

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANSITMALI OPTİK DALGA KILAVUZU METODUYLA ARTIRILMIŞ
GERÇEKLİK CİHAZI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ERBEY

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

MAYIS 2019

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YANSITMALI OPTİK DALGA KILAVUZU METODUYLA ARTIRILMIŞ
GERÇEKLİK CİHAZI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Abdullah ERBEY
(131081505)**

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Gökhan GELEN

MAYIS 2019

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 131081505 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Abdullah ERBEY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Yansıtımlı Optik Dalga Kılavuzu Metoduyla Artırılmış Gerçeklik Cihazı Tasarımı” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Gökhan GELEN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Özgür T. KAYMAKÇI**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ekrem DÜVEN
Bursa Teknik Üniversitesi

Savunma Tarihi : MAYIS 2019

FBE Müdürü : **Doç. Dr. Murat ERTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi /...../.....

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Abdullah ERBEY

İmzası :

XXXXXX



Biricik eşim ve sevgili aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında artırılmış gerçeklik hakkında genel bilgi verilmiş, artırılmış gerçeklik cihazlarının çalışma prensiplerine değinilmiş ve bu prensiplerden biri olan yansıtmalı dalga kılavuzu kullanılarak artırılmış gerçeklik cihazı prototipi oluşturulmuştur.

Tez çalışmamamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanım Doç. Dr. Gökhan GELEN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Abdullah ERBEY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
SUMMARY.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezin Amaçları.....	2
2. TEMEL KAVRAM VE KONULAR.....	4
2.1 Işığın Geçirmeyen – Sarmal Ekranlı HMD Cihazları	5
2.2 Işığın Geçiren – Transparan HMD Cihazları.....	7
2.2.1 Cihaz Özellikleri.....	8
2.2.2 Kullanılan Optik Yöntemler.....	9
2.2.3 Yansıtımlı Dalga Kılavuzu Metodu.....	10
2.3 Okülerlik	12
2.4 Ekran.....	12
3. SİSTEM TASARIMI	14
3.1 Kullanılan Ekran	14
3.2 Kullanılan Denetleyici	15
3.3 Bileşenlerin Bağlantısı.....	16
3.4 Cihaz Modellemesi	17
4. HESAPLAMALAR VE BULGULAR.....	19
4.1 Merceğin Odak Uzunluğunun Belirlenmesi	19
4.2 Görüş Alanı Hesaplanması	22
4.3 Göz açıklığı ve Mercek Yarıçapının Belirlenmesi	24
4.4 Merceğin Büyütme Gücünün Hesaplanması	25
4.5 Görüntü Boyutunun Hesaplanması	26
4.6 Gözün Görsel Duyarlılığı (Visual Acuity) ve Açısal Çözünürlük	27
4.7 Göz kutucuğu (Eye Box)	28
4.8 Hesaplamalara Dair Bulgular.....	30
5. UYGULAMALAR	32
5.1 Saat Uygulaması.....	32
5.2 Endüstriyel Robotun Konum Bilgilerinin Görüntülenmesi	32
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR.....	36
EKLER	40
ÖZGEÇMİŞ	44

KISALTMALAR

AP	: Erişim Noktası (Access Point)
AR	: Artırılmış Gerçeklik (Augmented Reality)
FOV	: Görüş Alanı Açısı (Field of View)
HUD	: Baş Üstü Ekran (Head-Up Display)
HMD	: Baş Destekli Ekran (Helmet-Head Mounted Display)
HWD	: Başa Giyilebilir Ekran (Head Worn Display)
IDE	: Bağlı Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment)
IO	: Giriş – Çıkış (Input-Output)
IOT	: Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)
I2C	: Entegre Bağlı Devre (Inter-integrated Circuit)
LCD	: Likit Kristal Ekran (Liquid Crystal Display)
LCOS	: Silikon Üzerinde Likit Kristal (Liquid Crystal on Silicon)
Li-Po	: Lityum Polimer (Lithium Polymer)
MW	: MegaWatt
NED	: Göze Yakın Ekran (Near Eye Display)
OLED	: Organik Işık Emici Diyot (Organic Light-Emitting Diode)
OTA	: Kablosuz Programlama (Over the Air Programming)
QVGA	: Dörtlü Video Grafik Dizisi (Quarter Video Graphics Array)
PBS	: Polarize Işık Bölücü (Polarized Beam Splitter)
SPI	: Seri Çevresel Arayüz (Serial Peripheral Interface)
TIR	: Toplam Tam Yansıma (Total Internal Reflection)
UWVGA	: Ultra Geniş Vıdyo Grafik Dizisi (Ultra Wide Video Graphics Array)
VR	: Sanal Gerçeklik (Virtual Reality)
Wifi	: Kablosuz Bağlantı (Wireless Fidelity)
3D	: Üç Boyutlu (Three Dimensional)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Farklı ekran-mercek arası mesafe değerlerine göre hesaplamalar.	20
Çizelge 4.2 : Ekran-mercek arası mesafe değerlerine göre görüş açısı değerleri.....	30
Çizelge 4.3 : Oluşturulan HMD cihazı özet bilgileri.	31



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: İşaretçi (marker) yardımıyla AR.....	4
Şekil 2.2	: Işığın geçirmeyen-sarmal HMD cihazları (sol) ve ışığı geçiren– transparan HMD cihazları (sağ)	5
Şekil 2.3	: Sensorama VR cihazı.	6
Şekil 2.4	: Google Cardboard ile VR deneyimi.....	6
Şekil 2.5	: Google Glass görünümü.....	7
Şekil 2.6	: Kullanılan optik geliştirme yöntemleri.	9
Şekil 2.7	: Işık bölücü (sol) ve ışık kılavuzu (sağ)	11
Şekil 2.8	: Epson Moverio 100 tek ışık bölücü kullanarak oluşturduğu Işık kılavuzu ve Moverio ürünü.....	11
Şekil 2.9	: HMD cihazlarında okülerlik.....	12
Şekil 2.10	: TI firmasının geliştirdiği DLP LCOS ekran.....	13
Şekil 3.1	: Micro-Oled 0.66 inç ekran	14
Şekil 3.2	: Particle Photon IOT modülü.....	15
Şekil 3.3	: Particle Web IDE ekran görüntüsü	16
Şekil 3.4	: Bağlantı şeması.	16
Şekil 3.5	: Cihaz taslak çizimi.	17
Şekil 3.6	: Cihaz modellemesi.....	18
Şekil 4.1	: Gaussian lens denklemi.....	20
Şekil 4.2	: Farklı cihaz uzunluklarının test edilmesi.	21
Şekil 4.3	: Oled ekran ile mercek arasında kalan mesafe.	21
Şekil 4.4	: İnsan görüş alanı	22
Şekil 4.5	: FOV değerlerine göre cihazlar	23
Şekil 4.6	: Görüş açısı.....	23
Şekil 4.7	: Göz açıklığı (E) ve mercek çapı (D).	24
Şekil 4.8	: Direkt bakılan nesne (sol) ve büyüteçten bakılan nesne (sağ)	25
Şekil 4.9	: Resim 60 piksel/derece (sol) ve resim 7.5 piksel/derece (sağ).....	28
Şekil 4.10	: Göz kutucuğu ve göz açıklığı gösterimi.....	29
Şekil 4.11	: Kullanıcı göz kutucuğuna uzaktan baktığındaki durum.....	29
Şekil 5.1	: Çalışmada oluşturulan HMD (sol), saat uygulaması (sağ).....	32
Şekil 5.2	: Robotik koldan okunan verinin kablosuz olarak yayınlanıp proje çıkışı üzerinde gösterilmesi.	33
Şekil 5.3	: Robotik kol eksen bilgilerinin web sayfasında yayınlanması	34
Şekil 5.4	: Okunan eksen bilgilerinin cihaz ile kullanıcıya sunulması (sol) ve joystick modülü ile robot kolun hareket ettirilmesi (sağ).....	35

YANSITMALI OPTİK DALGA KILAVUZU METODUYLA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK CİHAZI TASARIMI

ÖZET

Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte, gerçek dünya ortamı içerisine bildirim, görüntü ve internet içeriklerinin dahil edilmesini sağlayan artırılmış gerçeklik cihazları ortaya çıkmıştır.

Bu tez kapsamında yansıtmalı optik dalga kılavuzu yöntemi kullanılarak bir artırılmış gerçeklik cihazı tasarım ve prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Prototipin oluşturulmasında şu aşamalar takip edilmiştir: İlk olarak cihazın ekran ve elektronik bileşenleri bir araya getirilmiştir. Optik hesaplamalar dikkate alınarak cihaz tasarlanmıştır. Gerekli yazılımlar oluşturularak örnek uygulamalarla cihaz test edilmiştir.

Tasarlanan prototip cihazda tasarım aşamasında hesaba katılması gereken optik faktörler incelenmiş ve görüntünün optimum netlikte elde edilebilmesi için çeşitli optik hesaplamalar yapılmıştır. Altı eksenli endüstriyel bir robotun xyz konum bilgisinin cihaza kablosuz aktarımı sağlanarak örnek bir uygulamayla artırılmış gerçeklik deneyimi test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış gerçeklik, başa giyilebilir ekranlar, optik yansıtıcı dalga kılavuzu.

DESIGN OF AUGMENTED REALITY DEVICE USING OPTICAL REFLECTIVE WAVEGUIDE

SUMMARY

Rapid developments in technology have enabled the emergence of augmented reality devices that allow for the inclusion of images and internet content into real-world environments.

In this thesis, an augmented reality device design and prototype production were made by using the optical reflected waveguide method. These steps were followed during creation of prototype: First, the display and electronic components of the device are assembled. Device is designed with making optical calculations. The necessary software was developed and optical device is tested with sample applications.

In the designed prototype device, the optical factors that should be taken into account during the design phase were investigated and various optical calculations were made to get optimum clarity of visual experience. Augmented reality experience tested on prototype device with sample application. 6-axis industrial robot is used in sample application which transmitted xyz position information wirelessly to the prototype device.

Keywords: Augmented reality, head worn displays, optical reflective waveguide

1. GİRİŞ

Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality - AR), gerçek dünya ortamı içerisine akıllı bir cihaz yardımıyla bildirim, görüntü ve interaktif içerikler dahil edilmesi ve bunun kullanıcıya sunulması anlamına gelmektedir. Genelde artırılmış gerçeklik ve sanal gerçeklik (Virtual Reality - VR) kavramları beraber kullanılabilmekte ve zaman zaman kavram olarak karıştırılmaktadır. VR’de kullanıcıya tasarlanmış yapay bir ortam deneyimi sunulmaktadır. Kullanıcının görüş alanı kapalıdır ve gerçek dünya ortamından izole sanal bir görüntü deneyimi yaşamaktadır.

AR ve VR deneyiminin elde edilmesi için bir donanım alt yapısı ve yazılım gerekmektedir. Başa giyilebilen donanımlar yardımıyla kullanıcı elleri serbest bir şekilde ve yüzünü döndürdüğü görüş alanında görüntüleme deneyimini elde edebilmektedir.

Bu tez çalışmasında artırılmış gerçeklik hakkında genel bilgi verilmiş, artırılmış gerçeklik cihazlarının çalışma prensiplerine değinilmiş ve bu prensiplerden biri olan yansıtımlı dalga kılavuzu kullanarak bir artırılmış gerçeklik cihazı prototipi oluşturulmuştur.

1.1 Literatür Araştırması

AR kategorisindeki donanımların geçmişi 1970’li yıllara dayanmaktadır [1]. Fakat o dönemde üretilen donanımlar taşınabilir olmaktan çok uzak ve maliyet açısından son tüketicinin alabileceği rakamların çok üzerinde olmuştur. O dönemde ilk üretilen başa giyilebilen AR cihazları genellikle askeri alanlarda ve havacılıkta kullanılmıştır [2]. Benzer şekilde VR konusundaki ilk çalışmalar 1960’lı yıllara dayanmaktadır. 1962 yılında Morton Heilig tarafından yapılan “Sensorama” isimli makine VR kategorisindeki ilk donanım ve yazılım çalışması olarak kabul edilmektedir [3]. 1968 yılında Ivan Sutherland tarafından geliştirilen başa giyilebilir cihaz daha sonraki yıllarda geliştirilecek birçok donanıma ve bilgisayarlı görüntü işleme alanındaki bir çok yazılıma öncülük etmiştir [4]. Sutherland tarafından geliştirilen “Sword of Damocles” adındaki bu cihaz büyük, kaba ve taşınabilir bir cihaz olmaktan çok uzaktır.

1989 yılında Eric Howlett tarafından geliştirilen geniş görüş açılı stereoskopik görüntüleme imkanı sunan “LEEP” adındaki taşınabilir cihaz günümüz popüler VR cihazlarının öncüsü olarak kabul edilmektedir [5]. Geçmiş ile günümüz arasında kullanılan cihazlar arasındaki esas farklılık, geçmişte kullanılan cihazların tasarım olarak konforsuz, kullanışsız, karmaşık ve maliyet olarak yüksek olmalarıdır. Teknolojinin gelişmesi, elektronik komponentlerin ufalması ve maliyetlerinin düşmesi, çok küçük ebatlarda yüksek çözünürlüklü ekranların üretilmesi, daha taşınabilir ve yüksek çözünürlüklü ekranlara sahip cihazların üretilmesine olanak sağlamıştır. Günümüzde Oculus, Vuzix, HTC, Kopin, Sony gibi firmalar son tüketicinin alabileceği uygunlukta, yüksek çözünürlüklü ve stereoskopik görüntüleme imkanı sunan başa giyilebilir cihazlar üretmektedir.

Başta giyilebilen cihazlarda görüntü oluşturma konusunda farklı optik yöntemler kullanılmaktadır. Bu optik yöntemler genel olarak kavisli ayna (curved mirror) [6] veya dalga kılavuzu (waveguide) [7] kullanımı yöntemiyle görüntü oluşturma şeklinde iki kategoride toplanır. Dalga kılavuzu yöntemi ışık kılavuzu (light-guide) olarak da adlandırılmaktadır [8]. Dalga kılavuzu kategorisi altında, Kırınımlı Dalga kılavuzu (diffractive waveguide) [9], Hologram Dalga Kılavuzu (holographic Waveguide) [10,11], Polarize Dalga kılavuzu ve Yansıtımlı Dalga kılavuzu (Reflective waveguide) [12] başlıca kullanılan yöntemlerdendir.

1.2 Tezin Amaçları

Yapılan çalışmada kolay elde edilebilen optik ve elektronik komponentler ile kompakt taşınabilir ve programlanabilir kablosuz bilgi alışverişi yapan bir artırılmış gerçeklik cihazı oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla yansıtımlı dalga kılavuzu metodu tercih edilerek bir ürün prototipi oluşturulmuştur. Bu metod ile oluşturulan optik tasarım diğer yöntemlere göre daha az karmaşıktır fakat dezavantaj olarak elde edilebilecek görüş açısı sınırlıdır [13]. Çalışmada ortaya çıkan ürünün bilgisayar ortamında modellemesi ve tasarımı yapılarak 3D yazıcı yardımıyla çıktıları alınmıştır. Tasarlanan prototip cihazda, tasarım aşamasında hesaba katılması gereken optik faktörler incelenmesi ve görüntünün optimum netlikte elde edilmesi için gereken optik hesaplamaların yapılması hedeflenmiştir. Çalışmada elde edilen cihaz bağımsız bir şekilde kullanılabilmesi için kablosuz olarak programlanabilecek şekilde olması hedeflenmiştir.

Elde edilen optik cihaz üzerinde örnek uygulama geliştirilerek olası kullanım alanlarına değinmek hedeflenmiştir. Altı eksenli endüstriyel robotun üzerinde bir uygulama geliştirilerek, günümüz popüler konularından olan Endüstri 4.0 sanayi devrimi ve artırılmış gerçekliğin sektöre uygulanabilirliği konusunda uygulamalı bir örnek yapılması hedeflenmiştir.



2. TEMEL KAVRAM VE KONULAR

AR deneyiminin oluşması için bir donanım alt yapısı ve yazılım gerekmektedir. Donanım kullanıcıya artırılmış gerçeklik deneyimini görüntüleme vazifesi görür. Yazılım ise gerçek ortama yansıtılacak görüntü ve interaktif içerikleri belirler. Günümüzde yaygın kullanılan artırılmış gerçeklik uygulamalarında tablet bilgisayar ve cep telefonları donanım vazifesi olarak görmektedir. Bu uygulamalarda donanımın kamerasından alınan görüntüye, donanımda çalışan yazılım ile dijital içerikler ilave edilmektedir. Kullanıcı AR görüntüleme deneyimini kullandığı donanımın ekranında görüntülemek zorundadır ve donanımda kamera kullanılması zorunludur. Kullanıcı, Şekil 2.1'deki gibi görüntüleme deneyimini elinde tuttuğu ve hareket ettirdiği donanım vasıtasıyla yapmaktadır. Bu yöntemde kullanılan donanımın kamerasının görüş yönü ARyi oluşturacak etkindir ve bu kullanıcının görüş yönünden bağımsız olarak oluşmaktadır [14].

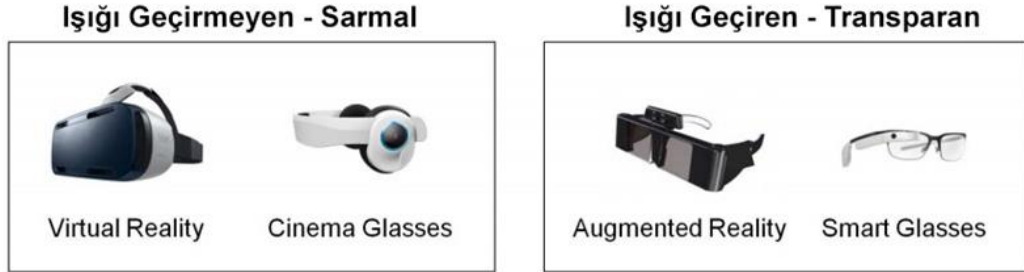


Şekil 2.1 : İşaretçi (marker) yardımıyla AR [15]

Giyilebilir elektronik cihazların hayatımıza girmesiyle bu kategorideki donanımlar göz üzerine takılabilen gözlük şeklinde (binocular ve monocular), başlık şeklinde, ve baştan destek alan giyilebilir ürünler şeklinde karşımıza çıkmaktadır.

Baştan destekli giyilebilir cihazlar (HMD), göze yakın ekranlar (NED), baş üstü ekran (HUD) terimleri genellikle; başa giyilebilen, görüntüleme ekranına sahip ve kullanıcının gözünün görüş alanında sanal bir görüntü oluşturan cihazlar için kullanılmaktadır. Ufak ekranlar vasıtasıyla gözün görüş alanında oluşturulan görüntü, optik elemanlar yardımıyla, gözün odaklanabileceği uzak bir mesafede ve büyütülmüş bir şekilde gösterilmektedir.

HMD cihazları genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi Işığ Geçirmeyen - Sarmal (immersive) Cihazlar ve Işığ Geçiren - Transparan (See-through) Cihazlar.



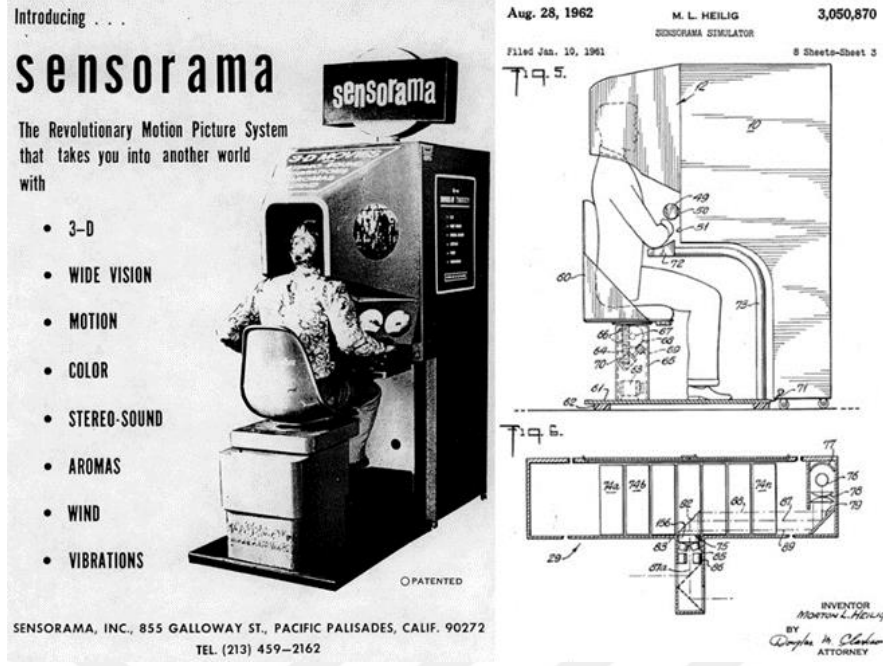
Şekil 2.2 : Işığ geçirmeyen-sarmal HMD cihazları (sol) ve ışığ geçiren– transparan HMD cihazları (sağ) [16]

2.1 Işığ Geçirmeyen – Sarmal Ekranlı HMD Cihazları

Sarmal ekranlı cihazlar kullanıcının gerçek dünya ile etkileşimde olan görüş alanını kapatır ve sanal görüntüler gösterir. Bu cihazlar kullanıcıya şahsi olarak bir sinema ortamında bulunma, bilgisayar oyunu ortamının içinde yer alma gibi sanal ortam deneyimleri sunar. Bu cihazlar günümüzde VR (sanal gerçeklik) kategorisindeki ürünlerdir.

VR cihazı fikri ilk defa 1962 yılında Morton Heilig tarafından; görme, işitme, koklama ve dokunma duyularına hitap eden Sensorama ismi verilen bir makine olarak ortaya çıktı. Bu makinenin fotoğrafı Şekil 2.3’de paylaşılmıştır. Geniş açılı 3B stereoskopik görüntü, vücut sarsma düzeneği, stereo ses çıkışı ve aromatik koku salınımı gibi özellikleri içinde barındıran Sensorama, geliştirildiği yıl itibariyle seyirciyi filmin içine katmak için hemen her türlü donanıma sahipti.

Geçmiş ile günümüz arasında kullanılan cihazlar arasındaki esas farklılık, geçmişte kullanılan cihazların tasarım olarak konforsuz, kullanışsız, karmaşık ve maliyet olarak yüksek olmalarıdır. Teknolojinin gelişmesi, elektronik komponent maliyetlerinin düşmesi, renkli ekran çözünürlüklerinin ve kalitesinin artması VR cihazlarının gelişmesine ve daha kolay elde edilebilmesine katkı sağlamıştır.



Şekil 2.3 : Sensorama VR cihazı [17]

Günümüzde VR artık sahip olunan akıllı telefon yardımıyla ve Şekil 2.4'deki Google Cardboard gibi karton bir materyal vasıtasıyla deneyimlenebilecek kolaylığa ulaşmıştır.



Şekil 2.4 : Google Cardboard ile VR deneyimi [18]

VR cihazlar şu an ağırlıklı olarak eğlence ve oyun sektörüyle ilgili kullanılmaktadır, fakat gelişen cihazlar ve uygulama alt yapısıyla birlikte eğitim, sağlık, spor, inşaat alanlarında da kullanımı yaygınlaşmaktadır. [19]

2.2 Işığ Geçiren – Transparan HMD Cihazları

Işığ geçiren – transparan HMD cihazları kullanıcının görüş alanını kapatmaz. Kullanıcı gerçek dünyayı görmeye devam ederken, görüş alanının bir kısmında transparan bir şekilde kullanıcının görmesini engellemeyen bir görüntü gösterir. Oluşan görüntüler genellikle görüş alanının ufak bir kısmında yer almaktadır. Bu şekilde gerçek dünya ortamını görmeyi engellemeden görüntü oluşturan cihazlar, AR (artırılmış gerçeklik) cihazları olarak adlandırılır.

Baştan destekli giyilebilen cihazlar 1960'lı yıllardan bu yana geliştirilmektedir. İlk defa askeriyede uçak pilotları tarafından kullanılmaya başlanmıştır. [20] savaş uçağı pilotlarının kokpitte giydikleri kask yardımıyla AR deneyimi elde etmesi sağlanmış ve uçuş ile ilgili yardımcı bildirimleri görüş alanında görüntülemesi sağlanmıştır.

Gelişen AR uygulamaları ile birlikte işlemci tarafında gerçek dünyaya ait görüntüden obje tanıma, derinlik algılama ve yapay zeka algoritmaları yardımıyla bilgi farklı şekillerde ve görsellerle kullanıcıya AR cihazları yardımıyla sunulabilmekte ve görsel veri manipüle edilebilmektedir.

Günümüzde çok ufak boyutlarda yüksek çözünürlüklü ekranların üretiliyor olması, taşınabilir ve giyilebilir akıllı cihazların yaygınlaşması, elektronik ekipman maliyetlerinin ucuzlaması ve teknolojinin hayatımızın her aşamasına girmesiyle, bu kategoride son tüketiciyi hedefleyen ve uygun maliyetli ürünler ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu alanda 2013 yılında Google firmasının üretmiş olduğu ve kolay bir şekilde yüze giyilebilen ve taşınır yapıda olan Şekil 2.5'deki Google Glass [21] donanımı kendi kategorisinde en büyük devrimlerden birisini yapmıştır.



Şekil 2.5 : Google Glass görünümü [22]

Google'dan sonra Vuzix ve Epson firmaları da bu kategoride rakip ürünlerini piyasaya sunmuşlardır. AR kategorisindeki cihazlar günümüzde daha çok endüstride, lojistik, tıbbi ve medikal alanlarda kullanılmaktadır, fakat araştırma şirketlerinin önümüzdeki yıllar için ön görüleri bu kategorideki AR cihazlarının cep telefonları gibi hayatımızın bir parçası olacağı, tasarım ve estetik açıdan daha iyi cihazların üretileceği ve son tüketiciyle buluşacağını göstermektedir [23,24].

2.2.1 Cihaz Özellikleri

Son kullanıcıya yönelik üretilen bir HMD cihazı ile askeri alanda kullanılan bir HMD cihazı arasında farklılıklar bulunmaktadır. Son tüketici daha çok cihazın görsellik, büyüklük ve fiyatına önem verirken, askeri alanda kullanılan cihazlarda aranan özellik olarak, optiğin kalitesi ön plana çıkmaktadır. Burada söz konusu edilen HMD cihazları ışığı geçiren ve transparan olarak görüntü veren, AR tipinde cihazlardır.

Son tüketiciye yönelik HMD cihazlarında aranan tipik özellikler önem sırasına göre şu şekildedir [25]:

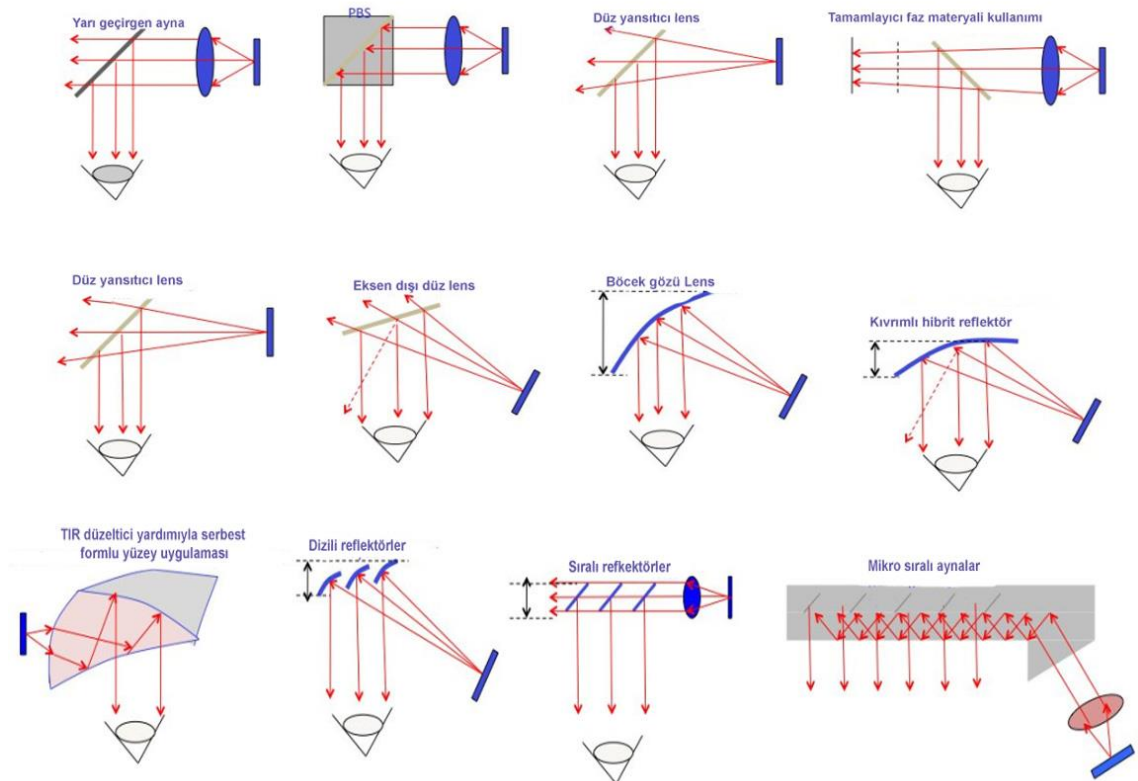
- Endüstriyel tasarım (küçük, dışarıdan farkedilmeyen, taşınabilir)
- Fiyat (optik ekipmanlar seri üretilebilir olmalı)
- Güç tüketimi < 10mW
- Görüş alanını kısıtlamayan.
- Göz kutucuğu (eye box) > 10x10 mm
- Göze yakınlık (eye relief): 19 mm – 21 mm arasında
- Çözünürlük > QVGA
- Saydamlık >50%
- FOV (Görüş alanı açısı) >= 20 derece
- Kontrast > 50:1
- Görüntü Bozukluğu < %5
- Tam renk desteği

Askeri alanda kullanılan HMD cihaz özellikleri önem sırasına göre şu şekilde sıralanmaktadır [26]:

- FOV ≥ 60 derece
- Göz kutucuğu $> 14 \times 14$ mm
- Göze yakınlık: 30-32 mm
- Çözünürlük $\geq$ UWVGA
- Görüntü bozukluğu: $< \%0.5$
- Kontrast $> 200:1$
- Tek renk olarak çalışması
- Saydamlık $> \%90$

2.2.2 Kullanılan Optik Yöntemler

Işığın geçiren-transparan görüntü veren HMD cihazlarını son tüketiciler ile buluşturabilmek için düşük maliyetli optik elemanlar ile görüntü elde etmek en önemli beklentilerden bir tanesidir. Görüntü oluşturabilmek için Şekil 2.6'da görülebileceği üzere kullanılan farklı optik yöntemler bulunmaktadır.



Şekil 2.6 : Kullanılan optik geliştirme yöntemleri [27]

Bu optik yöntemler genel olarak kavisli ayna (curved mirror) veya dalga kılavuzu (waveguide) kullanımı yöntemiyle görüntü oluşturma şeklinde iki kategoride toplanır. Dalga kılavuzu yöntemi ışık kılavuzu (light-guide) olarak da adlandırılmaktadır.

Dalga kılavuzu yönteminde ekrandan yansıyan görüntü koridorda optik elemanlar ile ilettilerek kullanıcının görüş alanına ışık bölücü (beam splitter) yarı geçirgen aynalar yardımıyla yansıtılmaktadır. Işığın hareket şekli, kullanılan ekran ve optik materyallere göre farklı dalga kılavuzu yöntemleri isimlendirilmektedir. Kırınımlı Dalga Kılavuzu (diffractive waveguide), Hologram Dalga Kılavuzu (holographic Waveguide), Polarize Dalga Kılavuzu ve Yansıtımlı Dalga Kılavuzu (Reflective waveguide) kullanılan yöntemlerdendir.

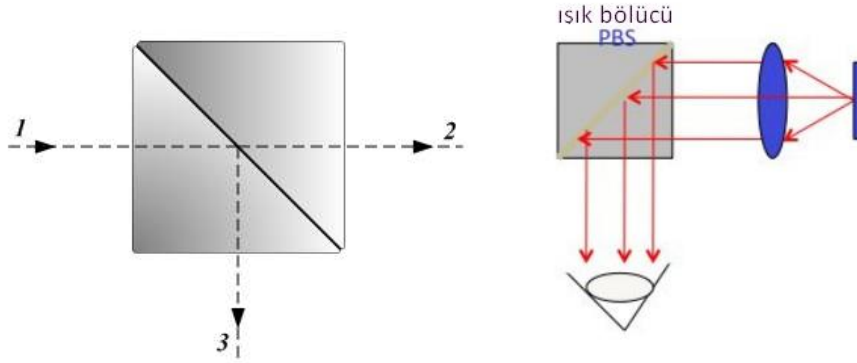
Çalışmada kolay elde edilebilen optik ve elektronik komponentler ile taşınabilir ve programlanabilir kablosuz bilgi alrışverişı yapan bir artırılmış gerçeklik cihazı oluşturulması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada yansıtımlı dalga kılavuzu metodu kullanıldığı için burada biraz daha detaylı olarak ele alınmıştır.

2.2.3 Yansıtımlı Dalga Kılavuzu Metodu

Yansıtımlı dalga kılavuzu yönteminde yansıtma özelliğine sahip düz yüzeyli optik komponentler kullanılmaktadır ve diğer yöntemlere göre bu komponentlerin çift taraflı işleme (coating) tabi tutulmasına gerek yoktur [28]. Yansıma işlemlerinde yarı geçirgen aynalar kullanıldığı için avantaj olarak diğer yöntemlerde karşılaşılan renklerin dengesiz bir şekilde dağılımı sorunuyla bu yöntemde karşılaşılmaz. Diğer yöntemlerde olduğu gibi mikro ekran tarafından üretilen görüntü optik kolimatör mercek vasıtasıyla büyütülerek ışık kılavuzu (light-guide) yoluna iletilir (Şekil 2.7 sağ). Işık kılavuzundaki görüntü TIR (toplam tam yansıma - total internal reflection) [29,30] prensibiyle ilettilir ve ışık bölücü (beam splitter) materyal sayesinde kullanıcının gözüne yansıtılır. Şekil 2.7 soldaki şekilde ışık bölücüye gelen ışık tam yansıma yaparak 2 farklı yöne ayrılır. Tam yansıma yapan ışık kırıldığı ve ayrı yönlerde hareket ettiği için yoğunluğunda azalma olmaktadır. Devam eden doğrultulardaki ışık yoğunluklarının dağılımı, ışık bölücü komponentin ışık geçirgenliğiyle doğrudan bağlantılıdır.

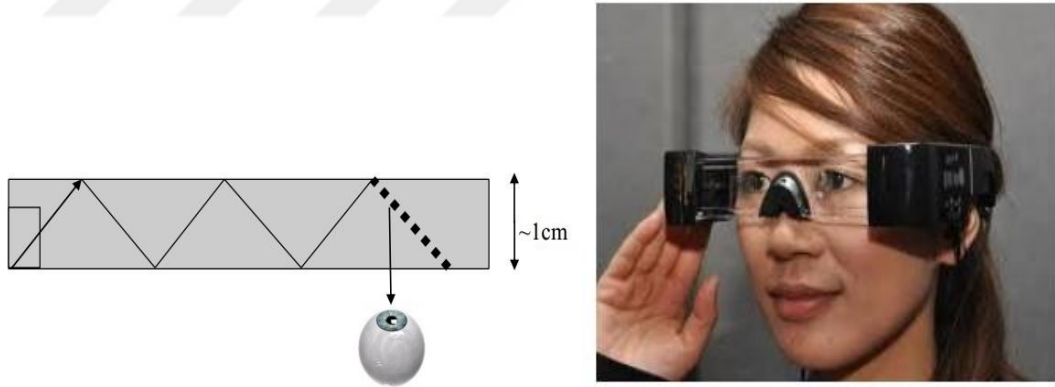
Yansıtımlı dalga kılavuzu yönteminde kendinden ışık kaynağı olan herhangi bir mikro ekran tipi kullanılabilir (LCD, OLED, LCOS). Bu yöntemde ışığı polarize etme gereği olmadığı için, ışık yoğunluğunda, polarizasyon kaynaklı bir kayıp

gerçekleşmemektedir. Epson'un Moverio 100 ürününde bu yöntem kullanılmaktadır [31]. Şekil 2.8'de ışık kılavuzunda görüntü 5 kez TIR yapmaktadır ve en son yansımada özel bir ışık bölücü ayna yardımıyla kullanıcı gözüne yansıtılmaktadır.



Şekil 2.7 : Işık bölücü (sol) [30] ve Işık kılavuzu (sağ) [32]

Yansıtımlı dalga kılavuzu metodunda kullanılan optik komponentlerin kolay elde edilebilir olması ve çift taraflı işleme gerektirmemesi diğer yöntemlere göre bir avantajdır. Kullanılan bu materyaller ile oluşturulan HMD cihazlarında diğer yöntemlere göre fiyat-maliyet faydası oluşmaktadır. Dezavantaj olarak bu optik yaklaşımda elde edilebilecek görüş açısı sınırlıdır.



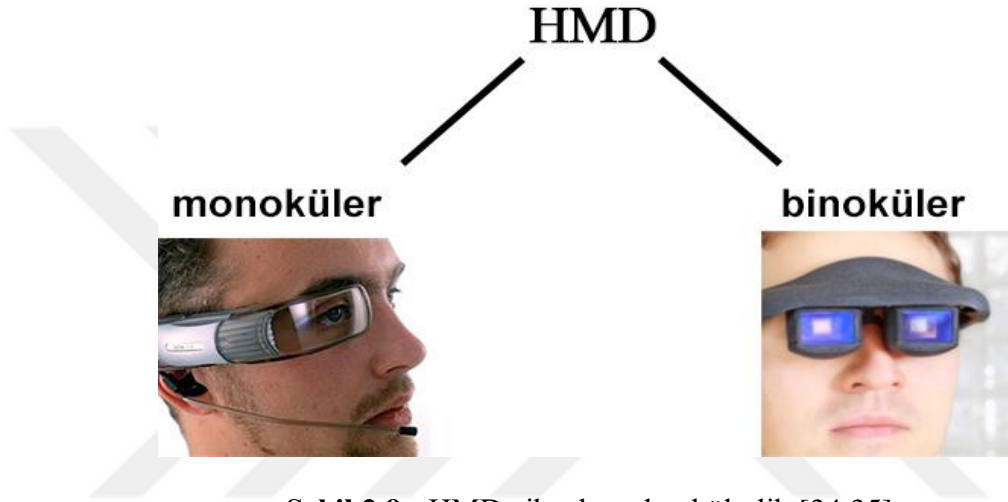
Şekil 2.8 : Epson Moverio tek ışık bölücü kullanarak oluşturduğu ışık kılavuzu (sol) ve Epson Moverio 100 ürünü (sağ) [33]

Projede oluşturulan prototip cihazda kavisli ayna yöntemine göre optik hesaplaması ve fiziki uygulanabilirliği kolay olan dalga kılavuzu yöntemi kullanılmıştır. Cihazda OLED ekran kullanıldığı ve görüntüyü polarize etme gereği olmadığı için görüntü aktarımında yansıtımlı optik dalga kılavuzu metodu kullanılmıştır. Cihazın optik tasarımına ait çizimler ve hesaplamalar daha detaylı olarak Bölüm 3 ve Bölüm 4'te ele alınmıştır.

2.3 Okülerlik (Ocularity)

HMD sistemlerinde okülerite görüntüyü kullanıcıya sunma şekli olarak binoküler ve monoküler olarak Şekil 2.9'daki gibi iki şekilde tanımlanır.

- Monoküler: Tek görüntü kaynağının kullanıcının tek gözü tarafından görüntülenecek biçimde görüntü oluşturulmasına verilen isimdir.
- Binoküler: İki ayrı görüntü kaynağı kullanılarak iki göz tarafından görüntülenecek biçimde görüntü oluşturulmasına verilen isimdir.



Şekil 2.9 : HMD cihazlarında okülerlik [34,35]

Mümkün olan en büyük görüş alanını elde etmek için HMD tipi monoküler veya binoküler olarak seçilebilir. Binoküler yaklaşım biraz daha karmaşıktır çünkü görüntü iki gözün görüş alanında canlandırılır ve bunun bütünleşik olarak kullanıcıya sunulması gerekir.

2.4 Ekran

HMD cihazlarında sistemi oluşturan en önemli parçalardan bir tanesi ekrandır. Bu ekranlar boyutlarından dolayı mikro ekran (micro display) ya da piko ekran (pico display) olarak adlandırılırlar. Kullanılan ekranlar boyutları itibariyle 1 inç diagonal uzunluğun çok daha altındaki ebattadırlar.

HMD sistemlerinde yaygın kullanılan ekran tipleri şu şekildedir:

- LCD: Arka plan aydınlatması diğer ekran tiplerine göre düşük olduğu için ışık yoğunluğu düşüktür ve ekranın kullanıcının vizyonuna yakın veya aynı doğrultuda yerleştirilmesi gerekir.

- OLED: Diğer ekranlara göre yüksek kontrast ve kullanım ömrü süresine sahiptir fakat maliyet olarak daha yüksek bir ekran tipidir.
- LCOS: Şekil 2.10'da örnek bir görseli olan bu ekran tipinin kendinden ışık kaynağı yoktur. Ekranın arkasına veya karşısına harici bir ışık kaynağı kullanılarak görüntü elde edilir. Bu ekran tipiyle yüksek ışık yoğunluk değerleri elde edilebilir. Çözünürlük olarak diğer ekran tiplerine göre daha fazla piksel değerleri desteklemektedir. Maliyet avantajı vardır.



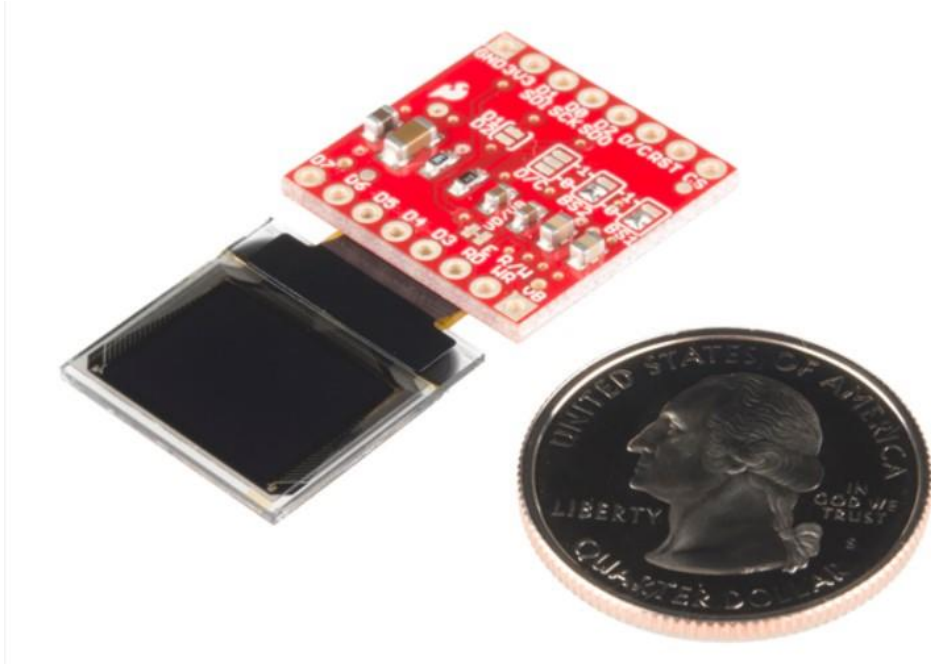
Şekil 2.10 : TI firmasının geliştirdiği DLP LCOS ekran [36]

3. SİSTEM TASARIMI

Kullanıcı görüş alanında görüntü gösterebilmek ve AR deneyimini simüle edebilmek için prototip çalışması yapılmıştır. Çalışmada kolay elde edilebilir komponentlerle bir HMD cihazı oluşturulması hedeflenmiştir. Monoküler yaklaşım kullanarak bir cihaz ortaya çıkartılmıştır. Sistem bileşenleri aşağıda açıklanmaktadır.

3.1 Kullanılan Ekran

Görüntüyü oluşturan ekran için OLED tipinde ve 0.66 inç diagonal çözünürlüğe sahip tek mavi renk (monochrome) değerine sahip Sparkfun firmasının geliştirdiği ekran resmi Şekil 3.1’de görülmekte olan “Micro-Oled” ekran tercih edilmiştir. Ekran seçiminde, piksek yoğunluğu yerine boyutunun küçük olması dikkate alınmıştır. Bunda, oluşturulacak olan HMD cihazının boyut ve genişliğine ekranın boyutu doğrudan etken olması nedeniyle, daha taşınabilir bir prototip elde etmek için bu yönde bir tercih yapılmıştır.

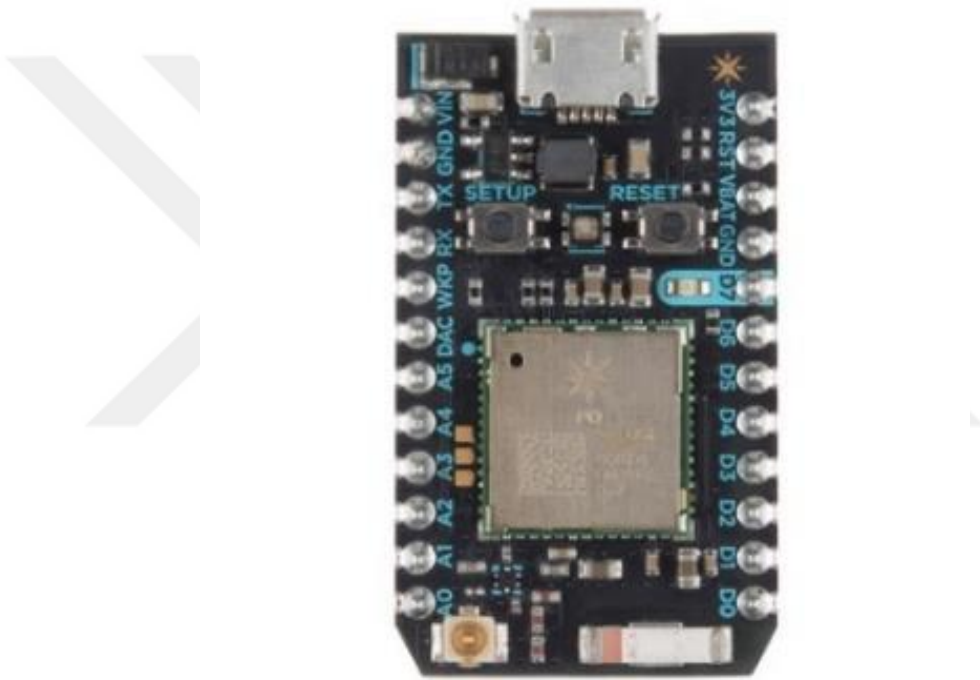


Şekil 3.1 : Micro-Oled 0.66 inç ekran [37]

Ekran SPI (Serial Peripheral Interface) ve I2C (Inter-integrated Circuit) bağlantı yöntemleri aracılığıyla sürülebilmektedir. Daha hızlı görüntüleme imkanı sağladığı için SPI bağlantı yöntemi tercih edilmiştir.

3.2 Kullanılan Denetleyici

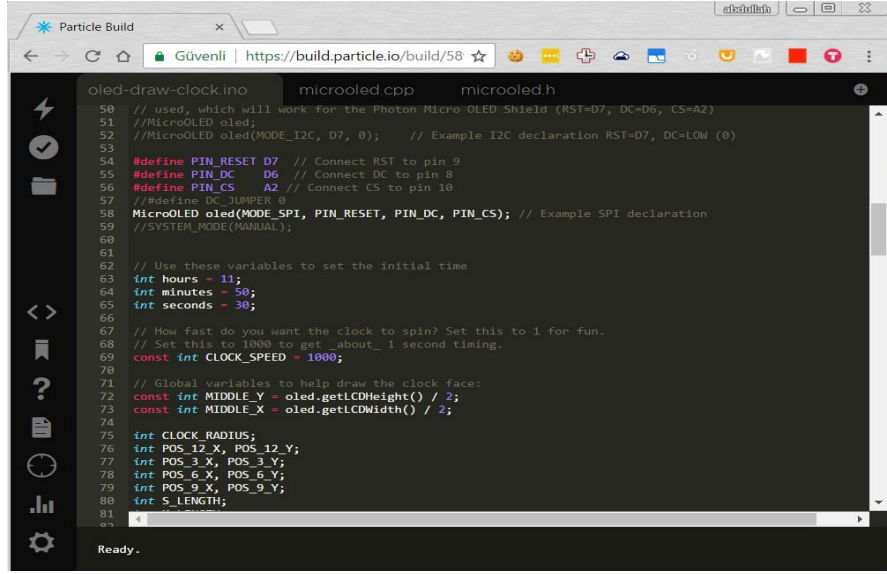
Çalışmada kullanılacak ekranın sürülmesi ve kontrolü için Şekil 3.2’de “Photon” firmasının ürettiği “Particle” isimli IOT (internet of things) modülü kullanılmıştır. Particle “120Mhz ARM Cortex M3” özelliğinde bir mikrodenetleyiciye ve wifi özelliğine sahip programlanabilir bir modüldür.



Şekil 3.2 : Particle Photon IOT modülü [38]

Particle programlama ortamı (IDE) olarak, kablolu veya kablosuz internet üzerinden kod yükleme yöntemleriyle programlanabilmektedir. Programlama dili olarak C++ kullanılmaktadır.

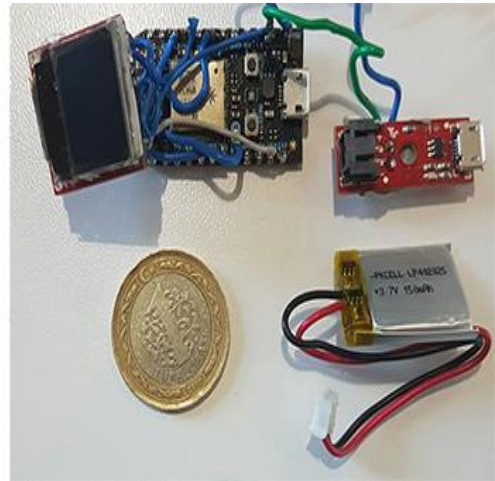
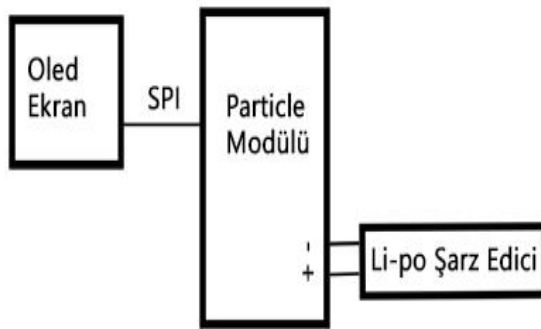
Yapılan çalışmada, particle ilk başta mobil erişim noktası (AP) olarak yapılandırılan cep telefonunun kurduğu kablosuz ağa bağlanmıştır. Daha sonra cep telefonunun internet bağlantısı yardımıyla tarayıcıdan Web IDE yardımıyla derlenen kod kablosuz kod gönderimi yöntemi (OTA) ile particle modülüne yüklenmiştir. Tarayıcı üzerinde yapılan işleme ait örnek bir görsel Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3 : Particle web IDE ekran görüntüsü

3.3 Bileşenlerin Bağlantısı

Çalışmada kullanılan OLED ekran pin şematiğine uygun olacak şekilde Particle input-output (IO) pinlerine bağlantı kabloları yardımıyla lehimlenmiştir. Cihazın usb kablodan bağımsız olarak çalışabilmesi için lityum-polimer (Li-Po) pil şarj devresi particle modülüne lehimlenerek Şekil 3.4'te görülebileceği şekilde bağlantı yapılmıştır.

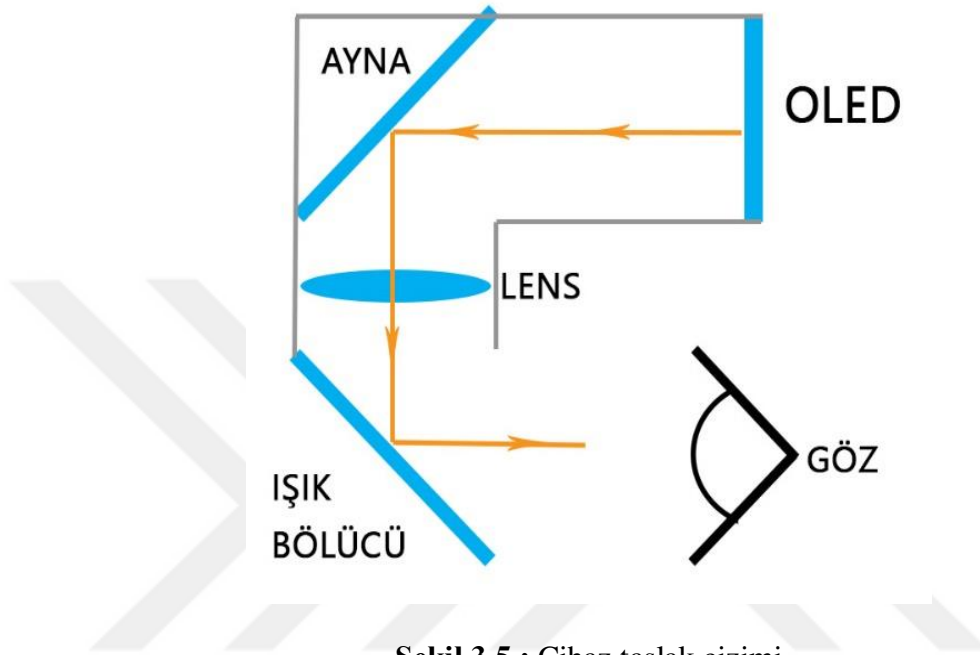


Şekil 3.4 : Bağlantı şeması

OLED ekran Web IDE yardımıyla programlanıp çalıştığı doğrulanarak cihaz tasarımı ve optik kısımla ilgili çalışmalara geçilmiştir.

3.4 Cihaz Modellemesi

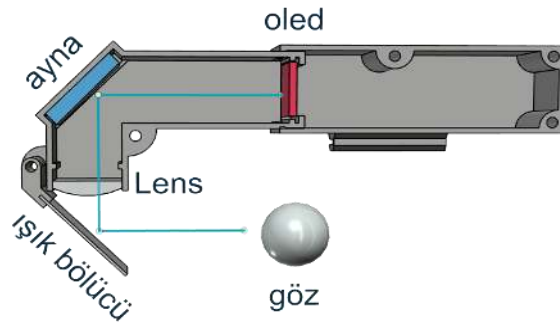
Cihazın elektronik komponentleri test edildikten sonra cihaz modellemesi, ekrandaki görüntünün kullanıcı görüş alanına ulaştırılması ve optik hesaplamalar üzerinde durulmuştur. Cihazın modellemesi yapılmadan önce taslak bir çizim yapılarak hedeflenen cihaz için optik yerleşim Şekil 3.5'teki şekilde konumlandırılmıştır.



Şekil 3.5 : Cihaz taslak çizimi

Kullanıcıya artırılmış gerçeklik deneyimi yaşatabilmek için ekranın direkt gözün önüne konumlanmaması gerekmektedir. Ekrandan çıkan görüntünün insan gözünün odaklanabileceği mesafede görüntülenebilmesi için mercek kullanılmıştır. Ekranın mercekten belirli bir mesafe uzakta konumlanması gerekmektedir. Projede monoküler ve sağ göz görüş alanında görüntü oluşturan bir cihaz hedeflenmiştir. Buna göre, ekran ve bağlantılı diğer elektronik devre elemanlarının cihazın kullanılabilirlik açısından estetik olabilmesi için baş hizasının hemen yanında konumlanması gerekmektedir. Cihazdaki ekran konum olarak insan başının sağ yan kısmında yer almaktadır ve bu konumdan görüntünün tam yansıma ile kaybolmadan aktarımı için ayna kullanılmıştır.

Cihazın örnek modellemesi Şekil 3.6'da paylaşılmıştır. Yapılan cihaz modellemesinde AutoCad yazılımı kullanılmıştır. Cihazın gözlük çerçevesinin sapına takılabilir bir yapıda olması ve taşınabilecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca ekranın kullanıcının görüş alanını kapatmayacak şekilde cihaz içinde konumlandırılıp, görüntünün aktarılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.6 : Cihaz katı modellemesi

Yapılan modelleme sonucu 3D yazıcı kullanarak cihazın kasasını oluşturacak çıktılar alınmıştır. Cihaz modellemesinde ve kasa büyüklüğünde etken olan kullanılan ekran büyüklüğü ve çözünürlüğü, görüntü büyüklüğü, ekran ve mercek arası mesafe seçimi kriterlerine ait hesaplamalar bir sonraki bölümde detaylandırılmıştır.

4. HESAPLAMALAR VE BULGULAR

Çalışmada OLED ekran kullanıldığı için ekranın kendinden aydınlatması vardır ve harici bir arka plan aydınlatması kullanılmamıştır. Şekil 3.5'te görülebileceği üzere ekrandan gelen görüntü, ekranın karşına 45 derecelik açı ile yerleştirilen ayna yardımıyla tam yansıma yaparak mercek ve ışık bölücünün olduğu ışık kılavuzuna ilerlemektedir. Mercek vasıtasıyla görüntü büyütülmüş ve insan gözünün odaklanabileceği şekilde oluşması sağlanmıştır. Işık bölücü, mercekten gelen görüntüyü tekrar 45 derecelik açıyla göze yansıtır. Işık bölücü opak bir cisim olduğu için gelen görüntünün bir kısmını göze yansıtırken bir kısmını da dışarı yansıtır ve görüntüde bir miktar kayıp olmaktadır. Işık yoğunluğundaki kayıp ışık bölücünün malzeme özelliğine göre değişmektedir. Yapılan çalışmada ışık kaybı %50 oranındadır.

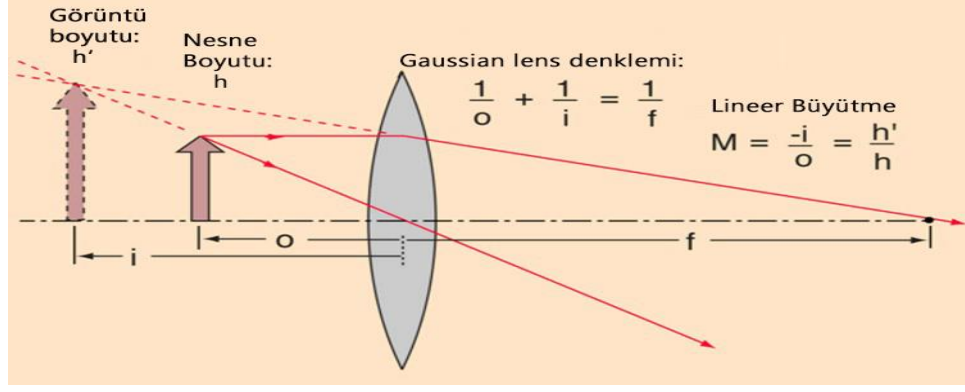
4.1 Merceğin Odak Uzunluğunun (Focal Length) Belirlenmesi

İnsan gözünün rahat olarak görebileceği ve odaklanabileceği nesne uzaklığı 25 cm ve ötesinde olması gerekmektedir [39]. Bu nedenle HMD sistemlerinde obje ile göz arasına mercek kullanılarak gözün 25 cm'den daha kısa mesafelerde objeye odaklanabilmesi sağlanır.

Bir nesnenin daha büyük görüntülenebilmesi için kullanılan mercekler büyüteç olarak adlandırılır. Büyüteç mercekler, ince kenarlı ve yakınsak mercek olarak da isimlendirilmektedir. Büyüteç mercekler vasıtasıyla merceğin odak uzunluğundan daha az veya eşit bir mesafeye yerleştirilen cisimin görüntüsü büyütülür.

Gaussian Lens denklemi yardımıyla ihtiyaç duyulan mercek odak uzunluğu belirlenir. Şekil 4.1'deki f , lensin odak uzaklığını (lensin ışık kırma yeteneği) belirtmektedir.

Bir önceki bölümde dijital ortamda modellemesi yapılan cihazın tasarımı üzerinde durulmuştur. Modelleme yapılırken cihazın seçilen komponentlere göre en az yer kaplaması ve en hafif şekilde olması için gayret sarfedilmiştir. Yapılan farklı modellemelerde görüntüyü insan gözünün odaklanacağı asgari mesafe olan 25 cm uzağında oluşturmak hedeflenmiştir. Bunu elde edebilmek için Gaussian Lens denkle-



Şekil 4.1 : Gaussian lens denklemi [40]

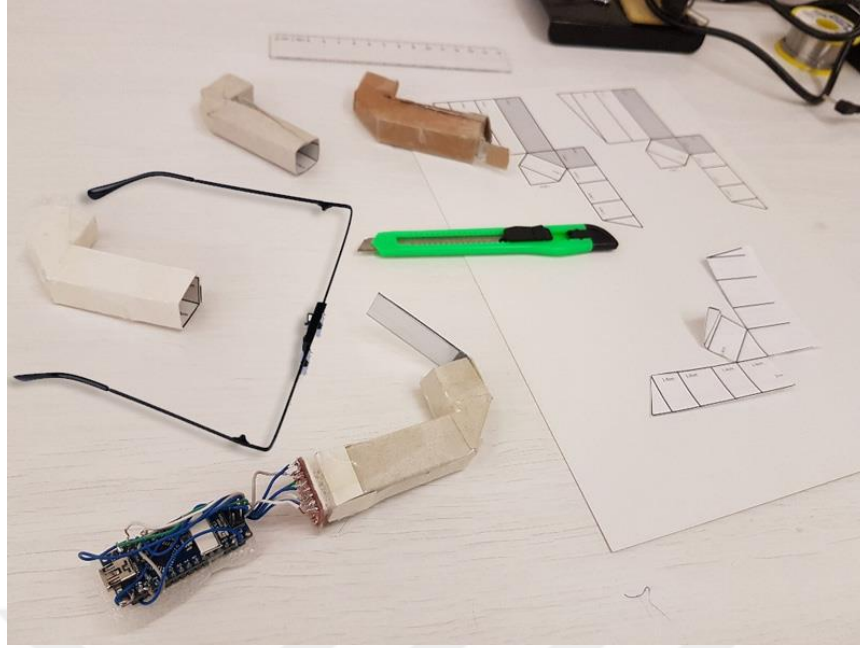
minde diğer değişkenler olan, ekran ile mercek arasındaki mesafe, merceğin odak uzunlukları üzerine farklı alternatif hesaplamalar yaparak cihaz tasarımına uygun olacak değerlerin tespit edilmesine çalışılmıştır. Çizelge 4.1’de buna ait hesaplamalara yer verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Farklı ekran-mercek arası mesafe değerlerine göre hesaplamalar.

Görüntü Uzaklığı (i)	Ekran - Mercek Arası Mesafe (o)	Mercek Odak Uzunluğu (f)	Görüntü Büyükliği (M)
25 cm	20 mm	21,7 mm	12,5 kat
25 cm	40 mm	47,6 mm	6,25 kat
25 cm	50 mm	62,5 mm	5 kat
25 cm	60 mm	78,9 mm	4,16 kat
25 cm	70 mm	97,2 mm	3,57 kat

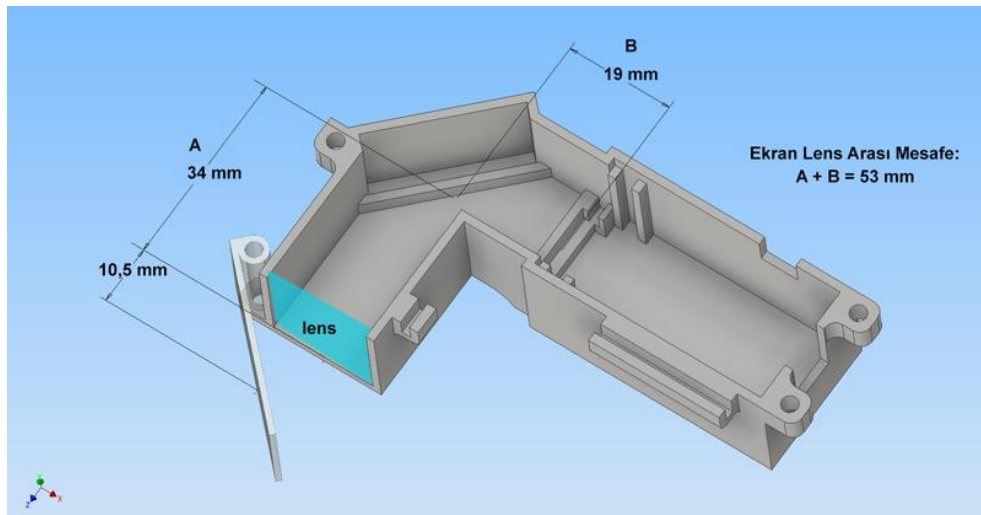
Yukarıdaki hesaplamara ilave olarak kullanılan cihazı oluşturan komponentlere göre kasanın optimum uzunlukta olacak şekilde, çerçevesiz bir gözlüğün üzerine takılabilecek yapıda ve ağırlık açısından dengede durabilecek şekilde olabilmesi için Şekil 4.2’de görüleceği üzere denemeler yapılmıştır.

Şekilde 4.2’de görülen çerçevesiz gözlük üzerine tasarlanan kasanın ve içerisindeki elektronik donanımın tutturulması ve görüntünün insan sağ gözünün tam karşısında oluşturulması hedeflenmiştir. Şekil 4.3’te görüleceği üzere cihaz kasasının gözlük çerçevesine desteklendiği noktadan sonra görüntüyü insan göz hizasına taşıyabilmek için yaklaşık 34 mm mesafe gerekmektedir. Hemen bu mesafeden sonra ekran yerleştirildiğinde oluşan görüntü boyutu normal görüntüye göre çok büyük olmakta ve kullanılan ekran çözünürlüğü yüksek olmadığı için çok düşük çözünürlükte büyük bir görüntü oluşmaktadır. Diğer durumda ekran bu mesafeden daha uzağa taşındığında ci-



Şekil 4.2 : Farklı cihaz uzunluklarının test edilmesi

haz boyutu uzamakta ağırlık merkezi kaymakta ve cihaz dengesi bozulmaktadır. Cihaz ağırlığını dengeleyebilmek ve görüntü büyüklüğü arasında optimal bir değer seçimi yapmak için ayna ile ekran arasında 19 mm mesafe bırakılmıştır. Yapılan modellemede ekran ile lens arasındaki mesafe Şekil 4.3'te görüleceği üzere $A + B = 53 \text{ mm}$ 'dir. Ayrıca bir sonraki Bölüm 4.3 ve Bölüm 4.8'de anlaşılabileceği üzere ekran ve lens arası mesafe kısaldıkça kullanılacak merceğin çapı büyümektedir ve ekran büyüklüğünü geçmeyecek şekilde en yakın merceği kullanarak, en büyük görüş alanı elde edilmesi için, optimal mesafe değeri seçilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.3 : Oled ekran ile mercek arasında kalan mesafe

Yaptığımız modellemede hedeflediğimiz cihaz için ihtiyacımız olan lens odak uzunluğu aşağıdaki Denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

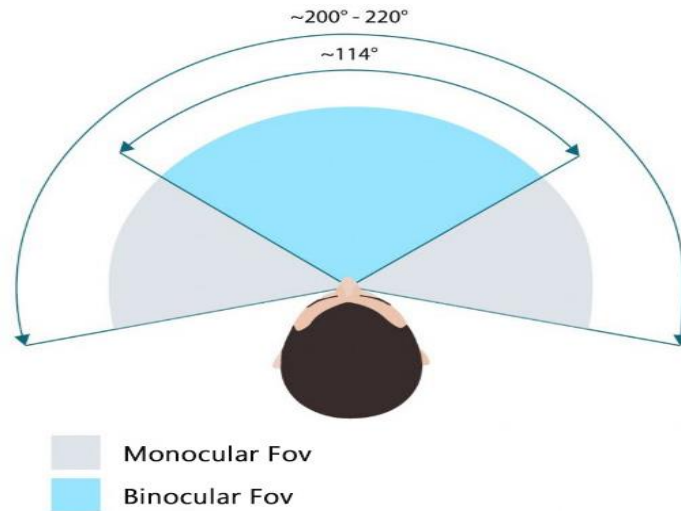
$$\frac{1}{53} - \frac{1}{250} = \frac{1}{f}$$

$$f = 67,2 \text{ mm} \quad (4.1)$$

Burada o nesne uzaklığı, i görüntünün oluşacağı mesafe ve denklemdeki f değeri bize lensin odak uzunluğunu ifade etmektedir.

4.2 Görüş Alanı Hesaplanması

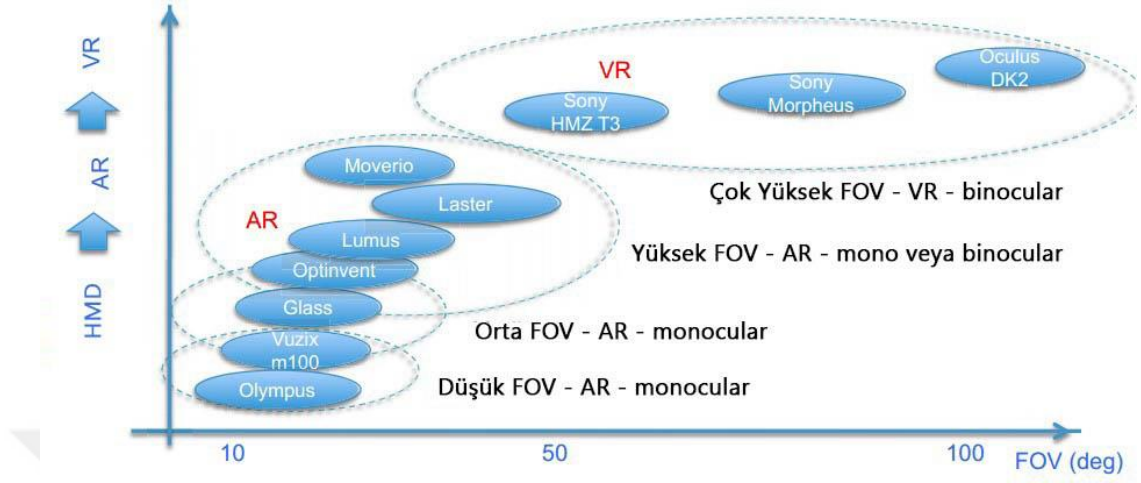
Bir nesnenin insan gözü tarafından ne kadar geniş ölçüde görüleceğini derece cinsinden ifade eden kavram için Görüş alanı (FOV) kullanılır. İnsan gözünün binocular olarak görüş alanı teoride yatayda 200° ve dikeyde 130° derece olarak kabul edilir [41]. İki gözden gelen monoküler görüntü birleşince Şekil 4.4'te görüldüğü üzere stereoskopik olarak yaklaşık olarak 114° bir görüş açısı elde ederiz ve bu cisimleri 3 boyutlu olarak algılamamızı sağlar.



Şekil 4.4 : İnsan görüş alanı [42]

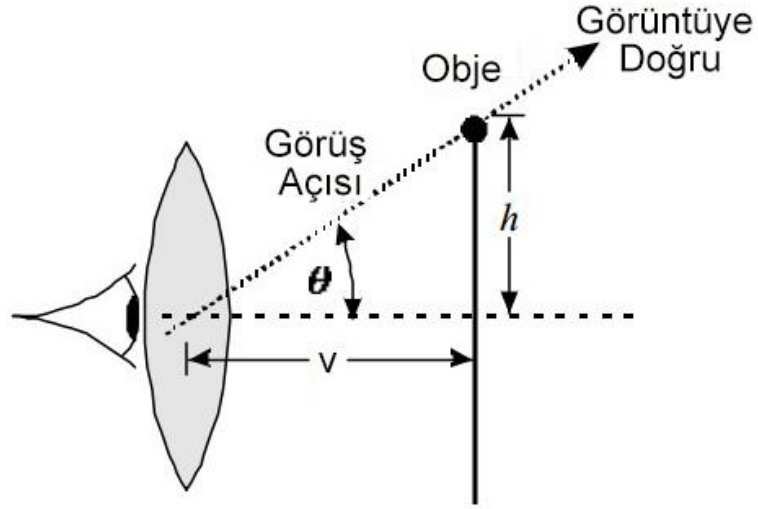
HMD cihazlarında hedef insan görüş alanı seviyesine ulaşmak olsa da genelde bu değere ulaşmak oldukça zordur. Günümüzde VR tipindeki cihazlarda 120° kadar görüş açısına sahip cihazlar görebilmekteyiz fakat AR tipindeki cihazlarda henüz en yüksek

ulaşılabilen görüş alanı değerleri Şekil 4.5'te görülebileceği Şekilde 50° seviyesindedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi görüş alanı açısı arttıkça dolaylı olarak görüntüleme ekranının büyümesi ve taşınabilirliğin zorlaşmasıdır.



Şekil 4.5 : FOV değerlerine göre cihazlar [43]

Aşağıdaki Şekil 4.6'daki görsel yardımıyla görüş açısı hesaplanır. Hesaplama yaparken göz merceğe yakınlık olarak sıfır noktasından bakıyormuő gibi kabul edilir.



Şekil 4.6 : Görüş açısı

Buradaki h obje boyutunun yarısıdır ve θ görüş açısının yarısına denk gelmektedir.

$$\frac{FOV}{2} = \tan^{-1} \left(\frac{h}{2xv} \right)$$

$$\frac{FOV}{2} = \tan^{-1} \left(\frac{10,97}{2x53} \right) \text{ dikey}$$

$$\frac{FOV}{2} = \tan^{-1} \left(\frac{12,67}{2x53} \right) \text{ yatay}$$

$$FOV = 11,8^\circ \cong 12^\circ \text{ dikey g r    a ırsı}$$

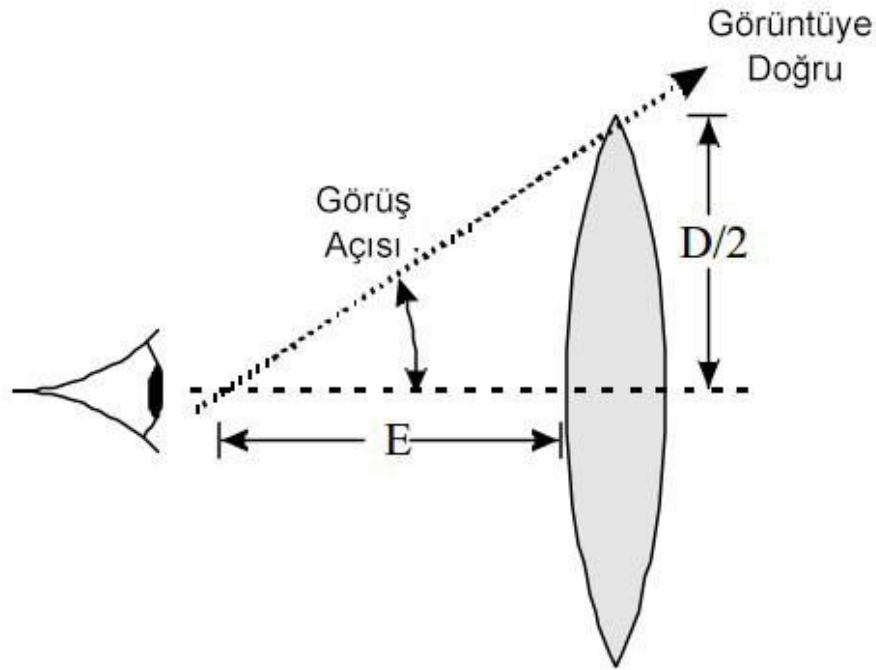
$$FOV = 13,6^\circ \cong 14^\circ \text{ yatay g r    a ırsı} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki hesaplamalarda; h objenin boyutunu, v objenin merce e olan uzaklığını ifade etmektedir [44].

Formülle hesaplandığı üzere, çalışmadaki cihazın g r    a ırsı yatay ekseninde $11,8^\circ$ ve dikey ekseninde $13,6^\circ$ olarak elde edilmektedir.

4.3 G z Açıklığı ve Mercek Yarıçapının Belirlenmesi

Göz ile merceğin ilk başlangıcı arasında kalan mesafe  ekil 4.7’de görüleceği gibi göz açıklığı olarak adlandırılır. G z açıklığı, g r    a ırsı ve mercek yarı çapı birbirine bağlı de i kenlerdir.



Şekil 4.7 : Göz açıklığı (E) ve mercek  apı (D)

Göz açıklığını uzun tutmak gözlük takan kullanıcılar açısından HMD cihazını rahat bir şekilde konumlandırmasına fayda sa lar, fakat göz açıklığı mesafesi uzadıkça kullanılan merceğin yarı çapı büyümektedir. Gözlük kullanıcıları da hesaba katılarak projede göz açıklığı mesafesi genel kabul edilen ve g zl  e bırakılması gereken pay

olan 2,5 cm olarak kabul edilmiştir. Yukarıdaki şekle bakarak Denklem 4.3 eşitliği şu şekilde kurulur:

$$\begin{aligned}
 D &= 2E \tan(\theta) \\
 D &= 2 \times 25 \times \tan(13,6) \\
 D &= 12,09 \text{ mm}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

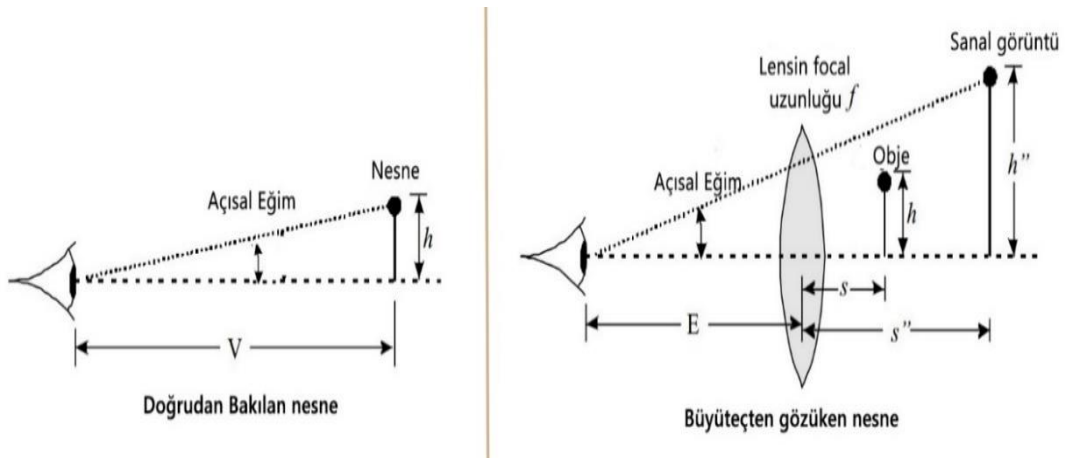
Buradan mercek çapı 12,09 mm olarak hesaplanmaktadır.

4.4 Merceğin Büyütme Gücünün Hesaplanması

İnsan gözü HMD sistemlerinde, yakın mesafeden görüntü oluşan ekrana direkt baktığında odaklanma sorunu yaşar. Aynı zamanda ekranın çok küçük olması durumunda, görüntünün büyütülmesi gerekir. Bunun için büyüteç mercekler vasıtasıyla merceğin odak uzunluğundan daha az veya eşit bir mesafeye yerleştirilen cisim vasıtasıyla görüntü Şekil 4.8’de görüleceği üzere büyütülür. Cisim merceğin odak uzaklığına koyulduğunda görüntü sonsuzda oluşur. Merceğin lineer büyütmesi Gaussian Lens formülüyle Denklem 4.4’te hesaplanmaktadır:

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{-i}{o} \\
 M &= \frac{25}{5,3} \\
 M &= 4,72
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

Burada i görüntünün merceğe olan uzaklığı, o objenin merceğe olan uzaklığıdır. Eşitliğin sonundaki M merceğin lineer büyütme değerini vermektedir.



Şekil 4.8 : Direkt bakılan nesne (sol) ve büyüteçten bakılan nesne (sağ)

Mercek objeyi 4,72 kat büyötmektedir, fakat bu büyüklüğü elde etmek için gözün merceğin sıfır noktasından bakması gerekir. Diğer bir deyişle oluşan görüntünün göze olan mesafesi onun daha küçük gözükmesine sebep olur. Merceğin gerçek büyötmeye gücünü hesaplamak için yukarıdaki şekildeki teoride sol taraftaki doğrudan merceksiz bakılan nesnenin açısal eğimi ile sağ taraftaki mercekten bakılan sanal görüntünün açısal eğimleri oranı hesaplanır [45]. Bu sonuç kullanıcının baktığı görüntünün objeye göre kaç kat büyüklükte görüntülediğini verir. Bu sonuç merceğin gerçek büyötmeye gücünü verir. Bunu Denklem 4.5 ile hesaplayabiliriz:

$$\begin{aligned} \text{Büyötmeye Gücü} &= \frac{\frac{h''}{s'' + E}}{\frac{h}{V}} = \frac{h''V}{h(s'' + E)} = \frac{mV}{s'' + E} \\ \text{Büyötmeye Gücü} &= \frac{4,72 \times 250}{250 + 25} \\ \text{Büyötmeye Gücü} &= 4,29 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Burada; h'' oluşan görüntünün boyutu, s'' mercek ile görüntü arasındaki mesafe, E göz ile mercek arasındaki mesafe, h objenin boyutu, V çıplak gözle objeye bakılan odaklanabilecek en kısa mesafe şeklinde ifade edilmiştir.

4.5 Görüntü Boyutunun Hesaplanması

Merceğin lineer büyötmeye değerini 4,72 olarak hesaplamıştık. Gaussian denklemi yardımıyla oluşan görüntünün büyüklüğünü de hesaplayabiliriz:

$$\begin{aligned} M &= \frac{h'}{h} \\ 4,72 &= \frac{h'}{10,97} \text{ (dikey)} \quad 4,72 = \frac{h'}{12,67} \text{ (yatay)} \\ h' &= 51,78 \text{ mm (dikey yükseklik)} \quad 59,80 \text{ mm (yatay genişlik)} \end{aligned} \quad (4.6)$$

İnce kenarlı mercekten geçen görüntünün boyutu yükseklik olarak 51,78 mm ve yatay olarak 59,80 mm olmuştur. Diagonal olarak genişliği 79,1 mm olmaktadır. Bu aynı zamanda 25 cm uzaklıktan 3,1 inç boyutunda bir ekrana bakmak anlamına gelmektedir. 1 inç yaklaşık olarak 25,4 mm uzunluğa denk gelmektedir.

4.6 Gözün Görsel Duyarlılığı (Visual Acuity) ve Açısal Çözünürlük

Normal insan gözü görsel duyarlılığı 1° lik alanda 60 pikseli ayırt edebilecek yetenektedir [46]. Buna gözün açısal çözünürlüğü denir ve genelde ark dakika (arcminute) cinsinden ifade edilir. 1 ark dakika, 1 derecenin 60da birine denk gelen değerdir. Bu aynı zamanda insan gözünün piksel yoğunluğunu algılayabileceği genişliğin 1 ark dakika olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.9'da farklı piksel yoğunluğuna sahip iki görselin farklılıklarına yer verilmiştir.



Şekil 4.9 : Resim 60 piksel/derece (sol) ve resim 7.5 piksel/derece (sağ) [47]

İnsan gözünün görsel duyarlılığı HMD cihazları kullanımında da geçerlidir. HMD cihazlarında gözün optimum görüntü netliğine sahip olması için hedeflenen açısal çözünürlük 1 ark dakikadır. Burada ayrıca bölüm 4.2'de hesapladığımız horizontal FOV değerine göre normalde optimum için olması gereken ekran çözünürlük değerini Denklem 4.7 ile hesaplayacağız.

$$Piksel\ sayısı = FOV \times 60$$

$$Piksel\ sayısı = 13,6 \times 60$$

$$Piksel\ sayısı = 816\ px \quad (4.7)$$

Oluşturduğumuz cihaz için optimum çözünürlüğü elde edebilmemiz için gereken piksel değeri horizontal olarak 816 dır. Kullandığımız ekranın horizontal piksel değeri 64 tür. Cihazın açısal çözünürlük değerini Denklem 4.8 ile elde edebiliriz:

$$Açısal\ Çözünürlük = 816 / 64 = 12,7 \cong 13\ ark\ dakika / piksel \quad (4.8)$$

Devam ederek görüntünün olduğu mesafede insan gözünün ayırt edebileceği piksel genişliğini şu şekilde hesaplayabiliriz. Normal bir insanın gözü 1 ark dakika (arc minute) genişliğindeki siyah beyaz çizgi çiftlerini ayırt edebilecek yetenektedir [48].

Buna göre insan gözünün 1 ark dakika genişliğinde algılayabileceği piksel genişliği Denklem 4.9 ile şu şekilde hesaplanır:

$$d = \theta * l \quad (4.9)$$

Burada; d insan gözünün algılayabileceği çizgi çifti genişliği, θ 1 ark dakikalık açı ve $(1 \text{ ark dakika} = 1^\circ / 60 = 0.29089 \text{ mrad} = 0.29089 * 10^{-3} \text{ rad})$ şeklinde ifade edilmiştir.

Gözün nesneye odaklanabileceği yakınlık mesafesi 250 mm olduğu ve yukarıdaki hesaplamalarda görüntüyü oluşturduğumuz mesafe olarak bu uzaklığı kabul ettiğimiz için Denklem 4.10'da yerine koyuyoruz:

$$\begin{aligned} d &= 0,29089 * 10^{-3} * 250 \text{ (mm)} \\ d &= 72,723 \text{ } \mu\text{m} = 72,723 * 10^{-3} \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Bu sonuç bize 250 mm'de insan gözünün algılayabileceği en küçük çizgi piksel genişliğini verir. Milimetredeki seçilebilir piksel sayısını hesaplamak için elde ettiğimiz sonucu uzaysal frekans değerine denklem 4.11 ile aşağıdaki şekilde çevrilebilir [49]:

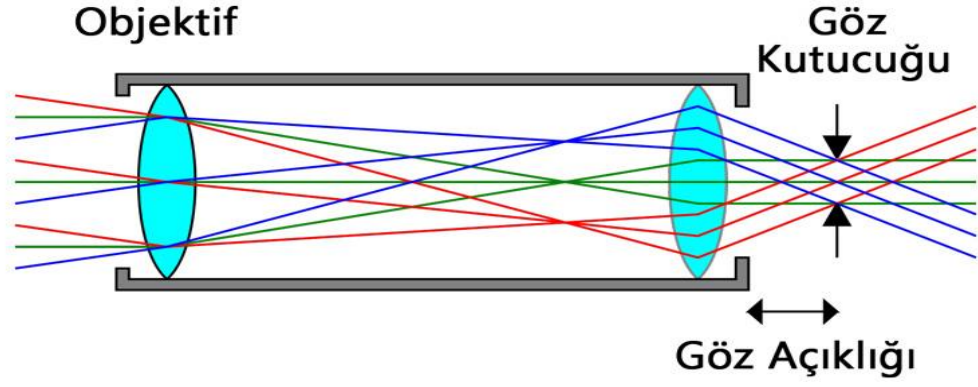
$$\begin{aligned} fx &= 1 / d \\ &= 1 / (72,723 * 10^{-3}) \text{ (mm)} \\ &= 13,751 \text{ piksel sayısı / mm} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Burada; fx uzaysal frekans değeri, d insan gözünün 250 mm uzaklıkta algılayabileceği en küçük piksel genişliğini ifade etmektedir.

Elde ettiğimiz uzaysal frekans değerine göre insan gözünün 250 mm uzaklıkta 1 mm lik alanda algılayabileceği maksimum piksel sayısı 13,7'dir.

4.7 Göz Kutucuğu (Eye Box)

Göz kutucuğu ya da diğer kullanım şekliyle çıkış açıklığı (exit pupil) HMD tasarımlarını etkileyen faktörlerden birtanesidir. Göz açıklığı Şekil 4.10'da görüleceği üzere, ekrandan gelen ışığın göz bebeğine girdiği, kullanıcının ekrandan gelen görüntüyü gözlemlediği alan için kullanılmaktadır.



Şekil 4.10 : Göz kutucuğu ve göz açıklığı gösterimi [50]

Kullanıcının HMD cihazında oluşan FOV açısının tamamını görebilmesi için göz kutucuğunun yeterli büyüklükte tasarlanması gerekir. Göz kutucuğu mesafesi insan göz bebeğinden küçük tasarlandığında veya kullanıcı göz kutucuğuna uzaktan baktığında, görüntünün tamamını göremez. Göz açıklığı mesafesi arttıkça kullanıcının görüntüyü görebileceği göz kutucuğu büyüklüğü doğru orantılı olarak artar [51]. Göz kutucuğunun ufak olabilmesi için HMD sisteminin göze çok yakın olması gerekir. Şekil 4.11’de kullanıcı göz kutucuğuna uzaktan baktığı durumda karşılaştığı durum ifade edilmiştir.



Şekil 4.11 : Kullanıcı göz kutucuğuna uzaktan baktığındaki durum

Göz kutucuğunun genellikle büyük olması istenen durumdur ve kullanıcının görüntüyü rahat bir şekilde görmesini sağlar. Fakat göz kutucuğu büyüdükçe cihaz maliyeti ve büyüklüğü artmakta ve kullanılan lens alt yapısı karmaşıklaşmaktadır. İnsan gözünün göz bebeği genişliği ortamın ışık durumu ve kişinin yaşına göre 2-8 mm arasında değişmektedir ve genellikle binokular tipteki HMD cihazlarında kullanılan göz kutucuğu genişliği 7 - 8 mm arasındaki değerlerdedir [52]. Yapılan

çalışmada ticari kullanım hedeflenmediği için tek bir mercek kullanılmış ve cihazda görüntüyü rahat bir şekilde görebilmek için göz kutucuğu büyüklüğü olarak diagonal yaklaşık 1,67 cm alan bırakılmıştır.

4.8 Hesaplamalara Dair Bulgular

Kullanılan OLED ekranın aydınlatması düşük olduğu için yoğun gün ışığına sahip ortamlarda görüntüyü görmek zorlaşmaktadır. Cihazın 14° lik yatay görüş açısına sahiptir. Görüş açısı ile ekranın merceğe olan uzaklığı arasında doğrusal bir bağlantı vardır. Ekran merceğe yaklaştırılarak görüş açısı artırılabilir. Fakat görüş açısı arttıkça görüntülenen nesne daha büyük gözükmeye başlar ve bu durumda piksel yoğunluğu fazla olmayan bir ekran kullanıldığında aradaki piksel açıklıkları hoş olmayan bir görüntü ortaya çıkartmaktadır. Aynı zamanda görüş açısı arttıkça kullanılacak merceğin yarı çapı artmakta ve cihaz tasarımının fiziksel büyüklüğü de artmaktadır. Çizelge 4.2’de ekran ile mercek arasındaki mesafe artışı ile elde edilecek görüş alanı açısı farklılıkları istatistik olarak paylaşılmıştır.

Çizelge 4.2 : Ekran-mercek arası mesafe değerlerine göre görüş açısı değerleri.

Ekran - Mercek Arası Mesafe	FOV (Görüş Açısı)	Gerekli Mercek Çapı
20 mm	35°	35 mm
40 mm	18°	16 mm
53 mm	14°	12 mm
70 mm	10°	8 mm
90 mm	8°	7 mm

Kullanılan OLED ekran 10,97 cm dikey ve 12,67 cm yatay genişliğe sahiptir. Projede optik kısımda kullanılan merceğin ekrandan büyük ebatlarda olmaması ve merceğin büyüklüğünden kaynaklanan sebeple cihaz kasasının büyümemesi hedeflenmiştir. Çizelge 4.2’den çıkarım yapılacağı gibi cihaz kasasının gereksiz büyümemesi için ve aynı zamanda mümkün olabilecek en büyük görüş açısı değeri elde edebilmek için, ekran mercek arası 53 mm mesafe seçimi optimal bir uzunluk değeri olmuştur. Çalışmada oluşturulan HMD cihazının konu ile ilgili özet teknik bilgileri Şekil 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Oluşturulan HMD cihazı özet bilgileri

Özellik	Değerler
HMD Tipi	Monoküler
Ekran Tipi	Oled
Ekran Çözünürlük	64x48px (0.66 inch diagonal)
Ekran Boyut	12,67 mm x 10,97 mm
Ekran Renk	Monocolor
FOV	Dikey 12° / Yatay 14°
Açısal Çözünürlük	12,7 ark dakika / piksel
Göz Açıklığı	2,5 cm
Mercek Odak Uzunluğu	67,2 mm
Mercek Çapı	12,09 mm
Mercek Büyütme Gücü	4,72
Optik	Yansımali Kılavuz yöntemi

Bölüm 4.2’de görüş açısı hesaplaması yapmıştık ve piyasada bulunan cihazlardaki görüş açılarının insan gözünün görüş açısına göre çok daha az olduğundan bahsetmiştik. Bunun temel sebebi günümüzde henüz yüksek görüş açısına sahip cihazları destekleyebilecek ekran çözünürlüklerinin mikro ölçekte üretilmemiş olmasıdır [53]. Test olarak kullandığımız ekranla elde ettiğimiz açısal çözünürlük 12,7 ark dakika / pikseldir ve 1°lik alanda 4,7 piksel bulunmaktadır. Bu ticari bir HMD cihazında hedeflenen 1 ark dakika / piksel çözünürlüğünden oldukça fazladır.

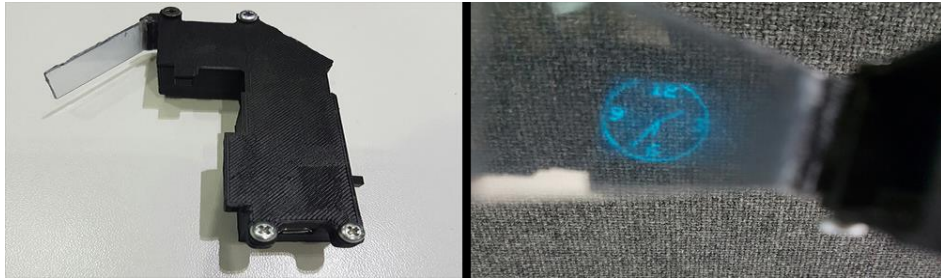
Çalışmada AR kategorisindeki bir HMD cihazının tasarımındaki temel etkenler ele alınmış, hesaplamalar ve incelemeler yapılmıştır. Cihazın çalışan optik kısmına ait hesaplamalar yapılmıştır. Temel seviye bir HMD cihazı oluşturulmuş, bileşenleri bir araya getirilmiş ve programlanmıştır. Cihaz Ekranından çıkan ışığın tasarlanan optik koridorda TIR prensibiyle 2 tam yansıma yaparak kullanıcı görüş alanında AR deneyimi elde edilmesi sağlanmıştır.

5. UYGULAMALAR

Çalışmada elde edilen cihaz ile kullanıcı görüş alanında oluşan görüntü yardımıyla AR deneyimini test edebilmektedir. Cihazı çalıştıran buton on durumuna getirildiği zaman ekranı süren IOT modülü daha önceden tanımlanmış olan kablosuz ağa bağlanarak internete çıkış yapmaktadır. Tarayıcı üzerinden çalışan IDE yardımıyla geliştirilen kodlar web ortamında derlendikten sonra kablosuz olarak OTA yöntemiyle cihaza gönderilmiştir.

5.1 Saat Uygulaması

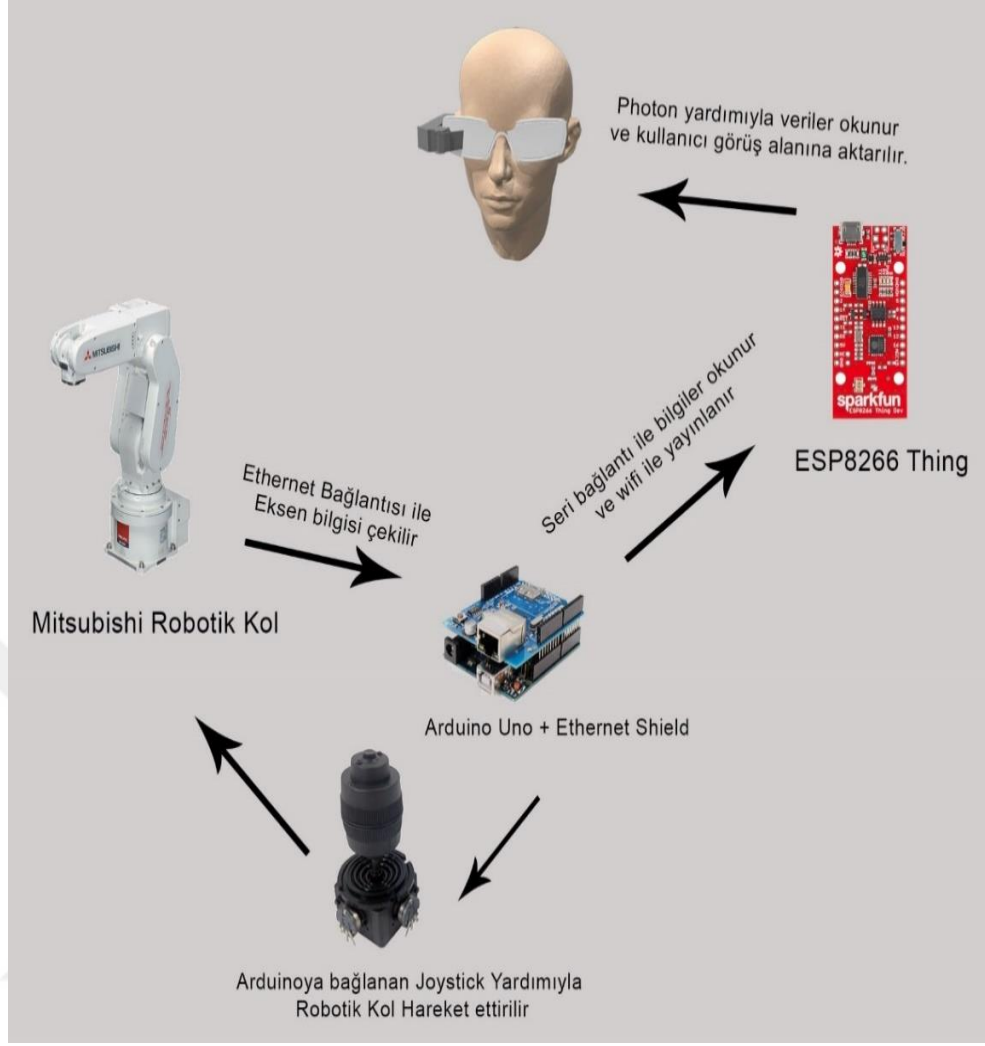
Cihaz için hedeflenen analog saat uygulaması için IDE üzerinden C++ ile yazılım geliştirme yapılmıştır. Analog saati oluşturan akrep, yelkovan ve saniye ibrelerinin yerlerinin OLED modül üzerinde gösterimi yapılmıştır. Saat değeri programda tanımlanan başlangıç değeri ile başlamaktadır. Saniye, akrep ve yelkovan ibreleri normal bir analog saatteki gibi süre ilerledikçe hareket etmektedirler. Şekil 5.1'deki görsel uygulamanın cihaz üzerinde çalıştırılması sonrasında harici bir kamera ile çekilerek elde edilmiştir. Uygulamaya ait çalışan kodlar EK 1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Çalışmada oluşturulan HMD (sol), saat uygulaması (sağ)

5.2 Endüstriyel Robotun Konum Bilgisinin Görüntülenmesi

Bu uygulamada Mitsubishi Endüstriyel Robotun anlık konum bilgilerinin, ethernet protokolü üzerinden okunarak tasarlanan cihaza kablosuz olarak iletilmesi ve kullanıcı görüş alanında görüntülenmesi amaçlanmıştır. Bu uygulamada kullanılan donanımların bağlantısı Şekil 5.2'de sunulmuştur.

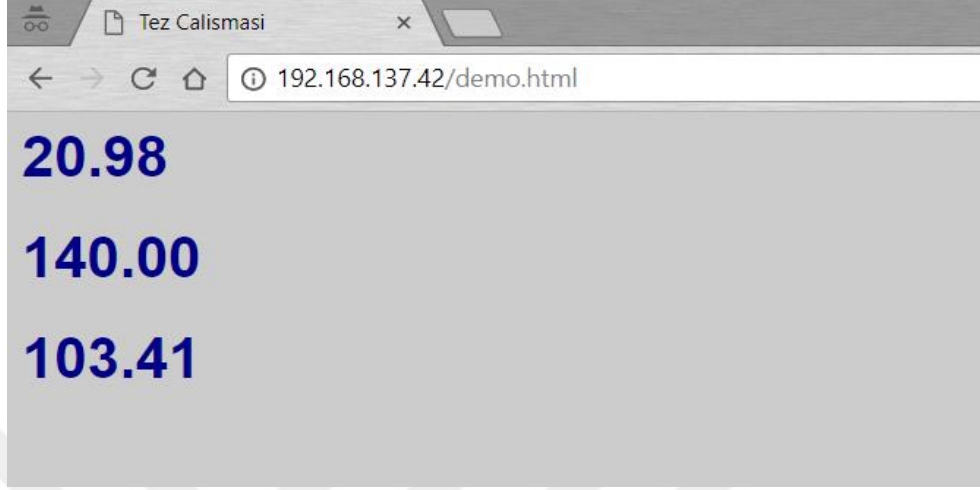


Şekil 5.2 Robot uygulaması bağlantı şeması

Arduino Uno ve ethernet modülü yardımıyla robot denetleyicisine bağlantı yapılarak robot tutucusunun xyz konum bilgilerinin alınması sağlanmıştır. Arduino ile bağlantısı yapılan 4 fonksiyonlu joystick kontrol için geliştirilen program yardımıyla robot kolun joystick yardımıyla yukarı aşağı ve sağa sola hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Hareket ettirilen robotik kolun anlık konum bilgisi Arduino Uno tarafından kontrol edilip yayınlanmaktadır. ESP8266 Thing ile Arduino Uno'ya yapılan seri bağlantı yardımıyla eksen bilgilerinin alınması sağlanmıştır. Okunan eksen bilgisi lokal ağa bağlanıp web server olarak çalışan ESP8266 Thing ile Şekil 5.3'teki gibi web sayfası şeklinde yayınlanmıştır.

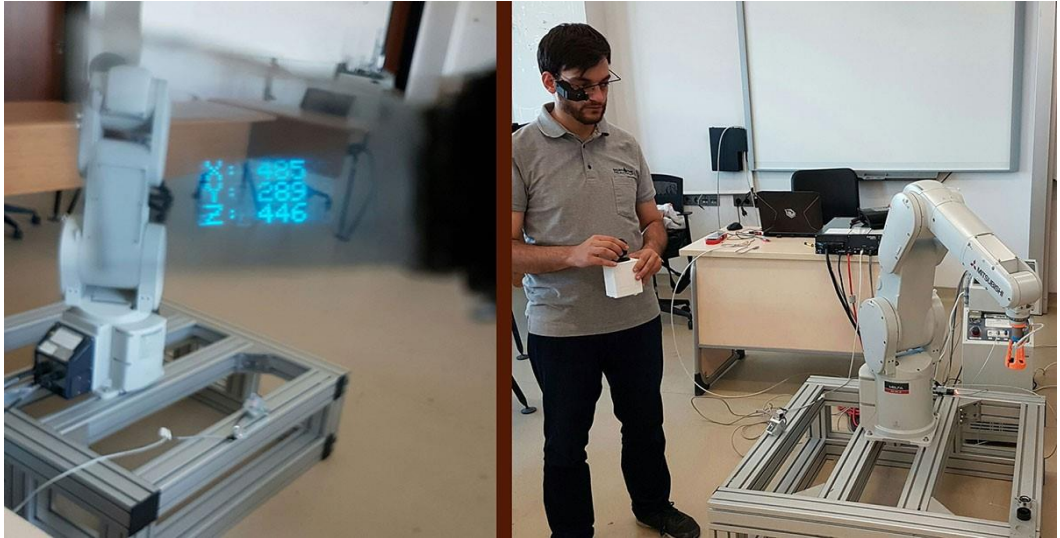
Tez çalışmasında geliştirilen cihaz üzerinde çalışan Photon Particle modülü yardımıyla kablosuz ağa bağlanarak Esp8266 Thing ile host edilen web sayfasına HTTP Get çağrısı [54] yapılarak sayfadaki bilgiler çekilmiştir. Particle ile çekilen web sayfası bil-

gilerinden html kodları filtrelenerek eksen bilgileri alınmıştır. Alınan eksen bilgileri Şekil 5.4'te soldaki görüldüğü şekilde kullanıcı görüş alanına aktarılmıştır.



Şekil 5.3 Robotik kol eksen bilgilerinin web sayfasında yayınlanması

Robot kolun anlık konum değişimleri anlık olarak kullanıcı görüş alanında yayınlanmaktadır. Konum bilgilerinin optimize bir şekilde alınabilmesi için particle modülü tarafında 100ms gecikme tanımlanmıştır.



Şekil 5.4 Okunan eksen bilgilerinin cihaz ile kullanıcıya sunulması (sol) ve joystick modülü ile robot kolun hareket ettirilmesi (sağ)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında artırılmış gerçeklik cihazı tasarımı gerçekleştirilmiştir. AR gözlüklerinin ekran, lens ve çerçeve ile bütünleşik olarak tasarlanması gerekmektedir. İlk olarak tasarlanacak gözlük için ekran ve bu ekranı kontrol edecek denetleyici seçilmiştir. Seçilen ekran büyüklüğü dikkate alınarak çerçeve yerleşimi ve cihaz kasası tasarlanmıştır. Tasarlanan kasa ve ölçüler doğrultusunda lensin optik hesaplamaları ve görüntü boyutu hesapları yapılmıştır. Ekran sürececek programlanabilir denetleyici için kontrol kodu oluşturulmuş ve AR cihazı çalışır hale getirilmiştir.

AR cihazının ilk çalışmasının görsel olarak test edilebilmesi için analog saat uygulaması programlanmıştır. Denemelerde saat görselinin netliği ve çalışması incelenmiştir. İkinci uygulama olarak endüstriyel robotun tutucusunun xyz koordinat bilgilerinin kablosuz olarak AR cihazına aktarılması ve görselleştirilmesi ve başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Günümüzün popüler teknoloji konularından olan artırılmış gerçeklik kategorisinde geliştirilen bir prototip cihaz üzerinde yapılan örnek bir uygulama ve senaryo ile önümüzdeki süreçte bu konunun birçok farklı alanda uygulama ve kullanım sahaları açacağına ışık tutulmuştur.

Prototip cihaz oluştururken yapılan hesaplamalar ve bulgular ile bu alanda geliştirilen cihazlarda optik olarak değerlendirilmesi gereken faktörlere değinilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Augment Corp.** (2016). The History of Augmented Reality, Erişim Tarihi: Mart 2017, Erişim Adresi: <http://www.augment.com/blog/infographic-lengthy-history-augmented-reality/>
- [2] **Melzer E.J.** (2005). Kitap: Head-Mounted Displays, Bölüm 5, Kaiser Electro-Optics Inc.
- [3] **Heilig M.** (1962). Sensorama Simulator, US Patent No. 3,050,870, U.S. Patent and Trademark Office.
- [4] **Sutherland E. I.** (1968). A head-mounted three dimensional display, Fall Joint Computer Conference (ss.757-764), San Fransisco – California, Kasım 9-11.
- [5] **Wayne T.** (2015). Kitap: A Critical History of Computer Graphics and Animation. The Ohio State University, Ohio : USA.
- [6] **Nagahara H., Yagi Y., Yachida M.** (2003). Super Wide Viewer Using Catadioptrical Optics, Dergi Adı: VRST '03: Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology, 169-175.
- [7] **Agrawal P. G.** (2008). Optical Waveguides (OPT568), University of Rochester New York, Erişim Tarihi: Haziran 2017 Erişim Adresi: <http://www.optics.rochester.edu/users/gpa/opt468a.pdf>
- [8] **Mirza K., Sarayedine K.** (2013). Key Challenges to Affordable See Through Wearable Displays: The Missing Link for Mobile AR Mass Deployment, SPIE Proceedings, 8720,1-7, doi: 10.1117/12.2018184
- [9] **Huttunen J., Saarinen J., Turunen J.** (1994). High-efficiency diffractive waveguide lenses by parametric optimization, Researchgate, Applied Optics, 33,1715-1725.
- [10] **H. Mukawa. K. Akutsu, I. Matsumura, S. Nakano, T. Yoshida, M. Kuwahara, K. Aiki, M. Ogawa.** (2008). A Full Color Eyewear Display using Holographic Planar Waveguides, Wiley, 39, 89-92, doi: 10.1889/1.3069819
- [11] **Yankov V., Babin S., Ivonin I, Goltsov A.** (2003). Digital Planar Holography and Multiplexer/Demultiplexer with Discrete Dispersion, SPIE, 5246, 1-13, doi: 10.1117/12.511426
- [12] **Xie P., Lin H., Liu Y., Li B.** (2014). Total internal reflection-based planar waveguide solar concentrator with symmetric air prisms as couplers, Osa Publishing, 6, A1389-A1398, doi: 10.1364/OE.22.0A1389
- [13] **Peddie J.** (2017). Kitap: Augmented Reality: Where We Will All Live, 220-222.
- [14] **Hassan B., Stöcklein J. ve Berssenbrügge J.** (2015). Development and Test of an Intelligent Technical System Using Augmented Reality, 2015 International Conference on Developments of E-Systems Engineering (DeSE), Aralık 13-14, IEEE, doi: 10.1109/DeSE.2015.29

- [15] **Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Dünyayı Değiştirecek.** BT Haber Yayıncılık A.Ş., Erişim: 8 Ocak 2017, <https://www.btnet.com.tr/artirilmis-gerceklik-teknolojisi-dunyayi-degistirecek>
- [16] **DLP Technology for Near Eye - Display White Paper.** Texas Instruments Incorporated, Erişim: 10 Ocak 2017, <http://www.ti.com/lit/wp/dlpa051a/dlpa051a.pdf>
- [17] **The Sensorama machine.** *Wikipedia The Free Encyclopedia*, Erişim: 12 Şubat 2017
- [18] **Google VR Team.** Google Cardboard, Erişim: 18 Şubat 2017, <https://vr.google.com/cardboard/>
- [19] **Öztürk G.** Medium Türkçe, Nedir bunun olayı? Sanal gerçeklik, Erişim: 18 Şubat 2017, <https://medium.com/turkce/nedir-bunun-olay%C4%B1-sanal-ger%C3%A7eklik-fe071f20be27>
- [20] **Rolland J., Hua H.** (2005). Head-Mounted Display Systems, *Encyclopedia of Optical Engineering*, 1, 1-12, doi: 10.1081/E-EOE-120009801
- [21] **Nick Bilton.** (2012). Google Begins Testing its Augmented Reality Glasses, *New York Times Comp.*
- [22] **Rest in Peace Google Glass: 2012-2014.** PC Magazine, Erişim: 20 Ocak 2017, <https://www.pcmag.com/article2/0,2817,2469916,00.asp>
- [23] **Augmented/Virtual Reality to hit \$150 billion disrupting mobile by 2020.** Digi Capital Investment, Erişim: 13 Mart 2017, <http://www.digi-capital.com/news/2015/04/augmentedvirtual-reality-to-hit-150-billion-disrupting-mobile-by-2020/#.V79DC5iLREI>
- [24] **Forecast augmented (AR) and virtual reality (VR) market.** Statista GmbH, Erişim: 13 Mart 2017, <http://www.digi-capital.com/news/2015/04/augmentedvirtual-reality-to-hit-150-billion>
- [25] **Kress B., Starner T.** (2013). A review of head-mounted displays (HMD) technologies and applications for consumer electronics, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, doi: 10.1117/12.2015654
- [26] **Melzer J., Letowski T.** (2009). Kitap Adı: Guidelines for HMD design, US Army Aeromedical Research Lab, Alabama.
- [27] **Rolland J., Cakmakci O.** (2006). Head-worn displays: a review, *Journal of Display Technology*, 2, 199-216, doi: 10.1109/JDT.2006.879846
- [28] **Mirza K., Sarayedine K.** (2017). Affordable AR Displays: Focus on Optical See-Through Waveguide Technologies for AR Glasses, Optinvent Co., Erişim: 13 Mart 2017, <http://www.optinvent.com/waveguide-ar-displays/>
- [29] **M. Born and E. Wolf.** (1999). Kitap: Principles of Optics - Seventh (Expanded) Edition, University of Rochester, New York.
- [30] **Feng N., Huang W.** (2004). Efficient time domain reflective method for analysis of optical waveguide devices, *Optical Society of America*, 14, 2027-2036, doi: 10.1364/OE.14.002027
- [31] **Beam splitter.** *Wikipedia The Free Encyclopedia*, Erişim: 3 Mart 2017.

- [32] **Kress B., Raulot V., Grossman M.** (2012) Exit Pupil Expander for Wearable See-Through Displays, ‘SPIE Defense, Security, and Sensing Event’, Maryland : United States, doi: 10.1117/12.977578
- [33] **Merging Epson's Core Technologies: Moverio BT-200 Smart Glasses.** Seiko Epson Corporation, Erişim: 15 Mart 2017, <http://global.epson.com/innovation/engineer/moverio.html>
- [34] **Looking for information? 'Data glasses' may be all you need.** Science X Network, Erişim: 15 Mart 2017, <https://phys.org/news/2012-11-glasses.html>
- [35] **Waveguide-based Displays Maturing for Augmented Reality Applications.** Meko Ltd, Erişim: 15 Mart 2017, <https://www.displaydaily.com/free-content/sponsored-articles/waveguide-based-displays-maturing-for-augmented-reality-applications>
- [36] **Getting to know DLP Pico technology.** Texas Instruments Incorporated, Erişim: 10 Mart 2017, <http://www.ti.com/dlp-chip/display-and-projection/pico-chipsets/getting-started.html>
- [37] **SparkFun Micro OLED Breakout.** Spark Fun Electronics Inc, Erişim: 20 şubat 2018, <https://www.sparkfun.com/products/13003>
- [38] **Small and Powerful Wi-fi Controlled Microcontroller.** Particle Industries, Erişim: 3 Mart 2018, <https://www.particle.io/products/hardware/photon-wifi/>
- [39] **Swan E., Jones A., Kolstad E., Livingston M, Smallman H.** (2007), ‘Egocentric depth judgments in optical, See-through augmented reality’, IEEE, 13, 429-442, doi: 10.1109/TVCG.2007.1035
- [40] **Georgia State University, Department of Physics and Astronomy.** (2013) Light and Vision - Virtual Image Formation, , Erişim Adresi: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/image4.html>
- [41] **Field of view.** Wikipedia The Free Encyclopedia, Erişim: 15 Mart 2018.
- [42] **Field of View for Virtual Reality Headsets Explained.** VR Lens Lab, Erişim: 13 Mart 2018, <https://vr-lens-lab.com/field-of-view-for-virtual-reality-headsets/>
- [43] **Stanford University, Wetzstein G.** (2016). Lecture: HMD Display Optics and Microdisplays I, , EE 267 Virtual Reality, Erişim Adresi: <https://stanford.edu/class/ee267/lectures/lecture7.pdf>
- [44] **Özyurt O.** (2010). Termal Gece Görüş Dürbünlerinin Bileşenleri İçin Tasarım Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst, Ankara
- [45] **Viewfinder Optics for Microdisplays.** Optical Product Development Inc., Erişim: 13 Mart 2018, http://www.opdev.com/asset/viewfinder_optics_microdisplays.pdf
- [46] **Evans M. J.** (2006). Standards for Visual Acuity (Rapor), Newtown: John M Evans LLC
- [47] **Understanding Pixel Density and Eye-Limiting Resolution.** Sensica Inc., Erişim: 13 Mart 2018, <http://sensics.com/understanding-pixel-density-and-eye-limiting-resolution/>

- [48] **Yu H., Jiang T., Wang C., Zhou P.** (2016). Design and Implementation of an Automatic Visual Acuity Test Software, 2016 International Conference on ISAI, Honkong : Çin, Haziran 24-26.
- [49] **Özyurt O.** (2010). Termal Gece Görüş Dürbünlerinin Bileşenleri İçin Tasarım Geliştirme, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enst, Ankara.
- [50] **Exit Pupil.** Wikipedia The Free Encyclopedia, Erişim: 16 Mart 2018.
- [51] **Rash C.** (2001). Kitap: Helmet-Mounted Displays: Design Issues for Rotary-Wing Aircraft, Fort Rucker : Alabama.
- [52] **W. J. Smith** (2000). Kitap: Modern Optical Engineering - 3th Ed., New York : USA.
- [53] **Keller K., Colucci D.** (1998). What is it in Head Mounted Displays (HMDs) that really make them all so terrible?, Konferans: Aerospace / Defence Sensing and Controls, (3362), University of North Carolina, Nisan 13-17.
- [54] **HTTP Methods: GET vs. POST.** Refsnes Data, Erişim: 3 Haziran 2018, https://www.w3schools.com/tags/ref_httpmethods.asp

EKLER

EK 1: Saat Uygulaması Program Kodları

```
//#include statement was automatically added by
//the Particle IDE.
#include <SparkFunMicroOLED.h>

/*****
Micro-OLED-Clock-Example.ino
```

Bu çalışma ile particle photon ile analog saat değerinin hesaplanması ve microOLED üzerinde piksel değerleri çizilerek gösterilmesi hedeflenmiştir.

With this work using particle photon for development, aimed to draw analog clock using pixels on MicroOLED shield.

Donanım Bağlantıları / Hardware Connections:
Particle için aşağıdaki pin bağlantıları kullanılmıştır:
Following pin connections are used for Particle:

MicroOLED	-----	Photon
GND	-----	GND
VDD	-----	3.3V (VCC)
D1/MOSI	-----	A5 (don't change)
D0/SCK	-----	A3 (don't change)
D2		
D/C	-----	D6
RST	-----	D7
CS	-----	A2

```
*****/
// MicroOLED library
#include "SparkFunMicroOLED/SparkFunMicroOLED.h"
#include "math.h"

////////////////////////////////////
// MicroOLED Object Declaration //
////////////////////////////////////

#define PIN_RESET D7
#define PIN_DC D6
#define PIN_CS A2

// SPI declaration
MicroOLED oled(MODE_SPI, PIN_RESET, PIN_DC, PIN_CS);
//SYSTEM_MODE(MANUAL);

// Use these variables to set the initial time
int hours = 11;
```

```

int minutes = 50;
int seconds = 30;

// How fast do you want the clock to spin
const int CLOCK_SPEED = 1000;

// Global variables
const int MIDDLE_Y = oled.getLCDHeight() / 2;
const int MIDDLE_X = oled.getLCDWidth() / 2;

int CLOCK_RADIUS;
int POS_12_X, POS_12_Y;
int POS_3_X, POS_3_Y;
int POS_6_X, POS_6_Y;
int POS_9_X, POS_9_Y;
int S_LENGTH;
int M_LENGTH;
int H_LENGTH;

unsigned long lastDraw = 0;

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    oled.begin(); // Initialize the OLED
    oled.clear(ALL); // Clear the display's internal memory
    oled.display(); // Display what's in the buffer

    initClockVariables();

    drawFace();
    drawArms(hours, minutes, seconds);
    oled.display(); // display the memory buffer drawn
}

void loop()
{
    // Check if we need to update seconds, minutes, hours:
    if (lastDraw + CLOCK_SPEED < millis())
    {
        lastDraw = millis();
        // Add a second, update minutes/hours if necessary:
        updateTime();

        // Draw the clock:
        oled.clear(PAGE); // Clear the buffer
        drawFace(); // Draw the face to the buffer
        drawArms(hours, minutes, seconds); // Draw arms to the buffer
        oled.display(); // Draw the memory buffer
    }
}

// Simple function to increment seconds and then increment
// minutes and hours if necessary.
void updateTime()
{
    seconds++; // Increment seconds
    if (seconds >= 60) // If seconds overflows (>=60)
    {

```

```

        seconds = 0; // Set seconds back to 0
        minutes++; // Increment minutes
        if (minutes >= 60) // If minutes overflows (>=60)
        {
            minutes = 0; // Set minutes back to 0
            hours++; // Increment hours
            if (hours >= 12) // If hours overflows (>=12)
            {
                hours = 0; // Set hours back to 0
            }
        }
    }
}

void initClockVariables()
{
    // Calculate constants for clock face component positions:
    oled.setFontType(0);
    CLOCK_RADIUS = min(MIDDLE_X, MIDDLE_Y) - 1;
    POS_12_X = MIDDLE_X - oled.getFontWidth();
    POS_12_Y = MIDDLE_Y - CLOCK_RADIUS + 2;
    POS_3_X = MIDDLE_X + CLOCK_RADIUS - oled.getFontWidth() - 1;
    POS_3_Y = MIDDLE_Y - oled.getFontHeight() / 2;
    POS_6_X = MIDDLE_X - oled.getFontWidth() / 2;
    POS_6_Y = MIDDLE_Y + CLOCK_RADIUS - oled.getFontHeight() - 1;
    POS_9_X = MIDDLE_X - CLOCK_RADIUS + oled.getFontWidth() - 2;
    POS_9_Y = MIDDLE_Y - oled.getFontHeight() / 2;

    // Calculate clock arm lengths
    S_LENGTH = CLOCK_RADIUS - 2;
    M_LENGTH = S_LENGTH * 0.7;
    H_LENGTH = S_LENGTH * 0.5;
}

// Draw the clock's three arms: seconds, minutes, hours.
void drawArms(int h, int m, int s)
{
    // this will be used to slightly adjust the hour hand
    double midHours;
    static int hx, hy, mx, my, sx, sy;

    // Adjust time to shift display 90 degrees ccw
    // this will turn the clock the same direction as text:
    h -= 3;
    m -= 15;
    s -= 15;
    if (h <= 0)
        h += 12;
    if (m < 0)
        m += 60;
    if (s < 0)
        s += 60;

    // Calculate and draw new lines:
    s = map(s, 0, 60, 0, 360); // map the 0-60, to "360 degrees"
    sx = S_LENGTH * cos((3, 14) * ((float)s) / 180);
    sy = S_LENGTH * sin((3, 14) * ((float)s) / 180);
    // draw the second hand:
    oled.line(MIDDLE_X, MIDDLE_Y, MIDDLE_X + sx, MIDDLE_Y + sy);

    m = map(m, 0, 60, 0, 360); // map the 0-60, to "360 degrees"

```

```

mx = M_LENGTH * cos((3, 14) * ((float)m) / 180);
my = M_LENGTH * sin((3, 14) * ((float)m) / 180);
// draw the minute hand
oled.line(MIDDLE_X, MIDDLE_Y, MIDDLE_X + mx, MIDDLE_Y + my);

midHours = minutes / 12; // midHours is used to set the hours
                           //hand to middling levels
between whole hours
h *= 5; // Get hours and midhours to the same scale
h += midHours; // add hours and midhours
h = map(h, 0, 60, 0, 360); // map the 0-60, to "360 degrees"
hx = H_LENGTH * cos((3, 14) * ((float)h) / 180);
hy = H_LENGTH * sin((3, 14) * ((float)h) / 180);
// draw the hour hand:
oled.line(MIDDLE_X, MIDDLE_Y, MIDDLE_X + hx, MIDDLE_Y + hy);
}

// Draw an analog clock face
void drawFace()
{
    // Draw the clock border
    oled.circle(MIDDLE_X, MIDDLE_Y, CLOCK_RADIUS);

    // Draw the clock numbers
    oled.setFontType(0);
    oled.setCursor(POS_12_X, POS_12_Y); // points cursor to x=27 y=0
    oled.print(12);
    oled.setCursor(POS_6_X, POS_6_Y);
    oled.print(6);
    oled.setCursor(POS_9_X, POS_9_Y);
    oled.print(9);
    oled.setCursor(POS_3_X, POS_3_Y);
    oled.print(3);
}

```


ÖZGEÇMİŞ

TARANMIŞ
VESİKALIK
FOTOĞRAF

Ad-Soyad : Abdullah ERBEY
Doğum Tarihi ve Yeri : 11/08/1988 Bursa/Yıldırım
Enstitü No : 131081505
E-posta : abdullah.erbey@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- Lisans** : 2009, Fatih Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Mesleki Deneyim:

- Yapayzeka Bilişim (2009-2010)
- Cshark Yazılım (2011-2012)
- Şifre Yazılım (2012-Devam ediyor)

Ödüller:

- Bilge Adam Üstün Başarı Sertifikası (2011)
- Microsoft Windows Phone Bootcamp Yarışması Birinciliği (2012)
- Intel Premier Software Test Partner Ödülü (2013)
- Microsoft Bizspark programı ödülü (2014)
- Kosgeb Bursa Girişimci İş Planı yarışması Birinciliği (2017)
- Tubitak 1512 Girişim Sermayesi Desteği (2017)