemli olacağının altını çizmek gerekir. İnsanı odak alan bir dijital dönüşüm yaklaşımı ile hem artırılmış gerçeklik teknolojisi hem de üretim sistemleri bundan yararlanacaktır. Bunu sağlamak için de yapılacak kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi çalışmaları son derece kritik olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Xu, D. L., Xu, E. L. ve Li, L.,** (2018). Industry 4.0: state of the art and future. trends. International Journal of Production Research, DOI:10.1080/00207543.2018.1444806
- [2] **Ustundag, A. ve Cevikcan E,** (2017). Industry 4.0: Managing The Digital Transformation. Springer International Publishing, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57870-5>
- [3] **Tansan, B., Gökbulut, A., Targotay, Ç. ve Eren, T.** (2016). Türkiye'nin Küresel Rekbatçeliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0. (TÜSİAD-T/2016 03/576) https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/download/7494_67a3aa94bcfce900229f42280fa1ba68
- [4] **Tao, F., Qi, Q., Liu A. ve Kusiak, A.** (2018). Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.01.006>
- [5] **Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F. ve Frank, A. G.** (2018). The Expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of Production Economics, 204, 383-394.
- [6] **Fukuda, L.** (2020). Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0. International Journal of Production Economics, 220.
- [7] **Stock, T. ve Seliger, G.** (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing-Decoupling Growth from Resource Use, 546-541.
- [8] **Paelke, V.** (2014). Augmented Reality in the Smart Factory, Supporting Workers in an Industry 4.0. Environment . IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA).
- [9] **Blaga, A. ve Tamas, L.** (2018). Augmented Reality for Digital Manufacturing. 26th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED), 173-178.
- [10] **Gattulo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F. ve Bordegoni, M.** (2019). Towards augmented reality manuals for industry 4.0: A methodology. Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 56, 276-286.
- [11] **Zhu, Z., Liu, C. ve Xu, X.** (2019). Visualisation of the Digital Twin data in Manufacturing by using Augmented Reality. 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, 898-903.
- [12] **Kong, X. T. R., Huang G. Q., Yang X. ve Luo H.** (2018). The Impact of Industrial Wearable Systems on Industry 4.0. IEEE 15th International

Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 1-6, doi: 10.1109/ICNSC.2018.8361266.

- [13] **Azuma, R. T.** (1997). A survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environments* 6, 4, 355-385
- [14] **Cipresso, P., Giglioli I. A. C., Raya, M.A. ve Riva, G.** (2018) The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature. *Frontiers in Psychology*. 9:2086. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086
- [15] **Cardoso, L. F. D. S. C., Mariano, F. C. M. Q ve Zorzal, E. R.** (2020). A survey of Augmented Reality. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106159.
- [16] **Masood, T. ve Egger, J.** (2020). Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation. *Computers in Industry*, 115, 103112.
- [17] **Peed, E. ve Lee, N.** (2018). History of Augmented Reality. Springer Nature Switzerland AG N. Lee (ed.), *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*, https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_282-1
- [18] **Arth, C., Gruber, L., Grasset, R., Langlotz, T., Mulloni, A., Schmalstieg, D. ve Wagner, D.** (2015). The History of Mobile Augmented Reality. *Computer Graphics and Vision* Graz University of Technology, Austria.
- [19] **Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, S. ve Yilmaz, R. M.** (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 103647.
- [20] **Hassan, R. K.** (2019). Augmented Reality Technology: History, Application, Impact on Market & Future Recommendation Challenges. <https://ssrn.com/abstract=3511943>, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3511943>
- [21] **Syberfeldt, A., Danielsson, O., ve Gustavsson, P.** (2017). Augmented Reality Smart Glasses in the Smart Factory: Product Evaluation Guidelines and Review of Available Products. *IEEE Access*, DOI:10.1109/ACCESS.2017.2703952
- [22] **Danielsson, O., Holm, M. ve Syberfeldt, A.,** (2020). Augmented Reality Smart Glasses in Industrial Assembly: Current Status and Future Challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 20, 100175.
- [23] **Url-1** <https://www.scopus.com>, erişim tarihi 06.03.2022
- [24] **Novak-Marcincin, J., Barna, J., Janak, M. ve Novakova-Marcincinova, L.,** (2013). Augmented Reality Aided Manufacturing. 2013 International Conference on Virtual and Augmented Reality in Education, 23-31..
- [25] **Bottani, E. ve Vignali, G.** (2018). Augmented reality technology in the manufacturing industry: a review of the last decade, *IISE Transactions*, DOI:10.1080/24725854.2018.1493244
- [26] **Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R. ve Torabmostaedi, H.** (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.

- [27] **Makris, S., Karagiannis, P., Koukas, S. ve Matthaiakis, A.** (2016) Augmented reality system for operator support in human–robot collaborative assembly. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.038>.
- [28] **Kousi, N., Stoubos, C., Gkournelos, C., Michales, G. ve Makris, S.** (2019). Human Robot Interaction in flexible robotic assembly lines: an Augmented Reality based software suite, 28th CIRP Design Conference, 1429-1434.
- [29] **Maly, I., Sedlacek, D. ve Leitao, P.,** (2016). Augmented Reality Experiments with Industrial Robot in Industry 4.0 Environment. 2016 IEEE 14th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 176-181, doi:10.1109/INDIN.2016.7819154..
- [30] **Bagchi, S. ve Marvel, J. A.** (2018). Towards Augmented Reality Interfaces for Human-Robot Interaction in Manufacturing Environments. Workshop on Virtual, Augmented and Mixed Reality for Human-Robot Interaction, https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=925355
- [31] **Benesova, A., Hirman, M., Steiner, F. ve Tupa, J.** (2018). Analysis of Education Requirements for Electronics Manufacturing within Concept Industry 4.0., 41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)
- [32] **Masood, T. ve Egger, J.** (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0 Implementation challenges and success factors, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 58, 181-195.
- [33] **Vargas, D. G. M., Vijayan, K. K. ve Mork, O. J.** (2020). Augmented Reality for Future Research Opportunities and Challenges in the Shipbuilding Industry: A Literature Review, 10th Conference on Learning Factories, CLF2020, 497-503.
- [34] **O’Connell, E., Moore, D., ve Newe, T.** (2020) Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing, *Telecom 2020*, 1, 48–67; doi:10.3390/telecom1010005.
- [35] **Wuest, T., Kusiak, A., Tinglong, D. ve Tayur, S.** (2020). Impact of COVID-19 on Manufacturing and Supply Networks - The Case for AI-Inspired Digital Transformation (May 5, 2020). <https://ssrn.com/abstract=3593540>
<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3593540>
- [36] **Icten, T. ve Bal, G.** (2017). Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2), 111-136.
- [37] **Ong, S. K., Yew, A. W. W., Thanigaivel, N. K. ve Nee, A. Y. C.** (2020). Augmented reality-assisted robot programming system for industrial applications, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 61, 101820

- [38] **Chan, Q., Zhou, S., Liu, Z., Gao, Q. ve Tan, J.** (2019). Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1(6), 597—610
- [39] **Url-2** <<https://about.facebook.com/meta/>>, erişim tarihi 10.01.2022
- [40] **Bevan, N., Kirakowski, J. ve Maissel, J.** (1991). What is Usability?, *Proceedings of the 4th International Conference on HCI*.
- [41] **Lewis, J. R.** (2006). *Usability Testing*, IBM Software Group, TR 29.3820.
- [42] **Url-3** <https://www.iso.org/standard/63500.html>, erişim tarihi 29.12.2021
- [43] **Nielsen, J.** (1993). *Usability Engineering*, AP Professional
- [44] **Lowdermilk, T.** (2013). *User-Centered Design: A Developer's Guide to Building User-Friendly Applications*, O'Reilly Media.
- [45] **Schaeffer, S. E.** (2014). *Usability Evaluation for Augmented Reality*. University of Helsinki, Department of Computer Science, C-2014-1.
- [46] **Cavalvanti, V. C., de Santana, M. I., Da Gama, A. E. F. ve Correia, W.F.M.** (2018). Usability Assessments for Augmented Reality Motor Rehabilitation Solutions: A Systematic Review, *Hindawi International Journal of Computer Games Technology*, 5387896. <https://doi.org/10.1155/2018/5387896>
- [47] **Holzinger, A.** (2005). Usability Engineering Methods for Software Developers, *Communications of the ACM*, 48-1, 71-74.
- [48] **Nielsen, J.** (1994). Usability Inspection Methods, *CHI '94 Companion*, 413-414.
- [49] **Nielsen, J. ve Molich, R.** (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 249–256.
- [50] **Sauro, J. ve Lewis, J. R.** (2016). *Quantifying the User Experience (Second Edition)*, Chapter 8 - Standardized usability questionnaires, Elsevier, 185-248. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802308-2.00008-4>.
- [51] **Assila, A., de Oliveira, K. M. ve Ezzedine, H.** (2016). Standardized Usability Questionnaires: Features and Quality Focus, *Electronic Journal of Computer Science and Information Technology (eJCSIT)*, 6-1, 15-31.
- [52] **Pachunka, E., Windle, J., Schuetzler, R. ve Fruhling, A.** (2019). Natural-Setting PHR Usability Evaluation using the NASA TLX to Measure Cognitive Load of Patients *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 3954-3963.
- [53] **Sharek, D.** (2011). A Useable, Online NASA-TLX Tool, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 55th Annual Meeting*, 1375-1379.
- [54] **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
- [55] **Brooke, J.** (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, 189(194), 4–7. <https://doi.org/10.1002/hbm.20701>

- [56] **Brooke, J.** (2013). SUS: A Retrospective. *Journal of Usability Studies* 8(2), 29-40.
- [57] **Demirkol, D. ve Şeneler, Ç.** (2018). A Turkish Translation of the System Usability Scale: The SUS-TR, *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 237-253. DOI: <http://dx.doi.org/10.29217/uujss.495>
- [58] **Lewis, J.R.** (1990). Psychometric evaluation of a post-study system usability questionnaire: The PSSUQ (Tech. Report 54.535), International Business Machines Corp.
- [59] **Lewis, J.R.** (1992). Psychometric evaluation of the Post-Study System Usability Questionnaire: the PSSUQ. In: *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting*, Human Factors Society, 1259–1263.
- [60] **Lewis, J.R.** (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: psychometric evaluation and instructions for use. *Int. Journal of Human-Computer Interaction*, 7, 57–78.
- [61] **Hart, S.G.** (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research IBM computer usability satisfaction questionnaires: psychometric, Elsevier Science Publishers B. V., 139-183.
- [62] **Delice, E. K.** (2016). Acil Servis Hekimlerinin NASA-RTLX Yöntemi ile Zihinsel İş Yüklerinin Değerlendirilmesi: Bir Uygulama Çalışması. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 30 (3), 645-662.
- [63] **Kostaras, N. N. ve Xenos, M. N.** (2009). Assessing the Usability of Augmented Reality Systems, 13th Panhellenic Conference on Informatics, PCI2009, Proceedings, 197–201.
- [64] **Santos, M.E. Polvi, J., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C. ve Kato, H.** (2014). A Usability Scale for Handheld Augmented Reality, VRST'14: Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 167-176. <https://doi.org/10.1145/2671015.2671019>
- [65] **Santos, M.E., Polvi, J., Taketomi, T., Yamamoto, G., Sandor, C. ve Kato, H.** (2015). Toward Standard Usability Questionnaires for Handheld Augmented Reality, *Virtual Reality Software and Technology*, IEEE Computer Society, 66-75.
- [66] **Ko, S. M., Chang, W. S. ve Ji, Y. G.** (2013). Usability Principles for Augmented Reality Applications in a Smartphone Environment, *International Journal of Human-Computer Interaction*, 29:8, 501-515, DOI: 10.1080/10447318.2012.722466
- [67] **Kerr, S. J., Rice, M. D., Teo, Y., Wan, M., Cheong, Y. L ve Ng, J.** (2011). Wearable Mobile Augmented Reality: Evaluating Outdoor User Experience, VRCAI 2011, Hong Kong, China, 209-216.
- [68] **Rochlen, L. R., Levine, R. ve Tait, A., R.** (2017). First Person Point of View Augmented Reality for Central Line Insertion Training: A Usability and Feasibility Study, *Simul Healthc.* 12(1), 57–62. doi:10.1097/SIH.0000000000000185.
- [69] **Dey, A., Billinghamurst, M., Lindeman, R. W. ve Swan, J. E. II** (2018). A Systematic Review of 10 Years of Augmented Reality Usability

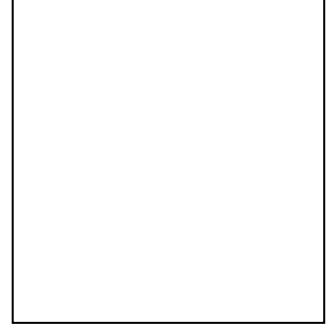
Studies: 2005 to 2014. *Frontiers in Robotics and AI*, 5:37. doi: 10.3389/frobt.2018.00037

- [70] **Merino, L., Schwarzl, M., Kraus, M., Sedlmair, M., Schmalstieg, D. ve Wieskopf, D.** (2020). Evaluating Mixed and Augmented Reality: A Systematic Literature Review (2009–2019). 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 438-451 DOI 10.1109/ISMAR50242.2020.00069
- [71] **Faust, F., Roepke, G., Catecati, T., Araujo, F., Ferreira, M. G. G. ve Albertazzi, D.** (2012). Use of augmented reality in the usability evaluation of products. *IOS Press, Work* 41, 1164-1167 DOI: 10.3233/WOR-2012-0298-1164
- [72] **Albertazzi, D., Okimoto, M. L., ve Ferreira, M. G. G.** (2012). Developing an usability test to evaluate the use of augmented reality to improve the first interaction with a product. *IOS Press, Work* 41, 1160-1163 DOI: 10.3233/WOR-2012-0297-1160
- [73] **Choi, J., ve Kim, G. J.** (2013). Usability of one-handed interaction methods for handheld projection-based augmented reality. *Pers Ubiquit Comput*, Springer-Verlag London Limited, 17, 399–409 DOI 10.1007/s00779-011-0502-1
- [74] **Ojer, M., Alvarez, H., Serrano, I., Saiz, F. A., Barandiaran, I., Aguinaga, D., Querejeta, L. ve Alejandro, D.** (2019). Projection-Based Augmented Reality Assistance for Manual Electronic Component Assembly Processes, *MDPI Applied Sciences*, 10, 796; doi:10.3390/app10030796
- [75] **Jeon, S., Shim, H. ve Kim, G. J.** (2006). Viewpoint Usability for Desktop Augmented Reality. *The International Journal of Virtual Reality*, 2006, 5(3), 33-39
- [76] **Martin-Gonzalez, A., Chi-Poot, A. ve Uc-Cetina, V.** (2016). Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors, *Innovations in Education and Teaching International*, 53:6, 627-636, DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856
- [77] **Lin, H. K., Hsieh, M., Wang, C., Sie, Z. ve Chang, S.** (2011). Establishment and Usability Evaluation of an interactive AR Learning System on Conservation of Fish. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10(4), 181-187.
- [78] **Iordache, D. D. ve Pribeanu, C.** (2009). A Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario. *Informatica Economică*, 13(3), 67-74.
- [79] **Satpute, T., Pingale, S., ve Chavan, V.** (2015). Augmented Reality In E-Learning Review Of Prototype Designs For Usability Evaluation, 2015 International Conference on Communication, Information & Computing Technology (ICCICT)
- [80] **Martin-Gutierrez, J., Contero, M. ve Alcaniz, M.** (2010). Evaluating the Usability of an Augmented Reality Based Educational Application. V. Aleven, J. Kay, and J. Mostow (Eds.): ITS 2010, Part I, LNCS 6094, 296–306.

- [81] **Fischer, M., Fuerst, B. Lee, S. C., Fotouhi, J., Habert, J., Weidert, S., Euler, E., Osgood, G. ve Navab, N.** (2016). Preclinical usability study of multiple augmented reality concepts for K-wire placement. *Int J CARS*, 11, 1007–1014
- [82] **Leitritz, M. A., Ziemssen, F., Suesskind, D., Partsch, M., Voykov, B., Bartz Schmidt, K. U. ve Szurman, G. B.** (2014). Critical Evaluation of the Usability of Augmented Reality Ophthalmoscopy for the Training of Inexperienced Examiners. *RETINA, The Journal of Retinal and Vitreous Diseases*, 34(4), 785-791.
- [83] **Alzua-Sorzabal, A., Linaza, M. T. ve Abad, M.** (2007). An Experimental Usability Study for Augmented Reality Technologies in the Tourist Sector. *Information and Communication Technologies in Tourism*, ENTER 2007. DOI:10.1007/978-3-211-69566-1_22
- [84] **Mcgill, M., Boland, D., Murray-Smith, R. ve Brewster, S.** (2015). A Dose of Reality: Overcoming Usability Challenges in VR Head-Mounted Displays. *HMDs in Augmented & Virtual Reality CHI 2015*, 2143-2152. <http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702382>
- [85] **Lee, M., Billinghamurst, M., Baek, Woonhyuk, B., Green, R. ve Woo, W.** (2013). A usability study of multimodal input in an augmented reality environment. *Virtual Reality* (2013) 17,293–305 DOI 10.1007/s10055-013-0230-0
- [86] **Gabbard, J. L. ve Swan, J. E. II** (2008). Usability Engineering for Augmented Reality: Employing User-Based Studies to Inform Design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(3), 513-525.
- [87] **Quandt, M., Beinke, T. ve Freitag, M.** (2020). User-Centered Evaluation of an Augmented Reality-based Assistance System for Maintenance, 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems, 921-926.
- [88] **Esengün, M., Üstündağ, A. ve İnce, G.** (2022). Development of an Augmented Reality based Process Management System: The Case of a Natural Gas Power Plant, *IJSE Transactions*, DOI: 10.1080/24725854.2022.2034195
- [89] **Url-4** <https://www.mext.org.tr>, erişim tarihi 27.12.2021



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad

: Osman Er