



# Görme Engelliler için Geliştirilmiş Destekleyici Mobil Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarının Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

## Comparative Assessment of Mobile Augmented Reality Applications Developed for Visually Impaired Persons

Alper Tunga AKIN  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Harita Mühendisliği Bölümü  
Trabzon, Türkiye  
alpertunga@ktu.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-4535-9143

Çetin CÖMERT  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Harita Mühendisliği Bölümü  
Trabzon, Türkiye  
ccomert@ktu.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-2019-6990

Ziya USTA  
Artvin Çoruh Üniversitesi  
Harita Mühendisliği Bölümü  
Artvin, Türkiye  
ziyausta@artvin.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-2232-2011

### Öz

Tablet, akıllı telefon gibi mobil cihazlar için artırılmış gerçekliğe (AR) yönelik sunulan geliştirme araçlarının ve mobil cihazların kullanımının yaygınlaşmasıyla, özellikle son on yılda, birçok yeni destekleyici AR uygulaması hayatımıza girmiştir. Bu uygulamalar cihazların kamera, kızılötesi, ToF, lidar gibi aygıtlarından gelen bilgiyle gerçekliğin artırımını sağlamaktadırlar. Böylesi uygulamaların yaygınlaşmasıyla, görme engelli odaklı uygulamaların geliştirilmesi de hem bir ihtiyaç hem de faal bir araştırma alanı olmuştur. Bu uygulamaların görme engelli bireylerin (GEB) kullanımına uygunluğunun değerlendirilmesinde hedef kitlenin ihtiyaçları, hassasiyetleri ve konforları göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada kendine yer bulan gerek yazılım sektöründen gerekse akademik kaynaklardan seçilmiş çalışmalar, GEB'e sağladığı çıktılar, gerçek zamanlı kullanıma hız ve doğruluk ölçütleri yönünden uygunluk ve ulaşılabilirlik açısından değerlendirilmiştir. Yazılım sektöründen seçilen çalışmalar kendine pazarda yer edinip belirli bir kullanıcı kitlesine ulaşmış ürünler olup, akademik çalışmalar ise 2013'ten günümüze yayınlanmış güncel ve özgün çalışmalardır. Çalışmaların karşılaştırılmasının yanı sıra, söz edilen ölçütlere en uygun bir uygulamanın nasıl ortaya konulabileceği yönünde de irdelemelerde bulunulmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Artırılmış Gerçeklik, Mobil Uygulamalar, Destekleyici Teknolojiler, Görme Engelliler

Gönderme, düzeltme ve kabul tarihi: 03.02.2023 - 01.06.2023 - 03.02.2023

Makale türü: Araştırma

### Abstract

Thanks to the widespread use of augmented reality (AR) development tools and mobile devices such as tablets and smartphones, many new assistive AR applications have found a place in our lives, especially in the last decade. These applications provide reality augmentation with the information that comes from the inertial sensors of the devices such as cameras, infrared, ToF, and lidar. With the spread of such applications, the development of visually impaired-focused applications has become both a need and an active research field. The needs, sensitivities and comforts of the target audience should be taken into account in evaluating the suitability of these applications for the use of visually impaired people (VIPs). In this study, selected studies from both the software industry and the academic literature are evaluated in terms of their suitability, accessibility and outputs provided to VIP. Studies selected from the software industry are products that have gained a place in the market and reached an evident user base, and academic studies are actual and original studies published from 2013 to the present. In addition to the comparison of the studies, it has also been examined how an application that is most suitable for the mentioned criteria can be put forward.

**Keywords:** Augmented Reality, Mobile Applications, Assistive Technologies, Visually Impaired Persons

### 1. Giriş

Görme duyusunun sağladığı görüntü bilgisi bireylerin dünyayı

derecede önemlidir. Görme duyusunun eksikliği ya da tamamıyla yoksunluğu bireylerin yaşam kalitesini doğrudan olarak olumsuz yönde etkileyen bir durumdur. Günlük yaşamda görme duyusunda bir sorun yaşamayan insanların özel dikkat ve emek sarf etmeksizin gerçekleştirdiği yolda engellerden kaçarak yürümek, giyinmek, karşıdan karşıya geçmek gibi eylemler görme engelli birey (GEB) için bir yardım ve destek olmadan gerçekleştirilemeyecek eylemlere dönüşebilmektedir. Böylesi bir yardım ve destek için bir yardımcının gerekliliği bireyin yaşam bağımsızlığını olumsuz etkileyen bir durumdur. Bu nedenle günümüzde, GEB'lere yönelik çözümlerin giyilebilir teknolojiler ya da mobil platformlar kullanılarak geliştirilmesi önemli bir çalışma alanıdır [1].

Belirtilen bu çözümler GEB'in günlük yaşam etkinliklerinin yönetmesini ve yönlendirilmesini (navigasyonunu) sağlama gibi işlevleri yerine getirirler ve destekleyici teknolojiler olarak adlandırılırlar [2]. Destekleyici teknolojilerde eğilim, son on yılda mobil cihazların kullanımının dünya genelinde yaygınlaşması ve mobil platformlara yönelik geliştirme araçlarının sunulmasıyla birlikte mobil uygulamalar yönündedir [3][4]. Bu uygulamalar genelde mobil cihazların duyularını kullanarak kullanıcıya titreşim ya da seslendirilmiş metin olarak yanıt döndürmektedirler. Bu bakımdan, kişinin içinde bulunduğu gerçeklikte, gerçekliğin boyutlarını artırıcı bir görev üstlendikleri için bu uygulamalar artırılmış gerçeklik (AR) uygulamaları olarak nitelendirilebilir [1]. Görme engeli bulunmayan bir bireyin gerçekliği eğer, beş duyu oranı bulunmasından ötürü, beş boyutlu olarak nitelendirilirse, GEB'in gerçekliği bu AR uygulamalarıyla dört boyuttan beşinci boyuta yükseltilmeye çalışılmaktadır. Bu gerçekleştirilirken görme duyusu ile sağlanan, kişinin karşısındaki nesnelere türü, karşılaşılabileceği engellerin mesafesi ve yaya yönlendirmesi gibi çıktılar GEB'e ses ya da titreşimle sunulmaktadır [5].

Söz konusu AR uygulamalarının değerlendirilmesinde, GEB'lerin bu yöndeki ihtiyaçları, kaygıları ve talepleri, uygulamanın ne denli kullanıcı dostu bir arayüze sahip olduğu, ürettiği çıktılarının çeşitliliği ve doğruluğu belirleyici ölçüt olmaktadır. Bunun yanı sıra, özellikle ülkemiz Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, uygulamanın kullanımı için gerekli maliyet ve ulaşılabilirlik de değerlendirmede belirleyici kriterlerdir [6].

Metnin izleyen bölümlerindeki kompozisyonu nesne türü, engel mesafesi ve yönlendirme için gerekli rota bilgilerinin üretim tekniklerine göre şekillendirilmiştir. Her bilgi üretim tekniğine ilişkin özgün uygulama örnekleri verilmiş ve bu örneklerin yukarıda sözü edilen ölçütlere göre uygunlukları değerlendirilmiştir. Değerlendirme yalnızca bilimsel çalışmalarla sınırlandırılmamış, yazılım sektöründen de öne çıkan örneklerle yer verilmiştir.

## 2. Değerlendirme

Değerlendirme bölümüne geçmeden önce araştırmada kullanılan sorgulamaya ilişkin ayrıntıların belirtilmesinde fayda görülmüştür. Konuya ilişkin akademik yayınların taranmasında Web of Science (WoS) ve IEEE Xplore veri tabanlarında anahtar sözcük kombinasyonundan oluşan

“(visually impaired OR blind) AND (augmented reality OR navigation OR assistive)” sorgusu kullanılmıştır. Sorguda kullanılan anahtar sözcük kombinasyonu, ilgili çalışmaların gerek başlık ve özetlerinde gerekse anahtar sözcüklerinde sıkça rastlanan sözcüklerdir. Sunulan bu çalışma, yalnızca bu sorgu ile elde edilen çalışmalardan ibaret değildir. “Connected Papers” adlı web uygulaması [URL-1] kullanılarak, sorgu sonucu elde edilen çalışma kümesinin bir atıf ağı elde edilmiş ve bu ağ yapısı üzerinden, küme içerisindeki çalışmalarca sıklıkla başvurulan kaynaklar da bu çalışmaya dahil edilmiştir. Böylelikle, anahtar sözcük sırasında gözden kaçması olası çalışmalar ve küme içerisindeki çalışmaların referans aldığı kaynaklar da çalışmaya dahil edilmiştir. Ayrıca söz edilen atıf ağı yapısı, ağ içerisindeki diğer çalışmalarla düşük etkileşimde bulunan çalışmaların da kapsamdan çıkarılmak üzere yeniden gözden geçirilmesini sağlamıştır. Elde edilen sonuçların teknolojilerin günümüzdeki seviyesi bağlamında anlamlı olması için sorgu 2013-2023 yılları aralığıyla sınırlandırılmıştır. Ayrıca şu da göz ardı edilmemelidir ki, bu değerlendirme yalnızca mobil cihazlar ile kullanılan, kullanıcıya nesne tanıma, engel uyarısı ve yönlendirme ile rehberlik sağlayan uygulamaları konu edinmektedir. Yazılım sektöründen sunulan örnekler de basında, internet aramalarında ve mobil cihazların uygulama mağazalarında konuya ilişkin aramalarda başlıca karşılaşılan örneklerdir. Yayınlarda, ilgili kapsamda geliştirilen uygulama sayısı burada irdelenenle sınırlı olmayıp, irdeleme kullanılan teknikler bakımından diğerleri arasından sıyrılan özgün uygulamalar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmadan önce ilgili alanda gerçekleştirilmiş kaynak araştırması çalışmaları da bu çalışmanın ortaya çıkmasında ilham verici olmuşlardır [2, 3, 5]. Bu çalışmayı, verilen çalışmalardan ayıran en belirgin özellik, destekleyici uygulamaların sınıflandırılmasında ve kıyaslanmasında kullanılan tekniklerin yanı sıra uygulamanın erişilebilirliğinin de gözetilmesidir. Ayrıca bu çalışmanın, konuyu güncel uygulamalarla ele alan ve Türk dilinde kaleme alınmış bir çalışma olması da özgünlüğünü perçinleyen bir etken olarak görülmektedir.

GEB'lere yönelik geliştirilen AR uygulamaları, kullandıkları yöntemler bakımından, iki kümeye ayrılabilir. Bunlardan birincisi QR (quick response) kod, RFID, BLE (bluetooth low energy), UWB (ultra-wideband), NFC, zemin işaretçisi ya da tabela gibi konum ve anlam karşılığı ön tanımlı işaretlerle donatılmış ve haritaları uygulama veri tabanında bulunan mekanlarda kullanılabilen “bağlamsal” uygulamalardır. Bağlamsal uygulamalar genelde GPS sinyalinin zayıf olduğu iç mekanlarda kullanılmaktadır. Diğerleri ise çeşitli duyulardan gelen veriyi anlık olarak işleyip ön tanımlı olmayan mekanlarda da bilgi üretip sunabilen “algısal” uygulamalardır. Bu duyular başta kamera, ToF (Time of flight) olmak üzere sesötesi duyurga, lidar ya da kızılötesi duyurga olabilmektedir.

Yayınlarda geçmiş inceleme çalışmalarında daha farklı sınıflandırmalarla karşılaşmak mümkündür. Örneğin [5] çalışmasında, ele alınan uygulamalar duyurga ağına dayalı uygulamalar ve video kamera kullanılan uygulamalar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılıp alt sınıflarla incelemeye devam edilmiştir. [2] çalışmasında ise uygulamalar, uygulamanın kullandığı duyurmanın aktif ya da pasif olma durumuna,

hareketli nesnelere ayırt edebilme yeteneklerine göre, derinlik tespitinin çalışma menziline, arka plan algoritmalarının çevrimiçi veya çevrimdışı çalışma durumlarına kadar inen derin bir hiyerarşide ele alınmıştır. Sunduğumuz bu çalışmada ise uygulamalar kullandıkları tekniklerin neticesinde, koşturulacakları alanda bir ön çalışmaya bağımlı (bağlamsal) ya da bilinmeyen ortamların anlık olarak algılanmasına dayalı (algısal) uygulamalar olmak üzere iki ana kümeye ayrılmıştır. Böylelikle sadece profesyonellerin değil, kullanmak üzere bir uygulama arayışında bulunan GEB'lerin ya da konuya teknoloji okur yazarlığı düzeyinde merak duyan bireylerin de fikir edinebileceği nitelikte üst bakışa sahip bir sınıflandırma ve değerlendirme elde edilmiştir.

## 2.1 Bağlamsal Uygulamalar

Bağlamsal yaklaşım kümesine ilk örnek olarak ARIANNA (pAth Recognition for Indoor Assisted Navigation with Augmented perception) verilebilir [7]. ARIANNA, iç mekanlarda GEB'lerin yönlendirmesini sağlamak üzere geliştirilmiştir. Mekanın kat planı üzerindeki konum karşılığı bilinen zemine işlenmiş QR kodlar ve bu kodlar arasına çekilmiş şeritler kullanılmıştır. QR kodlu akıllı telefon kamerasıyla taranıp uzak sunucuya gönderilmekte, sunucuda kodun kat planı üzerindeki konumsal tanımı çözümlenip GEB'in hedefe ulaşması için hesaplanan rota istemciye gönderilmektedir. GEB'in rota üzerinde hareket ettirilmesi, zemindeki şeritlerin kameranın görüş alanından çıktığı anda gerçekleşen titreşim kesintileriyle kullanıcının uyarılması ile sağlanmaktadır. Anlatılan şekliyle uygulamanın kullanılabilmesi için öncelikle GEB'in ziyaret edebileceği ya da zaman geçirebileceği tüm mekanlar için ön çalışma yürütülmesi gerekmektedir. Bu mekanların zeminleri QR kod ve şeritlerle işaretlenmeli, bu işaretçilerin kat planı üzerinde konum karşılıkları bilinmeli, sayısal kat planı üzerinden rota hesaplanabilmesi için kaydedilmelidir. ARIANNA'daki bu yükümlülükleri ortadan kaldıran, algısal yaklaşım grubuna dahil, bir güncelleme çalışması 2021 yılında ARIANNA+ adıyla sunulmuştur [8]. ARIANNA+, ilgili başlık altında irdelenecektir.

NavCog uygulaması ile GEB'lerin iç mekanlarda bluetooth bağlantılı BLE cihazlarla konumlandırılması ve yönlendirilmesi sağlanmıştır [9]. 6-12 metre aralıklarla yerleştirilmiş BLE cihazlar periyodik olarak kullanıcıların cihazlarına bluetooth aygıtları üzerinden kendi konumlarını yayınlamaktadırlar. Kullanıcı aygıtlarda bu yayınların toplamı ile bir BLE ağı oluşmakta ve konumlandırma bu ağ üzerinden enterpolasyon ile gerçekleşmektedir. Yönlendirme işlemi ise kullanıcı cihazının jiroskop aygıtı ile sağlanmakta ve sesli yönlendirme yapılmaktadır. BLE aygıtları iç mekanın kat planı üzerindeki dağılımlarının geometrisi, üretilen konum bilgisinin doğruluğunu direkt olarak etkilemektedir. Gerekli dağılımı sağlayabilmek de, özellikle geniş iç hacimli kapalı mekanlarda temin edilecek BLE sayısı fazla olabileceğinden, yüksek maliyetli olabilmektedir. Ayrıca yalnızca iOS işletim sistemi için geliştirilmiş olması, kullanıcı için bir donanım bağımlılığı da getirmektedir.

NavCog'da olduğu gibi konumsal etiketlerden enterpolasyon amaçlı ağ oluşturulmasında kullanılan bir diğer yapı da RFID'lerdir. RFID ile kullanılan çözümlerin çalışma ilkesi

yukarıda açıklanan BLE ile sunulan çözümlere benzerdir. Pasif RFID duyargaların etki alanı 0,5-10 metre aralığındadır. Bu nedenle çok sık yerleştirilmeleri gerekmektedir. Aksi takdirde, yönlendirme esnasında, kullanıcı cihazının jiroskop aygıtında hata birikimi çözülememekte ve sağlıklı bir şekilde yönlendirme sağlanamamaktadır. Aktif RFID kullanımında duyargaların 1 Km'ye kadar uzanabilen etki mesafeleri sayesinde BLE cihazlara kıyasla daha seyrek yerleştirilebilmeleri mümkündür [10]. Ancak bu duyargalar yüksek enerji tüketimi ve buna bağlı olarak fazladan bakım gerektirmektedirler [11]. BLE kullanan çözümlerdeki duyargaların dağılım geometrisinin doğruluğa etkisi burada da söz konusudur. Ayrıca bu çözümlerde GEB üzerinde akıllı telefona ilaveten mobil RF okuyucu bulunması gerekmektedir, bu da ulaşılabilirliği kısıtlayabilecek bir etkidir. Günümüzde tercih edilebilirlikleri BLE ve UWB cihazlara göre daha düşüktür.

SUGAR isimli çalışma UWB duyargalar kullanarak GEB'lerin iç mekanlarda yönlendirmesini sağlamaktadır [12]. 50-60 metre aralıklarla yerleştirilen UWB'lerle ağ oluşturulmaktadır. UWB, yukarıda söz edilen BLE ve RFID'ye göre daha pahalı olsa dahi, menzilin geniş olması sayesinde daha az UWB cihazı ile verim sağlanabilmektedir. Bu avantaj sayesinde bu çalışmada UWB'ler tercih edilmişlerdir. Oluşturulan UWB ağı üzerinden GEB'lerin konumlandırılması sağlanmış ve jiroskoptan gelen veri kullanılarak A\* algoritmasıyla hesaplanan bir rota üzerinden ses ile yönlendirilmiştir. BLE ve RFID çözümlerindeki duyargaların iç mekanlara yerleştirilmesi-bakımı ve yayılım geometrisinin doğruluğa etkisi durumları, SUGAR ve benzeri UWB kullanan çözümler için de geçerlidir.

Bağlamsal uygulamalar sınıfına dahil edilebilecek bir diğer çalışma Gören Göz projesi kapsamında sunulan Navibaston uygulamasıdır [13]. Bu çalışma kapsamında, çalışmanın finansörü bakanlık tarafından alınan başvurular sonucunda uygun görülen GEB'lere uygulamanın dağıtımını gerçekleştirilmektedir. Uygulama, çevrimiçi harita altlıkları üzerinden dış mekan yönlendirmesini sesli geri bildirimle sağlamaktadır. Bu uygulama, söz edilen erişim kısıtlaması sebebiyle test edilebilirlik ve ulaşılabilirlik açısından kısıt taşımaktadır. Ayrıca, kullanıcı geri dönüşleri ve sağlanan çıktılarının doğruluk ölçünleri paylaşılmadığı için güvenilirlik değerlendirmesinde bulunabilmek güçtür. Ülkemizde GEB'ler tarafından yaygın kullanılan bir uygulama olması sebebiyle bu çalışmada kendine yer bulmuştur.

Belirtildiği üzere bağlamsal yaklaşım grubundaki çalışmalar genelde iç mekan çözümlerine odaklanmışlardır. Bunun gerekçesi, dış mekanlarda konumlandırmada yaygın kullanılan GPS duyargalarının sağladığı verinin doğruluk düzeyinin iç mekanlarda oldukça düşük olmasıdır. Öyle ki GPS sinyalleri kapalı bir alana girdiklerinde engellerden ötürü zayıflamaktadırlar. Bu nedenle, iç mekanlarda GPS'in yerini alacak bir konum verisi sağlayıcıya ihtiyaç duyulduğu için BLE, RFID, UWB gibi vericilere ya da QR kodlara başvurulmuştur. Bu nesnelere yerleştirilmesi, alana dağılım geometrilerinin optimizasyonu, sayısal kat planı üzerine işlenmeleri, uygulamanın kullanılması olası her kapalı alan için bir ön çalışma yapılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, yalnızca iç

mekanlarla sınırlı kalmayarak, algısal yaklaşım grubunda irdelenecek çalışmalar ortaya çıkmıştır.

## 2.2 Algısal Uygulamalar

WeWALK akıllı baston projesi, GEB'nin karşısındaki engellerin sesli geri bildirimini sağlamaktadır. Sistem bir sesötesi duyurğa barındıran baston ve akıllı telefon uygulamasından oluşmaktadır. Sesötesi duyurğa ile kullanıcının göğüs ve baş hizasındaki 0,8-2,5 metre aralığındaki engeller algılanıp bildirilmektedir. Bununla birlikte kullanıcının akıllı telefonuna bluetooth bağlantısıyla bağlanarak, telefonun konum servisleri aracılığıyla çevrimiçi haritalar üzerinden yönlendirme sağlamaktadır[14].

ARIANNA'daki zemin işaretçisi tesisi yükümlülüğünü gideren ARIANNA+, iOS işletim sistemli cihazlarda ARKit [15] AR kütüphanesi fonksiyonları sayesinde GEB'in yönlendirmesini sağlamaktadır. ARKit ve Android tabanlı ARKit karşıt seçeneği ARCore [16], kullanıcı kamerasıyla algılanan sahnenin yapısını modellemek için ToF ve lidar duyurğalarını kullanırlar ve ARIANNA+'da da bu sayede sahnedeki zemin ve zemin üstü nesnelere ayrılması sağlanmıştır. GEB'in yatay zeminde bir engele çarpmadan hareket edebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca buna ek olarak uygulamaya, anlık görüntü üzerinden nesne tespiti yeteneği eklenmiş ve bunun için SSD [17] ve Inception [18] derin öğrenme (DL) modelleri kullanılmıştır. Uygulamanın ARKit tabanlı çalışıyor olması, Apple firmasının bu kütüphane için destek sağladığı belirli cihazlara bağımlılığı beraberinde getirmektedir [19].

[20] ile, GEB'e karşılaştığı nesnenin türünü ve nesne ile kullanıcı arasındaki mesafeyi sesli geri bildirimle sunan bir istemci sunucu mimarisi geliştirilmiştir. Kullanıcının akıllı telefonu ile alınan canlı görüntü kareleri uzak sunucuya gönderilip kareler üzerinden nesne türü ve mesafe bilgisi türetilmektedir. Bu bilgiler metin veri olarak istemciye gönderilip istemci tarafında metni sese dönüştürme teknolojisiyle sese dönüştürülerek kullanıcıya sunulmaktadır. Sunucu tarafındaki nesne türü çıkarımı YOLO [21] ve Fast R-CNN [22] DL modelleri ile sağlanmaktadır. Derinlik bilgisi çıkarımı için kamera odak ekseninin zemine paralel olduğu varsayımına dayanan bir üçgen benzerliği çözümü tercih edilmiştir. İstemci sunucu mimarisi ile işlem yükü uzak sunucuya aktarıldığı için, kullanıcı donanımından bağımsız olma niteliği taşımaktadır. Ancak derinlik çıkarımında tercih edilen yaklaşım, temel alınan varsayımın canlı kullanımda geçersiz kalma ihtimalinin yüksekliği sebebiyle riskli görülmüştür. Öyle ki, çalışmanın sinama sonuçlarında üretilen derinlik bilgisindeki hatanın 10 metre ve üzerindeki mesafelerde giderek arttığı görülmektedir.

"Watch Your Step" adlı çalışmada, GEB'in karşılaştığı engelleri kızılötesi duyurğa barındıran Google Tango destekli cihazlarla algılayarak titreşim ve ses ile geri bildirim veren bir çözüm geliştirilmiştir [23][24]. Kızılötesi duyurğadan gelen veri Google Tango fonksiyonları ile işlenerek cihazın algıladığı sahnenin fiziksel yapısı modellenenilmektedir. Bu çalışmayla GEB'in karşılaştığı engellerle arasındaki mesafe bilgisi üretilip, titreşim ve akustik geri bildirim ile bu engellerden kaçınması sağlanmıştır. Bu çözüm yalnızca Google Tango destekli cihazlar ile çalışıyor olmasından ötürü platform bağımlı bir

çözümdür. Ayrıca, Google firmasının 2018 yılında Tango'yu sonlandırıp ARCore projesini başlatmasından dolayı sürdürülebilir değildir [25].

[26] çalışmasında, GEB'in karşılaştığı nesne türü ve mesafe bilgisini canlı görüntü kareleri üzerinden DL modelleri ile üretilip ses ve titreşimle geri bildirim sağlayan bir istemci sunucu mimarisi geliştirilmiştir. Akıllı telefona Wi-fi ile bağı kablolu bir kamerayla alınan anlık görüntü kareleri sunucuya gönderilmekte, sunucuda YOLO ile nesne türü, [27] modeli ile de mesafe bilgisi 0,5-20 m aralığında üretilip istemciye gönderilmektedir. Bu bilgiler istemciye sese ve titreşime dönüştürülüp kullanıcıya sunulmaktadır. Titreşimli geri bildirim kullanıcının koluna taktığı iki akıllı saat ile verilmektedir. Çalışma, istemci sunucu mimarisi kurulması sayesinde kullanıcı cihazının kurulumuna bağımlılık barındırmamaktadır. Ancak akıllı telefonun kendi kamerası yerine ek kamera kullanılması bir ek donanım yükümlülüğü getirmektedir. Bu kamera aynı zamanda şarj edilmesi gereken fazladan bir donanım anlamına gelmektedir.

[1] çalışmasıyla, GEB'in karşılaştığı engelin türünü ve engel ile arasındaki mesafeyi, yalnızca akıllı telefon kamerasıyla alınan anlık görüntü üzerinden, sesli geri bildirimle sunan bir istemci sunucu mimarisi geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra bu uygulama, kullanıcı akıllı telefonunun konum servislerini kullanarak GEB'in dış mekanlarda sesli yönlendirmesini sağlamaktadır. Sunucu tarafında, telefon kamerasından gelen görüntüye karşılık görüntü üzerindeki nesnelere türü, konumları ve nesnelere ile kamera arasında mesafe DL modelleri ile üretilmektedir. Nesne tespiti için YOLO, mesafe çıkarımı için ise BTS (from Big To Small) DL modelleri kullanılmıştır [28][29]. Bu bilgiler istemciye metin veri formatında gönderilmektedir. Metin formattaki bilgiler metinden ses üretme yöntemi ile sese dönüştürülerek GEB'e sunulmaktadır. İstemci tarafında aynı zamanda, Mapbox Web Servisleri kullanılarak yönlendirme sağlanmaktadır [30]. Bu çalışma ile herhangi bir donanım bağımlılığı bulunmayan, düşük yetenekli mobil cihazlarda da sorunsuz çalışabilecek, DL modellerinin problem çözme yeteneğini web üzerinden sunabilen bir uygulama üretilmiştir.

[31] çalışmasında, GEB'in karşılaştığı engelin bilgisi, anlık görüntü üzerinden sahne yorumlaması sağlayan bir DL modeliyle bir istemci sunucu mimarisi aracılığı ile sunulmuştur. Görüntü üzerindeki nesnelere tanınması YOLO modeli ile sağlanmış, görüntü üzerinden algılanan nesnelere arasındaki uzamsal ilişkinin konuşma diline dökümü Doğal Dil İşleme (DDİ) mimarileri ile sağlanmıştır. Konuşma dilinde üretilen metin formatındaki sahne yorumu, 70'i aşkın dil seçeneği ile sese dönüştürülerek kullanıcıya sunulmuştur. Bunun yanı sıra, eğer ki anlık görüntü bir yazı ya da tabela içeriyorsa OCR tekniği ile sayısallaştırılıp sese dönüştürülerek kullanıcıya sunulmaktadır.

[32] çalışmasında ise anlık görüntü üzerinden GEB'e kalabalıkta uyarı verme amacıyla yaya tanıma sağlayan bir DL modeli geliştirilip, taşınabilir atanmış dizgeler üzerinde koşum zamanı ve doğruluk sinamaları gerçekleştirilmiştir. YOLO modeli yalnızca yaya tespiti yapmak üzere uygulamaya uyarlanarak Nvidia Jetson Nano atanmış dizge üzerinde MİB

ve GiB (Grafik İşleme Birimi) ile yanıt süresi değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanıcıya sağlanan geri bildirim türüne ilişkin bir bilgi verilmemiş olup, YOLO mimarisinin yaya tespiti bağlamındaki başarımı ele alınmıştır.

### 2.3 Uygulamaların Karşılaştırılması

Belirtildiği gibi gerek akademik yayınlardan gerekse yazılım sektöründen GEB'lere yönelik geliştirilmiş AR uygulaması örnekleri irdelenmiştir. İrdeme platformdan bağımsızlık, ek donanım yükümlülüğü, doğruluk ölçünleri, üretilen çıktılarının çeşitliliği açılarından gerçekleştirilmiştir. Çizelge-1'de irdelenen uygulamaların özgünlükleri verilmiş olup, Çizelge-2'de de uygulamalar birbirleri ile karşılaştırılmış; metnin devamında da en uygun uygulamanın seçimine ve iyileştirmelere yönelik çıkarımlarda bulunulmuştur. Çizelgedeki “-” ifadesi ilgili özelliğin çalışmada bulunmadığını ya da açıklanmadığını, “+” ifadesi ise ilgili özelliğin bulunduğunu belirtmektedir.

Uygulamanın platform bağımlılığının bulunması ve beraberinde ek donanım yükümlülüğü getirmesi ulaşılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu açıdan bakıldığında [9], [8] ve [23] çalışmaları belirli işletim sistemlerine yönelik geliştirme araçlarıyla geliştirilmiş oldukları için mevcuttaki halleriyle evrensel çözümler olmayıp, çapraz platform geliştirme araçlarıyla yeniden düzenlenerek tüm işletim sistemlerinin kullanıcılarına hitap eder duruma getirilebilirler. Öyle ki, Unity ya da Godot gibi çapraz platform geliştirme ortamlarıyla [33] ya da PWA (Progressive Web Apps) gibi web tabanlı çözümlerle bu bağımsızlık sağlanabilmektedir [34]. Bunun yanı sıra, ek donanım yükümlülüğü, daha önce de belirtildiği gibi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde donanım fiyatlarından dolayı üretilen çözümün yaygınlaşmasına engel olabilmektedir. [1], [20],[26] ve [31] çalışmalarında olduğu gibi istemci sunucu mimarileri ile, deneysel dahi olsa, bunun önüne geçilebilmektedir. Bu çözümlerin deneysel boyuttan çıkarılıp son kullanıcılar arasında yaygınlaşması sunucu maliyetlerinin karşılanmasını gerektirmektedir. Günümüzde bu sunucu maliyetleri, çevrimiçi gerçek zamanlı oyunlar göz önünde bulundurulduğunda, reklam gelirleriyle ya da donanım temininin yanında çok küçük sayılabilecek ücretlerle karşılanabilmektedir [35]. Bunların haricinde, [7], [9] ve [12] çalışmaları için söz edilen ek donanım yükümlülüğü, bu çalışmalar iç mekan yönlendirmesine yönelik çalışmalar olduğu için, GPS sinyallerinin iç mekanlardaki zayıflığından kaynaklı bir yükümlülüktür. [8] çalışmasındaki gibi zemin çıkarımına dayanan bir yaklaşımla ya da GPS sinyalinin güçlü olduğu bir dış mekan noktasından çıkış alınarak gerçekleştirilen, jiroskop, ivmeölçer ve manyetometre duyargalarında üretilen açı mesafe bilgisi ile koordinat taşımaya dayanan çözümlerle (PDR-pedestrian dead reckoning) [36] bunun üstesinden gelinebilir.

Sağlanan çıktılarının çeşitliliği açısından [1], [8] ve [26] çalışmaları, derinlik çıkarımı, nesne tanıma ve yönlendirme çıktılarının üçünü birden sunmalarıyla ön plana çıkmaktadırlar. Çıktının çeşitliliği kadar çıktılarının doğruluğu ve üretim hızları uygulamanın, GEB'in gerçek zamanlı kullanımına uygunluğu belirleyen önemli faktörlerdir. Derinlik

çıkarmı için en yüksek hız, doğruluk, çalışma menzili ölçünlerini [26] çalışması sağlamıştır. [26]'yı çok yakın ölçünlerle [1] takip etmektedir. Bu iki çalışmanın bu fonksiyonu diğerlerinden açık ara yüksek bir performansla sağlamaları, gerekli arka plan algoritmalarının koşumlarını uzak sunucuya aktarmak suretiyle GPU'ların yüksek hesaplama kapasitesi ve yüksek hızlarını mobil platformlarda kullanmaları sayesinde. Böylelikle, akıllı telefonlarda kullanılması depolama alanı ve işlemci güçlerinin yetersizliği sebebiyle zor olan DL modellerinin problem çözme kapasitelerinden faydalanılmıştır. Derinlik çıkarımı başarımında bu iki çalışmayı [20] takip etmektedir. Güvenli çalışma menzilinün düşük ve hatasının yüksek olması 2.2 başlığı altında açıklanan varsayım sebebiyledir.

En yüksek nesne tanıma doğruluğu ölçünü [8] çalışması sağlamıştır. Fakat bu doğruluğu hangi hızda sağladığına dair bilgi çalışmada sunulmamıştır. En yüksek nesne tanıma hızını ise [1] çalışması 27 ms gibi bir süreyle sağlamıştır. Bu değer, saniyede 37 kareye (37 fps) karşılık gelmektedir. Bu 30 fps hızında görüntü alan ortalama bir akıllı telefon üzerinde, gerçek zamanlı kullanım için yeterlidir. [1] çalışmasındaki nesne tanıma doğruluğunun kendisine yakın çalışmalara göre düşük olmasının en önemli nedeni, YOLO modelinin 91 nesne sınıfı barındıran COCO (Common Objects In Context) [37] veri kümesi ile eğitilmiş bir ön eğitilmiş sürümünü doğrudan uygulamaya uygulanmış olmasıdır. Kaykay, zürafa, çörek gibi GEB için gereksiz birçok nesne sınıfının bulunması, modelin hesaplaması gereken fazladan parametre ve eğitim verisi anlamına gelmektedir. Öyle ki, [26] çalışmasında böyle bir nesne sınıfı sayısı kısıtlamasına gidilerek, YOLO modeli GEB için yeterli 7 nesne sınıfı ile yeniden eğitilerek daha yüksek doğruluk sağlanmıştır. Benzer bir kısıtlamaya [32] çalışmasında da gidilerek, YOLO mimarisi yalnızca “yaya” sınıfı ile eğitilmiştir. Böylelikle referans alınan modelin eğitildiği COCO veri kümesindeki uygulama kapsamındaki sınıflar çıkarılmış fazla parametre hesaplamasının önüne geçilmiştir. [31] çalışmasında ise sağlanan nesne tanıma işleminin doğruluğuna ilişkin bir bilgi verilmemiştir. Fakat [1] çalışması ile aynı ön eğitilmiş modelin kullanıldığı düşünülürse, aynı doğruluk değeri kabul edilebilir. Ayrıca bu çalışmanın, yalnızca nesne tanıma ile sınırlı kalmayıp, görüntü üzerinden tanınan nesnelerin aralarındaki uzamsal ilişkiyi kullanarak sahne yorumlama sağlaması sebebiyle, uygulamanın yanıt süresi ortalama 441 ms dolaylarındadır.

İç mekan yönlendirmesi sağlayan çalışmalar içerisinde, herhangi bir ek donanım ya da işaretçi tesisi gerektirmeyen bir uygulama olması sebebiyle tercih [8] yönünde olmalıdır. Dış mekan yönlendirmesi sunan [1] ve [14] uygulamalarına bakıldığında ise, dış mekan yönlendirmesinin yanı sıra birçok çıktı sağlaması sayesinde tercih [1] çalışması olacaktır. Elbette ki bu seçim, kullanıcı tercih ya da önceliklerine göre farklılık gösterebilir.

### 3. Tartışma

Çalışmanın “Uygulamaların Kıyaslanması” başlığı altındaki irdemelere bakıldığında, istemci sunucu mimarilerine dayanan web tabanlı uygulamaların ek donanım ve bir platforma bağımlılık gerektirmemeleri sebebiyle ön plana

çıkartıldığı görülmektedir. Bu noktada, web tabanlı uygulamaların da sürekli internet kullanımı sebebiyle yüksek veri ücretleri ödenmesine yol açacağı dezavantajı akla gelebilir. Günümüzde, destekleyici uygulamalarla sınırlı olmaksızın çoğu mobil uygulama yalnızca bir istemci uygulaması formunda olup arka plan işlemlerini uzak sunucuda gerçekleştirmektedir ve anlık veri tüketimi hayatımızın artık parçası haline gelmiştir. Bu uygulamada irdelenen destekleyici uygulamalar gibi yüksek hesap yükü gerektiren algoritmaların da uzak sunucu üzerinde değil kullanıcı cihazında koşması yüksek enerji tüketimine sebep olacak ve yüksek kapasiteli taşınabilir şarj istasyonlarına mutlak ihtiyaç doğuracaktır. Ayrıca, web tabanlı mimariler bu algoritmalarındaki bir güncellemenin anında tüm kullanıcılara, kullanıcıların bir kurulum yapmasını gerektirmeden, sunulabilmektedir. Algoritmadaki güncelleme sunucu üzerinde gerçekleştiği için istemci doğrudan güncel uygulama ile iletişime geçmektedir. Böylesi uygulamaların çevrimdışı olarak kullanıcı cihazında koşması durumunda, algoritmadaki her bir güncelleme için kullanıcının yeniden kurulum yapması gerekmektedir. Eğer ki gelecekte teknoloji, [32]'dekine benzer sunuculardakine denk yüksek işlem kapasiteli GPU'lara sahip atanmış dizgeleri uygun maliyetlerle son kullanıcıyla buluşturabilirse ve veri aktarım hızları, algoritmalarındaki güncellemelerin atanmış dizgeye yüklenmesi web tabanlı kullanımdakine denk seviyelere getirilebilirse, bu çalışmadaki ve benzeri çalışmalardaki değerlendirmelerin tekrar gözden geçirilmesi gerekecektir. Ayrıca, irdelenen çalışmaların birçoğunda kullanıcı için ortalama bir maliyet bilgisi verilmemiştir. Özellikle ülkemiz Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde maliyet konusu birçok konuda belirleyici unsurdur.

Tüm bunların haricinde, destekleyici teknolojiler alanı yeniliklere çok açık ve hızlı ilerleyen bir alan olup, her yıl onlarca özgün çalışmayı karşımıza çıkarmaktadır. Bu çalışmada irdelenen uygulamaların belki de 1 yılı bulmayacak bir sürede daha yüksek işlevli alternatiflerinin ortaya çıkması muhtemeldir. Bu nedenle gelecekte, teknolojik gelişmelerin ve kullanıcı ihtiyaçlarının dikkate alınarak, değerlendirmelerin yeniden gözden geçirilmesi gerekecektir.

#### 4. Sonuç

Yukarıdaki incelemeler için seçilen uygulamaların üstün ve zayıf özellikleri açıklanmış, zayıf yönlerin geliştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur. Bununla birlikte kullanım amaçlarına göre en uygun uygulama seçimlerinde bulunulmuştur. Şunu belirtmekte fayda vardır ki, ilgili alanda ortaya konulmuş çalışmalar bu çalışmada incelenenler sınırlı olmayıp; incelemeye tabi tutulan uygulamalar kullandıkları yöntemlerin özgünlüğü bakımından benzerlerinden sıyrılmaları sayesinde bu çalışmaya konu olmuşlardır. Yapılan irdelenmeler ışığında, kullanıcı aygıtlarının kurulumunda ve ek donanımlardan bağımsız, özellikle nesne tanıma ve derinlik çıkarımı fonksiyonlarında, yüksek performans sağlayan bir çözüm geliştirilmesi için tercihin web tabanlı istemci sunucu mimarileri yönünde olması gerektiği rahatlıkla söylenebilir. Hesaplama yükü barındıran ve koşum zamanı ölçünlü donanımlarda çok uzun sürecek algoritmaların sonuçları, yüksek işlem gücü barındıran sunucular sayesinde alt ve orta

maliyetli mobil cihazlarda yüksek hızda değerlendirilebilir olmaktadır.

**Çizelge-1. Uygulamaların özgün değerlerinin özet çizelgesi. Sol sütunda uygulamanın, eğer verilmişse, özel ismi, sağ sütunda ise özgün değerinin kısa ifadesi yer almaktadır.**

[1] (Akın ve Cömert, 2023)	Anlık görüntü üzerinden derinlik çıkarımı ve nesne tanıma özellikleri sunan bir dış mekan yönlendirme uygulaması.
[7] ARIANNA	İç mekanlarda zemin işaretçileri üzerinde yönlendirme sağlayan bir iç mekan yönlendirme uygulaması.
[8] ARIANNA +	İç mekanlarda zemin yüzeyinin ve engellerin ToF ve lidar duyargalar yardımıyla algılanıp bireyin yönlendirmesini sağlayan bir yönlendirme uygulaması.
[9] NavCog	BLE cihaz ağı ile anlık konum kestirimi yapılarak bireyin yönlendirilmesini sağlayan bir iç mekan yönlendirme uygulaması.
[12] SUGAR	UWB cihaz ağı ile anlık konum kestirimi yapılarak bireyin yönlendirilmesini sağlayan bir iç mekan yönlendirme uygulaması.
[13] Navibaston	Çevrimiçi harita altlıkları üzerinden dış mekan yönlendirme sağlayan bir mobil uygulama.
[14] WeWALK	Engel algılama ve dış mekan yönlendirme sağlayan bir akıllı baston uygulaması.
[20] (Lin vd., 2017)	Derinlik çıkarımı ve nesne tanıma ile engel algılama hizmeti sunan bir mobil uygulama
[23] Watch Your Step	Kızılötesi duyarga ile engel algılama sağlayan bir mobil uygulama
[26] (Bauer vd., 2020)	Anlık görüntü üzerinden derinlik çıkarımı ve nesne tanıma özellikleri sunan bir mobil uygulama.
[31] (Venkat Ragavan vd., 2023)	Anlık görüntü üzerinden nesne tanıma, yazı okuma ve sahne yorumlama sağlayan bir uygulama
[32] (Maya-Martinez vd., 2023)	Taşınabilir atanmış dizge üzerinden nesne tanıma işleminin koşum zamanı değerlendirmesi

**Tablo 2.Uygulamaların kıyaslama tablosu**

	[7]	[9]	[12]	[13]	[14]	[8]	[20]	[23]	[26]	[1]	[31]	[32]
Platform bağımsızlığı	+	iOS	+	+	+	iOS	+	Android	+	+	+	-
Ek donanım yükümlülüğü	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	+
Sağlanan çıktı çeşitliliği (sayısı)	1	1	1	1	2	3	2	1	3	3	2	1
Derinlik Çıkarımı Hatası (metre)	-	-	-	-	-	-	<2,5	-	0,67	0,84	-	-
Derinlik Çıkarımı Menzili (metre)	-	-	-	-	2,50	-	10,00	3,00	20,00	20,00	-	-
Derinlik Çıkarımı Hızı (milisaniye)	-	-	-	-	-	-	-	-	136	140	-	-
Obje Tanıma Doğruluğu	-	-	-	-	-	0,90	0,60	-	0,74	0,63	-	0,73
Obje Tanıma Hızı (milisaniye)	-	-	-	-	-	-	-	-	106	27	441	110
İç mekan yönlendirmesi	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Dış mekan yönlendirmesi	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Geri bildirim türü	Titreşim	Ses	Ses	Ses	Ses + Titreşim	Ses + Titreşim	Ses	Ses + Titreşim	Ses + Titreşim	Ses	Ses	-

## Kaynakça

- [1] Akin, A.T. and Cömert, Ç., "The development of an augmented reality audio application for visually impaired persons.", *Multimedia Tools and Applications*, 82(11), 17493-17512, (2023).
- [2] Elmannai, W., and Khaled E., "Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: Current status, challenges, and future directions.", *Sensors*, 17.3:565, (2017).
- [3] Csapó, Á., et al., "A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research.", *Journal on Multimodal User Interfaces*, 9.4: 275-286 (2015).
- [4] Croce, D., et al., "Enhancing tracking performance in a smartphone-based navigation system for visually impaired people.", *24th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, IEEE, (2016).
- [5] Tapu, R., Bogdan M., and Titus Z., "Wearable assistive devices for visually impaired: A state of the art survey.", *Pattern Recognition Letters*, 137: 37-52, (2020).
- [6] Maidenbaum, S., Sami A., and Amir, A.i., "Sensory substitution: closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation.", *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 41: 3-15, (2014).
- [7] Gallo, P., et al. "ARIANNA: pAth recognition for indoor assisted navigation with augmented perception.", *arXiv preprint, arXiv:1312.3724*, (2013).
- [8] Lo Valvo, A., et al., "A navigation and augmented reality system for visually impaired people.", *Sensors*, 21.9: 3061, (2021).
- [9] Ahmetovic, D., et al. "NavCog: a navigational cognitive assistant for the blind.", *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, (2016).
- [10] Alghamdi, S., van Schyndel R., and Ibrahim K., "Accurate positioning using long range active RFID technology to assist visually impaired people.", *Journal of Network and Computer Applications*, 41: 135-147, (2014).
- [11] Plikynas, D., et al., "Indoor navigation systems for visually impaired persons: Mapping the features of existing technologies to user needs.", *Sensors*, 20.3: 636, (2020).
- [12] Martinez-Sala, A., et al., "Design, implementation and evaluation of an indoor navigation system for visually impaired people.", *Sensors*, 15.12: 32168-32187, (2015).
- [13] <http://gorengoz.aile.gov.tr>, "Gören Göz", (Erişim: 18 Mayıs 2022).
- [14] <https://wewalk.io/tr/>, "Dünyanın En Akıllı Bastonu ve Mobil Uygulaması", (Erişim: 18 Mayıs 2022).
- [15] Wang, W., "Understanding augmented reality and ARKit.", *Beginning ARKit for iPhone and iPad*, Apress, Berkeley, CA, 1-17, (2018).
- [16] Du, R., et al., "DepthLab: Real-time 3D interaction with depth maps for mobile augmented reality.", *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, (2020).
- [17] Liu, W., et al., "Ssd: Single shot multibox detector.", *European conference on computer vision*, Springer, Cham, (2016).
- [18] Szegedy, C., et al., "Going deeper with convolutions.", *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, (2015).
- [19] Oufqir, Z., El Abderrahmani A., and Satori K., "ARKit and ARCore in serve to augmented reality.", *2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, IEEE, (2020).
- [20] Lin, B.-S., Lee C.-C., and Chiang P.-Y., "Simple smartphone-based guiding system for visually impaired people.", *Sensors*, 17.6: 1371, (2017).
- [21] Redmon, J., et al., "You only look once: Unified, real-time object detection.", *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, (2016).
- [22] Girshick, R., "Fast r-cnn.", *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, (2015).
- [23] Sun, M., et al. "'Watch Your Step': Precise Obstacle Detection and Navigation for Mobile Users Through Their Mobile Service.", *IEEE Access*, 7: 66731-66738, (2019).
- [24] Marder-Eppstein, E., "Project Tango", <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2933540.2933550>, 25-25, (2016).
- [25] <https://www.theverge.com/2017/12/15/16782556/project-tango-google-shutting-down-arcore-augmented-reality>, "Google's Project Tango is shutting down because ARCore is already here", (Erişim: 18 Mayıs 2022).
- [26] Bauer, Z., et al. "Enhancing perception for the visually impaired with deep learning techniques and low-cost wearable sensors.", *Pattern recognition letters*, 137: 27-36, (2020).
- [27] Laina, I., et al. "Deeper depth prediction with fully convolutional residual networks.", *2016 Fourth international conference on 3D vision (3DV)*, IEEE, (2016).
- [28] Lee, J. H., et al. "From big to small: Multi-scale local planar guidance for monocular depth estimation.", *arXiv preprint, arXiv:1907.10326*, (2019).
- [29] Akin, A. T., and Cömert Ç.. "Testing of a Deep Learning Model Providing Monocular Depth Estimation on Mobile Devices via Web Service.", *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, IEEE, (2021).
- [30] Kastanakis, B., "Mapbox Cookbook", Packt Publishing Ltd, (2016).
- [31] Venkat R., Tarun, A. H., Yogeeshwar, S., Vishwath Kumar, B. S., and Sofana Reka, S., "A realtime portable and accessible aiding system for the blind—a cloud based approach.", *Multimedia Tools and Applications*, 1-14, (2023).
- [32] Maya-Martínez, S. U., Argüelles-Cruz, A. J., and Guzmán-Zavaleta, Z. J., "Pedestrian detection model based on Tiny-Yolov3 architecture for wearable devices to visually impaired assistance.", *Frontiers in robotics and AI*, 10., (2023).
- [33] Fahme, M.U.S., and Khan T. H., "Choose Your Arsenal." *How to Make a Game*. Apress, Berkeley, CA, 31-40, (2021).
- [34] Tandel, S., and Jamadar, A., "Impact of progressive web apps on web app development.", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 7.9: 9439-9444, (2018).
- [35] Metzger, F., et al. "The Prospects of Cloud Gaming: Do the Benefits Outweigh the Costs?.", (2016).
- [36] Kang, W., and Han, Y., "SmartPDR: Smartphone-based pedestrian dead reckoning for indoor localization.", *IEEE Sensors journal* 15.5: 2906-2916, (2014).
- [37] Lin, T. Y., et al., "Microsoft coco: Common objects in context. In *Computer Vision—ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, Proceedings, Part V* 13., 740-755, Springer International Publishing., (2014).
- [38] Explore connected papers in a visual graph, <https://www.connectedpapers.com/>, Son Erişim: 31/05/2023