

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK İLE İÇ MEKAN NAVİGASYONU
İÇİN DOĞRULUK ANALİZİ

Salih Hamdi ÇALIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Uzaktan Algılama ve CBS Programı

Danışman
Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Şubat, 2022

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK İLE İÇ MEKAN NAVİGASYONU İÇİN
DOĞRULUK ANALİZİ**

Salih Hamdi ÇALIK tarafından hazırlanan tez çalışması 16.02.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Fatih GÜLGEN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. TÜRKEY GÖKGÖZ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. NECLA ULUGTEKİN, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Fatih GÜLGEN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Artırılmış Gerçeklik ile İç Mekan Navigasyonu için Doğruluk Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Salih Hamdi ÇALIK

İmza

*Aileme
ve
En Yakın Arkadaşıma*



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi danışmanlığını üstlenerek çalışmanın hazırlanması sırasında tecrübesini, ilgisini ve bilgisini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Fatih GÜLGEN'e,

Tüm tez çalışma sürecim sırasında yanımda olan arkadaşlarıma,

Son olarak da yaşamım boyunca beni destekleyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan aileme,

Teşekkürü bir borç bilirim.

Salih Hamdi ÇALIK

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez	5
2 ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK	6
2.1 Artırılmış Gerçeklik Kavramı ve Gelişimi	6
2.2 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Çalışma Prensipleri	9
2.3 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Bileşenleri	10
2.3.1 Donanım Altyapısı	10
2.3.2 Yazılım Altyapısı	20
3 AG İLE İÇ MEKAN NAVİGASYON UYGULAMASI	23
3.1 Yazılım Geliştirme Araçları	23
3.2 Donanım	25
3.3 Çalışma Alanı	27
3.4 Mobil Uygulamanın Çalışma Prensipleri	27
3.5 Mobil Uygulamanın Arayüz Tasarımı	28
3.6 Hazırlık Aşaması	29
3.7 Mobil Uygulamanın APK Dosyasının Oluşturulması	33
4 DOĞRULUK ANALİZİ ÇALIŞMASI	35
5 SONUÇ VE ÖNERİLER	45
KAYNAKÇA	47



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Gerçeklik ve sanallık sürekliliği	7
Şekil 2.2	Artırılmış gerçeklik sisteminin çalışma prensibi	9
Şekil 2.3	Elde taşınabilen gösterici örneği	11
Şekil 2.4	Başa takılan gösterici örneği	12
Şekil 2.5	Sol: AG kum havuzu sistemi. Sağ: AG kum havuzu çalıştırıldığında araziye ilişkin sanal bilginin sunumu	13
Şekil 2.6	Video tabanlı gösterici: Sanal içerik, kamera tarafından yakalanan çevreyle birleştirilir ve sonuç yalnızca bir ekranda görüntülenebilir .	14
Şekil 2.7	Optik tabanlı gösterici: Sanal içerik, şeffaf bir ayna aracılığıyla kullanıcının görüş alanına yansıtılır	14
Şekil 2.8	Sol: Nesne ile ilgili renk kodlarından oluşan 3B bilgi. Sağ: Sanal bilginin doğrudan nesnenin üzerine yansıtılması	15
Şekil 2.9	Altı serbestlik derecesi	16
Şekil 2.10	Takip (izleme) sistemlerinin sınıflandırılması	16
Şekil 2.11	Sol: 2B işaret örneği, Sağ: AG işaretçisi olarak QR kod örneği	17
Şekil 3.1	Unity 3D arayüz tasarımı	24
Şekil 3.2	Mobil cihazın donanım yerleşimi	26
Şekil 3.3	Çalışma alanı	27
Şekil 3.4	Mobil uygulama iş akış diyagramı	28
Şekil 3.5	Mobil uygulama arayüz tasarımı	29
Şekil 3.6	Kat planının Unity 3D'ye eklenmesi	29
Şekil 3.7	Kullanıcı takibi için üretilen kırmızı noktanın gösterimi	30
Şekil 3.8	Sol: Kullanıcının başlangıç noktasındaki konumunu gösteren işaretleyici. Sağ: Kullanıcı hareketine bağlı olarak işaretleyici konumunun güncellenmesi	30
Şekil 3.9	Yürünebilir alanlar (mavi)	31
Şekil 3.10	Hedef konumların harita üzerinde gösterimi	32
Şekil 3.11	En kısa yolun harita üzerinde gösterimi	32
Şekil 3.12	AG tabanlı yönlendirici ok tasarımı	32
Şekil 3.13	Platform ve sahne ayarları	33

Şekil 3.14	Üst: Minimum Android sürümünün ayarlanması. Alt: ARCore etkinleştirilmesi	34
Şekil 4.1	Test bölgesinde ölçülen navigasyon rotaları	35
Şekil 4.2	Test güzergahı	39
Şekil 4.3	Konum doğruluğu dağılımı	43
Şekil 4.4	İzleme doğruluğu	44



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Farklı AG SDK'larının karşılaştırılması	21
Tablo 2.2	Farklı AG SDK'larının üstünlükleri	21
Tablo 2.3	Farklı AG SDK'larının kısıtlıkları	22
Tablo 3.1	Samsung Galaxy M51'in teknik özellikleri	27
Tablo 4.1	Test güzergahlarına ait navigasyon rotaları	36
Tablo 4.2	Chauvenet kriteri	37
Tablo 4.3	Chauvenet kriterine ait sonuncu iterasyon değerleri	37
Tablo 4.4	Chauvenet kriteri sonucu navigasyon rotaları	38
Tablo 4.5	Chauvenet kriterinin standart sapma sonucuna etkisi	38
Tablo 4.6	Uygulama tarafından hesaplanan konum verileri	40
Tablo 4.7	Test güzergahlarına ait konum doğrulukları	41
Tablo 4.8	Chauvenet kriteri sonucu konum verileri	42
Tablo 4.9	Chauvenet kriterinin konum doğruluğuna etkisi	42
Tablo 4.10	Navigasyon rota uzunlukları ve konum doğruluğu arasındaki ilişki .	43

Artırılmış Gerçeklik ile İç Mekan Navigasyonu için Doğruluk Analizi

Salih Hamdi ÇALIK

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

Son yirmi yılda iç ve dış mekanların modellenmesi ve oluşturulan modellere bağlı olarak navigasyon uygulamalarının tasarlanması üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların ürünleri, navigasyon uygulamalarını insan yaşamının vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir. Navigasyon uygulamaları, kullanıcıları yönlendirmek için bir temel altlık haritaya ihtiyaç duyar. Bu temel altlık harita, kullanıcıların gerçek dünyadaki nesneleri harita işaretleriyle eşleştirmesini sağlar. Eşleştirme süreci daha önce harita veya harita tabanlı bir navigasyon uygulaması kullanmamış kullanıcılar için zorlu bir görevdir. Günümüzde artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisinin navigasyon uygulamalarına uyarlanması kullanıcıların bulundukları mekanları daha iyi algılamasını sağlayarak kullanıcı ve harita arayüzü arasındaki etkileşimi artırır.

AG, bilgisayarlardan üretilen ek bilgiler ile bir kişinin çevresinden algıladığı duyuşal izlenimlerinin eş zamanlı olarak zenginleştirilmesidir. Sanal nesnelerin gerçek ortamda gösterilmesini sağlayan AG; eğitim, tıp, askeri ve pazarlama gibi birçok alanda kullanılmaktadır. AG, mobil cihazlardaki donanımsal ve yazılımsal gelişim ile Google ve Apple gibi firmaların geliştirdikleri AG yazılım geliştirme araçlarıyla birlikte navigasyon uygulamalarında da sıkça rastlanan bir teknoloji haline gelmiştir.

Bu çalışma, Android tabanlı akıllı telefonlar için ek donanım gerektirmeyen AG teknolojisini kullanan bir iç mekan yaya navigasyon uygulaması geliştirmeyi ve navigasyonun doğruluk analizini yapmayı hedeflemiştir. Geliştirilen ürün üzerinden kullanıcıların yönlendirilmesinde AG teknolojisi ile navigasyon uygulamalarının

birlikte kullanılmasının etkileri ortaya konulmuştur. Unity oyun geliştirme motoru, ARCore yazılım geliştirme aracı ve C# programlama dili kullanılarak geliştirilen uygulamanın kullanılabilirliği uzun kenarı 150 m ve kısa kenarı 90 m olan iki güzergahlı bir koridora sahip Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi ikinci kat için test edilmiştir. 54 m ile 284 m arasında değişen navigasyon rota uzunluklarında yapılan doğruluk analizi, uygulamanın 0.65 m ile 4.05 m arasında değişen konum doğruluğuna sahip olduğunu göstermiştir. AG teknolojisi donanım ve yazılım alanındaki gelişmeler ile birlikte gelişmeye devam eden ve popülerliği giderek artan bir teknolojidir. Bu doğrultuda AG'ye olan ilgi ve AG'nin navigasyon uygulamalarında kullanıcıların yönlendirilmesine olan katkılarının ortaya konulacağı çalışma sayısı artacaktır. Bu durum AG'yi günlük hayatımızdaki navigasyon süreçlerimizde daha sık karşılaşılan bir teknoloji haline getirecektir.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış gerçeklik, navigasyon, Unity 3D, ARCore, iç mekan

Accuracy Analysis for Indoor Navigation with Augmented Reality

Salih Hamdi ÇALIK

Department of Geomatic Engineering
Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Fatih GÜLGEN

In the last two decades, many studies have been carried out on modeling indoor and outdoor areas and designing navigation applications based on the created models. The products of these studies have made navigation applications an indispensable part of human life. Navigation applications use a background map to guide users. This background provides users to match real-world objects with the map symbols. The matching process is challenging for users who are not familiar with a map or map-based navigation application. Today, the adaptation of augmented reality (AR) technology to navigation applications increases the interaction between the user and the map interface by enabling users to perceive better the places they are.

AR is the simultaneous superimposition of the sensory impressions a person receives from their surroundings with additional information generated by the computer. AR, which enables virtual objects to be displayed in a natural environment, is used in many fields such as education, medicine, the military, and marketing. It has become a frequently encountered technology in navigation applications, hardware and software development in mobile devices, and software development tools developed by companies like Google and Apple.

This study aimed to develop an indoor pedestrian navigation application for Android-based smartphones using AR technology that does not require additional hardware, and to analyze the accuracy of navigation. The effects of using AR technology and navigation applications in guiding users through the developed product were revealed. The usability of the application developed using Unity

game development engine, ARCore software development tool and C# programming language was tested for the second floor of Yildiz Technical University Civil Engineering Faculty, which has a two-way corridor with 150 m long side and 90 m short side. Accuracy analysis at navigation distances ranging from 54 m to 284 m showed that the application has position accuracy ranging from 0.65 m to 4.05 m. AR technology continues to develop with the developments in hardware and software, and its popularity is increasing. In this concept, the number of studies that can reveal the contributions of AR to the guidance of users in navigation applications will increase. This improvement makes AR a more common technology in our daily navigation processes.

Keywords: Augmented reality, navigation, Unity 3D, ARCore, indoor area



1 GİRİŞ

İnsanlar zamanlarının büyük kısmını kapalı mekanlarda geçirmektedir. Hastaneler, alışveriş merkezleri gibi büyük ve karmaşık mekanlarda ziyaretçilerin yön bulma sorunları ortaya çıkmakta ve bir navigasyon aracı kullanma ihtiyacı giderek fazlalaşmaktadır [1, 2]. Dil ve kültürden bağımsız olarak çoğu insan tarafından anlaşılabilen haritalar ve harita tabanlı navigasyon uygulamaları kullanıcıları tanımadıkları bir mekanda yönlendirebilen yardımcı araçlardır [3]. Çoğu navigasyon sistemi, kullanıcı konumunu belirlemek için küresel navigasyon uydu sistemini (GNSS: Global navigation satellite system) kullanır. GNSS, dış mekanlarda iyi çözüm sunabilirken iç mekanlarda sinyallerinin zayıflaması ya da hiç sinyal alınamamasından dolayı iç mekan navigasyon uygulamaları için uygun değildir [1, 4–7]. Buna karşın, kablosuz yerel alan ağı (WLAN: Wireless local area network), bluetooth (BLE: Bluetooth low energy), radyo frekansı (RFID: Radio frequency identification), ultra geniş band (UWB: Ultra wide-band), atalet sensörleri (inertial sensors) gibi teknolojiler ve kablosuz bağlantı alanı iz takibi (wifi fingerprinting), bilgisayarla görme (computer vision) gibi teknikler kullanılarak iç mekan navigasyon uygulamaları geliştirilmektedir [7–11].

Bir navigasyon uygulamasında, kullanıcıların konumlarının tespit edilip doğru ve kesintisiz bir şekilde izlenebilmesi kadar kullanıcıların mobil cihazlarla etkileşiminin sağlanabilmesi için arayüz tasarımı da önemlidir [6]. Çoğu navigasyon sisteminde, kullanılan arayüz tasarımına göre, kullanıcılar ekranda gösterilen yönlendirici işaretleri ve hesaplanan rotayı, bulunduğu ortam ile zihinsel olarak eşleştirme ihtiyacı hisseder. Daha önce harita destekli navigasyon uygulaması kullanma deneyimi olmayan kullanıcıların etkileşimli olarak eşleştirme yapması zordur. AG teknolojisinin görsel ifade gücü ve sanal nesneleri gerçek ortamda göstermesi kullanıcının navigasyon için harcayacağı zihinsel çabayı azaltır ve yönlendirmeleri algılamasını kolaylaştırır [2, 12–15]. AG destekli navigasyon sistemi kullanıcıları, uygulamadaki harita görünümü ile gerçek ortam arasında geçiş yapma ihtiyacı duymadan hesaplanan rota üzerinden yönlendirici işaretler ile arzuladığı hedefe

ulařabilir [6, 16]. AG ile navigasyon, kullancıların navigasyonu daha etkileřimli ve sűrűkleyici kullanmalarını saęlar.

Tez alıřması iç mekan navigasyonunda AG teknolojisinin kullanımına odaklanmıřtır. Bu kapsamda gűnűműz teknolojisine uygun temel donanımlara sahip bir mobil cihaz ile AG teknolojisini kullanan bir iç mekan navigasyon uygulaması geliřtirilmiř ve doęruluk analizi çalıřması yapılarak uygulamanın etkinlięi incelenmiřtir. Tez alıřması beř bűlűmde ele alınmıřtır. Birinci bűlűmde űnceki akademik çalıřmalara, tezin amacına ve tezin hipotezine deęinilmiřtir. İkinci bűlűmde AG teknolojisinin temelleri açıklanmıřtır. Ŭűncű bűlűmde çalıřmanın gerçekleřtirilmesinde kullanılan yűntemler ve yararlanılan yazılımlar ile uygulamanın geliřtirme sűrecinden bahsedilmiřtir. Dűrdűncű bűlűmde uygulamanın doęruluk analizi ayrıntılı bir řekilde ortaya konulmuřtur. Beřinci bűlűmde doęruluk analizinden elde edilen sonuçlar ile uygulamanın olumlu ve olumsuz yűnleri tartıřılmıř, gelecekte yapılabilecek çalıřmalar için űneriler sunulmuřtur.

1.1 Literatűr Ŭzeti

1990'ların ortalarından itibaren bilgi iřleme ve izleme cihazları, dinamik bir mobil ortamda bilgisayarlar tarafından oluřturulan grafik katmanları desteklemek için gűlű ve kűk hale gelmiřtir [17]. Doksanlı yılların sonlarında bu geliřmeleri, kontrollű bir laboratuvar ortamı dıřında geliřtirilen uygulamalar izlemiřtir [18]. 1997 yılında Feiner vd., Columbia Ŭniversitesi'nde ilk dıř mekan AG sistemi olan "Touring Machine" adlı sistemi geliřtirmiřtir [19]. Sistem, kampűs ziyaretçilerine gűrdűkleri binalara ve eserlere ait 3B grafik tur rehber bilgileri sunan '*mobile augmented reality system*' (MARS) olarak adlandırılan Hűlleler [17]'in projesinin ilk prototipidir [20]. 1999 yılında kullanıma açılmıř mobil artırılmıř gerçeklik sistemi MARS, iç mekân ve dıř mekan kullanıcıları için el bilgisayarı, kűresel konumlama sistemi (GPS: Global positioning system) destekli giyilebilir donanım, masaűstű bilgisayar ve 3B model olmak űzere dűrt farklı arayűz ile tasarlanmıřtır. Çalıřma, iç mekan kullanıcıları ile dıř mekan kullanıcıları arasındaki iletiřimi saęlayarak iç mekan kullanıcılarının komutlarını, dıř mekan kullanıcılarına kullandırmak ve dıř mekan kullanıcılarının geri dűnűřlerini, iç mekan kullanıcılarına iletebilmeyi hedeflemiřtir. Çalıřma, AG'nin çok kullanıcılı ekip çalıřmalarındaki etkinlięini ortaya koymasına karřın, çoklu kullanıcılar için her bir kiřinin űzel bilgilerinin kiřiselleřtirilmesini tam olarak destekleyememiřtir [21].

Hűlleler [17]'in MARS uygulaması gibi iřbirlikçi çalıřan bir bařka uygulama Reitmayr ve Schmalstieg [22] tarafından geliřtirilmiřtir. Uygulama, AG teknolojisini kullanarak

turistlerin daha önce bilmedikleri bir bölgeye gittiklerinde, turistik mekanları tanıyabilmelerini ve bu mekanlar ile ilgili bilgileri edinebilmelerini sağlamaktadır. Uygulama kullanıcıları, turistik bölgeyi AG destekli olarak gezebilmekte istedikleri turistik mekana yönlenebilmekte ve çevredeki diğer yapılar hakkında bilgi edinebilmektedir. Uygulamada konum bilgisi GPS kullanılarak sağlanmaktadır.

Joseph vd. [23] tarafından geliştirilen diğer bir uygulama iç mekanda görme engelli kullanıcıların yaşamlarını kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. Geliştirilen uygulama, oda numaraları ve benzeri özel semantik işaretleyicileri kullanarak engelli bireylere bağımsız olarak güvenli seyahat imkanı sağlamayı amaçlamaktadır. Seyahat esnasında kullanıcının rotası üzerinde bulunan engeller kullanıcıya bildirilmektedir. Rota oluşturulduktan sonra kullanıcının konumundan itibaren algılanan her semantik nesne sırasıyla komşu semantik nesneler ile ilişkilendirilmiştir. Kullanıcıların iç mekanda hedeflerine yönlendirilebilmesi için AG teknolojisinin dokunsal ve sesli uyarı teknikleri kullanılmıştır. Dokunsal artırma ile kullanıcıya titreşim gönderilerek kullanıcının rotayı takip edebilmesi, sesli artırma ile ise kullanıcının konumuyla ilgili bilgilerden haberdar olması sağlanmıştır.

Neges vd. [24] işletmelere bakım için gelen teknik personel için iç mekânda bir navigasyon uygulaması tasarlamıştır. Uygulama, AG tabanlı doğal işaretleyici izleme özelliğinin yanında, mobil cihazın konumunu ve yönünü tahmin edebilmek için ek olarak IMU verilerini kullanmıştır.

Jomsri [12], bir kütüphanede aranan kitapların daha kolay ve hızlı bulunabilmesi için AG teknolojisini kullanan bir iç mekan navigasyon uygulaması tasarlamıştır. Uygulamanın konum doğruluğu % 96.5 olarak bulunmuştur. Ek olarak uygulamadan yararlanan kullanıcıların memnuniyet oranı ölçülmüş ve genel memnuniyet oranının (4.29/5) olduğu belirlenmiştir.

Koyun vd. [25], GPS kullanmadan akıllı telefonlarda yer alan ivmeölçer, pusula, kamera ve Bluetooth özelliklerini kullanarak IOS platformu için iç mekan navigasyon uygulaması geliştirmiştir. Uygulama, Xcode ortamında Objective-C programlama dili ile oluşturulmuştur. Uygulamada kullanıcının ilk konumunun belirlenmesi için daha önceden tanımlanan QR kodları, hedeflenen noktaya en kısa yolun hesaplanması için Dijkstra algoritması, kullanıcının iç mekanda takip edilebilmesi ve yönlendirilebilmesi için Bluetooth Beacon cihazları ve yönlendirmeye yardımcı olarak gerçek ortamda görülen sanal yardımcı okların eklenebilmesi için AG teknolojisi kullanılmıştır.

Kim ve Jun [26], kullanıcı tarafından alınan görüntü dizilerinden otomatik olarak kullanıcıya ait konum bilgisini elde etmiştir. Sistem, iç mekana ait görüntüleri içeren bir veritabanı ve konum modeli oluşturulmasına dayandırılmıştır. Kullanıcı hareket

ettikçe kameradan alınan görüntüler kablosuz bağlantı ile veritabanına gönderilmiş ve bu görüntüler veritabanındaki görüntüler ile analiz edilerek kullanıcının konumu belirlenmiştir. Kullanıcının yönlendirilmesinde yardımcı yön işaretleri kullanılmış ve işaretlerin AG teknolojisi ile birlikte görüntülenmesi sağlanmıştır. Kullanıcıların konumları önerilen sistem sayesinde % 89 doğruluk ile belirlenmiştir.

Wang vd. [2], coğrafi olarak etiketlenmiş fotoğraflardaki nesnelerin geometrik modellerini oluşturmuştur. Nesne modellerini hava fotoğraflarının üzerine ekleyerek bunların gerçek konumlarında görüntülenebilmesini sağlamıştır. AG uygulamalarında konum bilgisinin sürekli ve yüksek doğrulukla takip edilebilmesi gerektiğinden çalışmada, GPS ve atalet navigasyon sistemi (INS: Inertial navigation system) birlikte kullanılmıştır.

Tatzgern vd. [16], sanal görüntülerin, sanal dünyaya entegre edildiği yayalar için navigasyon çalışması yapmıştır. Kullanıcıları hedeflerine yönlendirmek için oluşturulan sanal görüntüler, kullanıcılara üç farklı teknikte sunulmuştur. İlk teknik x-ray ışınları ile kullanıcının görüş alanındaki binanın arkasını görebildiği tekniktir. İkinci teknik kullanıcıya rotasındaki görüş alanı dışında kalan ilk görüntünün yansımaları göstermektedir. Üçüncü teknik ise görüntünün yansıması şeklinde değil, gerçekte kullanıcının algılayacağı şekilde görüntüleri sunmaktadır. Üç teknik karşılaştırıldığında x-ray tekniğinin algılanmasının diğerlerinden daha iyi olduğu fakat rotanın, ekranın büyük bir kısmını kapladığı sonucuna varılmıştır. Diğer iki yöntem arasında da üçüncü yöntemin ikinci yöntemden daha işlevsel olduğu görülmüştür.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar hem dış mekan hem de iç mekan için farklı yöntemler kullanılarak kullanıcıların yönlendirilmesine yardımcı olan navigasyon uygulamalarıdır. Mobil cihazlardaki donanımsal ve yazılımsal gelişmelere paralel olarak AG teknolojisinin de gelişmesi ve yaygınlaşması ile birlikte AG ile navigasyonun bir arada kullanılması ilgi çekici bir konu haline gelmiştir. Diğer taraftan ülkemizde bu konu üzerine yapılan çalışmalar yeterli olgunluğa ulaşmamıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, ilk olarak Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi ikinci kat için kullanıcıların konumlarının takip edilmesini sağlayan ve istenilen konuma hızlı ve kolay bir şekilde ulaşabilmesini hedefleyen AG destekli bir akıllı telefon yaya navigasyonu uygulamasının tasarlanması amaçlanmıştır. Daha sonra, bu kapsamda geliştirilecek uygulama üzerinden AG'nin kapalı mekanda kullanıcıların navigasyon süreçlerine sağladığı olanaklar tespit edilecek ve hedefe ulaşma doğruluğu araştırılacaktır.

1.3 Hipotez

- AG teknolojisi ile ek donanıma gerek duymadan kullanıcıların iç mekandaki konumları izlenebilir.
- Kullanıcı izlerinden bulunan mesafe navigasyon doğruluğunu hesaplamada kullanılabilir
- Kullanıcılar AG destekli navigasyon uygulamasını kullanarak ve sunulan yönlendirmeleri takip ederek planladıkları konuma ulaşabilir.



2 ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK

Sanal nesnelerin gerçek ortama eş zamanlı olarak eklenmesini sağlayan AG, aynı anda birçok bilginin sunulmasını gerektiren çeşitli alanlarda kullanılmıştır [27]. Azuma [28] AG'nin, tıbbi görüntüleme teknolojilerinin geliştirilmesi [29], cihaz bakım ve onarımlarının yapılması [30, 31], ek açıklamaların sunulması, robot yolu planlaması, oyun ve eğlence sistemlerinin tasarlanması ve askeri uygulamalarda kullanıldığından bahsetmiştir. Yazılım ve donanım sistemlerindeki gelişim ile akıllı telefonların ve küçük el cihazlarının kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte AG teknolojisinin uygulanabilirliği ve bu alandaki uygulama sayısı hızla artmıştır [32, 33]. İnteraktif haritalar ile arazinin gösterimi ve görselleştirilmesi [34, 35], deniz ve hava trafiği navigasyonu, bina bilgi modellemesi [36, 37], uçuş ve sürüş simülasyonu, konferans ve eğitim faaliyetlerinin sanallaştırılması [34, 38] AG'nin yeni kullanım alanları olarak karşımıza çıkmaktadır [39].

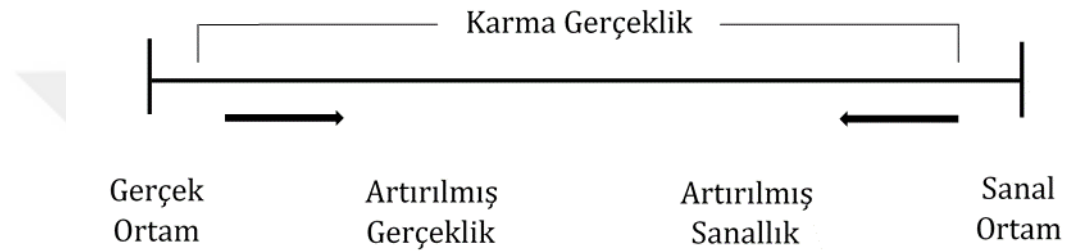
2.1 Artırılmış Gerçeklik Kavramı ve Gelişimi

AG, bir kişinin bilgisayarından üretilen ek bilgiler ile çevresinden algıladığı duyuşal izlenimlerinin eş zamanlı olarak zenginleştirilmesidir [18]. Üst üste bindirilen sanal içerik, kullanıcı tarafından algılanan ortama hem konum hem de yönelim açısından sorunsuz bir şekilde yerleştirilmektedir. Böylece kullanıcının gerçek ortamdaki algısı artırılmaktadır.

Caudell [40] ve Webster vd. [41] AG'yi başa takılan göstericilere (HMD: Head mounted display) dayalı olarak tanımlamıştır. Azuma [28] ise AG'yi başa takılan göstericiler gibi belirli teknolojiler ile sınırlandırmaktan kaçınmış, sanal ortamların ve sanal gerçekliğin bir çeşidi olarak tanımlamıştır. Sanal gerçeklikte, kullanıcılar gerçek ortamdan bağımsız, tamamen bilgisayar tarafından üretilmiş sanal bir çevreye sokulduğu için çevrelerindeki gerçek ortamı göremezler. Sanal gerçeklik teknolojilerinin aksine AG sistemleri ardındaki temel fikir, kullanıcının gerçek ortamdaki görüşünün sanal nesneler ile zenginleştirilmesidir. Böylece gerçek ortam

ve sanal nesnelerin bir araya getirildiği karışık bir sahne oluşur [28, 33, 42]. Azuma [28]'ya göre bir AG sistemi (1) gerçek ve sanal nesneleri birleştirmeli, (2) etkileşimli ve gerçek zamanlı olarak çalışmalı ve (3) gerçek ve sanal nesneleri 3B'li alanda kaydetme imkanı tanınmalıdır. AG ile ilgili genel bilgiyi oluşturmaları ve AG'yi herhangi bir teknolojiyle sınırlandırmayan bu tanım, farklı araştırmacılar tarafından kabul görmüştür [43].

Milgram ve Kishino, gerçek ortamdan sanal ortama geçiş özelliğinden dolayı AG'yi, karma gerçekliğin bir parçası olarak açıklamıştır [44]. Onlar, gerçeklik ve sanallık sürekliliği adını verdikleri tek boyutlu sürekliliği, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik ve karma gerçeklik ile ifade etmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Gerçeklik ve sanallık sürekliliği [44]

Şekil 2.1'deki sürekliliğin solundaki durum, yalnızca gerçek ortamları, sağdaki durum ise sadece sanal ortamları ifade etmektedir. Sürekliliğin ortasında ise karma gerçekliğin bir parçası olan artırılmış gerçeklik ve artırılmış sanallık ifadeleri bulunmaktadır [45]. Artırılmış sanallık, sanal dünyaya gerçek nesnelerin eklenmesi olarak ifade edilmektedir. AG, artırılmış sanallığın aksine, sanal dünya ile değil, gerçek ortam ile ilgilidir ve gerçek ortama sanal nesnelerinin eklenmesi olarak ifade edilmektedir. Karma gerçeklik ise, gerçek nesneler ile sanal nesnelerin bir arada bulunduğu daha geniş bir teknolojidir [44].

Mevcut AG tanımlamalarında, kullanıcıların algısının artırılmasına ilişkin duyuşal herhangi bir kısıtlama yapılmamaktadır [45]. Böylelikle AG teknolojisi ile sadece görsel olarak değil aynı zamanda işitsel, dokunsal gibi diğer duyu organlarımızdaki algıyı da arttırabilmek mümkündür. Görme engelli kullanıcıların yönlendirilebilmesi için sesli bildirimlerin kullanılması AG olarak değerlendirilebilir. Fakat AG ile ilgili çalışmalar daha çok görsel algının artırılmasına yöneliktir [43].

AG alanındaki ilk çalışma, Ivan Sutherland'ın 1968 yılında "Sword of Damocles" adını verdiği başa takılan görüntüleyici prototipi üzerinde yaptığı çalışmasıdır. Prototipteki mekanik kafa konum sensörü oldukça ağır olduğu için tavana asılıdır ve bu nedenle kullanımı çok rahat değildir [46]. Thomas Caudell ve David Mizell 1992 yılında, Boeing firmasındaki çalışanların üretim faaliyetindeki verimliliğini ve

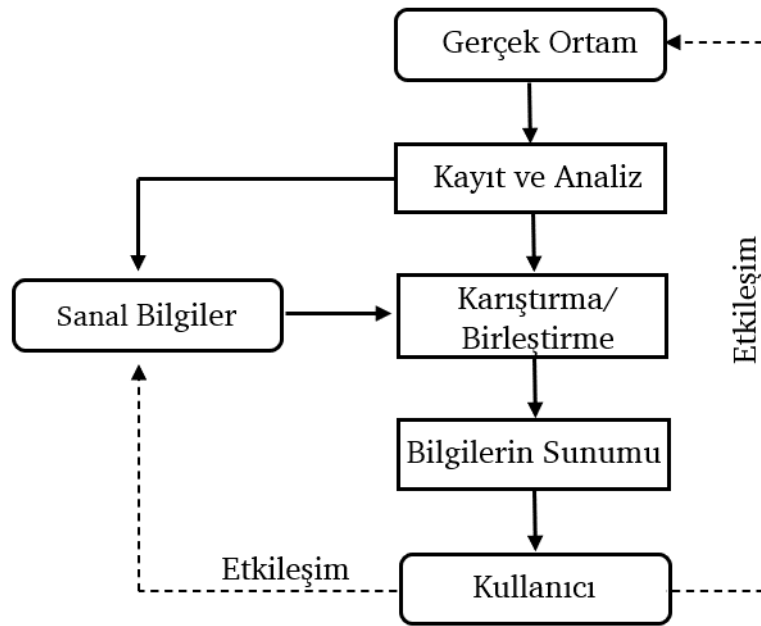
kaliteyi arttırmak için geliştirdikleri başa takılan görüntüleyici ile ilk defa “Artırılmış Gerçeklik” kavramını kullanmışlardır [20, 31]. 1993 yılında Feiner vd., onarım ve bakım prosedürleri için uygun talimatları otomatik olarak sunabilen Knowledgebased Augmented Reality for Maintenance Assistance (KARMA) adı verilen bir AG sistemini tanıtmıştır [30]. 1994 yılında State vd., North Carolina Üniversitesi’nde bir doktorun doğrudan hamile bir hasta içindeki fetüsü gözlemlemesine izin verebilecek tıbbi bir AG uygulaması sunarak AG’nin tıp alanında kullanılabilirliğini göstermiştir [29]. Rekimoto ve Nagao 1995 yılındaki çalışmalarında, kullanıcıların gerçek ortamı bilgisayar tarafından üretilen bilgiler ile birlikte görüntüleyebilmesi için renk kodlarından yararlanarak 2B işaretçi fikrini geliştirmişlerdir [47]. 1966 yılında Schmalstieg vd., birden fazla kullanıcının aynı ortamda paylaşılan sanal nesneleri eş zamanlı olarak görebilmesini sağlayan ilk işbirlikçi AG sistemi olan Studierstube’yi geliştirmiştir [48]. Kato ve Billinghurst 1999 yılında AG için ilk açık kaynaklı yazılım platformu olan Augmented Reality Tool Kit (ARToolKit)’i üretmişlerdir. Yazılım ile birlikte sanal nesneler, fiziksel işaretçiler kullanılarak, gerçek ortama yerleştirilip, kamera ile görüntülenebilmektedir. Açık kaynak kodlu bir yazılım olması, AG uygulamalarının yaygınlaşmasında önemli rol oynamıştır [49]. Bruce Thomas 2000 yılında "ARQuake" adını verdiği ilk mobil AG oyununu geliştirmiştir [50]. 2004 yılında Mohring ve Bimber, 3B işaretçiler ile çalışabilen ilk video tabanlı mobil AG uygulamasını geliştirmişlerdir [51].

Konum tabanlı bir AG uygulaması olan Wikitude, Mobilizy şirketi tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir. Wikitude kullanılarak geliştirilen AR Travel Guide adlı uygulama, telefonlarla çalışabilen ilk AG uygulamasıdır. Uygulamada, kullanıcılara çevrelerindeki mekanlar ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Sonrasında Wikitude yazılım geliştirme aracı (SDK: Software development kit) yayınlanarak kullanıcılara kendi AG uygulamalarının oluşturulmasında katkıda bulunulmuştur [52]. 2012 yılına gelindiğinde ise, Google firması Glass adlı ilk akıllı gözlüğünü tanıtmıştır. Google Glass, sahip olduğu dokunmatik ve sesli kontrol özellikleri ile yönlendirilebilmektedir. Gözlük, sesli kontrol özelliği ile fotoğraf ve video kaydı yapabilir ve Hangout uygulaması ile de kullanıcılara görüntülü konuşma imkanı sağlar. Gözlük, Bluetooth özelliği ile birlikte bir akıllı telefona bağlanarak telefonun internetinden ve GPS verilerinden faydalanabilmektedir [52]. 2013 yılında Volkswagen, servis elemanlarının kullanması için Mobile Augmented Reality Technical Assistance (MARTA) uygulamasını yayınlamıştır. Uygulama, Volkswagen çalışanlarına belirli bir görevin aşamalarının sırayla nasıl yapılacağını ve bunun için kullanılması gereken araç bilgilerini göstermiştir [53]. Microsoft firması, 2015 yılında Hololens adlı akıllı giyilebilir bir AG gözlüğü tanıtmıştır. 2016 yılında üretilen gözlüğü piyasaya sürmüştür [54]. Hololens, iç mekanlarda sanal olarak üretilen içeriğin

("Hologram" olarak adlandırılan) görselleştirilmesinin yanında, sahip olduğu dört kamera ve bir derinlik sensörü ile birlikte, kullanıcıların hareketlerini izleyebilir ve aynı zamanda kullanıcıların bulunduğu çevrenin haritasını çıkarabilir [55, 56]. 2017 yılında AG Topluluğu tarafından terminolojiyi standartlaştırmak için bir AG sözlüğü oluşturulmuştur [57]. Bu sözlükte; AG uygulaması (AR implementation or AR application), cihaz (device), artırma (augmentation), dijital varlık - sanal nesne (digital asset), oluşan sahne (composed scene), kamera görünümü veya AG görünümü (camera view or AR view), poz - altı serbestlik derecesi (pose - six degrees of freedom) ve Referans Görüntü (Reference Image) gibi terimler açıklanmıştır.

2.2 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Çalışma Prensibi

AG sistemleri, gerçek ortamı, bilgisayar ortamında oluşturulan bilgilerle zenginleştirerek kullanıcıların çevrelerine olan görsel ve işitsel algılarını genişletir. Bunun sonucunda kullanıcılar, kendi duyuşsal yeteneklerinin erişemediği bazı bilgilere kolaylıkla ulaşabilirler [58, 59]. Patron (2005), AG sisteminin temel çalışma prensibini Şekil 2.2'de görünen akış üzerinden açıklamaktadır.



Şekil 2.2 Artırılmış gerçeklik sisteminin çalışma prensibi [58]

Sanal bilginin gerçek ortam ile birleştirilebilmesi için ilk olarak gerçek ortam, bir kamera yardımıyla kaydedilir ve kaydedilen görüntüler analiz edilir. Analiz işlemi ile, bir kullanıcının konumu ve yönelimi belirlenir. Gerçek ortam ile bütünleştirilmek istenen sanal bilgiler ise bir bilgisayar ortamında üretilir ve sonra kameranın veya kullanıcının konumuna ve yönelimine göre uyarlanarak gerçek ortam ile birleştirilir.

Son adımda, üst üste binen bilgiler kullanıcıya uygun bir görüntüleme sistemi ile eş zamanlı olarak sunulur ve bu sayede, kullanıcı gerçek ortamda bilgisayar tarafından oluşturulan bilgileri de görüntüleyebilir [58–60].

2.3 Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Bileşenleri

AG sistemlerinin işlevlerini yerine getirebilmesi için bilgisayarlar (işlemciler), girdi aygıtları, göstericiler ve algılayıcılar gibi çok sayıda birbirinden bağımsız kullanılabilen teknik bileşenlere ihtiyaç duyulmaktadır [58]. Bu bileşenler donanım ve yazılım olarak iki temel sınıfta incelenebilir [61]. Donanım, uygulamanın gerçekleştirilmesi için gerekli olan fiziksel gereklilikler iken yazılım, donanımlar arasındaki bağlantıyı sağlayan, işleyişi yöneten bir araçtır [62].

2.3.1 Donanım Altyapısı

AG teknolojisi için dört temel donanım cihazı bulunmaktadır. Bunlar; girdi aygıtları, bilgisayarlar (işlemciler), göstericiler ve takip (izleme) sistemleridir [63, 64]. Bu donanımlar AG için temel gerekliliklerdir. Ayrıca kullanıcının genel deneyimini artırmak için;

- Gerçek ortama eklenecek sanal bilgilerin depolandığı bir veritabanı,
- Veritabanı ile etkileşime girebilmek için internet erişimi,
- Uygulama ile ilgili seslerin veya ses kayıtlarının oynatılabilmesi için hoparlör ve ses sistemleri,
- Sanal nesnelerle etkileşime geçmek ve bunlar üzerinde değişiklik yapmak için daha doğal yollar sağlayan sezgisel arayüz gibi farklı teknolojiler ve donanımlar da kullanılabilir [65].

2.3.1.1 Girdi Aygıtları

AG uygulamalarının kullanıcı tarafından yönlendirilebilmesi için kullanılan girdi aygıtları; eldivenler [66], kablosuz bileklikler [67], dokunmatik ekranlar veya mobil cihazlar gibi sistemlerdir [63]. Girdi aygıtlarının seçimi, AG uygulamasının amacına bağlı değişkenlik gösterir. Örneğin, bir uygulama kullanıcının ellerinin serbest olmasını gerektiriyorsa seçilen girdi aygıtı, kullanıcının uygulamayı yönlendirilebilmesi için ellerini kullanabilmesine veya kullanıcı tarafından tutulmasına olanak tanıyan bir cihaz olmalıdır. Cep telefonu, tablet, dizüstü

bilgisayar vb. mobil cihazlar da bir girdi aygıtı olarak kullanılabilir. AG tabanlı bir mobil uygulamada sanal bilginin istenilen konumda görüntülenebilmesi için mobil cihaz, ilgili konuma yönlendirilir.

2.3.1.2 Bilgisayar İşlemcisi

AG sistemlerinin önemli bir bileşeni olan işlemci, kamera görüntülerini işler ve sanal bilgilerin oluşturulmasını sağlar [62, 63]. Önceleri mobil işlemciler kullanıcıların sırt çantasında yer alan bir laptop ile kullanılırken, mobil cihazlardaki teknolojik gelişmeler ile bu sırt çantası konfigürasyonu yerini daha hafif ve taşınabilir sistemlere bırakmıştır [63].

2.3.1.3 Göstericiler

Göstericiler bilgisayar ortamında oluşturulan sanal bilgileri, kameralar tarafından yakalanan gerçek ortam görüntüsü üzerinde veya direkt gerçek ortam üzerinde kullanıcıların görüntüleyebilmesini sağlayan teknolojidir [43]. Göstericiler kullanımlarına göre; elde taşınabilen göstericiler (ETG), başa takılan göstericiler (BTG) ve mekansal göstericiler (MG) olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılmaktadır [45, 63].

Elde taşınabilen göstericiler

Elde taşınabilen göstericiler, kullanıcının elinde taşıyabileceği ve gerektiğinde görüş alanında konumlandırabileceği görüntüleme sistemleridir [45, 68] (Şekil 2.3). Örneğin; tabletler, cep telefonları ve kameralı kişisel veri yardımcıları (PDA: Personel data assistant) bunlar arasında sayılabilir.



Şekil 2.3 Elde taşınabilen gösterici örneği [69]

Elde taşınabilen görüntüleyicilerin iki üstünlüğü, taşınabilir olması ve kameralı telefonların yaygın kullanılan cihazlar olması nedeniyle kolay erişilebilir bir teknoloji

olmasıdır. Kısıtlılıkları ise, kullanıcının el cihazını her zaman önünde tutma gerekliliği, cihazın ekran boyutuna bağlı olarak kullanıcının sınırlandırılması ve gerçek ortama çıplak göz ile bakılmasına kıyasla geniş açılı cep telefonu kameralarındaki distorsiyon hatalarıdır.

Başa takılan göstericiler

Başa takılan bir kaskın parçası olan ve gerçek ve sanal ortamın her iki görüntüsünü de kullanıcının dünya görüşünün üzerine yerleştiren bir görüntüleyici tipidir [63] (Şekil 2.4). BTG'nin en önemli özelliği, görüntüleyicinin doğrudan kullanıcının gözünün önünde yer alması ve taşınabilir bir cihaz kullanılarak başa takılabilesidir. Böylelikle, kullanıcı başını hareket ettirdiğinde bile görüntüleyici kullanıcının görüş alanında kalmaktadır [45]. İki kameralı stereo göstericilerde görüş açıları ve kameralar arasındaki mesafe, insanların doğal görüşüne olabildiğince yakın olacak şekilde seçilir. Stereo sistemler için daha geniş, alışılmadık görüş açıları gibi doğal görüntüleme parametrelerinden sapmalar, kullanıcının yönünü belirlemesini ve gerçek ortamda hareket etmesini zorlaştırır [18].



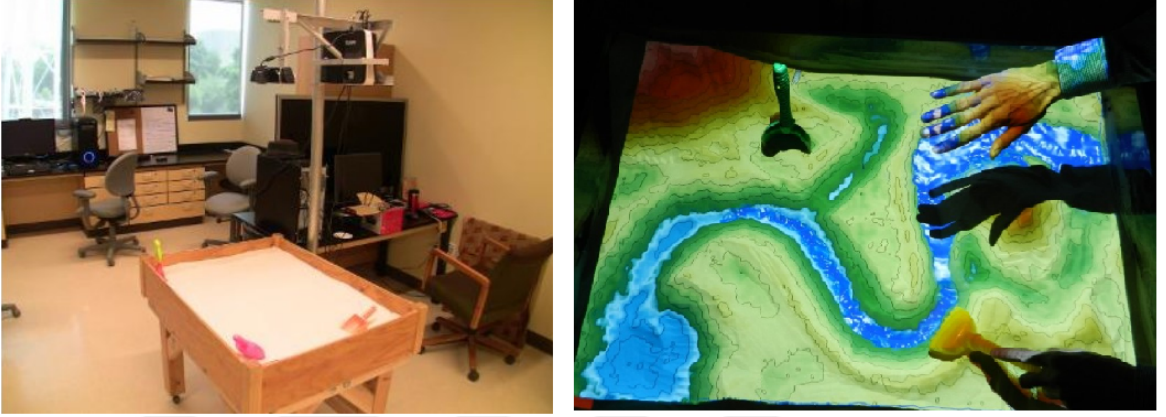
Şekil 2.4 Başa takılan gösterici örneği [18]

Mekansal göstericiler

Mekansal göstericilerde kullanıcının gerçek ortamı, yalnızca bir görüntüleyici aracı ile değil, doğrudan gerçek ortamda yer alan nesnelerin yüzeyine veya düz bir zemin üzerine yansıtılan sanal bilgiler ile algılaması sağlanır [58, 70]. Sanal bilgiler herhangi bir yüzeyde kullanıcıya sunulabileceği gibi, sis, su damlacıkları gibi hacimler üzerinde de sunulabilmektedir [43].

Mekansal göstericiler ile ilgili çalışmalara AG kum havuzu örnek verilebilir. Yer bilimi ile ilgili kavramların öğretilmesi için 3B görselleştirme uygulamaları geliştirmek üzere tasarlanan AG kum havuzu, ABD Ulusal Bilim Kurumu (NSF: National Science Foundation) tarafından desteklenmiştir (Şekil 2.5a) [71]. Microsoft Kinect 3D kamera, görselleştirme ve simülasyon için yazılım ve bir projeksiyon kullanılarak oluşturulan AG kum havuzu, kullanıcıların gerçek kumu şekillendirerek kendi

topografik modellerini oluşturmasına olanak tanır. Model üzerine renklendirilmiş yükseklik modeli, eř yükselti eğrileri ve simüle edilmiş suyu içeren sanal topografya gerçek zamanlı olarak eklenerek kullanıcıların bu sanal bilgileri, gerçek ortamda görebilmeleri sağlanır (Şekil 2.5b). AG kum havuzu ile, bir topografik haritanın nasıl okunması gerektiği, eř yükseklik eğrilerinin, su havzalarının ve su toplama alanlarının ne anlama geldiği interaktif olarak öğretilmektedir.



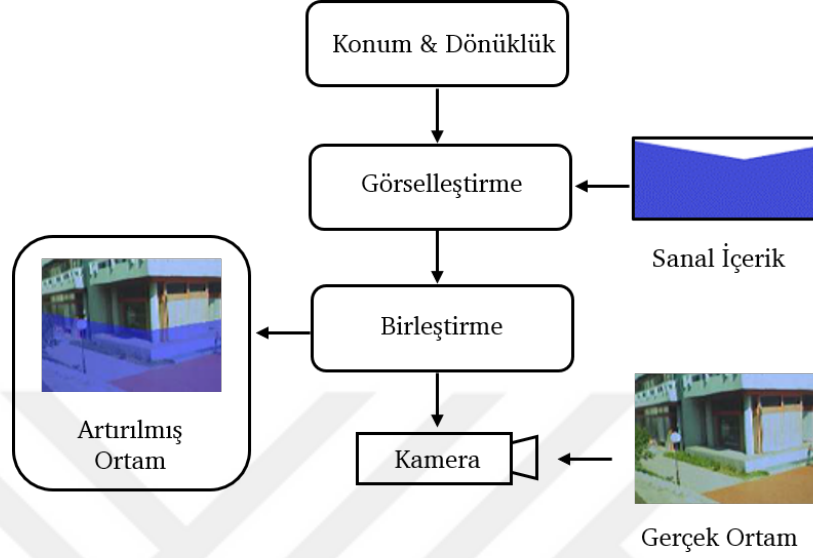
Şekil 2.5 Sol: AG kum havuzu sistemi. Sağ: AG kum havuzu çalıştırıldığında araziye ilişkin sanal bilginin sunumu [72]

Mekansal göstericilerin en önemli üstünlüğü, kullanıcıların başa takılan göstericilerde veya elde taşınabilen göstericilerde olduğu gibi donanımı taşımasına veya takmasına gerek olmamasıdır . Mekansal göstericiler, sanal bilgilerin daha yüksek çözünürlüklü, parlak ve geniş açıdan görüntülenmesini sağlayarak kullanıcı etkileşimini büyük ölçüde artırabilmektedir. Mekansal göstericiler ile ilgili en önemli kısıtlılık ise, gerçek ortam ve sanal nesnenin yansıtılacağı yüzeyin özellikleri ile doğrudan bağlı olmasıdır. Düşük yansıtma oranına sahip veya karanlık yüzeylerde canlı görüntülerin oluşturulması çok zordur. Gerçek ortamın aydınlatması da sanal nesnenin kontrastını etkileyebilmektedir ve görüntülenmek istenen özelliklerin gerçekten farklı görünmesine neden olur [70, 73, 74].

Göstericiler kullanılan yöntemlere göre; video tabanlı, optik tabanlı ve projeksiyon tabanlı olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılmaktadır [45, 58]. Video tabanlı göstericilerde gerçek ortam bir video kamera ile canlı olarak kaydedilir. Kaydedilen gerçek ortam ve gösterilmesi istenen sanal bilgiler bir bilgisayar yardımıyla birleştirilerek yerleşik bir ekranda gösterilir [18] (Şekil 2.6). Kullanıcının gerçek ortam görüş alanı, kameranın görüş alanı, kamera ile ekranın teknik özellikleri ve kameranın konumlandırılmasıyla sınırlıdır [45].

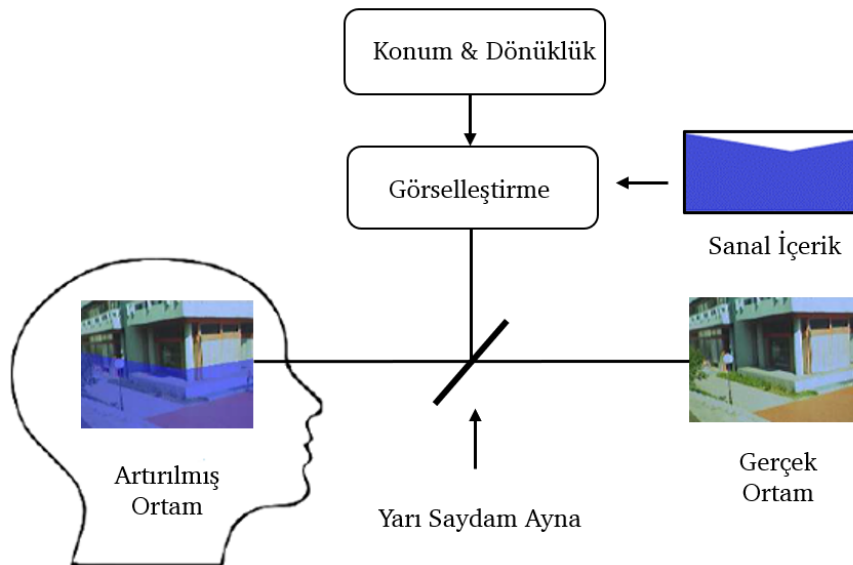
Şekil 2.6, sanal içerik ile gerçek ortamın birleştirilme sürecini göstermektedir. Şekil 2.6'da belirtilen sanal içerik, gerçek bir binanın etrafında akan taşkın yüzeyinin 3B

modelidir. Sanal içeriğin gerçek ortama eklenebilmesi için, göstericinin konumunun ve yönünün bilinmesi gerekir ve bu bilgiler ile birlikte sanal içerik görselleştirilir. Son aşamada ise görselleştirilen sanal içerik ile gerçek ortam birleştirilir ve kullanıcının doğrudan sahada olası taşkın senaryolarını görüntüleyebilmesi sağlanır [75].



Şekil 2.6 Video tabanlı gösterici: Sanal içerik, kamera tarafından yakalanan çevreyle birleştirilir ve sonuç yalnızca bir ekranda görüntülenebilir [18]

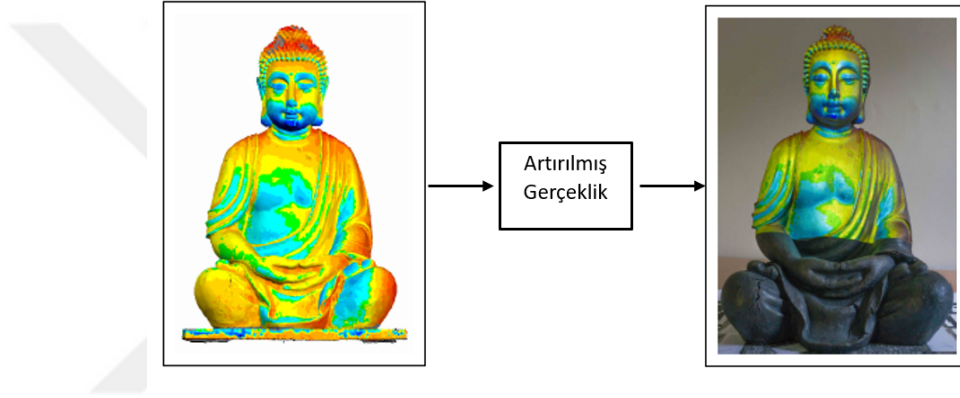
Optik tabanlı göstericilerde sanal nesneler, camların konumu, yönü ve görüntüleme özellikleri hakkındaki bilgiler kullanılarak oluşturulur ve şeffaf bir ayna aracılığıyla kullanıcının görüş alanına yansıtılır (Şekil 2.7). Böylelikle, gerçek ortamın görünümü sanal nesneleri de içerecek şekilde artırılır [75].



Şekil 2.7 Optik tabanlı gösterici: Sanal içerik, şeffaf bir ayna aracılığıyla kullanıcının görüş alanına yansıtılır [18]

Modern bir optik tabanlı göstericisinin örneği, bağımsız çalışma için tüm bileşenlerin gözlüğe entegre edildiği Microsoft'un Hololens gözlükleridir [75]. Hololens gözlüklerinde kullanıcı, sanal nesneleri gerçek ortam üzerinde hologram şeklinde görüntüleyebilmektedir. Hololens, belirli bir kişinin mümkün olan en iyi şekilde gözlüğü kullanabilmesini sağlamak amacıyla, gözbebekleri arasındaki mesafeyi kaydetmek için basit bir kalibrasyon uygulamasına da sahiptir.

Projeksiyon tabanlı göstericiler diğer gösterici teknolojilerine göre yeni bir görselleştirme tekniğidir. Gerçek ortamın görünümü, kullanıcıya optik tabanlı göstericilerde olduğu gibi verilir ancak bir gözlük aracılığıyla değil, gerçek ortamdaki nesnelere yansıtılarak verilir [45] (Şekil 2.8).



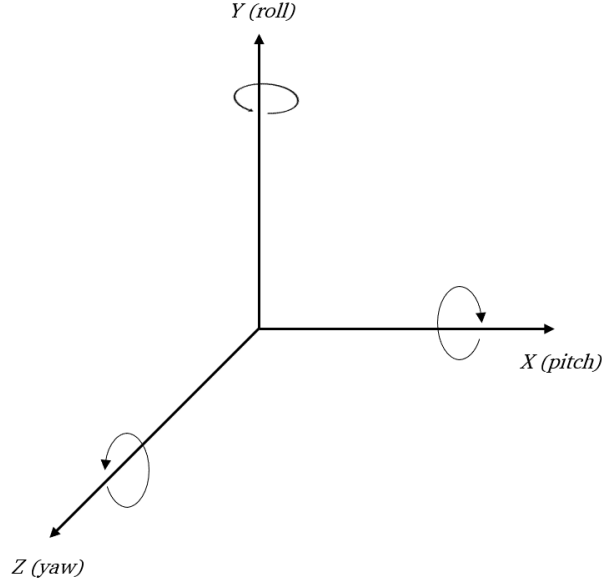
Şekil 2.8 Sol: Nesne ile ilgili renk kodlarından oluşan 3B bilgi. Sağ: 3B bilginin doğrudan nesnenin üzerine yansıtılması [76]

Kullanım şekillerine ve kullanılan teknolojiye göre sınıflandırılan göstericilerin herbirinin belirli üstünlükleri ve kısıtlılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle bir uygulama geliştirilirken gösterici seçimini etkileyen bazı ana değerlendirme kriterleri vardır. Bunlar; (1) boyut, ağırlık ve maliyet gibi genel kriterler, (2) çoklu kullanıcı yeteneği veya dış/iç mekan kullanımı gibi özel uygulama gereksinimleri, (3) çözünürlük, parlaklık, görüş alanı olarak sayılabilir [45].

2.3.1.4 Takip Sistemleri

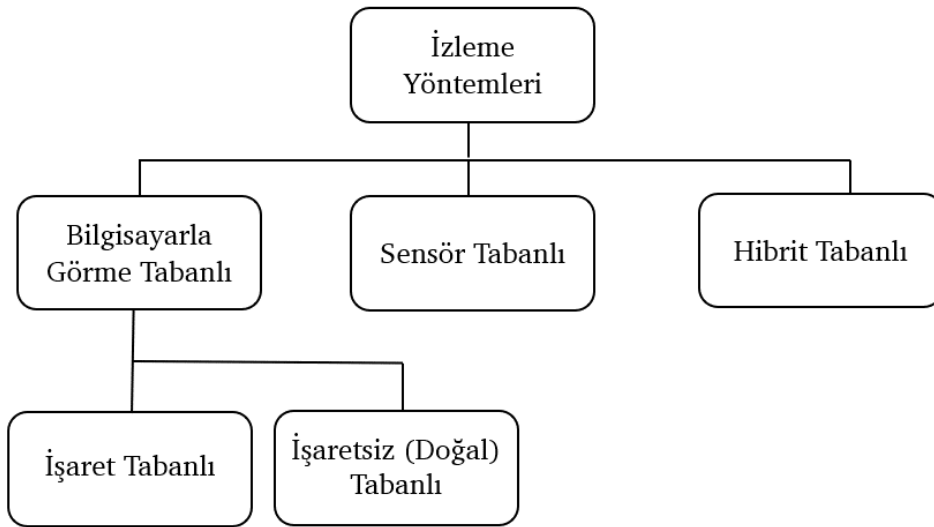
Günümüzde neredeyse tüm uygulamalar, kullanıcıların konumunu kullanır. Anlık olarak kullanıcı hareketlerine bağlı değişen konumun iyi tahmin edilmesi gereklidir. AG teknolojisinde de konumun belirlenmesi oldukça önemlidir [77]. Bu nedenle AG sistemlerinin donanım alanındaki en önemli bileşenlerinden biri, izleme sistemleridir. Sanal nesnelerin gerçek ortama uygun bir şekilde yerleştirilmesi ve kullanıcının bilgisayar sistemi ile doğal etkileşimi için, AG sisteminin çevreyi algılaması ve

kullanıcının hareketini üç konum (x, y, z) ve üç yönelim (roll, pitch, yaw) bileşeninden oluşan altı serbestlik derecesi ile izlemesi gereklidir (Şekil 2.9) [43, 78, 79].



Şekil 2.9 Altı serbestlik derecesi [62]

Bu sayede kullanıcıların konum ve yönelim bilgisi elde edilir ve gerçek ortamda gösterilmek istenen sanal nesneler sürekli olarak görüntülenir. Çalışmanın amacına bağlı olarak, farklı çevresel koşullar ve özellikler nedeniyle kullanıcıların konumlarının takibinin yapılabilmesi için farklı teknikler kullanılmaktadır [78]. İzleme yöntemleri bilgisayarla görme tabanlı (computer vision based), sensör tabanlı (sensor based) ve hibrit tabanlı (hybrid based) olmak üzere temelde üçe ayrılmaktadır [80] (Şekil 2.10).



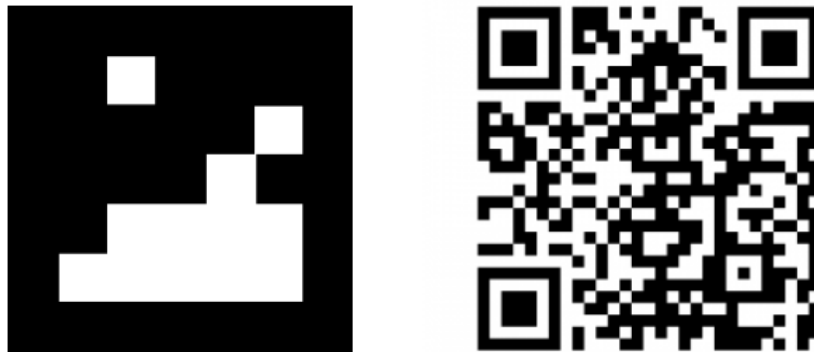
Şekil 2.10 Takip (izleme) sistemlerinin sınıflandırılması [80]

Seçilen yöntemle göre izleme işlemi için kameralar ve/veya diğer optik sensörler kullanılmaktadır [63]. Bir izleme sisteminin değerlendirilmesinde mutlak doğruluk, ortalama gürültü, ölçüm sırasındaki sürüklenme davranışı ile hareket ve ölçüm arasındaki zaman gecikmesi olmak üzere dört tanımlayıcı parametre bulunmaktadır. Bu dört değer, bir izleme sisteminde ne kadar küçük olursa, ölçüm kalitesi de o kadar yükselir [78].

Bilgisayarla Görme Tabanlı İzleme Yöntemi

Bilgisayarla görme tabanlı izleme yönteminde, bir kamera yardımıyla gerçek ortam görüntüsü elde edilir ve bu görüntü ile önceden tanımlanan referans nesneler (işaretçiler, doğal nesneler ve kenar, çizgi gibi karakteristik detaylar) analiz edilerek eşleştirilir. Eşleşmenin sonucunda görüntülenmek istenen sanal bilgiler veya nesneler, gerçek ortamdan elde edilen görüntü ile birleştirilir ve kameranın konum ile yön bilgisi referans noktalarına göre belirlenerek kameranın takibi yapılır [54, 81]. Bilgisayarla görme tabanlı izleme yöntemleri, işaret tabanlı izleme (marker-based tracking) ve işaret tabanlı olmayan veya doğal işaretleyici tabanlı izleme (markerless tracking) olarak iki sınıfa ayrılır [82].

İşaret tabanlı yöntem, görüntü tanıma rutinleri aracılığıyla sanal içeriğin konumunu hesaplamak için kolayca tanınabilen iki veya üç boyutlu nesneler kullanır. Sanal nesnelerin hızlı bir şekilde tanımlanmasını ve ardından konumlandırılmasını sağlamak için yapay işaretçiler çoğunlukla siyah-beyaz ve görüntü içeriğinden yani ortamdan açıkça farklı olan bir şekle sahiptir (Şekil 2.11). İki boyutlu işaretleyiciler ilk kez 1966 yılında Jun Rekimoto tarafından kullanılmıştır. Yıllar içinde kare, daire gibi farklı geometrik şekillerde işaretleyiciler geliştirilmiştir ve QR kodları da işaretleyici olarak kullanılmaktadır [60].



Şekil 2.11 Sol: 2B işaret örneği, Sağ: AG işaretçisi olarak QR kod örneği [60]

İşaret tabanlı izleme, konumlandırma için kullanışlıdır. Ancak işaretçilerin gerçek ortama yerleştirilmesi ve karmaşık ve dış mekanlarda çok sayıda işaretçi eklenmesi gerekmektedir. Bunun yanında işaretçilerin gerçek bir ortamın doğal ögesi olmaması

problemler yaratır. Bazı ortamlar için hedef işaretçilerin eklenmesi alınan izinlerle sınırlıdır. Bu gibi sebeplerden dolayı işaret tabanlı izleme birçok dış mekan uygulaması için çok kullanışlı değildir.

İşaret tabanlı izleme, konumlandırma için kullanışlı olmasına karşın, işaretçilerin gerçek ortama yerleştirilmesi gerekliliği, karmaşık ve dış mekanlar için çok sayıda işaretçi eklenmesi gerekliliği ve bu işaretçilerin gerçek bir ortamın doğal öğeleri olmamasının estetik açıdan yaratacağı problemler, bazı ortamlar için hedef işaretçilerin eklenmesi ile ilgili izin problemleri ve birçok dış mekan uygulaması için çok kullanışlı olmaması bu yöntemin kısıtlılıklarıdır [18, 60]. İşaret tabanlı izlemede karşılaşılan sorunlar, işaret tabanlı olmayan yöntem ile giderilebilir. İşaret tabanlı olmayan yöntem, referans görüntüleri veya modelleri kullanarak kamera görüntüsündeki şekilleri veya nesneleri tanımaya ve böylece görüntülenecek içeriğin doğru konumunu hesaplamaya ve görüntülemeye çalışır [60]. İşaret tabanlı olmayan izleme, model tabanlı (model based) izleme ve nesne tabanlı (feature based) izleme olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır [80, 81].

Model tabanlı izleme, gerçek ortamda yer alan referans nesnelerin 3 boyutlu CAD modellerini veya nesnelerin ayırt edilebilir özelliklerini kullanır [80]. Model tabanlı izleyiciler, hesaplama verimliliği ve kolay ayırt edilebilme açısından genellikle modele ait kenarları kullanır. İzleyici, kullanıcıların görüş alanındaki kenarları, modele ait kenarlarla eşleştirerek kameranın konumunu ve yönelimini hesaplar [83].

Nesne tabanlı izleme yönteminde, gerçek ortamda yer alan nesnelere ait doku, zemin, kenar, sınır gibi 2B görüntü özellikleri ile gerçek ortamda yer alan nesneler arasında bir benzerlik kurularak kameranın konum ve yönelim bilgisi hesaplanır [80]. Bu hesaplama, sistem farklı niteliklere sahip referans özelliklerini görüp tanımladıkça devam eder ve bu sayede kameranın konum ve yönelim takibi yapılır [81].

İşaret tabanlı yöntemlerde olduğu gibi işaret tabanlı olmayan yöntemlerde bazı kısıtlar mevcuttur. İşaret tabanlı olmayan yöntemde kameranın veya kullanıcının konumu ile yöneliminin hesaplanabilmesi için eş zamanlı ve hızlı bir şekilde ilgi noktalarının belirlenebilmesi gerekir. Dış mekandaki uygulamalarda, gün içerisinde ışık şiddetinin değişmesi ilgi noktalarının tanımlanmasını ve eşleştirilmesini zorlaştırır [81].

Sensör Tabanlı İzleme Yöntemi

Sensör tabanlı izleme yöntemlerinde kullanıcıların konumu ve yönü bilgisayarla görme tabanlı izlemedeki gibi kameralar yardımıyla değil GNSS, atalet ölçü birimi (IMU: Inertial Measurement Unit), mikro elektro mekanik sistemler (MEMS: Micro electro mechanic systems) gibi sensör ve özel algılayıcılar ile belirlenmektedir [60].

GNSS, dış mekan navigasyon uygulamaları için en popüler yöntemdir. GNSS, uzun süreli ve mutlak ölçümler sağlayabilir ve diğer sensörlerle entegre edilebilir [84]. Ancak GNSS, uydular ile doğrudan bir görüş hattı gerektirdiğinden iç mekanlarda çözüm üretmez. IMU, ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre kombinasyonlarından faydalanarak kullanıcıların hız ve yön bilgisini ölçen ve raporlayan elektronik bir cihazdır [85]. IMU sistemlerinin en önemli üstünlüğü, diğer sensörlerde meydana gelen sinyal kesintileri ve yansıtıcı yüzeylerdeki sinyal sapmaları gibi etkilere sahip olmamasıdır. Ancak IMU çeşitli gürültü ve hatalara sahiptir. Bu nedenle yüksek doğruluğa sahip veriler toplansa da gürültü ve hataların birleşik etkileri nedeniyle uzun süreli kullanıcı takibinde doğruluk düşer [86]. MEMS teknolojisi, düşük güç tüketimi ile ucuz, hafif ve küçük boyutlu atalet sensörlerinin üretimini sağlamıştır. MEMS, IMU gibi kullanıcıların üzerinde ek bir kurulumla ihtiyaç duymaması, kullanıcıların zamanlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri mobil cihazlarında doğrudan yer alması ve kolay ulaşılabilir olması sayesinde, IMU kadar hassas ölçüm kalitesine sahip olmamasa da navigasyon çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir teknolojidir [85, 87].

İvmeölçer, algılayıcı cihaza ait ivmelenmeyi sağlayan kuvvetleri m/s^2 veya g (yer çekimi kuvveti) cinsinden ölçen sensördür [88]. Üç eksen için ölçülen ivme değerinin 1. dereceden integrali alınarak hız verisi, 2. dereceden integrali alınarak doğrudan mesafe bilgisi elde edilebilir ve ivmeölçerler navigasyon uygulamaları için adım uzunluğu ile adım sayısı ölçümünde de kullanılır. İvmeölçerler kullanıcının hareketine bağlı oluşan kuvvetin yanında, yer çekimi kuvveti, hata payı ve gürültüleri de ölçmektedir [89].

Jiroskop x , y ve z eksenleri için açısal hızı rad/s biriminde ölçer. Üç boyutlu dönüklük bilgisinin belirlenmesinde kullanılır ve ivmeölçer verileri ile bütünleştirilerek cihazın konum takibi yapılır [90]. Diğer sensörlerde olduğu gibi jiroskoplar da sürüklenme ve sistematik hataları içermektedir [89].

Manyetometre, mikrottesla biriminde cihaza ait manyetik alanı ölçer [90]. Ölçülen manyetik alan, cihaza ait manyetik alanı ve dünyanın kendi manyetik alanını içerir. Manyetometre jiroskop sensöründe olduğu gibi dönüklük bilgisinin elde edilmesinde kullanılır. Fakat çevredeki manyetik alan oluşturabilecek cihazlardan etkilenebilir.

MEMS ve IMU'da yer alan ivmeölçer zayıf dinamik özelliklere, jiroskop ise zayıf statik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, çalışmadan beklenen doğruluk ve çalışmanın amacına bağlı olarak kullanılan sensörler yeterli çözümler sunamayabilir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için Attitude and Heading Reference System (AHRS), bütünleyici filtresi (complementary filter) ve Kalman filtresi gibi yöntemler

geliştirilmiştir. Bu yöntemler ile farklı sensörlerden gelen veriler birleştirilerek sensörlerin gerçek durumunun en iyi tahmin sağlanır [85].

Hibrit Tabanlı İzleme Yöntemi

Birden çok izleme yönteminin bir arada kullanılmasına hibrit tabanlı izleme yöntemi denir [78, 82, 91]. Hibrit tabanlı izleme yöntemleri, bireysel yöntemlerin avantajlı oldukları alanlarda kullanılması ile her bir yöntemin bireysel dezavantajlarını telafi eder [78, 92]. Örneğin, bilgisayarla görme tabanlı izleme sistemlerinde, izlemenin kesintisiz bir şekilde devam edebilmesi için ortamda ilgi noktalarının tespit edilebilmesi gerekir. Birbirine çok benzer objelerin yer aldığı bir ortamda farklı ilgi noktalarının tespit edilememesi izleme kayıplarına yol açar. Bu kayıpların önüne geçebilmek için atalet sensörleri uygulamaya dahil edilebilir. Bir GNSS sensörü konum bilgisini sunabilirken, kullanıcının yön bilgisini sunamamaktadır. Bilgisayarla görme tabanlı izleme sisteminde ise kullanıcının yönü belirlenebilir. Çözüm olarak, sistemde GNSS'in konumu gösterdiği ve görme tabanlı izlemenin eş zamanlı olarak yönlendirmeyi belirleyebildiği bir yaklaşım kullanılabilir [82].

2.3.2 Yazılım Altyapısı

Artırılmış gerçeklik projelerinde; Sanal modellerin oluşturulması, modellerin gerçek ortamda hizalanması ve eş zamanlı olarak görüntülenmesi, kullanılan donanımlar arasındaki etkileşimin sağlanması ve kullanıcıların uygulama ile etkileşime geçebilmesini sağlayan arayüz tasarımı için yazılım altyapısına ihtiyaç vardır [93]. Yazılım altyapısının oluşturulmasında geliştiricilere yardımcı olan SDK'ların sunmuş olduğu özellikler sayesinde AG tabanlı uygulamalar, daha kolay ve hızlı bir şekilde oluşturulabilir. Ancak uygulamanın yetenekleri, SDK'ların özellikleri ve kısıtlılıklarıyla sınırlıdır [81].

Tablo 2.1'de en çok bilinen SDK'lardan olan Vuforia, Metaio, Wikitude, ARToolKit, D'Fusion ve ARCore kendi içinde lisans tipine, desteklendiği platforma ve izleme yeteneklerine göre sınıflandırılmıştır [83, 94, 95]. Tasarlanan uygulamanın özelliklerine göre ücretli-ücretsiz, Android'te, IOS'ta veya hibrit çalışan, GPS - IMU destekli olan ya da olmayan SDK'lar arasından seçim yapılabilir. SDK'ların ücretsiz versiyonunun olması geliştiriciler için bir avantajdır. Ayrıca tüm işletim sistemlerinde çalıştırılabilmesi sayesinde elde mevcut bulunan cihaz üzerinde uygulama tasarlamaya imkan vermektedir. Uygulama amacına göre farklı izleme tiplerine uygun SDK'nın seçilmesi gerekmektedir. Navigasyon uygulamaları için tercih edilen izleme yöntemleri olan GPS ve IMU altı SDK'dan dördünde kullanılabilir durumdadır.

Tablo 2.1 Farklı AG SDK'larının karşılaştırılması [83, 94]

SDK		Vuforia	Metaio	Wikitude	ARToolKit	D'Fusion	ARCore
Özellik							
Lisans	Ücretsiz	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Ticari	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Platform	Ios	✓	✓		✓	✓	✓
	Android	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Windows	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İzleme	GPS		✓	✓		✓	✓
	IMU		✓	✓		✓	✓
	Yüz		✓			✓	✓
	Doğal Nesne	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	3B Nesne	✓	✓			✓	✓

SDK'lar daha detaylı incelenecek olursa SDK'ların birbirlerine göre üstünlükleri ve kısıtlıkları Tablo 2.2 ile Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Üstünlük ve kısıtlıklar temel AG uygulamaları dışındaki uygulamalar için SDK seçiminde önemli rol oynar. Örneğin büyük ölçekli görüntü kaynağına sahip bir uygulama için Vuforia'nın sahip olduğu bulut veritabanı bir avantajken görüntülerin cihazdaki depolanma sınırı olması dezavantajdır. Bir başka örnekte ise birden çok farklı formatta gerçek zamanlı etkileşimli 3B içeriklere sahip uygulamalar için D'Fusion iyi bir çözüm sunabilirken videolardaki sesleri desteklememesi SDK'nın kısıtlıklarındandır.

Tablo 2.2 Farklı AG SDK'larının üstünlükleri [83, 94, 95]

Üstünlükler	
Vuforia	Bulut veritabanı, binlerce görüntü hedefinin depolanmasına izin verir.
Metaio	İzlenebilir nesne sayısında herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır.
Wikitude	AG içeriği, temel HTML5, JavaScript ve CSS kullanılarak programlanabilir. AG uygulamalarının bir platformdan diğerine kolay taşınabilirliği.
ARToolKit	Birden çok platformda AR uygulama geliştirme mümkündür. Açık kaynak kodlu SDK.
D'Fusion	Yüksek kaliteli 3B içerik, birden çok 3B nesne formatı desteği ile artırılabilir. Şifrelenebilir medya desteği.
ARCore	Hareket izleme, çevresel anlama ve ışık tahmini gibi özelliklere sahiptir.

SDK'lar uygulama geliştirmek için kendi başlarına yeterli değildir ve bir yazılım geliştirme ortamına veya Eclipse, Unity 3D gibi bir tümleşik geliştirme ortamına (IDE: Integrated Development Environment) ihtiyaç duyar [96]. IDE'ler, yazılım geliştirme

Tablo 2.3 Farklı AG SDK'larının kısıtlıkları [83, 94, 95]

Kısıtlıklar	
Vuforia	Cihaz veritabanı sadece 100 görüntü ile sınırlıdır.
Metaio	Karmaşık 3B nesnelerin oluşturulması zordur.
Wikitude	Yalnızca 2B model izleme ile sınırlıdır.
ARToolKit	Kendi başına konum tabanlı AG'yi desteklemez.
D'Fusion	Video desteğine sahip fakat videoyla ilişkili ses desteği bulunmamaktadır.
ARCore	Tüm cihazlar için desteği bulunmamaktadır.

için bilgisayar programcılarına kapsamlı olarak sağlayan yazılım uygulamalarıdır ve kaynak kodu düzenleyicisinden, yapı otomasyon araçlarından ve hata ayıklayıcısından oluşmaktadır. İşlem kolaylığı, kütüphane desteği ve çapraz platform olması nedeniyle Unity 3D; oyun geliştiricileri, 3B içerik üreticileri ve AG uygulama geliştiricileri için uygun bir IDE'dir.

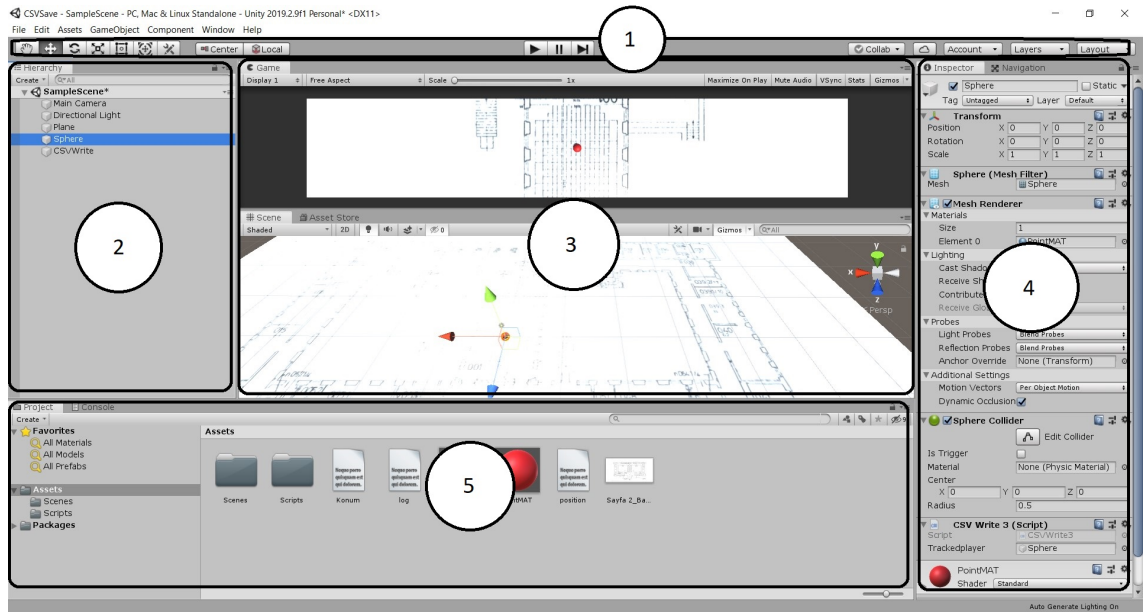
3.1 Yazılım Geliştirme Araçları

Tez çalışmasında tasarlanan AG destekli mobil navigasyon uygulaması çapraz platform oyun geliştirme motoru Unity, artırılmış gerçeklik eklentisi Google ARCore ve Visual Studio yazılım geliştirme araçları ile C# programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Unity, üç boyutlu oyunlara benzer etkileşimli içerikleri oluşturmak için kullanılan Unity Technologies firması tarafından üretilmiş bir yazılım motorudur [97]. Unity sayesinde varlıklar sahnelere ve çevrelere istenilen konumda ve istenilen şekilde eklenebilir, ses ve özel efektler oluşturulabilir ve animasyonlar hazırlanabilir. Unity'nin üç boyutlu ortamında hazırlanan bir proje eşzamanlı olarak test edilebilir. Windows, IOS, Android gibi platformlar üzerinden mobil cihazlar vasıtasıyla yayınlanabilir. Çok sayıda farklı kütüphane desteği sağlayan Unity'de algılama ve izleme gibi temel AG işlevleri etkinleştirilebilir ve AG uygulamaları veya oyunları kolayca oluşturulabilir.

Unity, (1) Araç Çubuğu, (2) Hiyerarşi Paneli, (3) Sahne ve Oyun Görünümü, (4) Kontrol Paneli ve (5) Proje ve Konsol Paneli olarak isimlendirilen beş ana bileşenden oluşur [98]. Şekil 3.1'de görünen Unity arayüzünde 1 numara ile işaretlenen araç çubuğu; oynat, duraklat ve ileri butonlarını kapsar. Oynat butonu, uygulamayı test etmek için kullanılır. Butona basıldığında oyun görünümü otomatik olarak öne çıkarak yazılan kodlar çalışmaya başlar. 2 numara ile gösterilen hiyerarşi penceresi, geliştirilen uygulamadaki sahneleri oluşturacak tüm farklı nesneleri göstermektedir. Unity'de nesneler hiyerarşik bir yapıda tutulabilir. Bu yapı içinde nesneler tek bir nesneye atanabilir ve atanan tüm nesneler çocuk nesne olarak adlandırılır. Hiyerarşik yapı Unity içinde ebeveynlik sistemi olarak tanımlanır. Bu sayede çok fazla nesnenin bulunduğu projelerde karışıklığın önüne geçilir ve tüm ilgili nesnelerin bir kerede güncellenmesi sağlanır. 3 numara ile gösterilen pencere, hem sahne hem de oyun görünümünü gösterir. Sahne görünümü, uygulamanın geliştirildiği, nesnelerin konumlandırıldığı ve görüntülenebildiği penceredir. Oyun görünümü, uygulamadaki kameraların görüntülerini görebildiğimiz penceredir. Oyun görünümü

sayesinde uygulamanın eş zamanlı olarak görüntülenmesi sağlanır. 4 numara ile gösterilen kontrol panel panceresi, uygulamada kullanılan nesnelerin özelliklerinin görüntülediği ve nesnelere ait düzenlemelerin yapıldığı bir penceredir. Pencerede nesnelerin niteliklerine bağlı olarak farklı özellikler sunulur. Ayrıca her nesnenin üç boyutlu konum (position), dönüklük açısı (rotation) ve ölçek (scale) parametrelerini sunan bir dönüşüm (transform) bileşeni bulunur. Parametreler nesneleri bir kartezyen koordinat sisteminde konumlandırmaya yarar. 5 numaralı pencere, proje ve konsol panelidir. Proje paneli, uygulamaya ait dosyaları ve bu dosyaların hiyerarşisini gösterir. Örneğin uygulamaya eklenen kütüphaneler, materyaller, nesneler ve kod dosyaları bu pencereye eklenir ve görüntülenir. Konsol paneli, uygulamaya ait kod dosyalarındaki tüm sorunların, uyarıların ve hataların görüntülediği kısımdır.



Şekil 3.1 Unity 3D arayüz tasarımı

ARCore, Google firması tarafından AG uygulama geliştiricileri için tasarlanan bir yazılım geliştirme aracıdır [99]. ARCore, Unity ve benzeri Unreal, Android, IOS gibi platformlara yazılım geliştirme ortamı sağlar. Hareket izleme (motion tracking), çevresel anlama (environmental understanding), ışık tahmini (light estimation) gibi temel AG özellikleri için gereken destek ARCore tarafından sağlanır. Bu özellikleri kullanan uygulama geliştiricileri, yeni AG deneyimleri oluşturabilir veya mevcut mobil uygulamalarına AG deneyimleri ekleyebilir. Örneğin; hareket izleme özelliği bir mobil cihaz kullanıcısı tarafından gerçek ortamda hareket ederken mobil cihazın konumunu izlemek için kullanılır. Bu özelliğin temelinde yerleştirme ve eşleştirme metodu veya eş zamanlı konum belirleme ve eşleştirme (SLAM: Simultaneous localization and mapping) olarak adlandırılan bir algoritma bulunur. Ayrıca, ARCore sayesinde mobil cihaza ait kamera görüntüsünde ilgi noktaları adı verilen görsel olarak farklı unsurlar algılanır ve bu konumlarda meydana gelen değişiklikler hesaplanır. Gerçek

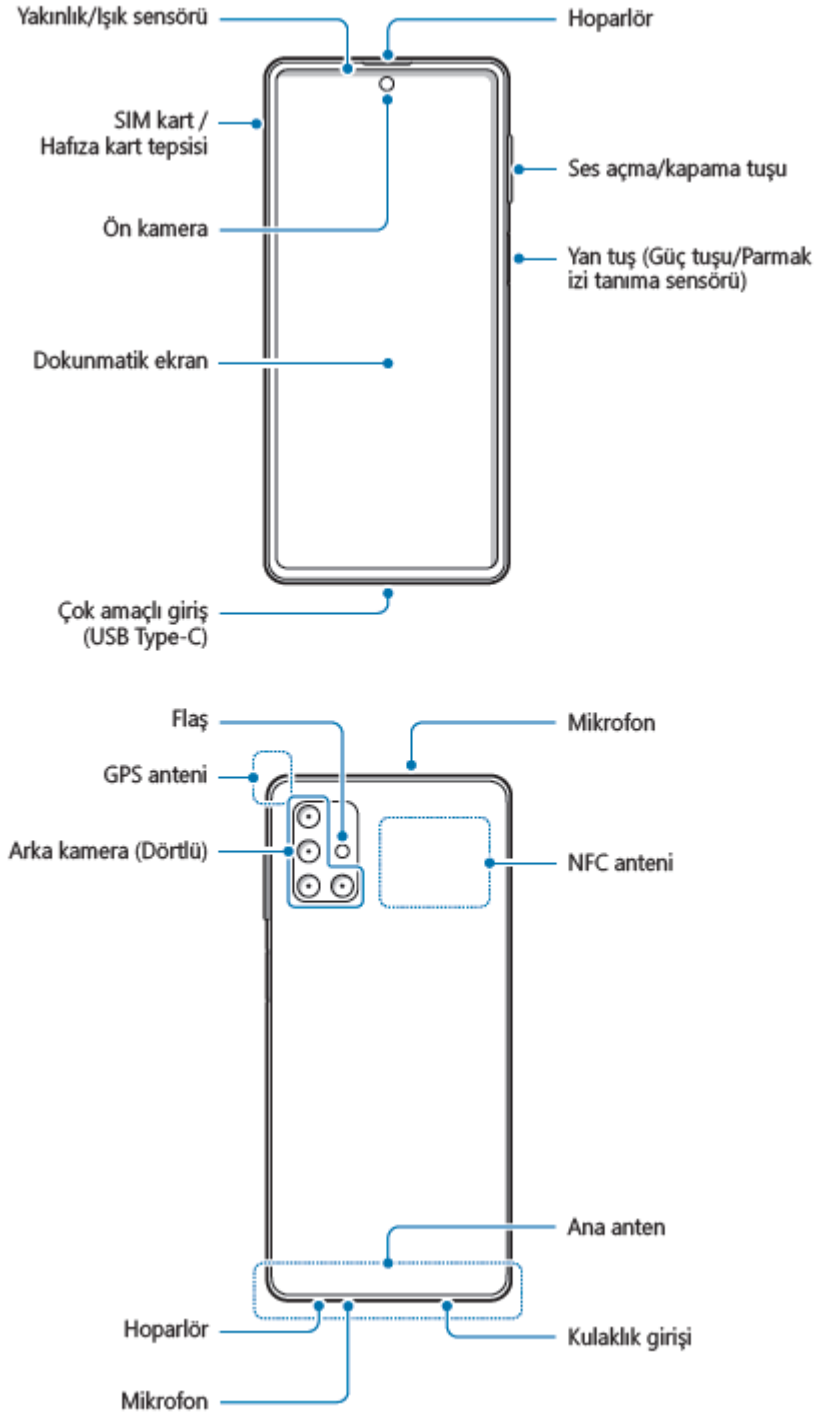
ortama göre kameranın konumunu ve yönünü tahmin edebilmek için, elde edilen görsel bilgiler ile mobil cihazın atalet ölçü biriminden gelen veriler birleştirilir. Böylece mobil cihaz takip edilir. Mobil cihazın kamerası ve atalet ölçü birimini kullanması ARCore'u bilgisayarla görme ve sensör tabanlı izleme sistemlerini bir arada kullanan bir sistem haline getirmiştir. ARCore'un çevresel anlama ve ışık tahmini özellikleri AG tabanlı uygulamalarda sanal nesnelerin gerçek ortama yerleştirilmesi ve gerçekçi görüntülenmesi için kullanılır. Çevresel anlama özelliği, yatay ve dikey nokta kümeleri yardımıyla duvar veya zemin gibi düzlemleri tespit eder. Sanal nesnelerin bu düzlemlere yerleştirilmesini sağlar. Işık tahmini özelliği, kamera görüntüsündeki aydınlatma bilgisini algılayarak sanal nesnelerin gerçek ortam ışığına göre aydınlatılmasını sağlar. Bu sayede sanal nesneler gerçek ortamda daha gerçekçi görünür [100].

Google ARCore yazılım geliştirme aracı temelde Android 7.0 ve daha yeni sürümlere sahip cihazlarda çalışmaktadır. Ancak Android sürümünün yanında mobil cihazın donanımları da yeterli olmalıdır. Bu yeterlilikler Google tarafından AG uygulamalarında kullanılan sertifikasyon süreci ile kontrol edilir. Sertifikasyon, cihazların kameralarını, hareket sensörlerini, tasarım mimarilerini ve işlemcilerini kapsar. Google ARCore internet sitesinde desteklenen cihazların bir listesi paylaşılmaktadır. Ayrıca kullanıcılar Google Play Store üzerinden "Google Play Services for AR" uygulamasını arayarak cihazlarının desteklenip desteklenmediğini öğrenebilir [101].

Microsoft Visual Studio, Microsoft tarafından geliştirilen bir tümleşik geliştirme ortamıdır (IDE: Integrated development environment) [102]. Visual Studio, C/C++, VB.NET, C# gibi birçok programlama dillerini destekler. Visual Studio; IntelliSense, CodeLens ve hata ayıklama gibi çeşitli olanaklar sunar. IntelliSense, kod önerileri ile değişkenleri hızlı ve doğru bir şekilde kodlamayı sağlar. CodeLens, kodda yapılan değişiklikleri, bu değişikliklerin ne zaman gerçekleştiğini ve etkilerini tespit etmeye yarar. Hata ayıklama özelliği sayesinde hatalar kolaylıkla tespit edilir [103]. Microsoft Visual Studio, Unity programı tarafından desteklenmektedir.

3.2 Donanım

Çalışmada test cihazı olarak Samsung Galaxy M51 akıllı telefonu kullanılmıştır. Cihazın donanımlarının yerleşimi ve teknik özellikleri Şekil 3.2'de ve Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Cihazın sahip olduğu işletim sistemi ve donanımı, hem kullanıcıların konum ve yönelimlerinin takibinde hem de kullanıcıların yönlendirilmesinde kullanılan yardımcı kılavuz oklarını işleme ve görüntülemeye kullanışlı ve etkilidir.



Şekil 3.2 Mobil cihazın donanım yerleşimi

Tablo 3.1 Samsung Galaxy M51'in teknik özellikleri

İşlemci	Qualcomm Snapdragon 730G
Bellek	8 GB RAM
Kamera	64 MP, f/1.8 – 12 MP, f/2.2 – 5 MP, f/2.4
Sensörler	Jiroskop, Pusula, İvmeölçer, Yakınlık Sensörü, RGB Işık Sensörü
Ekran Boyutu ve Çözünürlüğü	6.7" – 1080x2400
İşletim Sistemi	Android 10

3.3 Çalışma Alanı

Çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi ikinci kat için geliştirilmiştir (Şekil 3.3). Bu mekanda akademisyen ve seminer odaları, derslikler, kütüphane, bilgisayar laboratuvarı ve dekanlık gibi toplam 93 ayrı ofis odası bulunmaktadır. Yürünebilir uzun koridorların uzunlukları 150 m ve 90 m'dir. Şekil 3.3'de gösterilen 1, 2, 3 numaralı koridorların genişlikleri sırasıyla 5,50, 3,00 ve 3,00 m'dir.

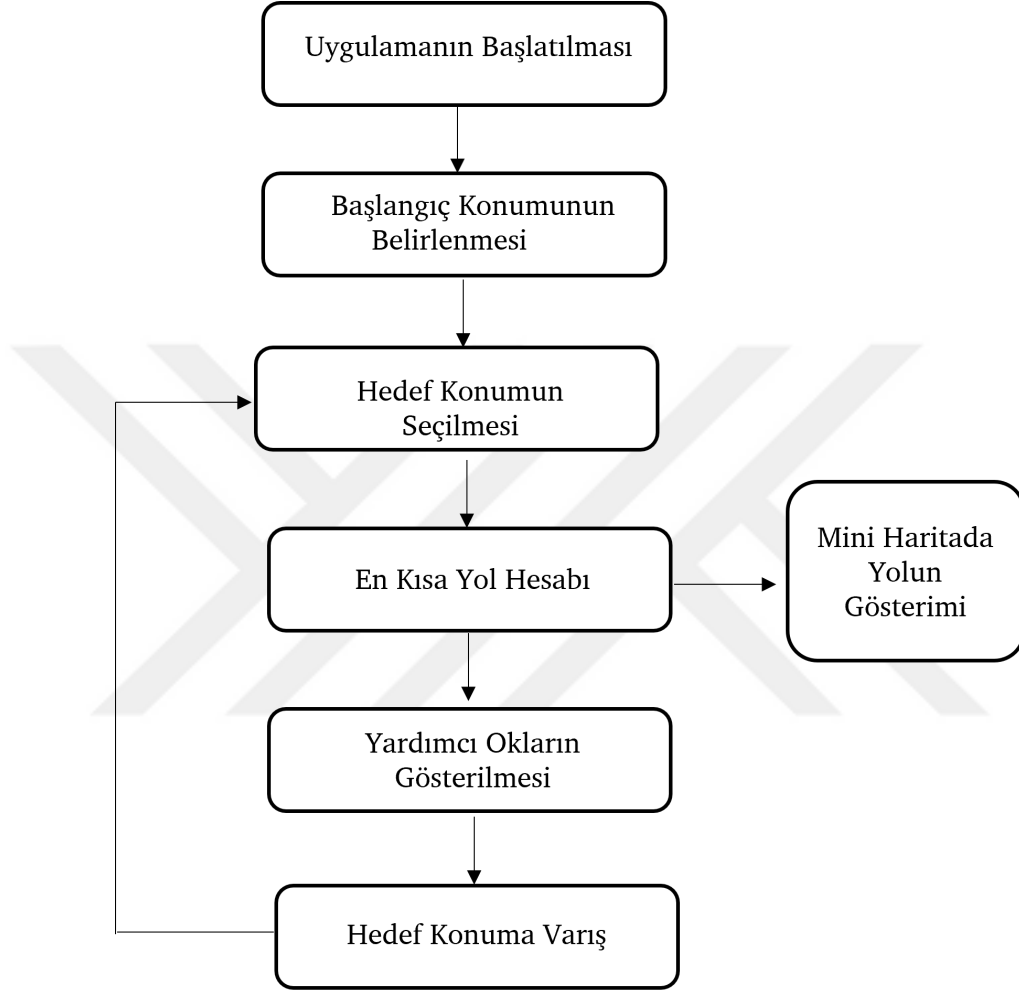


Şekil 3.3 Çalışma alanı

3.4 Mobil Uygulamanın Çalışma Prensipleri

Mobil uygulamanın çalışma akışı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Uygulama önceden tanımlanmış sabit bir noktadan başlayarak çalışır. Sonra kullanıcı gitmek istediği konumu belirler. Ardından uygulama en kısa yolu hesaplar ve kullanıcının kat

planı üzerinde katedeceği yol ekranda görünür. Ayrıca kullanıcıları yönlendirmede ana unsur olarak kullanılan yardımcı oklar, AG teknolojisi kullanılarak kullanıcıların kamera görüntüleri üzerinde görünür. Böylelikle kullanıcıların klasik navigasyon uygulamalarında olduğu gibi gerçek ortam ile uygulama arasında bağlantı kurmasına gerek kalmamaktadır.



Şekil 3.4 Mobil uygulama iş akış diyagramı

3.5 Mobil Uygulamanın Arayüz Tasarımı

Mobil uygulamanın kullanılabilirliğini artırmak için arayüz tasarımının kullanıcı dostu olması ön planda tutulmuştur. Uygulamada temelde (1) kullanıcıların gitmek istedikleri konumu seçebilecekleri ve (2) seçimi silebilecekleri iki buton yer almaktadır. İki butona ek olarak, (3) kullanıcıların kat planı üzerindeki konumlarını takip edebilecekleri mini bir harita ve (4) mini haritada yer alan kat planının ana ekranın tamamında görüntülenmesini sağlayan ve kat planı üzerinde gezinme, yaklaşma ve uzaklaşma gibi işlemlerin yapıldığı bir görüntülemeye geçişi sağlayan bir buton yer almaktadır (Şekil 3.5).

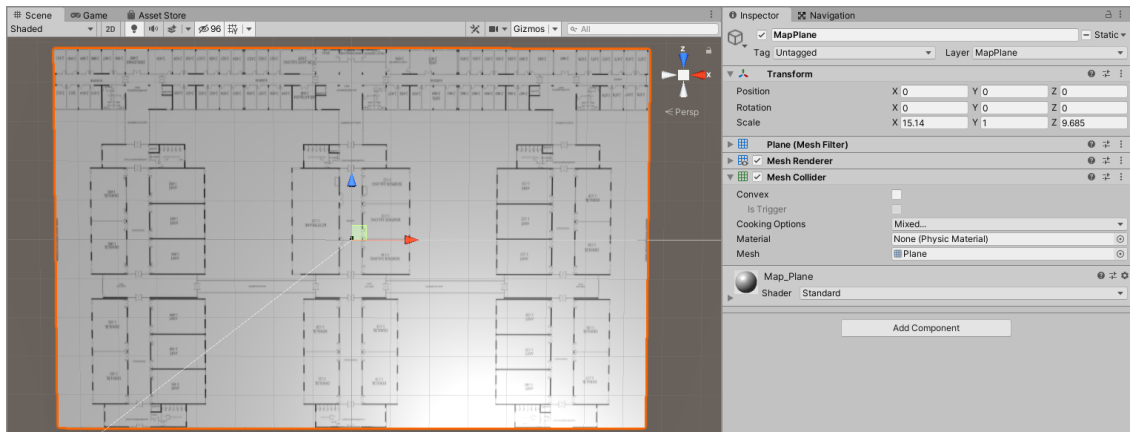


Şekil 3.5 Mobil uygulama arayüz tasarımı

3.6 Hazırlık Aşaması

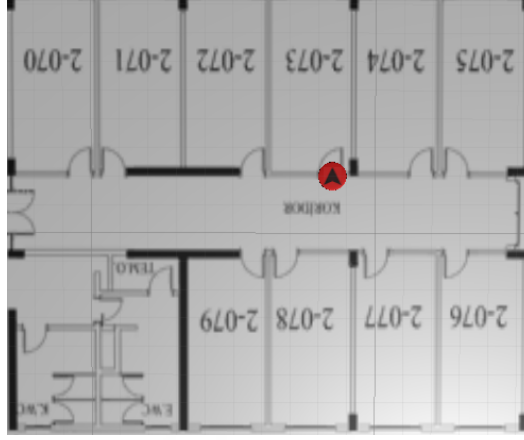
Bu aşamada ilk olarak Unity’de oluşturulan projenin AG işlevlerini etkinleştirebilmek için Google ARCore yazılım geliştirme aracı, oluşturulan projeye dahil edilmiştir. Unity’de, ARCore yazılım geliştirme aracının temel gereksinimlerini karşılamak için proje ayarlarında ARCore aracı etkinleştirilmiştir ve minimum Android sürümü 7.0 (API seviyesi 24) olarak düzenlenmiştir.

İkinci aşamada uygulamanın çalıştırılacağı İnşaat Fakültesi’ne ait kat planları CAD ortamından Unity’de oluşturulan projeye aktarılmıştır (Şekil 3.6). Kullanıcı takibinin yapılabilmesi için CAD ortamındaki detay büyüklüklerinin (ölçeğin) Unity ortamında korunması gerekir. Veri dönüşüm aşamasında ölçek bozulmaları bina içinde hareket eden AG kullanıcısının takibini imkansız hale getirir.



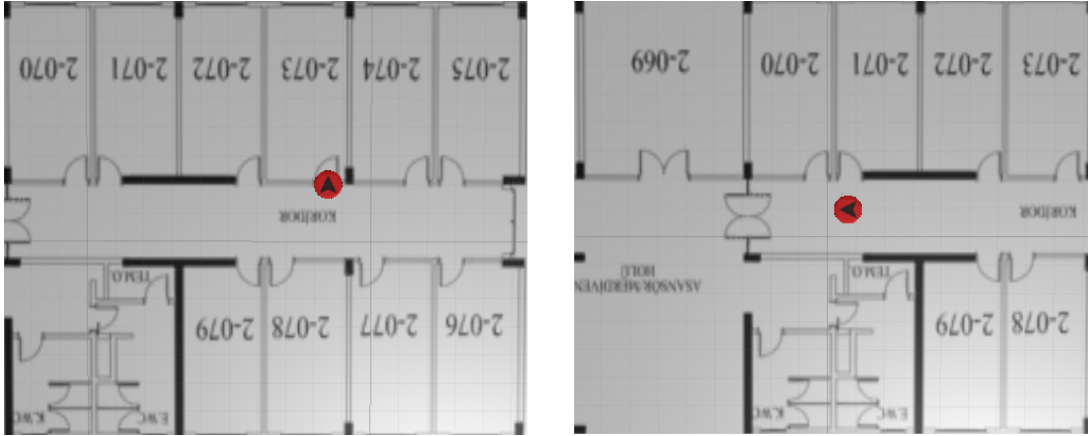
Şekil 3.6 Kat planının Unity 3D’ye eklenmesi

Unity programına kat planı eklendikten sonra kat planı üzerinde kullanıcıların konum ve yönelim takibinin yapılabilmesi için kullanıcıları tanımlayan bir nokta işaretleyicisi oluşturulmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Kullanıcı takibi için üretilen kırmızı noktanın gösterimi

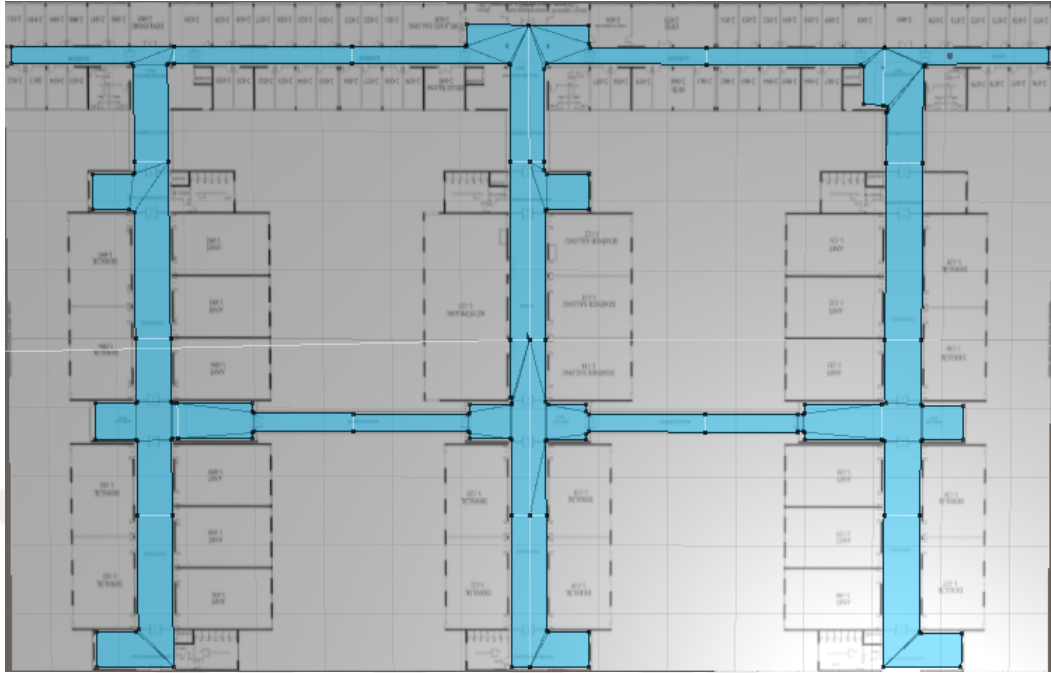
Google ARCore yazılım geliştirme aracının sahip olduğu hibrit tabanlı (bilgisayarla görme ve sensör tabanlı izleme yöntemlerinin bir arada kullanıldığı) mobil cihaz izleme özelliği ile birlikte C# yazılım dili kullanılarak kullanıcıların konum ve yönelim bilgilerinin takip edilmesi sağlanmıştır. Elde edilen konum ve yönelim bilgileri ile kullanıcıların hangi doğrultuda ne kadar yürüdükleri yani konum farkları hesaplanmıştır. Sonra kullanıcının harita üzerindeki konumunu gösteren işaretleyicinin konum bilgisi güncellenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Sol: Kullanıcının başlangıç noktasındaki konumunu gösteren işaretleyici.
Sağ: Kullanıcı hareketine bağlı olarak işaretleyici konumunun güncellenmesi

Navigasyon uygulamalarında kullanıcıların konum ve yönelim bilgilerinin doğru tespit edilmesinin yanında gidilmek istenen hedef noktaya en kısa yoldan ve en kısa sürede gidilmesi de önemlidir. Çalışma kapsamında geliştirilen uygulamada başlangıç noktası ile hedef nokta arasındaki en kısa yolun hesaplanması için Unity Navmesh eklentisi kullanılmıştır. Navmesh eklentisinin en kısa yolu hesaplayabilmesi için öncelikle

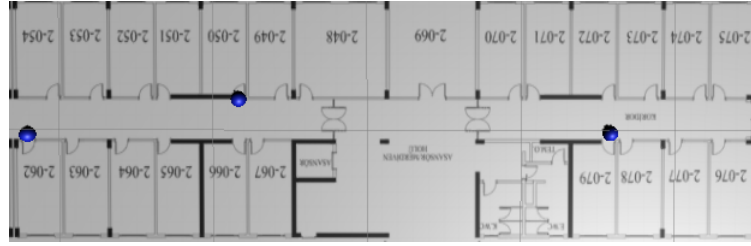
harita üzerindeki yürünebilir alanların belirlenmesi gerekir. Bu alanlar, kat planları üzerinden koridor sınırları dikkate alınarak belirlenmiştir (Şekil 3.9).



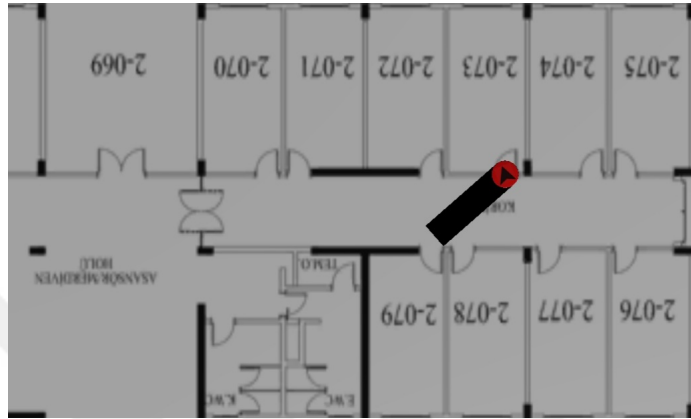
Şekil 3.9 Yürünebilir alanlar (mavi)

Unity Navmesh, belirlenen yürünebilir alan üzerinde başlangıç ve hedef noktaları arasındaki en kısa yolu hesaplamak için A* Arama (A Star Search) algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma çokgen ağı üzerine yerleştirilen düğüm noktalarını kullanarak çalışır. En kısa yol düğüm noktaları yardımıyla hesaplanmaktadır. Algoritma, başlangıç konumuna en yakın düğüm noktasının işaretlenmesiyle başlar. Olası bağlı düğümler arasındaki hareket etme maliyeti (yol uzunluğu, yol süresi gibi) en az olacak şekilde hedef konuma ulaşana kadar tüm düğümleri ziyaret eder ve en kısa yol güzergahını belirler. Çalışmada maliyet parametresi yol uzunluğu olarak seçilmiştir. Çalışmanın yapıldığı iç mekanda asansör, yürüyen merdiven gibi farklı alternatif sistemler bulunmadığı için tüm yol ağı eşit ağırlıklı sınıflandırılmıştır ve maliyet sadece yol uzunluğuna bağlı olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan çalışma bölgesinde alternatif ulaşım araçları kullanılırsa, bunlar önceliklerine göre ağırlıklandırılarak değerlendirilmelidir. Örneğin asansör, yürüyen merdiven ve merdiven kullanımına sırayla 1, 1.5 ve 2 ağırlığı verilebilir ve ulaşım araçları ile gidilecek mesafe bu ağırlık değerleri ile çarpılarak yeni yol maliyetleri oluşturulabilir.

Navigasyon uygulaması için belirlenen hedef konumlar, harita üzerinde işaretlenerek (mavi noktalar ile) gösterilmiştir (Şekil 3.10). Kullanıcıların başlangıç noktasından gitmek istedikleri hedef konuma ulaşma sürecinde kat ettikleri yol, Unity’de yer alan çizgi oluşturucusu kullanılarak harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.11).

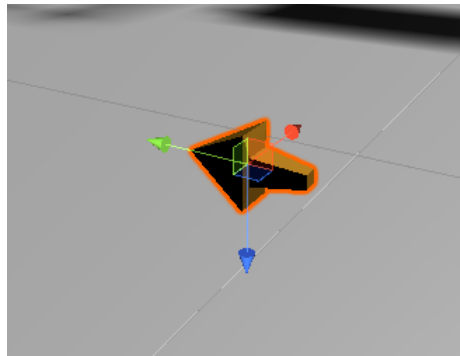


Şekil 3.10 Hedef konumların harita üzerinde gösterimi



Şekil 3.11 En kısa yolun harita üzerinde gösterimi

Kullanıcıları iç mekanda yönlendirmek için yardımcı, yönlendirici araç olan bir ok Unity ortamında oluşturulmuştur (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 AG tabanlı yönlendirici ok tasarımı

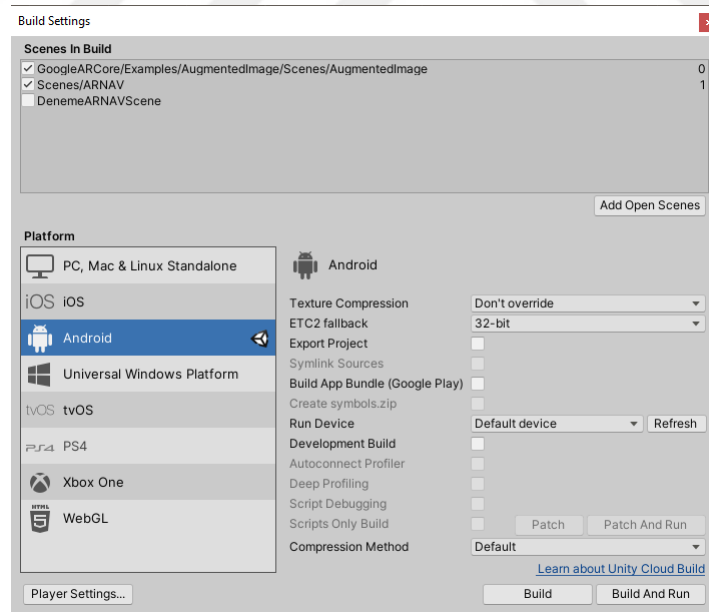
Üç boyutlu yönlendirici ok, kullanıcıları mobil cihazın ekranı üzerinden kamera yardımıyla yönlendirmektedir. Yönlendirici okun ekranın belirli bir bölümünde görüntülenebilmesi için sabitleyici (Anchor) kullanılmıştır. Bu özellik okun, kullanıcının önünde ve bakış açısı doğrultusunda sabit bir konumda görüntülenmesini sağlar. Yönlendirici okun, uygulama üzerindeki yerleşiminin yanında kullanıcıların navigasyon sürecinde kesintisiz bir şekilde yönlendirilebilmesi için gerçek ortama göre konumlandırılması ve yönelim açısının hesaplanması gerekir. Yönlendirici ok, kullanıcıların konum bilgisi kullanılarak kullanıcıların 2,00 m önünde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Kullanıcıların hareketine duyarlı olacak şekilde, yönlendirici

okların yönelim açıları, hesaplanan en kısa yolun başlangıç ve bitiş noktasının koordinat değerlerinden hesaplanmıştır.

Yönlendirici okların konumlandırılmasının ve yönelim açılarının hesaplanmasının yanında kullanıcıları yönlendirmek için okun davranışının da iyi kurgulanması gerekir. Bu nedenle okun etrafına çarpıştırıcı (collider) eklenerek kullanıcıların yardımcı okları takip edip etmediğinin kontrolü yapılmış ve kullanıcılar, yönlendirici okun olduğu konuma geldiğinde bu okun silinerek tekrar oluşturulması sağlanmıştır. Bu sayede mobil cihazın ekranı üzerinde bir çok okun yaratacağı görsel karmaşıklığın önüne geçilerek kullanıcıların yönlendiriciyi rahat bir şekilde takip edebilmesi sağlanmıştır.

3.7 Mobil Uygulamanın APK Dosyasının Oluşturulması

Uygulamanın geliştirilmesindeki son aşamada APK dosyası oluşturulmuştur. İlk olarak geliştirme platformu Android olarak seçilmiş ve uygulamada yer alacak sahneler belirlenmiştir. Sahneler uygulamadaki gösterim sırasına göre numaralandırılarak (0,1,2 gibi) sıralanmıştır (Şekil 3.13). Daha sonra uygulamada kullanılan ARCore yazılım geliştirme aracı etkinleştirilmiş ve minimum Android sürümü 7.0 (API seviyesi 24) olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 3.14).



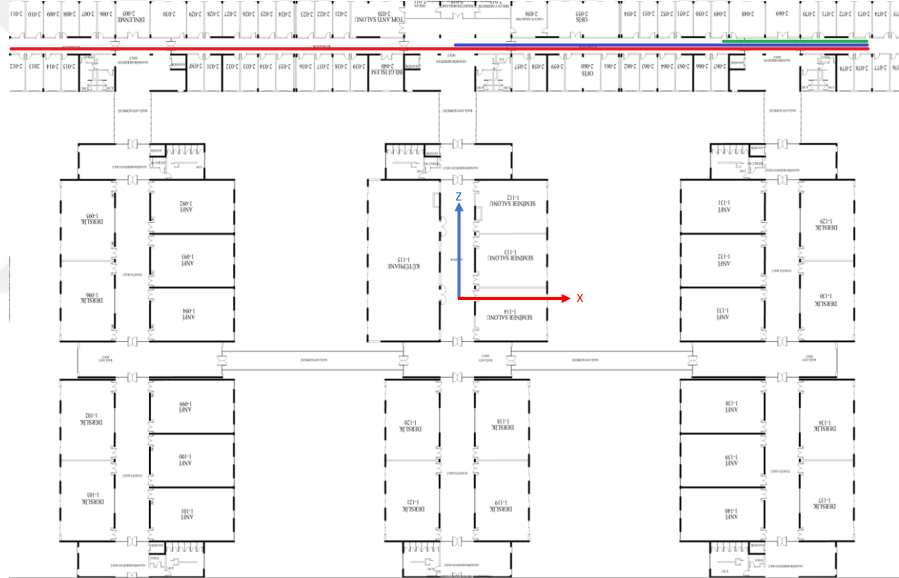
Şekil 3.13 Platform ve sahne ayarları

Identification	
Package Name	com.YTU.ARNAV
Version*	0.1
Bundle Version Code	1
Minimum API Level	Android 7.0 'Nougat' (API level 24)
Target API Level	Automatic (highest installed)
XR Settings	
ARCore Supported	☒
! Built-in XR is deprecated and will be retired in a future version of Unity. Use the new Unity XR Plugin System instead. You can find settings for Unity XR Plugin System in Project Settings under XR Plugin Management.	
Deprecated Settings	
Virtual Reality Supported	☐

Şekil 3.14 Üst: Minimum Android sürümünün ayarlanması. Alt: ARCore etkinleştirilmesi

4 DOĞRULUK ANALİZİ ÇALIŞMASI

Geliştirilen uygulamayı değerlendirmek için, sabit bir noktadan başlayan ve belirli bir yol yürüdükten sonra tekrar başlangıç noktasına geri dönülen aynı doğrultuda üç rota tanımlanmıştır. Şekil 4.1’de, yeşil, mavi ve kırmızı renkler ile temsil edilen toplam gidiş-dönüş rota uzunlukları sırasıyla 53,62, 137,56 ve 283,66 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.1 Test bölgesinde ölçülen navigasyon rotaları

Bu çalışmada geliştirilen AG destekli navigasyon sistemi kullanılarak kat edilen gidiş-dönüş rotaları Tablo 4.1’de verilen değerlerdir. Rota 1, 2 ve 3 için yirmişer ölçüden hesaplanan ortalama navigasyon değeri 51,69, 129,20 ve 270,59 m’dir.

Uygulama tarafından toplanan verilerde, az sayıda olsa da gerçek değeri yansıtmayan hatalı ölçüler mevcuttur. Hatalı ölçülerin genel doğruluğa etkisini ortadan kaldırmak için öncelikle Chauvenet [104] yöntemi uygulanarak bu ölçüler tespit edilmiştir. Chauvenet yöntemi ile hatalı ölçüler, veri setinin ortalama ve standart sapma değerine göre belirlenir [105]. Tablo 4.1’de gösterilen test güzergahları için ortalama ($\bar{s}$) ve standart sapma (σ_{ort}) değerleri sırasıyla Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1 Test güzergahlarına ait navigasyon rotaları

Veri No	Rota 1 (m)	Rota 2 (m)	Rota 3 (m)
1	52.46	129.66	270.41
2	52.07	129.39	271.41
3	52.35	128.69	266.41
4	51.99	128.81	271.56
5	52.27	127.29	269.48
6	49.18	128.52	263.76
7	51.24	128.02	273.64
8	51.34	130.00	246.58
9	52.86	128.23	282.48
10	52.86	127.34	264.27
11	52.03	130.27	271.36
12	51.70	130.88	273.61
13	51.05	129.48	248.34
14	50.59	129.85	267.83
15	51.42	129.14	285.19
16	49.80	130.15	276.69
17	54.90	129.61	276.28
18	50.86	128.82	279.51
19	51.69	130.01	279.03
20	51.18	129.91	273.96
$\bar{s}$	51.69	129.20	270.59
σ_{ort}	1.20	0.97	9.71

$$\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \quad (4.1)$$

$$\sigma_{ort} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2} \quad (4.2)$$

Her bir veriden ortalama değer çıkarılarak sapma miktarları (d_i), hesaplanan d_i değerlerinin standart sapmalarına bölünerek Chauvenet karşılaştırma değerleri (d_i/σ_{ort}) hesaplanmıştır (Tablo 4.2). (d_i) sütunundaki değerler arasından en büyük (d_i) değerleri belirlenerek işaretlenmiştir. İşaretlenen bu verilere karşılık gelen d_i/σ_{ort} değerleri, Chauvenet testi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Rota 2'ye ait herhangi bir uyuşumsuz ölçünün yer almadığı, Rota 1'e ait 17. verinin ve Rota 3'e ait 8. verinin uyuşumsuz ölçü olduğu görülmüştür. Uyuşumsuz ölçüler veri setinden çıkarılarak Chauvenet testi, uyuşumsuz ölçü kalmayana kadar tekrarlanmıştır. Uyuşumsuz ölçünün yer almadığı son tekrara ait veriler Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Chauvenet kriteri

Veri No	d_i (m)			d_i/σ_{ort}		
1	0.77	0.46	-0.18	0.64	0.47	-0.02
2	0.38	0.19	0.82	0.32	0.19	0.08
3	0.66	-0.51	-4.18	0.55	-0.53	-0.43
4	0.30	-0.40	0.97	0.25	-0.41	0.10
5	0.58	-1.91	-1.11	0.48	-1.96	-0.11
6	-2.51	-0.68	-6.83	-2.08	-0.70	-0.70
7	-0.45	-1.19	3.05	-0.37	-1.22	0.31
8	-0.35	0.80	-24.01	-0.29	0.82	-2.47
9	1.17	-0.98	11.89	0.97	-1.00	1.22
10	1.16	-1.86	-6.32	0.97	-1.91	-0.65
11	0.33	1.06	0.77	0.28	1.09	0.08
12	0.01	1.67	3.02	0.01	1.72	0.31
13	-0.64	0.28	-22.25	-0.54	0.29	-2.29
14	-1.10	0.65	-2.76	-0.91	0.66	-0.28
15	-0.27	-0.06	14.60	-0.23	-0.07	1.50
16	-1.89	0.95	6.10	-1.57	0.98	0.63
17	3.20	0.40	5.69	2.66	0.42	0.59
18	-0.83	-0.38	8.92	-0.69	-0.39	0.92
19	-0.01	0.80	8.44	-0.01	0.83	0.87
20	-0.51	0.71	3.37	-0.42	0.73	0.35

Tablo 4.3 Chauvenet kriterine ait sonuncu iterasyon değerleri

Veri No	d_i (m)			d_i/σ_{ort}		
1	0.70	0.46	-2.75	1.03	0.47	-0.46
2	0.31	0.19	-1.75	0.46	0.19	-0.29
3	0.59	-0.51	-6.75	0.87	-0.53	-1.14
4	0.22	-0.40	-1.60	0.33	-0.41	-0.27
5	0.51	-1.91	-3.68	0.75	-1.96	-0.62
6		-0.68	-9.40		-0.70	-1.58
7	-0.52	-1.19	0.48	-0.77	-1.22	0.08
8	-0.42	0.80		-0.62	0.82	
9	1.10	-0.98	9.32	1.63	-1.00	1.57
10	1.09	-1.86	-8.89	1.62	-1.91	-1.50
11	0.26	1.06	-1.80	0.39	1.09	-0.30
12	-0.06	1.67	0.45	-0.09	1.72	0.08
13	-0.71	0.28		-1.06	0.29	
14	-1.17	0.65	-5.33	-1.73	0.66	-0.90
15	-0.34	-0.06	12.03	-0.51	-0.07	2.02
16		0.95	3.53		0.98	0.59
17		0.40	3.12		0.42	0.53
18	-0.90	-0.38	6.35	-1.33	-0.39	1.07
19	-0.08	0.80	5.87	-0.11	0.83	0.99
20	-0.58	0.71	0.80	-0.86	0.73	0.13

Chauvenet testi sonucunda; Rota 1 için 6., 16. ve 17. ve Rota 3 için 8. ve 13. verilerin uyuşumsuz ölçüler olduğu görülmüştür. Rotalar ile Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 'ye göre hesaplanmış yeni ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Chauvenet kriteri sonucu navigasyon rotaları

Veri No	Rota 1 (m)	Rota 2 (m)	Rota 3 (m)
1	52.46	129.66	270.41
2	52.07	129.39	271.41
3	52.35	128.69	266.41
4	51.99	128.81	271.56
5	52.27	127.29	269.48
6	49.18	128.52	263.76
7	51.24	128.02	273.64
8	51.34	130.00	246.58
9	52.86	128.23	282.48
10	52.86	127.34	264.27
11	52.03	130.27	271.36
12	51.70	130.88	273.61
13	51.05	129.48	248.34
14	50.59	129.85	267.83
15	51.42	129.14	285.19
16	49.80	130.15	276.69
17	54.90	129.61	276.28
18	50.86	128.82	279.51
19	51.69	130.01	279.03
20	51.18	129.91	273.96
$\bar{s}$	51.76	129.20	273.16
σ_{ort}	0.68	0.97	5.95

Chauvenet yöntemi öncesi ve sonrası standart sapma değerlerinin kıyaslanabilmesi için Denklem 4.3'e göre standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.5).

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i - s_g)^2} \quad (4.3)$$

s_g : Gerçek Navigasyon Rotası

Tablo 4.5 Chauvenet kriterinin standart sapma sonucuna etkisi

Rota	Standart Sapma İlk ($\sigma_{g,ilk}$)(m)	Standart Sapma Son ($\sigma_{g,son}$)(m)
Rota 1	2.25	1.97
Rota 2	8.41	8.41
Rota 3	16.13	11.99

Chauvenet testi sonucunda Rota 1 ve Rota 3'e ait standart sapma değerlerinde %

12.44 ve 25.66 azalma olduğu gözlemlenmiştir. Test güzergahlarına ait standart sapma değerleri sırasıyla 1,97, 8,41, 11,99 m olarak bulunmuştur ve navigasyon rota uzunluğunun artması ile birlikte standart sapma değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Geliştirilen uygulamanın konum doğruluğunu hesaplamak için, belirlenen rotalara ek olarak farklı eksenlerdeki navigasyon sürecini de barındıran iki farklı rota daha oluşturulmuştur (Şekil 4.2). Turuncu ve kahverengi ile temsil edilen navigasyon rotaları sırasıyla 90,00 ve 244,00 m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2 Test güzergahı

Toplam beş rota üzerinde eşit dağılımlı olacak şekilde 100 ayrı yürüyüş gerçekleştirilmiştir. İzleme süreçlerinin sonunda uygulama tarafından hesaplanan başlangıç noktasına ait konum verileri, ortalama koordinat değerleri, x, z yönündeki ve bileşke konum doğrulukları Tablo 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.6’nın son satırlarında yer alan uygulama tarafından elde edilen konum verilerinin ortalama değerleri, x ve z yönündeki konum doğrulukları (σ_{ortx} , σ_{ortz}) ve bileşke konum doğrulukları (σ_{ort}) sırasıyla Denklem 4.4, Denklem 4.5 ve Denklem 4.6’ya göre hesaplanmıştır.

$$\bar{x}, \bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i \quad (4.4)$$

$$\sigma_{ortx}, \sigma_{ortz} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \quad (4.5)$$

$$\sigma_{ort} = \sqrt{\sigma_{ortx}^2 + \sigma_{ortz}^2} \quad (4.6)$$

Tablo 4.6 Uygulama tarafından hesaplanan konum verileri

Rota 1		Rota 2		Rota 3		Rota 4		Rota 5	
$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$
68.38	42.09	68.58	40.43	68.61	41.39	68.48	41.44	68.78	41.65
68.28	42.10	68.51	39.87	68.54	41.38	64.36	42.09	65.65	42.10
68.41	41.79	68.55	40.24	64.61	42.03	67.47	41.74	68.83	39.72
69.13	42.10	68.52	42.09	68.57	41.04	63.98	41.76	66.26	42.09
68.51	41.28	66.89	40.74	68.39	42.08	66.93	40.64	66.30	42.08
65.78	42.02	68.56	40.52	64.72	42.10	67.32	42.10	67.90	39.70
68.84	41.05	68.36	39.70	64.20	42.08	66.52	42.07	66.01	42.10
68.61	41.10	68.50	40.73	63.89	42.09	65.47	42.10	68.30	39.72
68.99	41.73	68.87	40.66	68.72	42.10	66.75	42.10	66.60	42.10
68.99	41.73	68.41	39.70	67.12	42.08	67.87	39.70	64.21	42.10
68.66	42.00	68.50	42.10	64.19	41.83	66.92	42.10	65.87	42.10
68.53	41.63	68.22	42.10	62.48	42.09	67.70	42.10	65.27	42.10
68.37	41.59	68.52	39.91	65.61	42.09	67.85	42.10	66.92	42.07
68.44	41.19	68.88	39.81	66.26	42.08	65.34	42.10	67.07	42.09
68.56	41.45	67.91	42.00	67.96	39.70	65.09	42.10	65.15	42.06
68.25	40.97	68.79	42.09	59.74	42.05	67.69	42.10	60.12	42.07
68.85	39.71	67.91	42.10	60.95	41.92	64.25	42.10	67.62	42.10
68.52	41.51	68.35	42.06	68.50	40.56	66.43	42.10	66.67	42.09
68.60	41.25	68.45	40.34	62.86	42.10	64.79	42.08	63.73	42.10
68.52	41.12	67.84	42.06	64.57	41.97	66.98	42.10	65.92	42.10
68.46	41.47	68.36	40.96	65.52	41.74	66.41	41.84	66.16	41.71
0.68	0.56	0.45	0.98	2.75	0.64	1.37	0.61	1.97	0.87
0.88		1.08		2.82		1.51		2.16	

Uygulamadan elde edilen koordinat değerlerinin (Tablo 4.6) her biri için konum doğrulukları ile sistemin genel konum doğruluğu sırasıyla Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'e göre hesaplanmıştır. Bu denklemlerde kullanılan x_g değeri 68.49 m ve z_g değeri 42.00 m'dir. Test güzergahlarına ilişkin konum doğrulukları Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

$$\sigma_{gi} = \sqrt{(x_i - x_g)^2 + (z_i - z_g)^2} \quad (4.7)$$

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_g)^2 + (z_i - z_g)^2} \quad (4.8)$$

x_i, z_i : Uygulama tarafından hesaplanan konum,

x_g, z_g : Gerçek konum

Tablo 4.7 Test güzergahlarına ait konum doğrulukları

Veri No	Rota 1 (m)	Rota 2 (m)	Rota 3 (m)	Rota 4 (m)	Rota 5 (m)
1	0.15	1.58	0.62	0.56	0.45
2	0.23	2.13	0.62	4.13	2.84
3	0.23	1.76	3.88	1.05	2.31
4	0.65	0.09	0.97	4.52	2.23
5	0.72	2.03	0.13	2.07	2.19
6	2.71	1.48	3.77	1.17	2.37
7	1.01	2.30	4.29	1.97	2.49
8	0.91	1.27	4.61	3.02	2.29
9	0.56	1.39	0.25	1.74	1.90
10	0.56	2.30	1.37	2.38	4.28
11	0.17	0.10	4.30	1.57	2.62
12	0.37	0.29	6.01	0.80	3.22
13	0.42	2.09	2.88	0.65	1.58
14	0.82	2.23	2.23	3.15	1.42
15	0.55	0.58	2.36	3.41	3.34
16	1.06	0.32	8.75	0.81	8.37
17	2.32	0.59	7.54	4.24	0.87
18	0.49	0.15	1.44	2.06	1.82
19	0.76	1.66	5.63	3.70	4.76
20	0.88	0.65	3.92	1.51	2.57
σ_g	1.01	1.48	4.05	2.55	3.15

Tablo 4.7'ye göre Rota 1, Rota 2, Rota 3, Rota 4 ve Rota 5'e ait konum doğrulukları 1,01, 1,48, 4,05, 2,55 ve 3,15 m olarak hesaplanmıştır. Ancak daha kesin sonuçlar elde edebilmek ve uyuşumsuz ölçülerin etkisini elimine edebilmek için Tablo 4.6'da yer alan koordinat verileri için Chauvenet kriteri tekrarlanmıştır. Chauvenet yönteminde koordinat verilerine ilişkin ortalama değerler kullanılmıştır ve ortalama konum doğrulukları Denklem 4.9'a göre hesaplanmıştır.

$$\sigma_{ort} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + (z_i - \bar{z})^2} \quad (4.9)$$

x_i, z_i : Uygulama tarafından hesaplanan Konum,

$\bar{x}, \bar{z}$: Ortalama Konum

Chauvenet yöntemi sonucunda Rota 2, Rota 3 ve Rota 4 için herhangi bir uyuşumsuz ölçünün yer almadığı, Rota 1 için 6. ve 17., Rota 5 için ise 16. verinin uyuşumsuz ölçü olduğu belirlenmiştir. Sonra uyuşumsuz ölçüler veri setlerinden çıkarılarak uygulamadan elde edilen koordinat değerlerinin yeni ortalama değerleri, x ve z yönündeki ortalama konum doğrulukları ve bileşke ortalama konum doğruluğu Tablo

4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 Chauvenet kriteri sonucu konum verileri

Rota 1		Rota 2		Rota 3		Rota 4		Rota 5	
$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$	$x_i(m)$	$z_i(m)$
68.38	42.09	68.58	40.43	68.61	41.39	68.48	41.44	68.78	41.65
68.28	42.10	68.51	39.87	68.54	41.38	64.36	42.09	65.65	42.10
68.41	41.79	68.55	40.24	64.61	42.03	67.47	41.74	68.83	39.72
69.13	42.10	68.52	42.09	68.57	41.04	63.98	41.76	66.26	42.09
68.51	41.28	66.89	40.74	68.39	42.08	66.93	40.64	66.30	42.08
65.78	42.02	68.56	40.52	64.72	42.10	67.32	42.10	67.90	39.70
68.84	41.05	68.36	39.70	64.20	42.08	66.52	42.07	66.01	42.10
68.61	41.10	68.50	40.73	63.89	42.09	65.47	42.10	68.30	39.72
68.99	41.73	68.87	40.66	68.72	42.10	66.75	42.10	66.60	42.10
68.99	41.73	68.41	39.70	67.12	42.08	67.87	39.70	64.21	42.10
68.66	42.00	68.50	42.10	64.19	41.83	66.92	42.10	65.87	42.10
68.53	41.63	68.22	42.10	62.48	42.09	67.70	42.10	65.27	42.10
68.37	41.59	68.52	39.91	65.61	42.09	67.85	42.10	66.92	42.07
68.44	41.19	68.88	39.81	66.26	42.08	65.34	42.10	67.07	42.09
68.56	41.45	67.91	42.00	67.96	39.70	65.09	42.10	65.15	42.06
68.25	40.97	68.79	42.09	59.74	42.05	67.69	42.10	60.12	42.07
68.85	39.71	67.91	42.10	60.95	41.92	64.25	42.10	67.62	42.10
68.52	41.51	68.35	42.06	68.50	40.56	66.43	42.10	66.67	42.09
68.60	41.25	68.45	40.34	62.86	42.10	64.79	42.08	63.73	42.10
68.52	41.12	67.84	42.06	64.57	41.97	66.98	42.10	65.92	42.10
68.59	41.54	68.36	40.96	65.52	41.74	66.41	41.84	66.48	41.69
0.25	0.38	0.45	0.98	2.75	0.64	1.37	0.61	1.41	0.89
0.46		1.08		2.82		1.51		1.66	

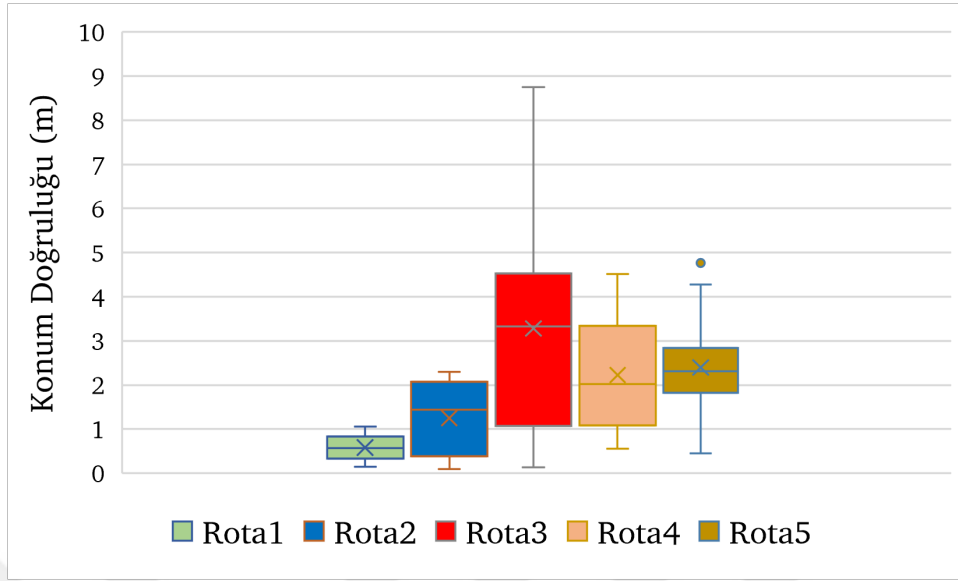
Daha sonra Denklem 4.8’e göre hem uyuşumsuz ölçü testi öncesi veriler (Tablo 4.6) için hem de uyuşumsuz ölçülerin çıkarıldığı veriler (Tablo 4.8) için gerçek konum değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 Chauvenet kriterinin konum doğruluğuna etkisi

Rotalar	Konum doğruluğu ilk ($\sigma_{g,ilk}$)(m)	Konum doğruluğu son ($\sigma_{g,son}$)(m)
Rota 1	1.01	0.65
Rota 2	1.48	1.48
Rota 3	4.05	4.05
Rota 4	2.55	2.55
Rota 5	3.15	2.60

Tablo 4.9’a göre Rota 1 ve Rota 5’e ait gerçek konum doğruluklarında % 35.64 ve 17.46 oranında artış olduğu görülmüştür. Uyuşumsuz ölçü testi sonucu rotalara ilişkin konum doğrulukları sırasıyla 0,65, 1,48, 4,05, 2,55, 2,60 m olarak hesaplanmıştır. Her bir rota için gerçek konum doğruluğu dağılımı kutu diyagram kullanılarak Şekil 4.3’te

gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Konum doğruluğu dağılımı

Şekil 4.3'te yer alan her bir kutu ilgili rotaya ait toplanan verilerdeki gerçek konum doğruluğu dağılımını temsil etmektedir. Her kutunun içinde yer alan yatay çizgi medyan değerlerini, kutuların dışında yer alan çizgilerin uç noktaları ise verilere ait maksimum ve minimum değerleri göstermektedir. Şekil 4.3'e göre en yüksek konum doğruluğunun Rota 1, en düşük konum doğruluğunun ise Rota 3 olduğu görülmüştür. Rotalar arasında 3. rotadaki standart sapma dağılımının en geniş alanı kapsadığı görülmektedir.

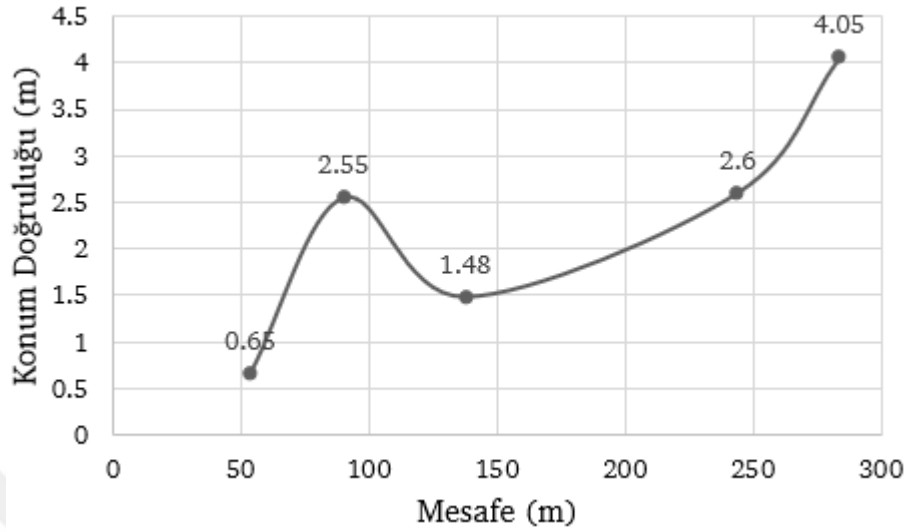
Son olarak farklı navigasyon rotaları sonucu elde edilen konum doğruluklarının navigasyon rota uzunlukları ile olan ilişkisi araştırılmış ve her bir rotaya ait navigasyon rota uzunlukları ile konum doğrulukları gösterilmiştir (Tablo 4.10).

Tablo 4.10 Navigasyon rota uzunlukları ve konum doğruluğu arasındaki ilişki

Rota İsmi	Navigasyon Rota Uzunluğu (m)	Konum Doğruluğu (m)
Rota 1	53.62	0.65
Rota 2	137.56	1.48
Rota 3	283.66	4.05
Rota 4	90	2.55
Rota 5	244	2.60

Tablo 4.10'a göre navigasyon rota uzunluğundaki artış ile birlikte konum doğruluğunun düştüğü görülmüştür. En kısa olan 53,62 m'lik navigasyon rotası sonucunda konum doğruluğunun 0,65 m, 283,66 m'lik en uzun navigasyon rota sonucunda ise konum doğruluğunun 4,05 m olduğu görülmüştür.

Tablo 4.10’da gösterilen rotalara ilişkin navigasyon rota uzunlukları ve konum doğruluğu değerleri kullanılarak oluşturulan regresyon eğrisi gösterilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 İzleme doğruluğu

Şekil 4.4 incelendiğinde 250 m’lik navigasyon süreci sonrasında konum doğruluğunun düşüş eğiminin, 250 m öncesine kıyasla daha fazla olduğu yani navigasyon sürecinin 250 m’den daha fazla olması durumunda konum doğruluğunun hızla azaldığı görülmüştür. Ayrıca 90 m’lik navigasyon rotası sonucu elde edilen konum doğruluğunun, beklenenden (Rota 1 ve Rota 2 için hesaplanan konum doğruluğu değerlerine göre, bu iki değer arasında bir konum doğruluğuna sahip olması) daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedenlerinin; belirlenen navigasyon rotasının iki boyutlu ve keskin dönüşleri içeren navigasyon sürecine sahip olması, rotanın yer aldığı ortamın koşulları nedeniyle yeterli ilgi noktasının yakalanamaması ve merdiven inme ile çıkma durumlarının bir arada yer alması olduğu düşünülmektedir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde AG ile iç mekan navigasyon uygulamalarının bir arada yer aldığı çalışmalar popüler konular arasında yer almaktadır. Diğer taraftan ülkemizde AG ve navigasyon ile ilgili pratik çalışmalar olmasına karşın geliştirilen uygulamanın doğruluk analizinin yapıldığı, performansının değerlendirildiği akademik çalışmalar yeterli olgunluğa ulaşmamıştır. Bu çalışmada AG teknolojisini kullanan günümüz teknolojisine uygun donanıma sahip bir mobil cihaz için iç mekan yaya navigasyonu uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamanın geliştirildiği çalışma alanı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi ikinci kat olarak seçilmiştir. Uygulama tek bir kat için hazırlanmıştır. Ancak birden çok katı içerecek bir navigasyon uygulaması geliştirilebilmesi için barometre sensör verileri sisteme entegre edilebilir.

Geliştirilen uygulamada konum takibi için telefon sensörleri ve bilgisayarla görme teknolojisinin birlikte kullanıldığı hibrit tabanlı bir izleme yöntemi kullanılmıştır. İzleme yönteminin doğruluğunu belirlemek için doğruluk analizi yapılmıştır. Analizde ilk olarak uygulama tarafından gerçek değeri yansıtmayan büyük değerlere sahip hatalı ölçülerin eliminasyonu için Chauvenet yöntemi kullanılmıştır. Sonra sistemin doğruluğunun belirlenmesi için farklı navigasyon mesafelerinden kaynaklanan konum doğrulukları hesabını içeren bir analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda, sistemin 53,62 m ile 283,66 m arasındaki değişen navigasyon mesafelerinde 0.65 m ve 4,05 m arasında bir konum doğruluğunun olduğu görülmüştür. Belirlenen test güzergah uzunluklarının artmasıyla konum doğruluğunun düştüğü anlaşılmıştır. Bu sonucun temel nedenlerinden biri, navigasyon sürecinde konum hesaplanması için yeterli ilgi noktası tespit edilememesidir. Diğer ise telefon sensörlerinin uzun mesafeli takip sırasındaki sürüklenme etkisidir. Sürüklenme etkisini giderebilmek ve doğruluğu artırabilmek için sistem tarafından izlenen konum bilgisi, 50 m’de bir işaretçi kullanılarak güncellenebilir. İşaretçilerin konulacağı referans aralığının azaltılması ve işaretçi sayısının artırılması konum doğruluğunu artırırken kullanıcıların sıklıkla bir işlem yapmaları kullanım kolaylığını azaltacaktır. Bu nedenle işaretçilerin mesafe seçiminde istenilen konum doğruluğu ve kullanıcı kullanım kolaylığı kriterlerine

dikkat edilmelidir.

Doğruluk analizi sonucuna göre kullanıcıların ek ekipmana ihtiyaç duymadan takip edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ancak test alanının ve ortamda algılanabilir ilgi noktası sayısının değişmesi ile doğruluk analizi sonuçlarının etkilenmesi mümkündür. Tez çalışmasında geliştirilen sistem doğruluk analizi yapılarak matematiksel olarak değerlendirilmiştir. Cihazlarda yer alan sensörlerin veya mobil cihazlara ek sensörlerin entegrasyonunun konum doğruluğuna etkilerini içeren bir çalışma ile doğruluk analizinin kapsamı genişletilebilir. Bunların yanı sıra gezinme süresi, kullanım kolaylığı ve kullanıcı memnuniyeti gibi ölçütlerin yer aldığı bir anket çalışması yapılarak AG teknolojisinin navigasyon uygulamalarına katkısı kullanıcı yönünden değerlendirilebilir. AG teknolojisi ile birlikte yaya navigasyon uygulamasının kapsamı genişletilerek hem navigasyon süreçlerini içeren hem de ortam ile ilgili örneğin kapı numaralarına ilişkin bilgilerin kullanıcılara yansıtıldığı bir uygulama geliştirilebilir.

AG teknolojisi donanım ve yazılım alanındaki gelişmeler ile birlikte gelişmeye devam eden ve popülerliği giderek artan bir teknolojidir. Bu doğrultuda AG'ye olan ilgi ve AG'nin navigasyon uygulamalarında kullanıcıların yönlendirilmesine olan katkılarının ortaya konulacağı çalışma sayısı artacaktır. Bu durum AG'yi günlük hayatımızdaki navigasyon süreçlerimizde daha sık karşılaşılan bir teknoloji haline getirecektir.

-
- [1] A. Alnabhan and B. Tomaszewski, "Insar: Indoor navigation system using augmented reality," in *Proceedings of the Sixth ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness*, 2014, pp. 36–43.
 - [2] P. P. Wang, T. Wang, D. Ding, Y. Zhang, W. Bi, and Y. Bao, "Mirror world navigation for mobile users based on augmented reality," in *Proceedings of the 17th ACM international conference on Multimedia*, 2009, pp. 1025–1026.
 - [3] P. Mistry, T. Kuroki, and C. Chang, "Tapuma: Tangible public map for information acquirement through the things we carry," in *Proceedings of the 1st international conference on Ambient media and systems*, Citeseer, 2008, pp. 1–5.
 - [4] Z. Farid, R. Nordin, and M. Ismail, "Recent advances in wireless indoor localization techniques and system," *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, 2013.
 - [5] J. W. Kim, H. J. Jang, D.-H. Hwang, and C. Park, "A step, stride and heading determination for the pedestrian navigation system," *Journal of Global Positioning Systems*, vol. 3, no. 1-2, pp. 273–279, 2004.
 - [6] U. Rehman and S. Cao, "Augmented-reality-based indoor navigation: A comparative analysis of handheld devices versus google glass," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 140–151, 2016.
 - [7] D. Dardari, P. Closas, and P. M. Djurić, "Indoor tracking: Theory, methods, and technologies," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 64, no. 4, pp. 1263–1278, 2015.
 - [8] S. DiVerdi and T. Höllerer, "Heads up and camera down: A vision-based tracking modality for mobile mixed reality," *IEEE Transactions on visualization and computer graphics*, vol. 14, no. 3, pp. 500–512, 2008.
 - [9] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 37, no. 6, pp. 1067–1080, 2007.
 - [10] M. Werner, M. Kessel, and C. Marouane, "Indoor positioning using smartphone camera," in *2011 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*, IEEE, 2011, pp. 1–6.
 - [11] A. T.-Y. Chen, J. Fan, M. Biglari-Abhari, I. Kevin, and K. Wang, "A computationally efficient pipeline for camera-based indoor person tracking," in *2017 International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*, IEEE, 2017, pp. 1–6.

- [12] P. Jomsri, "Implementing virtual 3d model and augmented reality navigation for library in university," *International Journal of Modeling and Optimization*, vol. 8, no. 6, pp. 315–317, 2018.
- [13] S. Kasprzak, A. Komninos, and P. Barrie, "Feature-based indoor navigation using augmented reality," in *2013 9th international conference on intelligent environments*, IEEE, 2013, pp. 100–107.
- [14] J. D. Guzmán Guzmán, "Augmented reality user interface analysis in mobile devices," Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [15] L. C. Huey, P. Sebastian, and M. Driberg, "Augmented reality based indoor positioning navigation tool," in *2011 IEEE Conference on Open Systems*, IEEE, 2011, pp. 256–260.
- [16] M. Tatzgern, D. Kalkofen, R. Grasset, and D. Schmalstieg, "Embedded virtual views for augmented reality navigation," in *Proc. Int. Symp. Mixed Augmented Reality-Workshop Vis. Mixed Reality Environ*, 2011.
- [17] T. Höllerer and S. Feiner, "Mobile augmented reality," *Telegeoinformatics: Location-based computing and services*, vol. 21, 2004.
- [18] D.-I. S. Wursthorn, "Kamerabasierte egomotion-bestimmung mit natürlichen merkmalen zur unterstützung von augmented-reality-systemen," 2014.
- [19] S. Feiner, B. MacIntyre, T. Höllerer, and A. Webster, "A touring machine: Prototyping 3d mobile augmented reality systems for exploring the urban environment," *Personal Technologies*, vol. 1, no. 4, pp. 208–217, 1997.
- [20] D. Schmalstieg and T. Hollerer, *Augmented reality: principles and practice*. Addison-Wesley Professional, 2016.
- [21] T. Höllerer, S. Feiner, T. Terauchi, G. Rashid, and D. Hallaway, "Exploring mars: Developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system," *Computers & Graphics*, vol. 23, no. 6, pp. 779–785, 1999.
- [22] G. Reitmayr and D. Schmalstieg, *Collaborative augmented reality for outdoor navigation and information browsing*. na, 2004.
- [23] S. L. Joseph, X. Zhang, I. Dryanovski, J. Xiao, C. Yi, and Y. Tian, "Semantic indoor navigation with a blind-user oriented augmented reality," in *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, 2013, pp. 3585–3591.
- [24] M. Neges, C. Koch, M. König, and M. Abramovici, "Combining visual natural markers and imu for improved ar based indoor navigation," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 31, pp. 18–31, 2017.
- [25] A. Koyun and I. A. Cankaya, "Implementation of a beacon-enabled mobile indoor navigation system using augmented reality," *Tehnički vjesnik*, vol. 25, no. 4, pp. 979–985, 2018.
- [26] J. Kim and H. Jun, "Vision-based location positioning using augmented reality for indoor navigation," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, no. 3, pp. 954–962, 2008.

- [27] B. Brogni, C. Avizzano, C. Evangelista, and M. Bergamasco, "Technological approach for cultural heritage: Augmented reality," in *8th IEEE International Workshop on Robot and Human Interaction. RO-MAN'99 (Cat. No. 99TH8483)*, IEEE, 1999, pp. 206–212.
- [28] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.
- [29] A. State, D. T. Chen, C. Tector, A. Brandt, H. Chen, R. Ohbuchi, M. Bajura, and H. Fuchs, "Observing a volume rendered fetus within a pregnant patient," in *Proceedings Visualization'94*, IEEE, 1994, pp. 364–368.
- [30] S. Feiner, B. Macintyre, and D. Seligmann, "Knowledge-based augmented reality," *Communications of the ACM*, vol. 36, no. 7, pp. 53–62, 1993.
- [31] P. Thomas and W. David, "Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes," in *Hawaii International Conference on System Sciences*, 1992, pp. 659–669.
- [32] A. O. Alkhamisi, S. Arabia, M. M. Monowar, *et al.*, "Rise of augmented reality: Current and future application areas," *International journal of internet and distributed systems*, vol. 1, no. 04, p. 25, 2013.
- [33] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, and B. MacIntyre, "Recent advances in augmented reality," *IEEE computer graphics and applications*, vol. 21, no. 6, pp. 34–47, 2001.
- [34] C. Carbonell Carrera and L. A. Bermejo Asensio, "Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking," *Cartography and geographic information science*, vol. 44, no. 3, pp. 259–270, 2017.
- [35] G. Reitmayr, E. Eade, and T. Drummond, "Localisation and interaction for augmented maps," in *Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05)*, IEEE, 2005, pp. 120–129.
- [36] S. Meža, Ž. Turk, and M. Dolenc, "Component based engineering of a mobile bim-based augmented reality system," *Automation in construction*, vol. 42, pp. 1–12, 2014.
- [37] F. P. Rahimian, R. Ibrahim, J. Wang, X. Wang, W. Shou, and B. Xu, "Integrating bim and augmented reality for interactive architectural visualisation," *Construction Innovation*, 2014.
- [38] H. Kaufmann and D. Schmalstieg, "Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality," in *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications*, 2002, pp. 37–41.
- [39] P. A. Werner, "Augmented reality and perception of analogue and digital images and maps," in *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*, vol. 1, 2017, p. 56.
- [40] T. P. Caudell, "Introduction to augmented and virtual reality," in *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, International Society for Optics and Photonics, vol. 2351, 1995, pp. 272–281.
- [41] A. Webster, S. Feiner, B. MacIntyre, W. Massie, and T. Krueger, "Augmented reality in architectural construction, inspection and renovation," in *Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*, vol. 1, 1996, p. 996.

- [42] G. Welch and E. Foxlin, "Motion tracking: No silver bullet, but a respectable arsenal," *IEEE Computer graphics and Applications*, vol. 22, no. 6, pp. 24–38, 2002.
- [43] F. C. Ünal, "Artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanımıyla mimarlık rehberi; eindhoven kenti üzerinden değerlendirilmesi," Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
- [44] P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, vol. 77, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [45] C. Bade, "Untersuchungen zum einsatz der augmented reality technologie für soll/ist-vergleiche von betriebsmitteln in der fertigungsplanung," 2012.
- [46] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," in *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*, 1968, pp. 757–764.
- [47] J. Rekimoto and K. Nagao, "The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments," in *Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology*, 1995, pp. 29–36.
- [48] D. Schmalstieg, A. Fuhrmann, Z. Szalavari, and M. Gervautz, "Studierstube-an environment for collaboration in augmented reality," in *CVE'96 Workshop Proceedings*, vol. 19, 1996.
- [49] H. Kato and M. Billinghurst, "Marker tracking and hmd calibration for a video-based augmented reality conferencing system," in *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)*, IEEE, 1999, pp. 85–94.
- [50] B. Thomas, B. Close, J. Donoghue, J. Squires, P. De Bondi, M. Morris, and W. Piekarski, "Arquake: An outdoor/indoor augmented reality first person application," in *Digest of Papers. Fourth International Symposium on Wearable Computers*, IEEE, 2000, pp. 139–146.
- [51] M. Mohring, C. Lessig, and O. Bimber, "Video see-through ar on consumer cell-phones," in *Third ieee and acm international symposium on mixed and augmented reality*, IEEE, 2004, pp. 252–253.
- [52] H. Altınpulluk and M. Kesim, "Geçmişten günümüze artırılmış gerçeklik uygulamalarında gerçekleşen paradigma değişimleri," *Akademik Bilişim Kongresi*, pp. 4–6, 2015.
- [53] Volkswagen AG, *virtual technologies*, <https://www.volkswagenag.com/en/group/research/virtual-technologies.html>, Erişim: 19.05.2020.
- [54] T. İçten and B. Güngör, "Artırılmış gerçeklik teknolojisi üzerine yapılan akademik çalışmaların içerik analizi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 10, no. 4, pp. 401–415, 2017.
- [55] P. HÜBNER, S. LANDGRAF, M. WEINMANN, and S. WURSTHORN, "Evaluation of the microsoft hololens for the mapping of indoor building environments,"

- [56] P. Hübner, M. Weinmann, and S. Wursthorn, "Marker-based localization of the microsoft hololens in building models,," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 42, no. 1, 2018.
- [57] M. Bednarczyk, "The use of augmented reality in geomatics," in *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE*, Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics ..., vol. 10, 2017, pp. 1–7.
- [58] C. Patron, *Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung*. Utz, 2005.
- [59] W. Vogl, *Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern*. Herbert Utz Verlag, 2009, vol. 228.
- [60] B. Huber, "Augmented reality im „outdoor“-einsatz," Master's thesis, Universitätslehrganges „Geographical Information Science Systems“ (UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z_GIS) der Paris Lodron Universität Salzburg, 2013.
- [61] G. Kipper and J. Rampolla, *Augmented Reality: an emerging technologies guide to AR*. Elsevier, 2012.
- [62] A. B. Craig, *Understanding augmented reality: Concepts and applications*. Newnes, 2013.
- [63] J. Carmigniani and B. Furht, "Augmented reality: An overview," in *Handbook of augmented reality*, Springer, 2011, pp. 3–46.
- [64] J. Carmigniani, B. Furht, M. Anisetti, P. Ceravolo, E. Damiani, and M. Ivkovic, "Augmented reality technologies, systems and applications," *Multimedia tools and applications*, vol. 51, no. 1, pp. 341–377, 2011.
- [65] M. Bower, C. Howe, N. McCredie, A. Robinson, and D. Grover, "Augmented reality in education—cases, places and potentials," *Educational Media International*, vol. 51, no. 1, pp. 1–15, 2014.
- [66] B. H. Thomas and W. Piekarski, "Glove based user interaction techniques for augmented reality in an outdoor environment," *Virtual Reality*, vol. 6, no. 3, pp. 167–180, 2002.
- [67] J. Ham, J. Hong, Y. Jang, S. H. Ko, and W. Woo, "Smart wristband: Touch-and-motion-tracking wearable 3d input device for smart glasses," in *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions*, Springer, 2014, pp. 109–118.
- [68] M. Kesim and Y. Ozarslan, "Augmented reality in education: Current technologies and the potential for education," *Procedia-social and behavioral sciences*, vol. 47, pp. 297–302, 2012.
- [69] G. H. de Almeida Pereira, K. Stock, L. Stamato Delazari, and J. A. S. Centeno, "Augmented reality and maps: New possibilities for engaging with geographic data," *The Cartographic Journal*, vol. 54, no. 4, pp. 313–321, 2017.
- [70] R. Raskar, G. Welch, and H. Fuchs, "Spatially augmented reality," in *Proceedings of the international workshop on Augmented reality: placing artificial objects in real scenes: placing artificial objects in real scenes*, 1999, pp. 63–72.

- [71] *AR sandbox, about*, <https://arsandbox.ucdavis.edu/about/>, Erişim: 26.09.2020.
- [72] *AR sandbox, community*, <https://arsandbox.ucdavis.edu/info/external-installations/>, Erişim: 26.09.2020.
- [73] R. Raskar and K.-L. Low, “Interacting with spatially augmented reality,” in *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics, virtual reality and visualisation*, 2001, pp. 101–108.
- [74] O. Bimber and R. Raskar, *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*. CRC press, 2005.
- [75] S. Wursthorn, “Augmented reality als querschnittstechnologie für bildverarbeitung, geoinformation und computergrafik,” in *Digitale Bildverarbeitung und Geoinformation Datenfusion unter geometrischen, physikalischen und semantischen Aspekten*, Wichmann, Berlin, 2019, pp. 21–56.
- [76] J. Kern, M. Weinmann, and S. Wursthorn, “Projector-based augmented reality for quality inspection of scanned objects.,” *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 4, 2017.
- [77] T. Michel, P. Genevès, H. Fourati, and N. Layaida, “Attitude estimation for indoor navigation and augmented reality with smartphones,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 46, pp. 96–121, 2018.
- [78] T. Schilling, “Augmented reality in der produktentstehung,” PhD thesis, 2008.
- [79] D. Van Krevelen and R. Poelman, “A survey of augmented reality technologies, applications and limitations,” *International journal of virtual reality*, vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [80] F. Zhou, H. B.-L. Duh, and M. Billinghurst, “Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ismar,” in *Proceedings of the 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality*, IEEE Computer Society, 2008, pp. 193–202.
- [81] A. C. TEKİN, “Altyapı haritaları için konum tabanlı artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirilmesi,” Master’s thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [82] S. Siltanen, “Theory and applications of marker-based augmented reality: Licentiate thesis,” 2012.
- [83] D. Amin and S. Govilkar, “Comparative study of augmented reality sdks,” *International Journal on Computational Science & Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 11–26, 2015.
- [84] P. Aggarwal, *MEMS-based integrated navigation*. Artech House, 2010.
- [85] R. Zhi, “A drift eliminated attitude & position estimation algorithm in 3d,” 2016.
- [86] P. Aggarwal, Z. Syed, X. Niu, and N. El-Sheimy, “A standard testing and calibration procedure for low cost mems inertial sensors and units,” *The Journal of Navigation*, vol. 61, no. 2, p. 323, 2008.
- [87] S. Y. Cho and C. G. Park, “Mems based pedestrian navigation system,” *The Journal of Navigation*, vol. 59, no. 1, p. 135, 2006.

- [88] C. Küççük, “Hareket algılayan duyargalar ile üç boyutlu uzayda hareket kestirimi,” PhD thesis, Bilişim Enstitüsü, 2010.
- [89] O. Özkan, “Sensör füzyonu algoritmaları ile açısal konum referans sistemi tasarımı,” *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 2, no. 1, pp. 93–103,
- [90] E. A. Sağbaş and S. Ballı, “Akıllı telefon sensörlerinin kullanımı ve ham sensör verilerine erişim,” *Akademik Bilişim Konferansı*, pp. 4–6, 2015.
- [91] G. M. Staub, “Navigation mit mobilen augmented-reality-systemen im gelände,” PhD thesis, 2006.
- [92] M. Ribo, P. Lang, H. Ganster, M. Brandner, C. Stock, and A. Pinz, “Hybrid tracking for outdoor augmented reality applications,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 22, no. 6, pp. 54–63, 2002.
- [93] H. Ramirez, E. G. Mendivil, P. R. Flores, and M. C. Gonzalez, “Authoring software for augmented reality applications for the use of maintenance and training process,” *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 189–193, 2013.
- [94] F. Herpich, R. L. M. Guarese, L. M. R. Tarouco, *et al.*, “A comparative analysis of augmented reality frameworks aimed at the development of educational applications,” *Creative Education*, vol. 8, no. 09, p. 1433, 2017.
- [95] A. Hanafi, L. Elaachak, and M. Bouhorma, “A comparative study of augmented reality sdks to develop an educational application in chemical field,” in *Proceedings of the 2nd International Conference on Networking, Information Systems & Security*, 2019, pp. 1–8.
- [96] A. Simonetti Ibañez and J. Paredes Figueras, “Vuforia v1. 5 sdk: Analysis and evaluation of capabilities,” Master’s thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2013.
- [97] *Unity 3D, unity core platform*, <https://unity.com/products/core-platform>, Erişim: 06.08.2020.
- [98] A. Okita, *Learning C# programming with Unity 3D*. CRC Press, 2014.
- [99] *Google ARCore, choose your development environment*, <https://developers.google.com/ar/develop>, Erişim: 29.04.2020.
- [100] *Google ARCore, fundamental concepts*, <https://developers.google.com/ar/discover/concepts>, Erişim: 29.04.2020.
- [101] *Google ARCore, arcove supported devices*, <https://developers.google.com/ar/discover/supported-devices>, Erişim: 29.04.2020.
- [102] *Wikipedia, microsoft visual studio*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio, Erişim: 25.04.2020.
- [103] *Microsoft, visual studio*, <https://visualstudio.microsoft.com/tr/vs/>, Erişim: 25.04.2020.
- [104] S. M. Ross *et al.*, “Peirce’s criterion for the elimination of suspect experimental data,” *Journal of engineering technology*, vol. 20, no. 2, pp. 38–41, 2003.
- [105] M. AYDIN and T. Ahmet, “Aykırı değerlerin tespiti ve taşkın debilerinin hesabı için bir yöntem geliştirilmesi,” *Teknik Dergi*, vol. 29, no. 3, pp. 8339–8363, 2018.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makale

1. Çalık, S. H. Gülgen, F. (2021). Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile iç mekân navigasyonu . Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi , 3 (1) , 48-52.

Konferans Bildirisi

1. Çalık S H, Gülgen F (2020). Indoor navigation application using augmented reality technology. Intercontinental Geoinformation Days (IGD), 162-165, Mersin, Turkey