ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammed BALLI

PROSOPAGNOZİ HASTALARI İÇİN YÜZ TANIMA ÖZELLİKLİ BİR TEDAVİ VE DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ADANA-2021

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PROSOPAGNOZİ HASTALARI İÇİN YÜZ TANIMA ÖZELLİKLİ BİR TEDAVİ VE DESTEK SİSTEMİ TASARIMI

Muhammed BALLI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mutlu AVCI
Yıl: 2021, Sayfa:59
Jüri : Prof. Dr. Mutlu AVCI
: Doç. Dr. Fatma LATİFOĞLU
: Dr. Öğr. Üyesi Cabbar Veysel BAYSAL

Prosopagnozi (yüz körlüğü) dünya üzerinde çok seyrek görülen bir hastalık olmasına rağmen hastaların yüzleri tanıyamaması sebebiyle dramatik sonuçlar doğurur. Hastalar doğuştan veya travma sonucu oluşan bir lezyon nedeniyle yüzleri ayırt edemezler. Bu çalışma beynin plastisite özelliğinden faydalanır. Plastisite beynin yeni uyaranlar aracılığıyla nöronal bağlantılarının yeniden yapılandırılması anlamına gelir. Beyin yeni uyaranlar aracılığıyla sahip olduğu nöronal bağlantıları yeniden yapılandırabilir. Bu yeni uyaran türü beyinde plastisiteye neden olur ve sinyaller yeni oluşan bağlantılar aracılığıyla çalışmayan beyin bölgelerine ulaşır. Bu çalışmada prosopagnozi hastalarının yüzleri tanıyabilmesi için tedavi ve destek amaçlı, yüz tanıma özelliğine sahip bir sistem tasarlanmış ve bu sistemin tedavi amacıyla kullanılabilmesi için iki ayrı yöntem önerilmiştir. Tasarlanan sistemin ürettiği sinyaller hastaya yüksek maliyetli stimülatörlerin yerine baskı devre üzerinde gerçeklenmiş bir stimülatör devresiyle ve anot katot vazifesini yerine getiren elektrotlar ile derileri üzerinden gönderilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Duyu İkamesi, Plastisite, Stimülatör, Yüz Tanıma, Baskı Devre.

ABSTRACT

MSc THESIS

DESIGN OF A TREATMENT AND SUPPORT SYSTEM WITH FACİAL RECOGNITION ABILITY FOR PROSOPAGNOSIA PATIENTS

Muhammed BALLI

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Mutlu AVCI
Year: 2021, Pages:59
Jury : Prof. Dr. Mutlu AVCI
: Assoc. Prof. Dr. Fatma LATİFOĞLU
: Asst. Prof. Dr. Cabbar Veysel BAYSAL

Although prosopagnosia (face blindness) is a very rare disease in the world, it has dramatic consequences because patients cannot recognize faces. Patients cannot distinguish faces due to congenital or traumatic lesions. This study takes advantage of the plasticity property of the brain. Plasticity refers to the restructuring of the brain's neuronal connections through new stimuli. The brain can reconstruct the neuronal connections it has through new stimuli. This new type of stimulus causes plasticity in the brain, and signals reach non-functioning brain areas through newly formed connections. In this study, a system with facial recognition feature was designed for treatment and support for prosopagnosia patients to recognize faces, and two different methods were proposed to use this system for treatment. The signals produced by the designed system were sent to the patient through a stimulator circuit implemented on the printed circuit instead of high-cost stimulators and electrodes that fulfill the anode-cathode function over their skin.

Keywords : Sensory Substitution, Plasticity, Stimulator, Face Recognition, Printed Circuit.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Görme duyusunun varlığı ve sağlığı, insanların hayatını bağımsız bir şekilde sürdürebilmeleri için çok önemlidir. Görme işlemi gözün arka kısmında bulunan ve içerdiği 150 milyon ışığa duyarlı hücre sayesinde cisimlerin yansıttığı ışığı elektrik sinyaline çeviren retinada başlar. Bu elektrik sinyali optik sinir boyunca taşınarak oksipital lob da yer alan görme merkezine ulaştırılır ve görüntü burada oluşur. Görüntünün oluşması için izlenmesi gereken bu yolda oluşabilecek bir hasar görme duyusunun zarar görmesine veya tamamen yitirilmesine yol açabilir. Görme olayı farklı bileşenlere sahip kompleks bir işlemdir. Görüntüdeki nesnenin nerede olduğu parietal lobun sorumluluğundayken ne olduğu temporal lobun sorumluluğundadır. Bu sebeple oksipital lob, parietal lob ve temporal lob görme işlemi sırasında, sahip oldukları nöronal bağlantılar ile haberleşme halindedirler.

Yüz körlüğü olarak da adlandırılan prosopagnosia kişinin kendi yüzü de dahil olmak üzere yüzleri tanıyamadığı nörolojik bir bozukluktur. Yapılan işlevsel görüntü çalışmaları yüzleri ayırt edememe sorunu olan kişilerin temporal lobda bulunan fusiform girus bölgelerinde aktivite eksikliğini ortaya çıkarmıştır. Böylece görme olayının yüz tanıma bileşeninden bu bölgenin sorumlu olduğu anlaşılmıştır. Prosopagnozi hastalarında bu bölge işlevini yitirmiştir.

İşlevlerini yitiren duyuları tekrar kazanabilmek amacıyla yapılan çalışmalar 1970'lere kadar uzanmaktadır. Bu çalışmaların temelinde nöroplastisite adı verilen fenomen bulunmaktadır. Önceleri beynin gelişim çağından sonra statik bir yapıda olduğu ve asla değişemeyeceği fikri sinirbilimciler arasında kabul görmekteydi. Daha sonra yapılan çalışmalar bu görüşün geçersiz olduğunu beynin ölüme kadar yeni nöronal bağlantılar kurabileceği ve bu şekilde yeni uyaranlarla dinamik bir şekilde kendini değiştirebileceğini ortaya çıkardı. Nöroplastisite kavramının keşfi birçok rehabilitasyon cihazının da icat edilmesine olanak sağladı.

Bu çalışmada nöroplastisite kavramından hareketle yüz tanıma engeli bulunan kişilerin, yüzleri tanıyabilmesi amacıyla eğitim ve destek modlarına sahip bir ürün ortaya çıkarılmıştır. Eğitim süreci için iki ayrı tedavi yöntemi önerilmiştir. Bunlar, yüzleri segmentlere ayırıp dürtülerle eşleştirmeyi amaçlayan yüz segmenti-dürtü eşleşmesi yöntemi ve her yüz için spesifik bir örüntü üreterek bu örüntülerle yüzleri eşleştirmeyi amaçlayan yüz-örüntü eşleşmesi yöntemleridir. Yapılan çalışma sonucu ortaya çıkan ürün dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan ilki görüntüyü tespit edip kontrolcü birime aktaran kameradır. İkinci bileşen kamera ile haberleşme halinde olan ve kameradan gelen görüntüleri tanıyıp o görüntüye ait sinyalin üretilmesi komutunu veren kontrolcü birimdir. Üçüncü bileşen ise kontrolcüden gelen komutlar ile elektriksel sinyallerin üretilmesini sağlayan TENS (transcutaneous electrical nerve stimulation) temelli bir devredir. Dördüncü ve son bileşen kullanıcıyla temas halinde olup elektriksel sinyalleri deri üzerinden kullanıcıya ileten stimülatör birimidir. Bu çalışmada kamera ve kontrolcü birim işlevini Raspberry Pi geliştirme kartı ve üzerinde bulunan kamerası yerine getirmiştir. Stimülatör birim içinse tedavi için önerilen yöntemlere uygun olarak iki ayrı gerçekleme yapılmıştır. Bunlardan ilki dürtü sinyallerini deriye ulaştıran anot ve katot vazifesini gören elektrot stimülatörlerdir. Gerçekleştirilen diğer stimülatör ise örüntü sinyallerini kullanıcıya ulaştıracak olan 10x10 boyutunda yani 10 satır ve 10 sütundan oluşan bir matris dizisidir. Bu matris Eagle ortamında çizilip PCB şeklinde ürettirilmiştir. PCB ya da baskılı devre kartı, elektronik devre elemanlarını monte etmek için yüzeyinde iletken yollar ve adalar, yüzeyler arasında ise içi lehim kaplı delikler içeren değişik yalıtkan materyallerden yapılmış plakalardır. Bu ürünler düşük maliyeti ve uygun üretim süresi nedenleriyle tercih edilmiştir.

Kullanıcının bu tezde ortaya çıkan ürünle çalışmalar yaparak görüntü ve elektriksel uyarım ilişkilendirmesi yapması, böylece beynin yüz tanıma bölgesindeki aktivitenin arttırılması ile tedavi sürecinin başlaması hedeflenmektedir. Ayrıca ortaya çıkan ürünü günlük hayatlarında yüz tanıma için destek amaçlı olarak da kullanabilmeleri mümkündür.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sürecinde bana katkı sunan bütün arkadaşlarıma, konu seçimimde bana serbestiyet sağlayan ve her türlü desteği veren danışman hocam Prof. Dr. Mutlu Avcı'ya umutsuz zamanlarda beni yüreklendiren babama ve her türlü maddi desteği sağlayan ablama şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ŞEKİLLER DİZİNİ VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR X
1. GİRİŞ 1
1.1. Sinir Sistemi 2
1.1.1. Nöron Tipleri 2
1.1.2. Sinir Hücrelerinde İletişim 2
1.1.3. İnsan Sinir Sistemi 3
1.2. Görme Fizyolojisi 5
1.3. Prosopagnozi (Yüz Körlüğü) 7
1.4. Nöroplastisite 8
1.5. Duyusal İkame 10
1.6. Yüz Tanıma Sistemleri 12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 13
2.1. Görme Engelliler İçin Duyusal İkame Sistemleri 13
3. MATERYAL VE METOD 19
3.1. Prosopagnozi Hastalığının Tedavisi İçin Önerilen Yöntemler 19
3.1.1. Yüz Segmentleri ve Dürtü Eşleştirmesiyle Yüz Tanıtma 20
3.1.2. Yüz Örüntü Eşleştirmesiyle Yüz Tanıtma 21
3.2. Destek Sistemi Olarak Kullanımı 22
3.3. Kamera ve Kontrolcü Birim 24
3.3.1 Kontrolcü Birim İçinde Yapay Zekâ Destekli Yüz Tanıma Sisteminin Oluşturulması 26

3.4. Elektriksel Uyarım Oluşturmak İçin TENS Birimi 40
3.5. Elektriksel Uyarımları Kullanıcıya Ulaştırmak İçin Stimülatör Birim Tasarımı 42
3.6. Tasarlanan Birimlerin Bir Araya Getirilmesi 44
4. SONUÇLAR 49
5. TARTIŞMA 53
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 59

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 1.1. Sinir Hücresinin Yapısı (Barnes,2017)..... 1
Şekil 1.2. Sinapsta İletim (Barnes, 2017) 2
Şekil 1.3. İnsan Sinir Sistemi (Barnes, 2017)..... 4
Şekil 1.4. Beyin Yarıküreleri..... 4
Şekil 1.5. Korteks Lobları..... 5
Şekil 1.6. Görsel Yolak..... 7
Şekil 1.7. Fusiform Girus 8
Şekil 1.8. Hipokampüs..... 10
Şekil 2.1. BrainPort Cihazında Görüntünün Pikseller Halinde Dilde Oluşması..... 16
Şekil 2.2. İşitsel Duyu İkamesi Sistemi..... 16
Şekil 3.1. Prosopagnozi Tedavisinde Önerilen Yüz Segmentleri Dürtü Eşleşmesi..... 20
Şekil 3.2. Prosopagnozi Tedavisi İçin Önerilen Yüz Örüntü Eşleşmesi 22
Şekil 3.3. Prosopagnozi Tedavisi İçin Önerilen Kullanım Algoritmasının Adımları 22
Şekil 3.4. Sisteminin Çalışma Algoritmasının Adımları 23
Şekil 3.5. Prosopagnozi Tedavisin İçin Önerilen Sistemin Blok Diyagramı..... 24
Şekil 3.6. Raspberry Pi Kamera Modülü..... 25
Şekil 3.7. Raspberry Pi ve Üzerinde Bulunan Birimler..... 26
Şekil 3.8. İleri Yönlü Yapay Sinir Ağı 28
Şekil 3.9. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu 29
Şekil 3.10. Relu Aktivasyon Fonksiyonu 29
Şekil 3.11. Haar Sınıflandırıcısında Kullanılan Özellikler..... 32
Şekil 3.12. Haar Özelliklerinin Bir Görsele Uygulanması 32
Şekil 3.13. Yüz Tanıma İçin İlgili ve İlgisiz Özellikler 33
Şekil 3.14. AdaBoost ile Renklerine Göre Sınıflandırılacak Noktalar..... 34

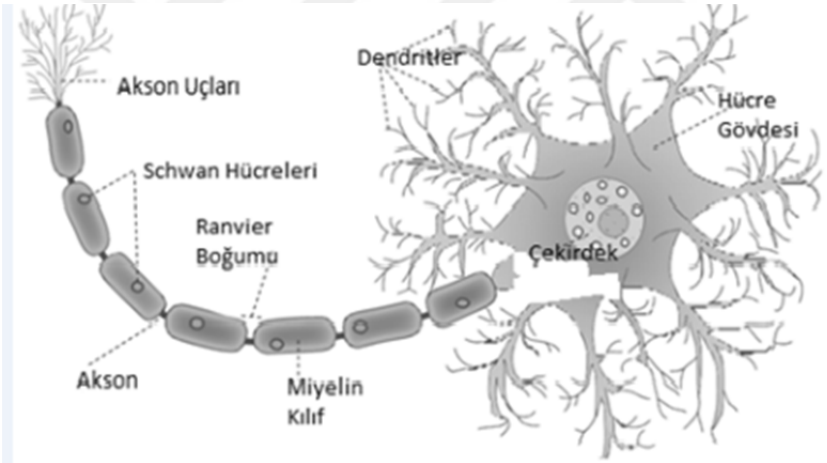
Şekil 3.15. İterasyon 1 35
Şekil 3.16. İterasyon 2 35
Şekil 3.17. İterasyon 3 36
Şekil 3.18. Zayıf Öğreniciler ve Birleştirme Katsayıları 36
Şekil 3.19. Birleştirme Katsayıları 37
Şekil 3. 20. Nihai Sınıflandırma Sonucu 37
Şekil 3.21. LBPH'da Piksel Değerlerinin Binary Formata ve Histogram Değerine Dönüşümü 39
Şekil 3.22. Yüz Tanıma İşleminin Sonucu 40
Şekil 3.23. TENS Birimi Şematik Görünümü 41
Şekil 3.24. Segment-Dürtü Eşleşmesinde Kullanılan Stimülatör 42
Şekil 3.25. Yüz-Örüntü Eşleşmesinde Kullanılan PCB Stimülatör 44
Şekil 3.26. Tasarlanan Cihazın Şematik Görünümü 45
Şekil 3.27. Tasarlanan Cihazın Kart Görünümü 46
Şekil 3.28. Tasarlanan Cihaza Ait PCB'nin 2 ve 3 Boyutlu Görüntüsü 46
Şekil 3.29. Eğitim ve Destek Cihazının Akış Diyagramı 47
Şekil 4.1. Jel ile Deri Direncinin Değişimi 50
Şekil 4.2. Deneysel Cihazın Çıkış Sinyali 51

SİMGELER VE KISALTMALAR

WHO	: World Health Organization
RELU	: Rectified Linear Unit
OPENCV	: Open Computer Vision
PCB	: Printed Circuit Board
LGN	: Lateral Genikulat Nükleus
MSS	: Merkezi Sinir Sistemi
PSS	: Periferal Sinir Sistemi
TVSS:	: Tactile Vision Sensory Substitution
TDU	: Tounge Display Unit
VEST	: Versatile Extra-Sensory Transducer
LBPH	: Local Binary Paterns Histograms
TENS	: Transcutenous Electrical Nerve Stimulation
Hz	: Hertz
ma	: Mili Amper
mv	: Mili Volt
V	: Volt
sig	: Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

1. GİRİŞ

İnsan vücudu çok sayıda hücrenin özelleşmesiyle meydana gelmiştir. Bu hücrelerden bir kısmı da nöron denilen sinir hücreleridir. Nöronlar elektro kimyasal bir işlemle bilgi taşımak için özelleşmiş hücrelerdir. İnsan beyninde yaklaşık 100 milyar nöron vardır. Bu nöronlar değişik şekil ve büyüklüktedirler. Nöronlar diğer hücreler ile ortak özelliklere sahiptir ancak şu özellikleri ile diğer hücrelerden ayrılırlar. Nöronlar hücre gövdesine ilave olarak, dendrit ve akson denilen özel uzantılara sahiptirler. Nöronlar birbirleriyle elektro kimyasal bir işlemle haberleşirler. Nöronlar sinaps gibi özel yapılar ve nörotransmitter gibi özel kimyasal maddeler içerirler (Carlson,2011).



Şekil 1.1. Sinir Hücresinin Yapısı (Barnes,2017)

1.1. Sinir Sistemi

1.1.1. Nöron Tipleri

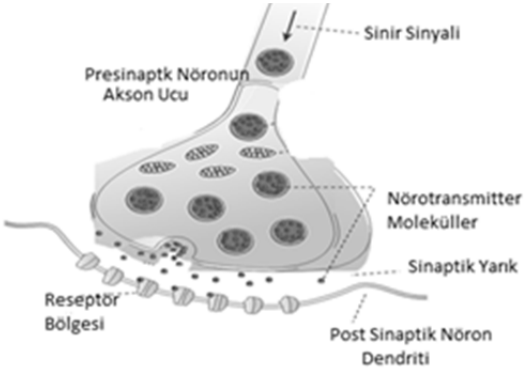
Duyusal (afferent) nöronlar: Vücut ve dış ortamdaki değişiklikleri algılarlar beyin ve spinal korda bilgi iletimi sağlarlar.

Ara nöronlar (association neurons): Merkezi sinir sisteminde duyu ve motor yollar arasında bulunurlar, nöronların %90'ı ara nörondur. Bilgi işleme, depolama ve doğrulama işlevi yaparlar.

Motor (efferent) nöronlar: Kas ve salgı hücreleri gibi eyleyenlere sinyal taşırlar (Carlson,2011).

1.1.2. Sinir Hücrelerinde İletişim

Nöronların çoğu negatif dinlenme potansiyeline sahiptir. Dinlenmekte olan nöronun zar potansiyeli -40 ile -90 milivolt (mV) arasında değişir. Negatif değerde olması hücre içi değerinin hücre dışı değerden daha fazla negatif olmasından dolayıdır. Zar potansiyeli daha az negatif olur ve eşik değerine ulaşırsa nöron aksiyon potansiyel üretecektir. Bu durumda zar potansiyeli +50 mV'a hızla yükselir, daha sonra yeniden dinlenme potansiyeline döner. Aksiyon potansiyeli sinyali akson boyunca akar ve sinaptik uçlara ulaşır, burada hücreler arası iletişim meydana gelir (Carlson,2011).



Şekil 1.2. Sinapsta İletim (Barnes, 2017)

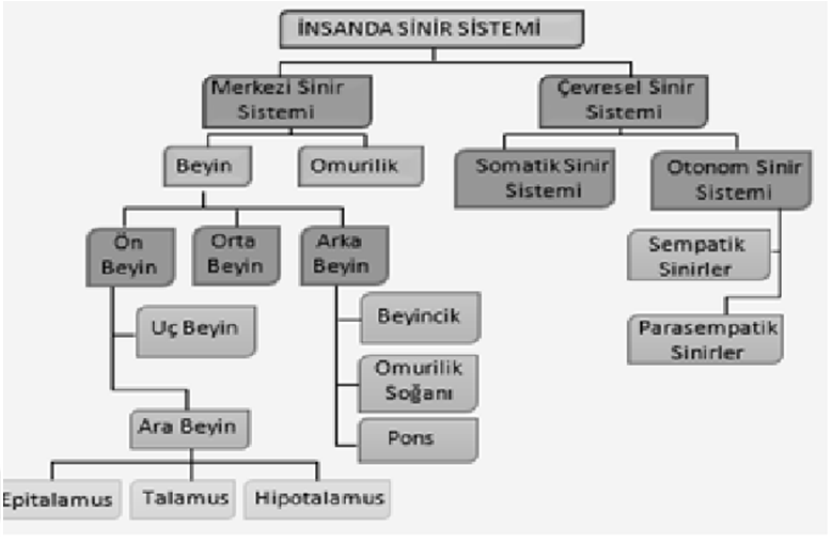
Sinaptik uca ulaşan aksiyon potansiyeli presinaptik nörondan sinaps boşluğuna bir nörotransmitter salınmasına sebep olur. Salgılanan nörotransmitter sinaps keseciğine ulaşır ve postsinaptik nöronun reseptörlerine bağlanır. Nörotransmitterler, uyarıcı veya ketleyici olarak iki gruba ayrılır. Postsinaptik nörona gelen bütün nörotransmitterlerin toplam etkisi alınır eğer bu etki uyarıcıların lehine ise postsinaptik nöron ateşlenir, ketleyiciler ağır basarsa bu nöron sönümlenir. Bu olaya toplama etkisi denir (Kandel,2007).

1.1.3. İnsan Sinir Sistemi

İnsan sinir sistemi merkezi sinir sistemi ve periferal sinir sistemi olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Bunlardan merkezi sinir sistemi (MSS) beyin ve omuriliği içerirken periferal sinir sistemi (PSS) MSS'yi vücudun diğer kısımlarına bağlayan sinirleri içerir (Carlson,2011).

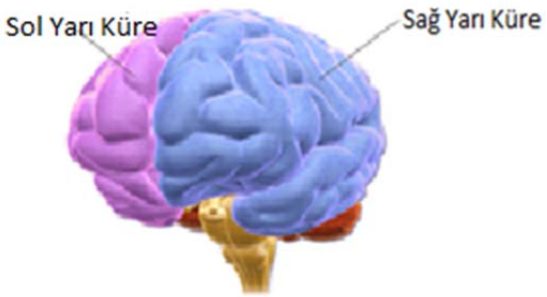
Sinir sisteminin en büyük bölümünü teşkil eden merkezi sinir sistemi periferal sinirlerden gelen duyusal iletileri alır ve ilgili duyu merkezlerinde işler. Ayrıca eferrent nöronlar aracılığıyla motor faaliyetleri başlatma, sürdürme ve durdurma gibi komutları gönderir. Merkezi sinir sistemi periferal organları kontrol ederek solunum, nabız, kan basıncı gibi hayati işlevlerin düzenlenmesini sağlar (Carlson,2011).

Periferal sinir sistemi ise merkezi sinir sistemine duyusal nöronlardan aldıkları girdiyi afferent sinirler aracığıyla taşıyıp, işlemcisine bilgi sağlayan bir sensör gibi davranır. Merkezi sinir sisteminden gelen motor emirler ilgili kasa taşınırken de periferal sisteme ait efferent sinirler üzerinden gönderilir (Barnes,2017).



Şekil 1.3. İnsan Sinir Sistemi (Barnes, 2017)

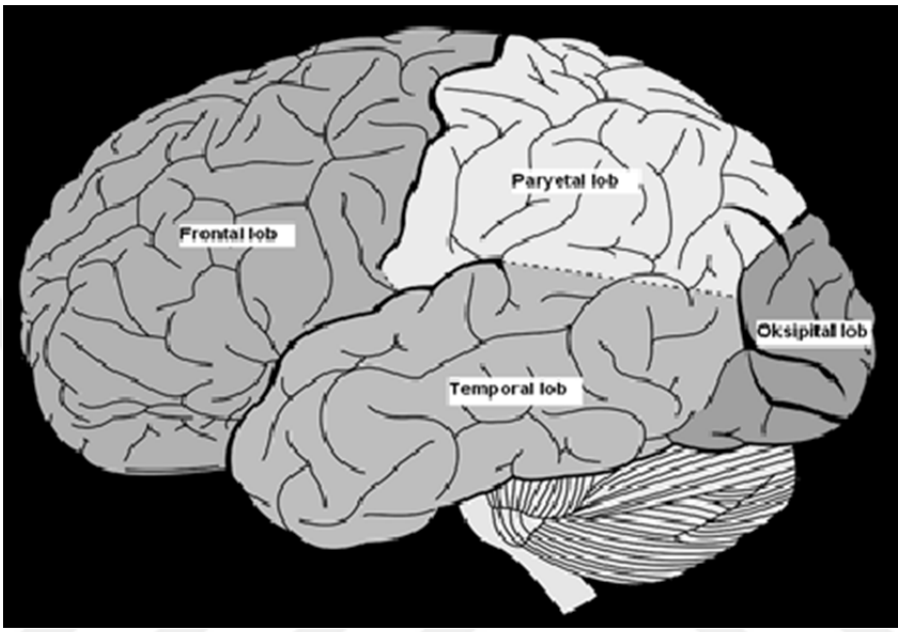
İnsan beyninin evrimsel olarak en son gelişen kısmı üst düzey bilişsel ve motor faaliyetlerden de sorumlu olan serebral kortekstir. Korteks yanal olarak ayrılmış birbirine bağlı iki hemisfer (yarı küre) ve birbirlerinden fissür denilen oyuklarla ayrılmış korteks loblarından oluşmuştur (Barnes,2017).



Şekil 1.4. Beyin Yarıküreleri

Korteks lobları oksipital, temporal, paryetal, frontal olmak üzere dört tanedir. Bu loblardan oksipital lob görme merkezini, temporal lob işitme merkezini, paryetal lob dokunma duyularından gelen bilgilerin merkezini ve frontal

lob da konuşma ve1 motor hareketleri kontrol eden merkezleri barındırır (Carlson,2011).



Şekil 1.5. Korteks Lobları

1.2. Görme Fizyolojisi

Görme varlıkların şekil, hareket renk gibi özelliklerini ayırt etmeye yarayan fizyolojik sürecin adıdır. Görme olayı gözde başlayıp oksipital lobda bulunan görme merkezinde sonlanır. Görmenin gerçekleşebilmesi için ışık olmazsa olmazdır. Bir nesneden yansıyan ışık kornea adı verilen gözün saydam en dış tabakasından geçer. Göze giren ışık miktarına göre göz bebeğinin büyüklüğünü arttırıp azaltan pigmentli kas şeritlerinden oluşmuş iris aynı zamanda göze rengi veren yapıdır. İrisin görevi bir kanal gibi ışığın lense geçişini sağlamaktır (Carlson,2011).

Gözün iç yüzeyi büyük çoğunluğu gözün arka kısımlarında yer alan, ışığa hassas retina hücreleriyle kaplıdır. Retina hücreleri de görme olayının belirli özelliklerinden sorumlu olan çubuk ve koni hücreleri olarak özelleşmiştir.

Bu hücreler ışık enerjisini optik sinirlerin beyne iletebileceği sinyallere dönüştürürler. Çubuk hücrelerinde geniş bir dalga boyunda ışığı absorbe edebilen rodopsin fotopigmenti bulunurken konilerde iyodopsin bulunur. Çubuklar gece görmesi denen renksiz ve düşük netlikli görmede görev alırken koniler yüksek netlik ve renk bilgisi de içeren görme olayları için özelleşmiştir.

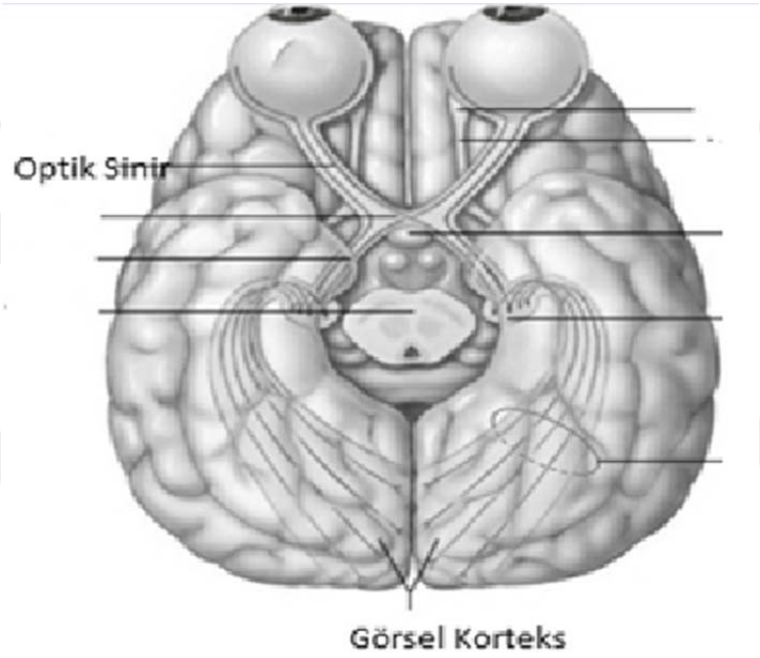
Retinada ışığın elektriksel polarizasyona dönüşmesi transdüksiyon olarak adlandırılır. Oluşan elektriksel polarizasyon optik sinirlerle beyne taşınır. Optik sinir retinanın arka kısmında kümelenen nöronlardan köken almaktadır. On iki kraniyal sinir çiftinin ikincisi optik sinirdir. Merkezi sinir sisteminin bir parçası olarak kabul edilmektedir. Optik kanal vasıtasıyla gözü terk eder. Optik sinirden çıkan aksonların çok büyük kısmı lateral genikulat nüleusda (LGN) sonlanır. Bilgi beynin görme merkezine LGN den iletilir.

Görsel korteks birincil görsel korteks (V1), ve V2, V3, V4 ve V5 gibi korteks alanlarından oluşmaktadır. Beyinin sol tarafındaki görsel korteks sağ görsel alandan gelen uyarıları, sağ görsel korteks ise sol taraftan gelen uyarıları işlemektedir.

Birincil görsel korteks, oksipital lob'da bulunmaktadır. Birincil görsel korteks, görsel verileri retinadan almaktadır. V1 diye adlandırılan birincil görsel korteks bilginin iyi tanımlanmış bir haritasını içerir. Retinaya düşen görsel imajın dönüştürülmesiyle bu harita elde edilir. V1'de görülen spesifik bir bölge ile subjektif görsel alan arasındaki ilişki kesinlikle hatasızdır. Birincil görsel alan ya da V1'in dışında kalan V2 V3 V4 ve V5 ikincil görsel alanı oluştururlar. Bunlar V1 le ve birbirleriyle kurdukları nöronal bağlantılarla nesnelerin hareket, şekil ve renk gibi özelliklerinin algılanmasında hayati rol oynarlar.

Özetle görme olayı ışığın bir nesneden yansıyıp göze girmesiyle başlayıp, retina tarafından bu ışık enerjisinin elektriksel polarizasyona dönüştürülmesiyle

devam eder. Sinirler üzerinde taşınabilir hale gelen bu bigi optik sinir aracılığla LGN'ye ve buradan görsel kortekse ulaşır. Bilginin yorumlanıp organizma tarafından kullanışlı bir görsel imaja dönüştürülmesi korteksin işidir. Nesnelerin hızı, yönü, şekli ve rengi görsel korteksin işlemleriyle oluşturulup görme olayı tamamlanmış olur (Barnes,2017).

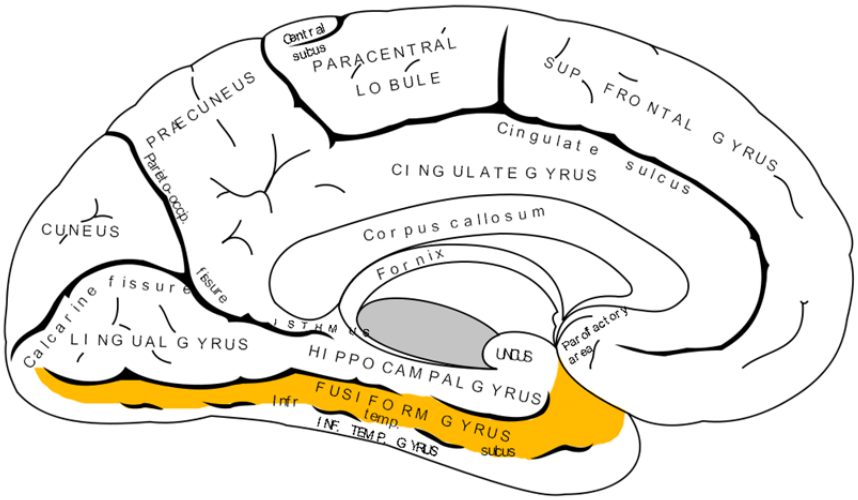


Şekil 1.6. Görsel Yolak

1.3. Prosopagnozi (Yüz Körlüğü)

Yüz körlüğü olarak da adlandırılan prosopagnosia Yunanca'da prosopon (yüz) ve agnosia (bilememek) kelimelerinden gelir (Davis, Joshua 2006). Kişinin kendi yüzü dahil yüzleri tanıyamadığı bilişsel bir bozukluktur. Bu bozukluğa sahip kişilerin entelektüel düzeylerinde herhangi bir sorun görülmemektedir. Ünlü nörolog ve popüler bilim yazarı Oliver Sacks'ta bu hastalıktan muzdariptir ve çeşitli vaka öykülerini anlattığı Karısını Şapka Sanan Adam adlı eseri, ismini yine bir yüz körlüğü vakasının dramatik olaylar zincirinden almıştır. Terim başlangıçta

akut beyin hasarını (edinilmiş yüz körlüğü) takip eden bir duruma atıfta bulunur, ancak bozukluğun doğuştan veya gelişimsel bir formu da vardır ve tüm vakaların içinde yaygınlık oranı %2.5'tir (Grüter, Grüter, Carbon, 2008). Genellikle prosopagnozi ile ilişkili spesifik beyin alanı, özellikle yüzlere yanıt olarak aktifleşen temporal lobda bulunan fusiform girustur. Fusiform girusun işlevselliği sayesinde yüzlerin karmaşık detayları cansız nesnelerden daha ayrıntılı olarak tanınır. Yukarda bahsi geçen beyin yarı kürelerinden sağ yarı kürede bulunan fusiform girus yüz tanıma işleminde daha aktiftir. Fusiform girus'un sadece insan yüzlerinin tanınması için spesifik olup olmadığı henüz bilinmemektedir. Lezyon sonucu edilmiş prosopagnozi, oksipito-temporal lob hasarından kaynaklanır ve çoğunlukla yetişkinlerde bulunur. İyileştirme için birkaç girişim olmasına rağmen, hiçbir terapi kesin ve kalıcı çözüm üretememiştir (Behrmann, Avidan, 2005).



Şekil 1.7. Fusiform Girus

1.4. Nöroplastisite

Beyin plastisitesi, nöroelastisite veya nöral plastisite olarak da bilinen nöroplastisite, kişinin beyninin yaşamı boyunca sürekli değişebilme yeteneğidir, örneğin, belirli bir fonksiyonla ilişkili beyin aktivitesi farklı bir yere transfer

edilebilir, gri madde oranı değişebilir ve sinapslar zamanla güçlenebilir veya zayıflayabilir. Nöroplastisite sayesinde kişi, yeni kavramları, yeni bir dili, yeni bir enstrümanı çalmayı öğrenebildiği gibi, beyin hasarı sonrası kaybedilen bir işlevin tekrar kazanılabilmesi için sinir ağlarını yeniden organize edebilmektedir. 20. yüzyılın ikinci yarısında yapılan araştırmalar, beynin birçok yönünün yetişkinlik döneminde bile değiştirilebileceğini (veya "plastik" olabileceğini) göstermiştir. Bununla birlikte gelişmekte olan beyin, yetişkin beyinden daha yüksek derecede plastisite gösterir.

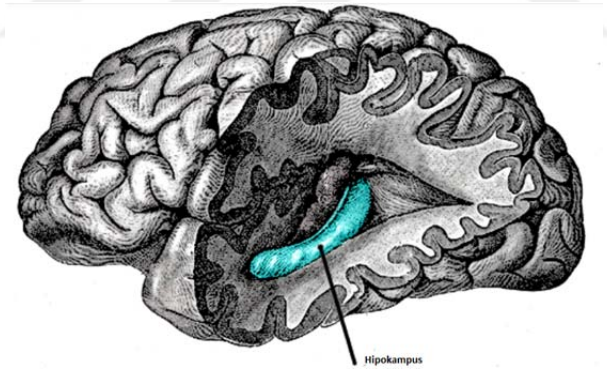
Nöroplastisite, tek tek nöronlardaki mikroskobik değişikliklerden, yaralanmaya yanıt olarak korteksin yeniden haritalanması gibi daha büyük boyutlu değişikliklere kadar birçok ölçekte görülebilir (Reagan, Lawrence P. 2012). Davranışlar, çevresel uyaranlar, düşünceler ve duygusal durumlar sağlıklı gelişim, hafıza ve beyin hasarının iyileşmesi süreçlerinde nöral plastisite sağlamaları açısından çok önemlidirler.

Plastisite terimi ilk olarak 1890'da William James tarafından Psikoloji Prensipleri'nde davranışa uygulanmıştır. Nöral plastisite terimini ilk kullanan kişi Polonyalı sinirbilimci Jerzy Konorski gibi görünmektedir (Livingston, 1966). 1900'lerin başında genellikle yenilenemeyen bir organ olarak anlaşılan beyin için, nörobilimin babası Santiago Ramón y Cajal, yetişkin beyninin yapısında patolojik olmayan değişiklikleri tanımlamak için nöronal plastiklik terimini kullandı. Nöron Doktrini adlı kitabında Cajal, ilk önce nöronu sinir sisteminin temel birimi olarak tanımladı ve daha sonra nöral plastisite kavramını geliştirmek için bilimsel bir temel oluşturdu (Mateos-Aparicio, Rodríguez-Moreno, 2019). Bu çalışmalara rağmen 1950'lere kadar insan beyninin yetişkinliğe ulaştıktan sonra asla değişmeyeceğini öne süren fikir nörobilimin merkezi dogması olmaya devam etti.

1960'larda bu tez çalışmasına da ilham veren Paul Bach-y Rita görme engelli bireylerle sansasyonel bir çalışma yaptı. Kameradan aldığı görüntüleri siyah beyaz formata çeviren Rita bu görüntüleri titreşim sinyallerine dönüştürüp hastaların sırtına verecek bir düzenek oluşturdu. Sırtlarına titreşim verilen görme

engelli hasta grubu yapılan kısa süreli alıştırmalar sonrasında görüntüleri algılayıp ayırt etmeye başlamışlardır. Bu çalışmayla Rita beyinde bulunan görme merkezine giden başka bir yolu nöroplastisite aracılığıyla oluşturmuştur (Bach-y Rita, 1972).

Londra taksicileri üzerinde yapılan bir çalışma plastisitenin başka bir yönüne ışık tutmuştur. Londra'da taksi şoförü olmak isteyen kişiler yoğun ve zorlu bir eğitime tabi tutulurlar. Bu eğitimle güzergâh üzerinde olabilecek yüzlerce sokak ve cadde öğrenilmeye çalışılır. Eğitime katılan adayların eğitim öncesi yapılan beyin taramaları ve eğitim sonunda yapılan beyin taramaları çok manidar sonuçlar çıkarmıştır. Eğitimi başarıyla tamamlayan adayların uzamsal bellekle ilgisi olan hipokampüs bölgelerinde gri madde oranında ciddi artış gözlenip bu bölgelerin genişlediği görülürken eğitimi tamamlamayan adaylarda bu artış gözlemlenmemiştir. Bu çalışma yoğun eğitimin de plastisiteye sebep olarak yetişkin beyninde değişikliğe neden olduğunu göstermiştir (Maguire, Frackowiak, Frith, 1997).



Şekil 1.8. Hipokampüs

1.5. Duyusal İkame

Duyusal ikame, bir duyuya ait özelliklerin beynin plastisiste yeteneği sayesinde başka bir duyusal sistemin uyaranlarına dönüşmesidir. Duyusal ikame fikri, Paul Bach-y-Rita tarafından, ilk başta görme duyusunun ikamesi için geliştirilmiştir (Bach-y-Rita, Collins, Saunders, White, Scadden, 1969). Bir duyusal

ikame sisteminde genel olarak 3 kısım mevcuttur. Bunlardan ilki çevresel uyaranı alan sensör, ikincisi sensörden gelen bilgileri alıp elektriksel, akustik ya da titreşim şekline dönüştüren kontrolcü birim ve bu kontrolcü birimden gelen sinyallerin türüne göre ilgili vücut bölgesine ileten stimülatörlerdir.

İlk başarılı duyusal ikame sistemi de Bach-y-Rita tarafından geliştirilmiştir. Doğuştan görme engelli bireyler bu cihazla görsel bilgiyi algılamayı başarmışlardır. Bu tarihi buluştan sonra duyusal ikame, algılayıcı ve bilişsel sinirbilimi araştıran birçok çalışmanın temeli olmuştur. O zamandan beri duyusal ikame, beyin fonksiyonu, insan bilişi ve rehabilitasyonunun çalışmasına katkıda bulunmuştur (Renier, De Volder 2005).

Bir kişi kör veya sağır hale geldiğinde, genellikle duyma veya görme yeteneğini kaybetmez; sadece duyusal sinyalleri çevreden alıp beyne iletme yeteneklerini kaybederler (Bach-y-Rita, Kercel 2003). Görüntüyü işleyip anlamlı sonuçlara dönüştüren korteks yapıları hala sağlam olduğundan, retinadan veri alma yeteneğini kaybeden bir kişi, dokunma veya işitme gibi diğer duyuların sensörleriyle toplanan verileri kullanarak öznel görüntüleri görebilir (O'Regan, Noe, 2001).

Sağlıklı bir görsel sistemde, retina tarafından toplanan veriler optik sinirde elektriksel bir uyarana dönüştürülür ve beyne aktarılır, beyinde bulunan görme merkezinde görüntü yeniden oluşturulur ve algılanır. Duyusal ikamenin mümkün olabilmesini sağlayan da bu son algılama işinin beynin sorumluluğunda olmasıdır. Duyusal ikame sırasında, hasar almış ve iş göremez hale gelmiş duyu yollarının yerine sağlam bir duyusal yolak, bilgiyi beynin görsel algılama alanlarına iletir, böylece kişi görüşü algılayabilir. Bu sayede bir duyusal yöntemden elde edilen bilgiler fizyolojik olarak başka duyularla ilgili alanlara ulaştırılabilir. Dokunma ile görsel duyu ikamesinde, bilgiler yorumlanması ve algılanması için dokunma reseptörleri üzerinden görsel kortekse aktarılır. Dokunsal duyu ikamesi kullanan hastalarla yapılan işlevsel beyin görüntülemesi çalışmalarında bir nesneye dokundukları esnada dokunmadan sorumlu ilgili korteks bölgeleriyle birlikte görsel korteksin de aktif olduğu gözlemlenmiştir (Bach-y-Rita, 2003).

Gelişen teknoloji ile duyusal ikameyi gerçekleştirmek için sağlam olan bir duyu ile yapılan transdüksiyon, makinelerle yapılabilir hale gelmiştir. Bu beyin-makine arayüzleri çevresel bilgileri toplayıp elektriksel sinyale çevirir ve yorumlaması için beyne ulaştırır. Genel olarak, bir kamera veya mikrofon, sırasıyla kayıp görme ve duyma duyuları yerine kullanılan görsel veya işitsel uyaranları toplamak için kullanılır. Sensörlerden toplanan görsel veya işitsel veriler, görsel ve işitsel algı için beyne iletilen dokunsal uyaranlara dönüştürülür. Bu ve her türlü duyusal ikamenin mümkün olabilmesinin nedeni daha önce de değinildiği üzere beynin nöroplastisite yeteneğidir (Kaczmarek, Bach-y-Rita, 1995).

1.6. Yüz Tanıma Sistemleri

Yüz tanıma sistemi, bir kişiyi dijital bir görüntüden veya bir video kaynağında bulunan bir video karesinden tanımlayabilen veya doğrulayabilen bir teknolojidir. Yüz tanıma sistemlerinin doğru ve verimli çalışabilmesi için birçok yöntem vardır, ancak genel olarak, verilen görüntüden seçilen yüz özelliklerini bir veri tabanındaki yüzlerle karşılaştırarak çalışırlar. Ayrıca, kişinin yüzünün dokusuna ve şekline göre desenleri analiz ederek bir kişiyi benzersiz bir şekilde tanımlayabilen biyometrik yapay zekâ tabanlı bir uygulama olarak da tanımlanır.

Başlangıçta bir bilgisayar uygulaması formu olmakla birlikte, son zamanlarda mobil platformlarda ve robotik gibi diğer teknoloji formlarında daha geniş kullanım alanları bulmuştur. Genellikle güvenlik sistemlerinde erişim kontrolü olarak kullanılır ve parmak izi veya göz irisi tanıma sistemleri gibi diğer biyometriklerle karşılaştırılabilir. Yüz tanıma sisteminin biyometrik bir teknoloji olarak doğruluğu iris tanıma ve parmak izi tanımadan daha düşük olmasına rağmen, temassız ve non- invaziv olması nedeniyle yaygın olarak benimsenmiştir (Zhang, Jian, Yan, Ke, He, Zhen-Yu, Xu, Yong ,2015). Son zamanlarda, ticari bir kimlik ve pazarlama aracı olarak da popüler hale gelmiştir. Diğer uygulama alanları arasında gelişmiş insan-bilgisayar etkileşimi, video gözetimi, görüntülerin otomatik indekslenmesi ve video veritabanı bulunmaktadır (Bramer, Max 2006).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Duyusal ikame ile ilgili literatür çalışmalarına bakıldığında farklı engeller için farklı çalışma prensiplerine sahip sistemlerin kullanıldığı görülmüştür. Bunlardan ilki görme duyusu kaybı için olan sistemlerdir. Görme duyusu kaybı için yapılan ilk sistem ayrıca duyusal ikame yöntemini başlatan olaydır. İşitme engelliler için yapılan ve başarılı olan çalışmalar da yaygındır. Bunların dışında denge sistemlerinde iç kulak hasarına bağlı yetmezlik olan kimseler için de bu vestibüler aygıtlarının kaybı duyusal ikame ile giderilebilmektedir. Genel başlıkları bu şekilde olan mevcut duyusal ikame müktesebatı aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1. Görme Engelliler İçin Duyusal İkame Sistemleri

Bu konudaki ilk çalışma Bach-y-Rita ve arkadaşlarına aittir. Sistem bir dişçi koltuğuna monte edilen, analog bir TV kamera tarafından çekilen görüntüyü hastanın derisine ileten 20x20 titreşimli motor matrisinden oluşmaktadır. Bu sisteme Tactile Vision Sensory Substitution (TVSS) adını vermişlerdir (Bach-y-Rita, Tyler, Kaczmarek, 2003). Görüntü üzerinde önişleme yapılmaz. TVSS deneyleri, 4 yaşından beri görme engelli olan 5 kullanıcı ve doğuştan görme engelli olan 6 kullanıcı ile gerçekleştirilmiştir. İlk deneyler dikey çizgilerin, yatay çizgilerin, çapraz çizgilerin ve eğrilerin tanımlanmasını içermiştir. 20 saatlik bir eğitimden sonra, kullanıcılar %100 doğrulukla çizgi yönünü tanımaya başlamıştır. Bir sonraki deney, telefon, sandalye ve kupa gibi 25 sınıftan gelen birleştirilmiş çizgilerin ve nesnelerin tanınmasını içermektedir. Araştırmacılar, nesne tanıma için ayrıntılı sonuçları yayınlamasa da nesnenin boyutunun, işlevindeki perspektif varyasyonunun ve mesafe varyasyonunun ayırt edilebildiğini açıklamışlardır. Bu çalışmada hastanın derisine verilen titreşimler mekanik özelliklidir. Sonraki çalışmalarda mekanik özellikli stimülasyonların yerini elektrotaktil uyarıcılar almıştır (Ribani, Marengoni, 2019).

Elektriksel stimülasyonu kullanan çalışmaların başında Tounge Display Unit (TDU) gelmektedir. TDU'da dil üzerine konan küçük bir elektrot matrisi yardımıyla afferent sinir liflerini uyarmak için dilden lokal bir elektrik akımı geçirip, dilde dokunma hissi uyandırılır. Bu şekilde üretilen algılar (titreşim, karıncalanma, basınç) hasarlı görme, işitme, uzuv-beden oryantasyonu ve vestibüler duyuları ikame etmek için kullanılabilir. Dil elektrotaktil uyarım için ideal bir alandır. Hem basınç hassasiyeti yüksek hem de hareket yeteneğinden dolayı uzamsal çözünürlüğü son derece iyidir, ayrıca dokunmaya karşı çok hassastır. Beynin dokunma ile ilgili uyaranları yorumladığı somatosensöriyel kortekste dilin çok geniş bir temsil alanı vardır. Dilin ağız içinde bulunan konumu nedeniyle hidrasyonu ve elektriksel özellikleri diğer deri bölgelerine göre daha tutarlıdır. Artan akımla değişen empedans deriye nazaran dilde çok azdır. Deri üzerine yapılan çalışmalarda elektriksel stimülasyon sağlamak için akım kontrollü devreler gerekir ancak dil de çok daha basit olan voltaj kontrollü devrelerle bu iş gerçekleştirilir.

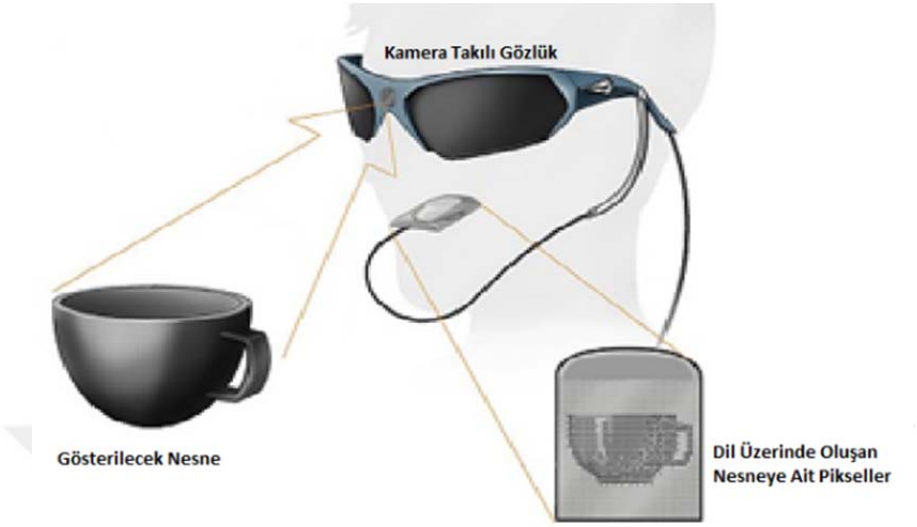
TDU'da sinyaller nörofizyolojik zaman sabitlerine uyduğu varsayılan frekans özelliklerine sahip dikdörtgen pulselar halinde verilir. Bu bir varsayımdır çünkü bu konuyla ilgili deneysel veriler kısıtlıdır. TDU çalışmalarında pozitif uyaranlarla negatif uyaranlar karşılaştırılmış parmak ucu gibi yerlerde pozitif darbelerin üstünlüğü görülürken diğer vücut bölgelerinde negatif darbeler daha iyi performans vermiştir.

TDU'da stimülatör kısım 12x12'lik 144 kanaldan oluşmuştur. Bu 144 kanal dört adet 36 kanallı bloğa gruplandırılmıştır. Her blok elektrot dizisinin bir 6x6'lık bölgesini aktif eder. Her bloktaki elektrotlar, soldan sağa, yukarıdan aşağıya, soldan sağa, arkadan öne karşılık gelen dil üzerinde yatay çizgiler halinde taranır. Zamansal olarak bitişik elektrotlar arasındaki uyarma dizilerinin başlangıcı, birbirlerine göre gecikmeli olarak başlar. Belirli bir elektrot üzerindeki bir uyarım, bitişik elektrot bir sonraki uyarıya başlamadan önce tamamlanmalıdır. Dört bloktaki uyarımların başlangıcı senkronize edilir, böylece 12x12 dizisindeki dört

elektrot herhangi bir zamanda aktif olabilir (Wildenberg, Tyler, Danilov, Kaczmarek, Meyerand 2010).

Tüm bu çalışmaların sonucunda en gelişmiş ürün olarak ticari ismi Brainport olan duyusal ikame cihazı üretilmiştir. Brainport duyusal bilgilerin, dilin üzerinde bulunan bir elektrot dizisi yoluyla hastanın beynine gönderilebildiği bir teknolojidir. Başlangıçta Paul Bach-y-Rita tarafından, özellikle inme kurbanları olmak üzere insanların denge duygusuna yardımcı olarak geliştirilmiştir. Aynı zamanda görme engellilerin çevresindeki nesneleri çokgen ve piksel biçiminde görmesine olanak sağlayacak şekilde görsel bir yardım aracı olarak kullanılmak üzere de geliştirilmiştir. Bu kullanımda, bir kamera çevrenin görüntüsünü alır, bu bilgi bir çip tarafından işlenip impulslara dönüştürülür. Son olarak bu impulslar bir elektrot dizisi aracılığıyla dil üzerinden kişinin beynine gönderilir. İnsan beyni bu dürtüleri görsel sinyaller olarak yorumlayabilir ve daha sonra görsel kortekse yönlendirilerek kişinin "görmesini" sağlar (Kean, 2014). Bu cihaz 2015 yılında Amerikan Gıda ve İlaç kurumu tarafından görme engelli kişilerin kullanması için onaylanmıştır.

Duyu ikamesi için dokunsal uyaran tabanlı sistemlerin dışında görüntünün sese dönüştürülerek hastalara iletildiği işitsel tabanlı sistemlerde mevcuttur. vOICe isimli proje bunlardan biridir. vOICe projesinde de görüntüler kamera ile tespit edilip dijital ortama alınmakta ve saniye başına bir resim taranacak şekilde sese dönüştürülmektedir. Cihazın oluşturduğu ses, görüntünün soldan sağa doğru taranması ve görüntü üzerinde bulunan objelerin dağılımına göre yapılmaktadır. Görüntünün sol tarafında bulunan piksellerden oluşturulan sesler sol kulaktan verilirken sağ taraftan oluşturulan sesler sağ kulaktan hastaya verilir. Ses sinyali oluşturulurken her bir pikselin, yatay-dikey konumu ve parlaklığı dikkate alınarak oluşturulur (Göktürk, İnceoğlu, 2007).



Şekil 2.1. BrainPort Cihazında Görüntünün Pikseller Halinde Dilde Oluşması



Şekil 2.2. İşitsel Duyu İkamesi Sistemi

vOICE benzeri bir diğer çalışmada Sonic Eye'dır. Bu projede çevredeki objeler cihaz tarafından soldan sağa doğru taranarak notalara dönüştürülür. Dinleyen görme engelli kişi objelerin değişen özelliklerine göre farklı notalara maruz kalarak etrafında bulunan nesneleri ayırt edebilecek hale gelmektedir.

Denge sistemlerinde bulunan reseptörlerin kalıcı hasar görmesine bağlı olarak denge kaybı yaşayan insanlar için de duyu ikamesi başarıyla uygulanabilmektedir.

İnsan vücüdunda dengenin sağlanması için çok sofistike bir reseptör kümesi bulunur. İç kulakta bulunan bu reseptörler vestibüler organ olarak da adlandırılır. Üç boyutlu uzayda sağlıklı bir şekilde hareket edebilmek için, bu sofistike rehberlik sistemlerine ihtiyaç duyarız. Bu sistem 3 boyuttaki her dönüşü ve ivmeyi kaydedip beyne yollar. Robot ve uzay endüstrisinde benzer bilgiler için çok yüksek teknolojik kabiliyet gerektiren bu sistem insan ve diğer primatlarda doğuştan mevcuttur.

Bahsedilen sistemin kaybı durumunda hastalar tarifsiz bir zorlukla karşılırlar. Duyu ikamesi yöntemi bu konuda başarılı sonuçlar üretir. Görme engelliler için kullanılan ve yukarıda anlatılan TDU'nun stimülatör kısmı yine dile gelecek şekilde kullanılır. Denge sistemlerinde, hastanın hareketini analiz edip beyne bilgi sağlamak için mems (mikro elektronik makine) tabanlı accelometreler kullanılır. Bu accelometreler kayıp vestibüler organın yerini alarak dil üzerinden elektro-taktil uyarımlar ile beyne bilgi sağlar. Beyin de nöroplastisite sayesinde bu bilgileri yorumlamayı öğrenerek yeni bir denge reseptörü edinmiş olur.

Bu cihazla çalışan hastalar diğer ikame sistemlerinden farklı olarak sürekli cihaza bağlı yaşamak zorunda kalmazlar. Cihaz ile yapılan alıştırmalar sonrasında yeniden dengede kalmayı öğrenen hastalar bir süre sonra cihaz olmaksızın da dengede kalabilmeyi başarmışlardır. Bu nöroplastisitenin kalıcı tedavi başarısına çarpıcı bir örnektir.

Duyu ikamesi ile ilgili yapılan bir diğer önemli çalışma işitme engellilerin işitme duyusunun ikamesidir. Dünya üzerinde 50 milyonun üzerinde işitme engelli insan bulunmaktadır. Cerrahi müdahale ile hastalara invazif bir şekilde yerleştirilen koklear implant bu gruptaki hastalar için bir çözüm sunmaktadır ancak bu çözüm en az 40 bin Amerikan doları tutarında bir maliyete sahiptir. Bununla birlikte bu implantlar erken başlangıçlı sağırlık durumlarında düşük bir verim sağlamaktadır.

Tüm bu olumsuzluklardan dolayı David Eagleman ve Scott Novich VEST (Versatile Extra-Sensory Transducer) adını verdikleri bir cihaz geliştirmişlerdir. Bu cihazda stmülatör olarak mikro titreşim motorlarından bir matris oluşturulmuştur. Bu uyarıcı kısım mikrofondan toplanıp bluetooth haberleşmesi ile arduino aktarılan ve arduino tarafından titreşime dönüştürülen sinyalleri deriye iletir. Böylece gerçek zamanlı olarak sesler titreşime dönüştürülmüş olur. Geriye sadece beynin bu yeni sinyalleri yorumlaması kalır. Eagleman ve Novitc bu cihazla koklear implantların yerine cerrahi riski olmayan ve çok çok daha uygun bir maliyete sahip olan bir sistemi kullanıma sunmuşlardır (Novich, Eagleman, 2015).

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada nöroplastisite kavramından yola çıkıp duyu ikamesi cihazlarından ilham alarak, prosopagnozi hastalarının destek modunda kullanarak yüzleri ayırt etmelerini sağlayan, eğitim modunda kullanılarak beynin yeni bağlantılar kurabilme yeteneği sayesinde yüz tanıyamama bozukluklarının giderilmesini sağlamayı hedefleyen bir cihaz tasarlanmış ve bu cihazın tedavi amaçlı kullanımı için iki farklı yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden ilki tanıtılmak istenen yüze ait görseli segmente ederek kişinin kaş, göz, burun ve tüm yüzü için ayrı ayrı olmak üzere aynı miktarda elektriksel dürtünün deri üzerinden beyne ulaştırılmasıdır. Diğer yöntem ise her yüz için ayrı bir örüntü oluşturup bu örüntüyü üretilen PCB ile hastanın derisi aracılığıyla beyne ulaştırılmasıdır.

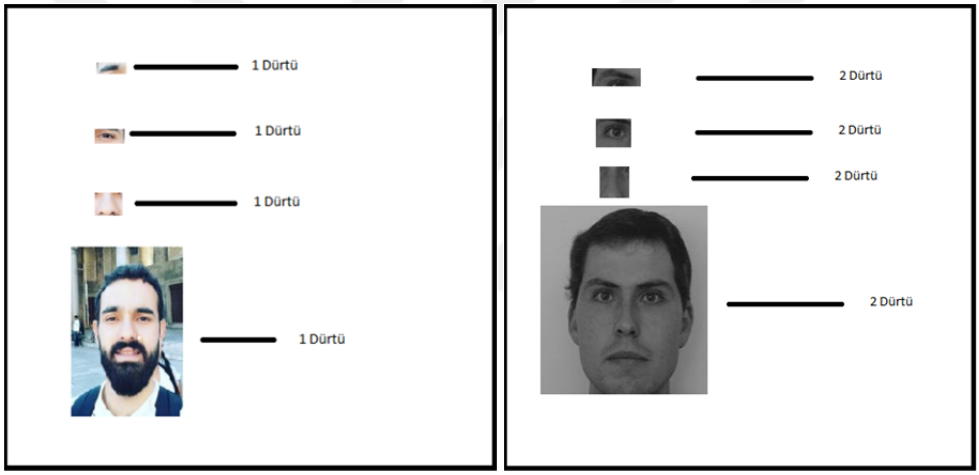
3.1. Prosopagnozi Hastalığının Tedavisi İçin Önerilen Yöntemler

Prosopagnozi hastalığı kişinin doğuştan veya sonradan gelişen sebeplerle yüzleri ayırt edememesidir. Genellikle prosopagnozi ile ilişkili spesifik beyin alanı, özellikle yüzlere yanıt olarak aktifleşen temporal lobda bulunan fusiform girustur. Fusiform girusun işlevselliği sayesinde yüzlerin karmaşık detayları cansız nesnelerden daha ayrıntılı olarak tanınır. Beyin yarı kürelerinden sağ yarı kürede bulunan fusiform girus yüz tanıma işleminde daha aktiftir. Lezyon sonucu edilmiş prosopagnozi, oksipito-temporal lob hasarından kaynaklanır ve çoğunlukla yetişkinlerde bulunur. İyileştirme için birkaç girişim olmasına rağmen, hiçbir terapi kesin ve kalıcı çözüm üretememiştir (Behrmann, Avidan, 2005).

Bu çalışmada 2. Bölüm'de anlatılan vestibüler sinir hasarı sonrası denge duyuları kaybolan kişilerin duyu ikamesi cihazı kullanarak beyinlerinde yeni nöral yolaklar oluşturabilmesi ve denge duyularını geri kazanmalarından yola çıkılarak yüz tanıma yetenekleri doğuştan olmayan ya da sonradan bu yetilerini kaybeden kişiler için bir cihaz geliştirilmiş ve bu cihazın tedavi amaçlı iki ayrı kullanımı önerilmiştir.

3.1.1. Yüz Segmentleri ve Dürtü Eşleştirmesiyle Yüz Tanıtma

İnsanlar yüzleri bir bütün halinde tanıdıklarını düşünseler de bu olayın nöral arka planında yüze ait belirli bölgelerden gelen ipuçları büyük önem arz eder. Kişiye ait kaş, göz ve burun bu ipuçlarından bazılarıdır. Bu başlık altında anlatılan yöntem tanıtılacak kişinin yüzüne ait görselin segmente edilmesi, kaş, göz, burun ve tüm yüz ayrı ayrı gösterilip hepsi için aynı elektriksel dürtü verilmesiyle kişinin beyninde öncelikle dürtü-yüz eşleştirmesinin sağlanması daha sonra yüzü bir bütün olarak tanıyamasa bile bahsi geçen ipuçlarının yüz ile eşleşmelerinden yola çıkarak yüzün kime ait olduğunu çıkarsaması hedeflenmektedir.



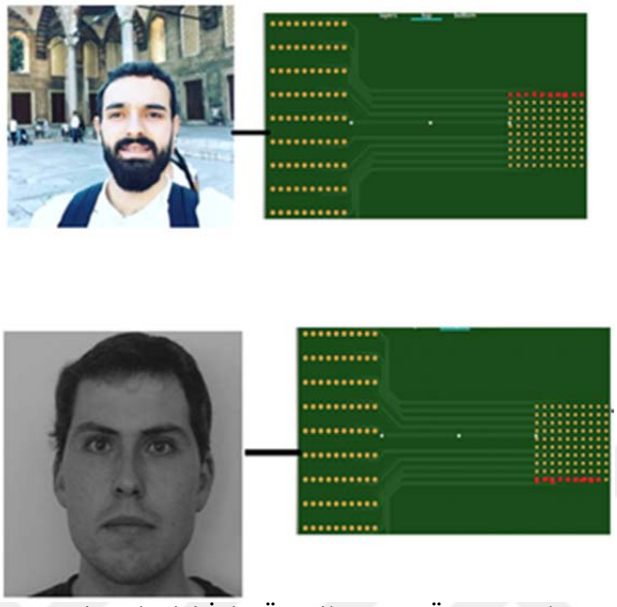
Şekil 3.1. Prosopagnozi Tedavisinde Önerilen Yüz Segmentleri Dürtü Eşleşmesi

Şekil 3.1'de gösterilen yüz segmentleri dürtü eşleşmesinin arka planında Donald Hebb tarafından geliştirilen nörofizyolojik öğrenme teorisi yatmaktadır. Hebb teorisi ya da Hebb'in öğrenme kuramı olarak da adlandırılan bu görüşe göre birlikte ateşlenen nöronlar birbirlerine bağlanırlar (Hebb, 2005). Bu kurama göre öğrenme beyin ilişkisini inceleyen araştırmacılar, yeni öğrenilen bilgilerin beyinde yeni akson filizlenmelerine neden olduğunu iddia etmişlerdir. Nitekim Nobel Ödüllü Eric Kandel hafıza ile ilgili yaptığı çalışmalarda bu kuramı doğrulayan

sonuçlar elde etmiştir (Kandel, 2007). Bu tez çalışmasında prosopagnozi ile ilgili önerilen iki tedavi yönteminde de bu kuramsal bilgiden yola çıkılmıştır. Segment dürtü eşleşmesiyle birlikte sinaptik plastisitenin oluşması bu sayede yeni filizlenen aksonların, dürtünün ulaştığı korteks bölgesi olan somatosensöriyel alan ile yüz tanımadan sorumlu fusiform girus arasında yeni bağlantılar ve yolaklar kurması hedeflenmektedir.

3.1.2. Yüz Örüntü Eşleştirmesiyle Yüz Tanıtma

Segment dürtü eşleşmesinden sonraki ikinci tedavi önerimiz, Şekil 3.2'de gösterildiği gibi her yüz için kullanıcının derisinde farklı bir uyarım deseni oluşturmaktır. Bu desen çözünürlüğü (piksel sayısı) daha yüksek bir stimülatörde bizzat yüzün kendisi olabileceği gibi bu çalışmada gösterdiğimiz üzere aynı yüz için aynı şekli veren herhangi bir desen de olabilir. Görüntü işleme tekniklerinden biri olan kenar bulma (edge detection) yüzün sınırlarını çizerek yüzün desenini stimülatöre ulaştırmada kullanılabilecek bir yöntemdir bu yöntemi kullanabilmek için 1x100 seçici mantık devresine (Demultiplexer) ihtiyaç vardır ancak bu çalışma için ürettirdiğimiz PCB'miz 10x10 boyutunda olduğu için yüz eşleştirmesi daha basit örüntüler ile sağlanmış olup seçici devre kullanılmamıştır. Bunun yerine veri tabanındaki yüzler için Şekil 3.2'de gösterildiği şekliyle bir satır veya sütun bütün haliyle seçilerek örüntü oluşturulmuştur. Önerilen bu tedavi yönteminin arka planında da ilk yöntemde olduğu gibi Hebb'in Teorisi yatmaktadır. Ayrıca önerilen bu iki tedavi Şekil 3.3'te gösterilen akış şemasında olduğu gibi kombine bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 3.2. Prosopagnozi Tedavisi İçin Önerilen Yüz Örüntü Eşleşmesi

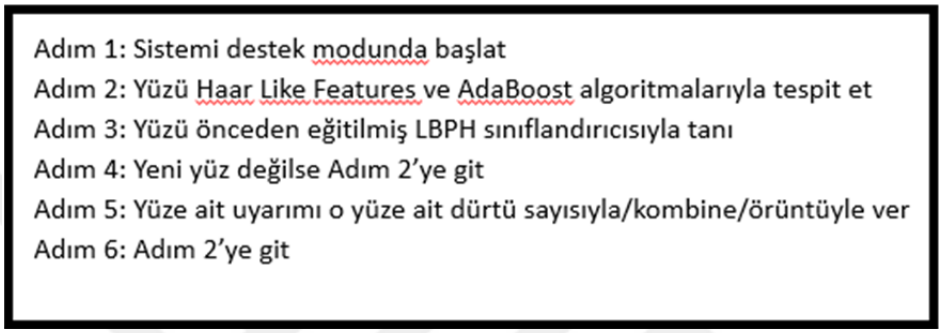
- Adım 1: Rastgele bir yüz seç
- Adım 2: Bu yüze ait kaşı göster ve uyarımı o yüze ait dürtü sayısıyla/örüntüyle ver
- Adım 3: Aynı yüze ait gözü göster ve uyarımı o yüze ait dürtü sayısıyla/örüntüyle ver
- Adım 4: Aynı yüze ait burnu göster ve uyarımı o yüze ait dürtü sayısıyla/örüntüyle ver
- Adım 5: Yüzün tamamını göster ve uyarımı o yüze ait dürtü sayısıyla/örüntüyle ver
- Adım 6: Tedavi süresi bitmediyse Adım 1'e git
- Adım 7: Eğitme modundan çık

Şekil 3.3. Prosopagnozi Tedavisi İçin Önerilen Kullanım Algoritmasının Adımları

3.2. Destek Sistemi Olarak Kullanımı

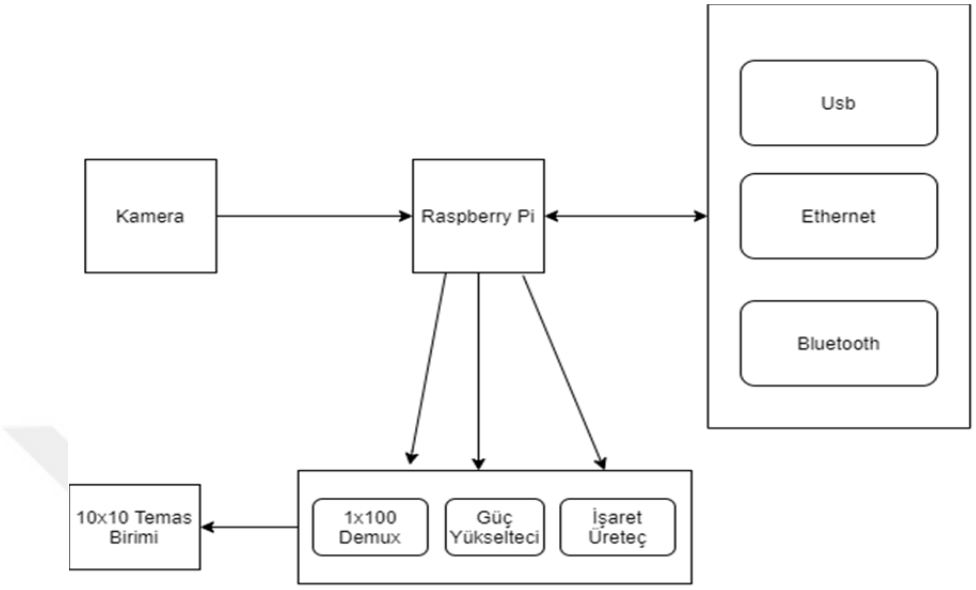
Bu çalışma sonucunda ortaya çıkan ürün prosopagnozi hastalarının yüz tanıyamama sorunlarına kullanıldığı süre boyunca çözüm getirecek şekilde bir destek sistemi olarak da kullanılabilir. Giyilebilir teknoloji kategorisine giren bu sistem kullanıcının günlük hayatında en sık karşılaştığı kişilerin yüzlerini, yüz

tanıma sistemine kaydederek bu yüzlerle her karşılaşıldığında o kişiye ait spesifik sinyali deri üzerinden elektriksel olarak kullanıcıya iletir. Bu sayede kullanıcı en sık karşılaştığı kişilerin yüzlerini tanıyamama sorununu aşmış olur. Şekil 3.4'te bu sistemin algoritma adımları verilmiştir.



Şekil 3.4. Destek Sisteminin Çalışma Algoritmasının Adımları

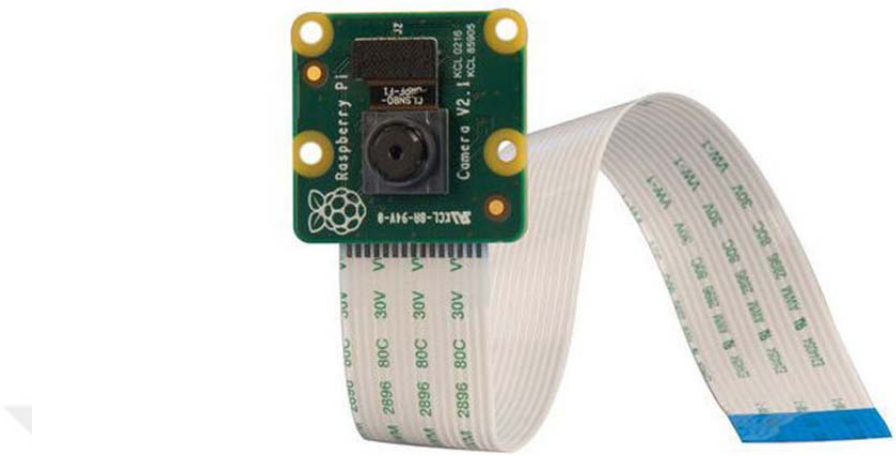
Duyu ikamesi cihazları önceki çalışmalarda da gördüğümüz üzere üç ana bileşenden oluşur. Bunlar çevreden bilgiyi alan sensör, kullanıcıya temas eden ve bilgileri elektriksel uyarılar ile kullanıcı derisine ileten stimülatör ve sensör ile stimülatörün haberleşmesini sağlayan kontrolcü birimdir. Bu çalışmada çevreden görsel bilgi alındığı için sensör görevini kamera üstlenmiştir. Bu tez çalışmasında önerilen tedavi ve destek cihazını hayata geçirebilmek için Şekil 3.5'te gösterilen blok diyagrama sahip cihaz gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5. Prosopagnozi Tedavisin İçin Önerilen Sistemin Blok Diyagramı

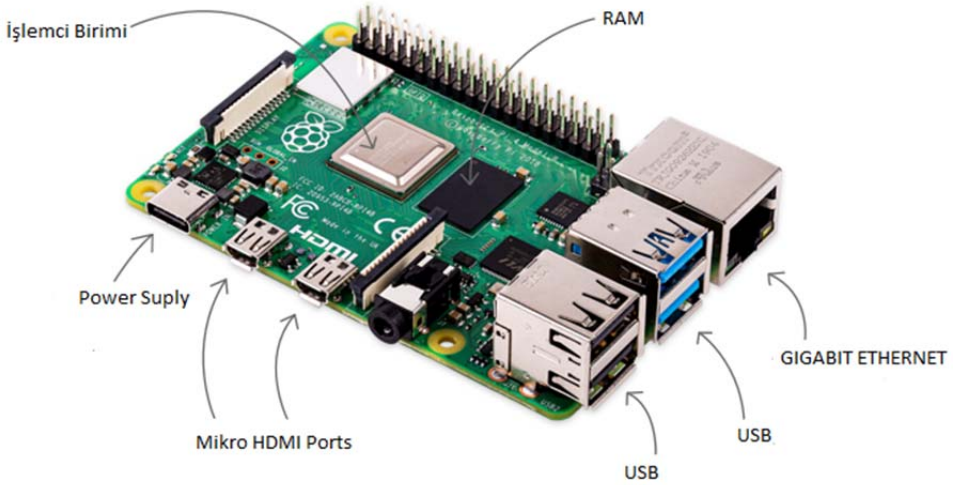
3.3. Kamera ve Kontrolcü Birim

Bu çalışmada yüksek kaliteli görüntü algılama, büyük veri işleme kapasitesi, 8 megapiksel sabit odak noktalı, 1080p, 720p60 ve VGA90 destekli üzerinde CMOS görüntü sensörü bulunan Şekil 3.6'da gösterilen Raspberry Pi kamera modülü kullanılmıştır. Yüzler bu kamera ile tespit edilmiş ve kamera ile haberleşme halinde olan Raspberry Pi kontrolcü birimine aktarılmıştır.



Şekil 3.6. Raspberry Pi Kamera Modülü

Bu çalışmada kontrolcü birim olarak kullanılan ve yüz tanıma ve sinyal üretme komutu vermekten de sorumlu olan Raspberry Pi, bir bilgisayar monitörüne veya TV'ye takılan ve standart bir klavye ve fare kullanan düşük maliyetli, kredi kartı boyutunda bir bilgisayardır. Her yaştan insanın bilgisayarı keşfetmesini ve Scratch ve Python gibi dillerde nasıl programlanacağını öğrenmesini sağlayan yetenekli küçük bir cihazdır. İnternette gezinmek ve yüksek tanımlı video oynatmaktan elektronik tablolar oluşturmaya, kelime işlemeye ve oyun oynamaya kadar bir masaüstü bilgisayarın yapmasını beklediğiniz her şeyi yapabilir. Bununla birlikte üzerinde bulunan input, output pinleri vasıtasıyla dış dünya ile bağlantı kurup bir mikro kontrolcü gibi çalışabilir. Raspberry Pi, Birleşik Krallık'ın ve gelişmekte olan ülkelerin okullarında temel bilgisayar bilimlerinin öğretilmesini teşvik etmek için Raspberry Pi Vakfı tarafından geliştirilmiştir. Orijinal model beklenenden çok daha popüler hale gelmiş ve robotik gibi kullanımlar için hedef pazarının dışında satış yapmıştır. Düşük maliyetli ve taşınabilirliği nedeniyle hava izleme gibi araştırma projelerinde bile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Raspberry Pi 3 Model B kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Raspberry Pi ve Üzerinde Bulunan Birimler

3.3.1 Kontrolcü Birim İçinde Yapay Zekâ Destekli Yüz Tanıma Sisteminin Oluşturulması

Bilgisayar biliminde, yapay zekâ, insanlar ve hayvanlar tarafından gösterilen doğal zekânın aksine makineler tarafından gösterilen zekâyı tanımlamak için kullanılır. Konuşma dilinde, yapay zekâ terimi genellikle insanların öğrenme ve problem çözme gibi insan zihniyle ilişkilendirdiği bilişsel işlevleri taklit eden makineleri tanımlamak için kullanılır (Russell, Norvig, 2009).

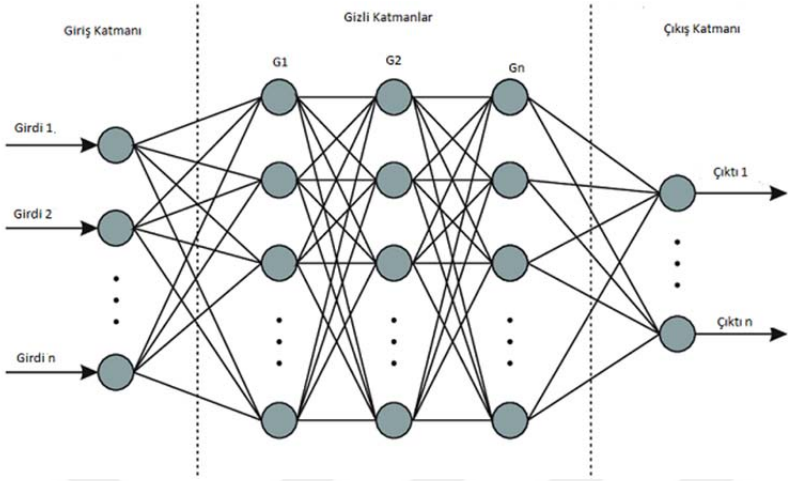
1955 yılında akademik bir disiplin olarak anılmaya başlandığından beri başarı açısından inişli çıkışlı bir performans sergilemiş ve bazen popüler olmasına karşın popülaritesini yitirdiği dönemlerde olmuştur. Yirmi birinci yüzyıla gelindiğinde yapay zekâ teknikleri, bilgisayar gücünde, toplanan veride ve teorik anlayıştaki eşzamanlı ilerlemeleri takiben yeniden canlanmıştır böylelikle yapay zekâ teknikleri, bilgisayar bilimi, yazılım mühendisliği ve yöneylem araştırmasında birçok zorlu sorunun çözülmesine yardımcı olarak teknoloji endüstrisinin önemli bir parçası haline gelmiştir.

Yapay zekânın bir alt alanı olan makine öğrenmesi bir görevi yerine getirmek için açık talimatlar kullanmak yerine algoritma olarak kalıpsal çıkarımlar ve modeller kullanılmasıdır. Makine öğrenmesi algoritmaları, görevi gerçekleştirmek üzere açıkça programlanmadan tahminler veya kararlar vermek için eğitim verileri olarak bilinen örnek verilere dayalı bir matematiksel model oluşturur. Makine öğrenmesi algoritmaları, görevi etkili bir şekilde gerçekleştirmek için geleneksel bir algoritma geliştirmenin zor veya mümkün olmadığı e-posta filtreleme ve bilgisayarlı görü gibi çok çeşitli uygulamalarda kullanılır. Yapay sinir ağlarıda beyin hücresi olan nörondan ilham alınarak geliştirilmiş makine öğrenmesinin bir alt konusudur.

Bir sinir ağının temel unsuru nörondur. Bir nöronun basit matematiksel modeli, skaler girişlerinin her birini ayrı olarak ele alır bunları birbirleriyle toplayarak girdi bu girdileri bir aktivasyon fonksiyonu vasıtasıyla doğrultarak çıktı üretir. Bu süreç Denklem 1'de gösterilmiştir.

Denklem 1: $Net = f(y) = sig(\sum_i^N x_i * w_i)$

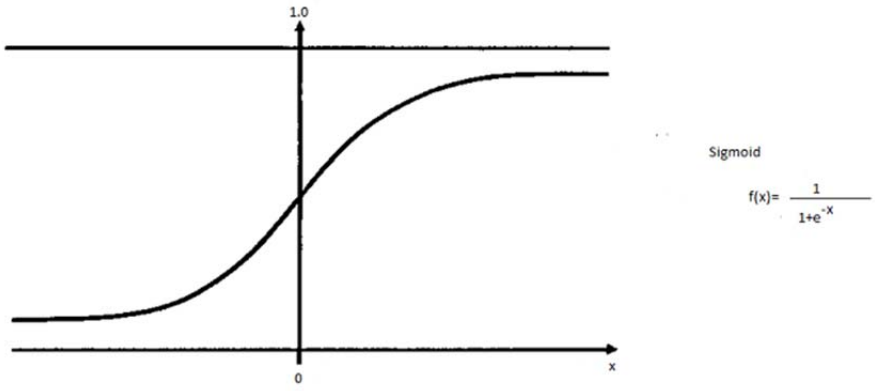
Birden çok nöronun bir araya gelerek oluşturduğu yapay sinir ağının bir diyagramı aşağıda gösterilmiştir. Burada giriş katmanlarından alınan veriler gizli katmanlardan geçerek çıkış katmanına verilir.



Şekil 3.8. İleri Yönlü Yapay Sinir Ağı

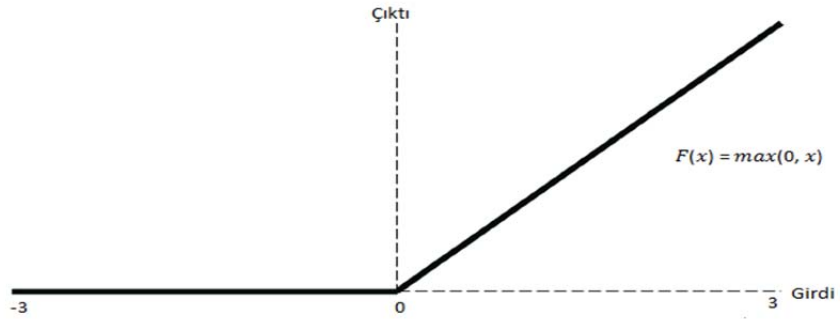
Yukarıda gösterilen ileri yönlü bir sinir ağıdır. Burada girdi başlangıçta girilen veya bir başka nörondan gelen bilgilerdir. Matematiksel modelde x olarak ifade edilmiştir. Her bir girdi ağırlıklarla çarpılarak işleme sokulur. Bu ağırlıklar kullanıldıkları nöronun etkinlik değerlerini belirler. Ağırlık matematiksel modelde w ile ifade edilmiştir.Ağırlığın sayısal değeri arttıkça çarpıldığı nöronun yapay sinir ağındaki aktivitesi artar azaldıkça aktivite de azalır. Bu çarpma işleminden sonra matematiksel modelde de gösterildiği üzere sonuçlar toplanır ancak bu toplam yalın halde bırakılmaz ve bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Bu aktivasyon fonksiyonları genel olarak doğrusal olmayan ve türevleri kolay alınabilen fonksiyonlardan seçilir. Son olarak ağda çıktılar olarak ifade edilen değişkenler aktivasyon fonksiyonundan geçirilmiş girdiler toplamıdır. Bu çıktılar uygulamaya bağlı olarak sonuç olabilir, başka bir ağa girdi olabilir veya tekrar aynı ağa girdi olarak verilebilir.

Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonlarına iki adet örnek verecek olursak bunlar sigmoid ve relu fonksiyonları olacaktır. Sigmoid fonksiyonu matematiksel denklemler ve sınıflandırma işlemleri için kullanılır. 0 ile 1 arasında değerler üretir.



Şekil 3.9. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Relu sadece pozitif değerlerin geçmesine izin veren negatif değerleri sıfır yapan bir fonksiyondur. Derin öğrenmede çok yaygın kullanılır ancak sadece gizli katmanlarda kullanılabilir.



Şekil 3.10. Relu Aktivasyon Fonksiyonu

Şimdiye kadar bahsettiğimiz yapay sinir ağları topolojisi aynı zamanda ağ mimarisi olarak da adlandırılır. Her problemin kendine özgü bir zorluğu ve bu zorluğu aşmak içinde kullanılacak farklı mimariler vardır. Bundan da anlaşılacağı gibi problemden probleme ağın girdileri, gizli katman sayıları ve gizli nöron sayıları, kullanılan aktivasyon fonksiyonları farklılık gösterecektir.

Yapay sinir ağının doğru ve kabul edilebilir bir şekilde çalışması için eğitilmesi gereklidir. Bu eğitim için öncelikle doğru çıktıları bilinen çok sayıda veriye ihtiyaç vardır. Bu eğitimde, hata geriye yayma olarak bilinen algoritma çok değerlidir.

Yapay sinir ağları eğiticili (Supervised Learning), eğiticisiz ve takviyeli öğretim metodlarını kullanır. Eğiticili öğrenme hedef değerleri (etiketli örüntüler) kullanılarak sınıflama veya regresyon amaçlı giriş çıkış arasındaki bağıntıyı modeller. Kullanılan bu etiketli verilere eğitme (train) verileri denir. Eğitmede kullanılmayan yapay sinir ağının genelleme kabiliyetine ölçecek verilere test verileri denir. Ağın öğrenme performansı test verilerine vereceği başarılı yanıtlarla belirlenir. Eğitme işlemi ağın hesaplamada kullandığı ağırlık ve bias değerlerinin değiştirilmesi sürecidir. Tekrarlı öğrenen yapay sinir ağlarında hedef değerle ağın verdiği çıkış arasındaki fark minimize edilmeye çalışılır. Öğrenme süreci tekrarlanan eğitim adımlarıyla gerçekleştirilirken ağın genelleme yeteneğini kaybettiği zaman ezberleme durumu başlamıştır.

Sinir ağı için verilen eğitim verileri optimum miktardan fazla ise ve çok sayıda döngü ile eğitim yapılırsa sinir ağında öğrenme yerine ezberleme (Overfitting) gerçekleşmiş olacaktır. Tam tersi durumda ise verileri öğrenememiş (Underfitting) olacaktır. Bunlar istenmeyen durumlardır. Yapay sinir ağının bulduğu sonuç ile verinin gerçek değeri arasındaki karesel farkların toplamı bize hatayı verir. Bu maliyet, kare hata (Square Error) formülü ile hesaplanır.

Denklem 2: $E = \Sigma \frac{1}{2}(target - output)^2$

Toplam hatayı minimuma yaklaştırmak isteriz. Bunun için Denklem 2'nin lokal minimumunu doğru iteratif şekilde yakınsamalıyız. Bu minimuma gitmek için gradient descent (azalma) , Newton, Quasi-Newton , Levenberg-Marquardt gibi algoritmalar kullanılabilir. Gradient descent algoritması en sık kullanılan

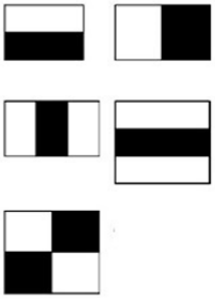
algoritmadır. Gradient descent hatanın minimuma yakınsaması için birinci türevi kullanır. Newton ikinci türev, Quasi-Newton ise ikinci türeve benzeyen bir algoritma ile çalışır. İkinci türev tercihi işlemin uzun sürmesine sebep olabilir. Daha az iterasyon ile minimuma yakınsaması ikinci türevi kullanan algoritmaların avantajıdır. Gradient descent algoritmasında yakınsama için gradient doğrultusuna ters yönde hareket edilir. Minimum noktayı bulmak için ağırlıklar öğrenme katsayısı (learning rate) ile çarpılarak bir sonraki yeni ağırlık bulunur. Öğrenme katsayısı tecrübe edilerek seçilir.

Eğitim süresi kullanıcı tarafından sonlandırılır. Kullanıcının istediği öğrenme oranına ulaşıldığında eğitim sonlanır. Önceden belirlenmiş bir tekrar sayısına ulaşıldığında öğrenme yine sonlanır. Ağırlıklar istenilen değere ulaşmış olur ve eğitim tamamlanmıştır. Eğitim tamamlandıktan sonra test kümesi ile çalışılabilir veya yeni veriler sınıflandırılabilir.

Yüz tanıma sistemleri de yapay zekanın uygulama alanlarından biridir. Gelişen işlemci gücü sayesinde makineler artık yüzleri tanıyabilmektedir.

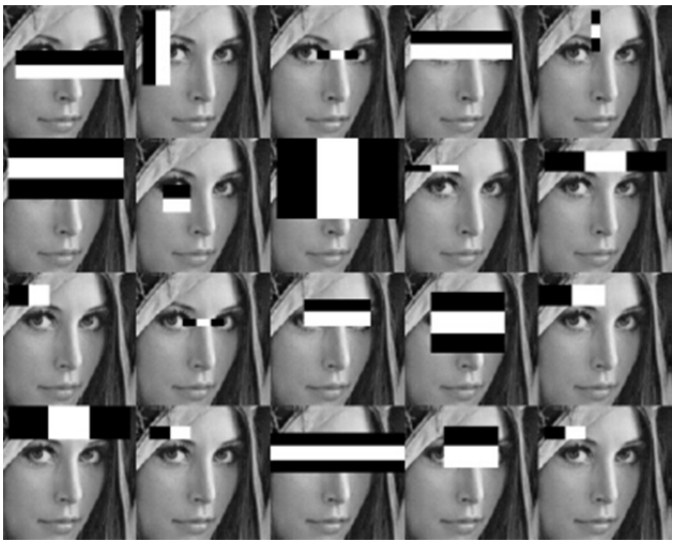
Bu çalışmada yüz tespiti ve yüz tanıma için OpenCV açık kaynak bilgisayarlı görü kütüphanesinde var olan fonksiyonlar ve algoritmalar kullanılmıştır. Yüz tespiti ilk aşamada gerçekleşen işlemdir. Bunu gerçekleştirmek için 2001 yılında Paul Viola ve Michael Jones tarafından geliştirilen çok verimli bir nesne tespit yöntemi olan Haar sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Makine öğrenmesi temelli bu yöntemde cascade diye adlandırılan sınıflandırıcı çok sayıda negatif ve pozitif görüntü tarafından eğitilmiş ve daha sonra nesne tespiti için başka görsellerde kullanılmıştır (Viola, P., Jones, M. 2001).

Başlangıçta algoritmanın eğitilmesi ve bu eğitim için çok sayıda pozitif (yüz içeren) ve negatif (yüz içermeyen) görüntüye ihtiyaç vardır. Daha sonra özellik çıkarma işlemi yapılır. Haar sınıflandırıcısı özellik çıkarma işlemi için aşağıdaki görselde bulunan şekillerden faydalanır.



Şekil 3.11. Haar Sınıflandırıcısında Kullanılan Özellikler

Yukardaki şekillerden ilk sırada olanları, kenarları algılamak için kullanılan kenar özellikleridir. İkinci sıra çizgi özellikleri, üçüncüsü ise büyük olasılıkla eğimli bir çizgiyi tespit etmek için kullanılan bir dört dikdörtgen özelliğidir. Her özellik, siyah dikdörtgenin altındaki piksellerin toplamından beyaz dikdörtgenin altındaki piksellerin toplamının çıkarılmasıyla elde edilen tek bir değerdir. Her Haar özelliğinin yüzün bir bölümünü tanımada bir işlevi vardır. Viola ve Jones, 24x24'lük pencereler ile yukarıdaki özellikleri tüm görüntü üzerinde bir piksel kaydırarak hesaplar.



Şekil 3.12. Haar Özelliklerinin Bir Görsele Uygulanması

Konum, ölçek, tür gibi tüm haar özellikleri dikkate alınırsa 24x24'lük bir görüntü için 160.000'den fazla nitelik elde etmiş oluruz ancak bu işlemciler için çok büyük bir sayıdır ve bunun azaltılması gerekir. Aşırı nitelik durumundan kaçınmak ve işimize yarayan yeterli sayıda nitelik çıkarabilmek için AdaBoost algoritması kullanılmaktadır.

AdaBoost algoritması performansı artırmak için diğer birçok öğrenme algoritması türüyle birlikte kullanılabilir. Diğer öğrenme algoritmalarının (zayıf öğrenenler) çıktısı, güçlendirilmiş sınıflandırıcının nihai çıktısını temsil eden ağırlıklı bir toplamda birleştirilir. AdaBoost, gereksiz özellikleri kaldırmak ve yalnızca ilgili özellikleri seçmek için kullanılır. Aşağıdaki şekilde görüldü gibi dikey bir kenar burun tespiti yaparken ilgili bir özelliktir ama dudaklar için işe yaramaz. AdaBoost sayesinde bu ilgisiz özelliklerden gelen parametreler devre dışı bırakılarak 24x24'lük bir görseldeki 160.000'den fazla parametre 2500'e kadar düşürülür.

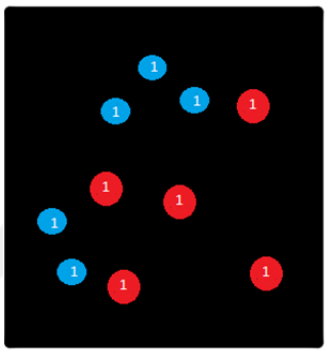


Şekil 3.13. Yüz Tanıma İçin İlgili ve İlgisiz Özellikler

AdaBoost algoritması yüz tespiti yapmak için görselde bulunan yüz ve yüz olmayan nesneleri ayırmaya çalışır, yani bir sınıflandırma işlemi yapar. Bunun için ilk iterasyonda noktalara eşit ağırlık değerleri atayarak başlar ve mümkün olan en iyi sınıflandırıcıyı oluşturur. İkinci iterasyonda bu ilk iterasyonda hatalı sınıflandırılan noktaların ağırlıkları Denklem 3'te gösterilen ağırlık güncelleme formülüne eşit olacak şekilde değiştirilir ve bu sayede doğru sınıfların toplam ağırlıkları ile yanlış sınıfların toplam ağırlıkları eşitlenir. Bu iterasyonların her biri

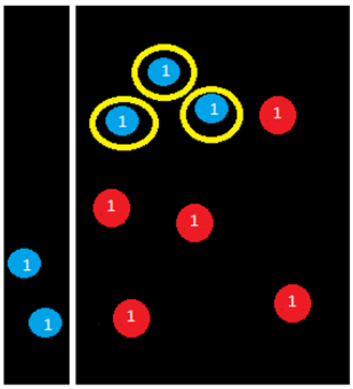
zayıf sınıflandırıcıları oluşturur. Nihai sonuç için bunların toplamı alınır. İterasyon sayısı ne kadar artarsa sınıflandırıcının nihai başarı oranı da o denli yükselecektir. Bu algoritmayı bir örnek ve bu örneğe ait görsellerle açıklayalım.

Denklem 3: $Güncel\ Ağırlık\ =\ (\Sigma\ Doğru\ Ağırlık / \Sigma\ Yanlış\ Ağırlık)\ x\ İlk\ Ağırlık$



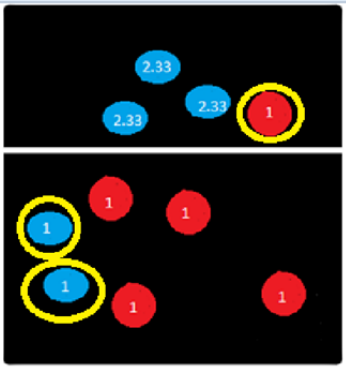
Şekil 3.14. AdaBoost ile Renklerine Göre Sınıflandırılacak Noktalar

Şekil 3.14'de beş adet kırmızı beş adet mavi nokta bulunmaktadır. AdaBoost algoritması ilk iterasyonda her noktaya 1 ağırlık değerini vererek sınıflandırma işlemine başlar. İlk iterasyon sonucunda üç adet mavi nokta kırmızı olarak sınıflandırılmıştır. Yanlış sınıflandırılan noktaların toplam ağırlığı ile doğru sınıflandırılan noktaların toplam ağırlıklarını tekrar eşitlememiz gerekir bu yüzden mavi noktaların ilk ağırlıkları ile doğru sınıflandırılan toplam nokta sayısı ile yanlış sınıflandırılan toplam nokta sayısının oranlarını çarparız. İlk ağırlık değeri 1, doğru noktaların toplam ağırlığı 7, yanlış noktaların toplam ağırlığı 3'tür. Denklem 3 sonucunda çıkan 2.33 değeri yanlış sınıflanan noktaların yeni ağırlık değeri olarak atanır. Doğru sınıflandırılan noktaların ağırlıkları değiştirilmez ve ikinci iterasyona bu ağırlık değerleriyle başlanır.

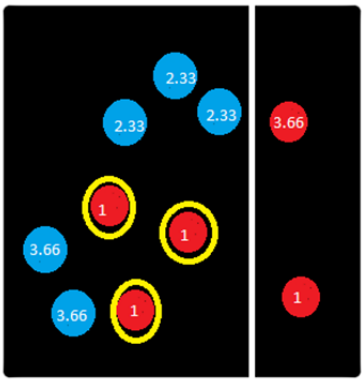


Şekil 3.15. İterasyon 1

İkinci iterasyon sonucunda sınıflama işlemi Şekil 3.15'de görünen hali alır. Bu kez bir kırmızı ve iki mavi nokta yanlış sınıflardadır. Denklem 3 tekrar uygulanır ve yanlış sınıflanan üç noktanın yeni ağırlık değerleri 3.66 olarak hesaplanır.



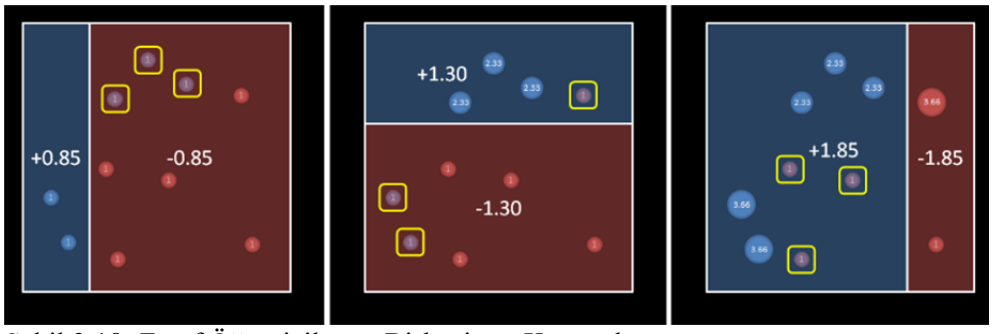
Şekil 3.16. İterasyon 2



Şekil 3.17. İterasyon 3

Üçüncü ve son iterasyon sonucunda üç adet sınıflandırılmış noktalar kümesi elde ederiz. Bu üçlü yukarıda bahsedilen zayıf öğrenicilerdir. Şimdi sırada bu zayıf öğrenicilerin birleştirilmesi vardır. Bu birleştirme işlemini yaparken 3 iterasyon sonucunda oluşmuş bütün sınıflar hesaba katılır. Bu hesabı yaparken her bir sınıfın Denklem 4 sonucunda çıkan değerleri kullanılır.

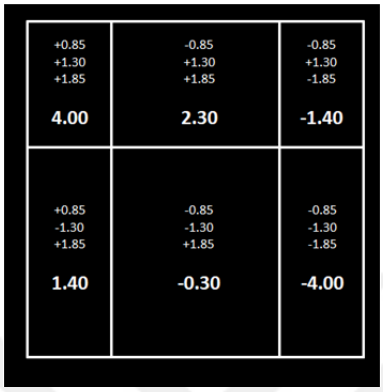
$$\textbf{\textit{Denklem 4}}: log(Doğru\ Sınıf\ Sayısı/Yanlış\ Sınıf\ Sayısı)$$

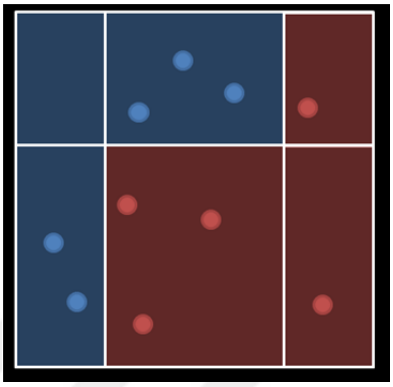


Şekil 3.18. Zayıf Öğreniciler ve Birleştirme Katsayıları

Algoritmanın iterasyon sunucunda mavi olarak belirlediği bölgeyi pozitif kırmızı olarak belirlediği bölgeyi negatif kabul edersek birleştirme katsayıları Şekil

3.19.'daki hali alır. Birleştirme katsayılarının toplam değerlerine göre her bir bölgeyi renklendirdiğimizde Şekil 3.20'deki sonucu elde etmiş oluruz.





Şekil 3.19. Birleştirme Katsayıları Şekil 3. 20. Nihai Sınıflandırma Sonucu

Yüz tanıma insanlar için kolay bir görevdir. Araştırmalar henüz 1 ile 3 günlük bebeklerin dahi yüzleri ayırt edebildiğini göstermiştir (Turati, Cassia, Simion, Leo, 2006). Bu görev bilgisayarlar için ne yazık ki bu denli kolay değildir. Bilgisayarla görme uygulamaları geliştirirken insanların nesneleri ve yüzleri tanımasını nasıl gerçekleştirdiği meselesinde bir hayli bilgisiz olduğumuz farkedildi. Bu konudaki bilgilerimizin artmasını David Hubel ve Torstein Wiesel'in Nobel Ödülü'ne layık görülen öncü çalışmalarına borçluyuz. Bu ikili beynimizde bir görüntünün çizgilerine, kenarlarına, açılarına veya hareketlerine göre özelleşmiş sinir hücrelerinin olduğunu gösterdi (Hubel, Wiesel, 1959). Dünyayı dağınık parçalar olarak görmememiz için, görsel korteksimiz bir şekilde farklı bilgi kaynaklarını yararlı modellerde birleştirmek zorundadır. Otomatik yüz tanıma, tamamen bir görüntüden bu anlamlı özellikleri çıkarmak, onları yararlı bir temsile koymak ve üzerlerinde bir tür sınıflandırma yapmakla ilgilidir.

Yüz tanıma için kullanılan yöntemlerin en sezgiseli muhtemelen yüzlerin geometrik özelliklerine dayalı yüz tanımadır. İlk otonom yüz tanıma sisteminde burun, gözler ve kulakların konumu nokta olarak belirlenmiş ve bu noktalar

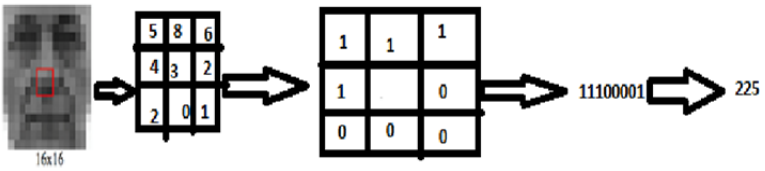
arasındaki açı ve uzaklık bilgilerinden faydalanılmıştır (Kanade, 1974). Tanıma, özellik vektörleri ile referans görüntü arasındaki öklid mesafesinin hesaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Böyle bir yöntem görüntüye ait ışıklandırmadan etkilenmeme avantajına sahip olsa bile belirleyici noktalar olan ağız, burun, göz gibi bölgelerin her seferinde aynı yerde kayıt altına alınamaması sebebiyle dezavantajlıdır. Bilgisayarlı görüde nesne ve yüz tanıma için öznitelik çıkarma geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları için gereklidir. Giriş verilerinin yüksek boyutlarda olması istenmeyen bir durumdur. Bunun önüne geçebilmek için görüntüde ilgilenilen lokasyon çıkarılır ve kullanılır. Bu sayede boyut indirgeme yapılmış olur. Uzamsal bilginin çıkarılmasını sağlayan yöntemlerden bazıları Gabor dalgacıkları, ayrık cosinüs dönüşümü ve yerel ikili örüntülerdir. Bu çalışmada LBPH (Local Binary Paterns Histograms) yöntemi kullanılmıştır.

Yüz tanıma için kullanılan metodları geleneksel ve modern yöntemler olarak iki sınıfta inceleyebiliriz. Yüzlerin geometrik özelliklerini tespit edip veri tabanındaki yüzlerle karşılaştıran geleneksel yöntemler arasında EigenFaces (Öz Yüzler), FisherFaces ve LBPH algoritmaları bulunur.

Yüz tanımada kullanılan modern yöntemler ise makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri içerir. Bu metotta yeni görsellerle beslenen algoritma öğrenme sürecinden geçer ve zamanla yüzleri daha iyi tanımaya başlar. Bir derin öğrenme algoritması verilerden desenleri veya özellikleri yeterince öğrendikten sonra, daha önce görmediği dijital bir görüntünün özelliklerini çıkarma yeteneğine sahip olabilecek ve bu örnek ya da özellikleri veri tabanında depolanan daha önceki görsellerle kıyaslayarak resmin kime ait olduğunu tanıyabilecektir.

Bu çalışmada yukarda bahsedilen yüz tanıma metodlarından LBPH (Local Binary Paterns Histograms) kullanılmıştır. Derin öğrenme yöntemlerinin yüksek işlemci gücüne ihtiyaç duyması sebebiyle bu karar alınmıştır. LBPH algoritması histogram değerlerini kullanarak sınıflandırma yapmaktadır. Diğer sınıflandırma algoritmaları gibi LBPH'de görsel verilerle eğitilmelidir. Yüzlerimiz mikro desenlerden oluştuğu için LBPH tarafından sınıflanmaya uygundur. LBPH

görselleri 3x3'lük matrisler halinde inceler ve bu matrisin merkezindeki değere özel bir önem atfeder. Bu merkezin komşu piksel değerleriyle merkezdeki piksel değerleri karşılaştırılır. Merkez değerden büyük pikseller 1'e küçük pikseller 0'a eşitlenir (Lopez,2010). Daha sonra her bir bloğun binary değerleri onluk sayı tabanına çevrilerek histograma dönüştürülür. Son olarak, ilgilendiğimiz tüm özellikleri içeren bir görüntü için tek bir özellik vektörü oluşturmak üzere bu blok histogramları birleştirilir. Bu şekilde oluşturulan sınıflandırıcı her gelen yeni görüntüyü sınıflandırırken histogram değerlerini elde etmek için aynı işlemleri tekrarlar ve eğitim setindeki görüntülerin histogram değerleriyle karşılaştırarak eğitim setinde bulunan en yakın histogram değerlerine sahip görselin ait olduğu kişiyi yeni gelen yüzün sahibi olarak atar.



Şekil 3.21. LBPH'da Piksel Değerlerinin Binary Formata ve Histogram Değerine Dönüşümü

Bu çalışma için üç ayrı kişiye ait toplam 45 etiketli fotoğrafla LBPH sınıflandırması kullanılarak algoritma eğitimi yapılmıştır. Daha sonra bu kod Raspberry Pi donanımına yüklenmiştir. Bu tez çalışmasıyla ortaya çıkan cihazda görüntü Raspberry Pi'ye ait kamera ile tespit edilmekte ve Raspberry Pi'ye gömülen yüz tanıma kodu ile yüz tanıma işlemi mobil bir şekilde gerçekleşmektedir.

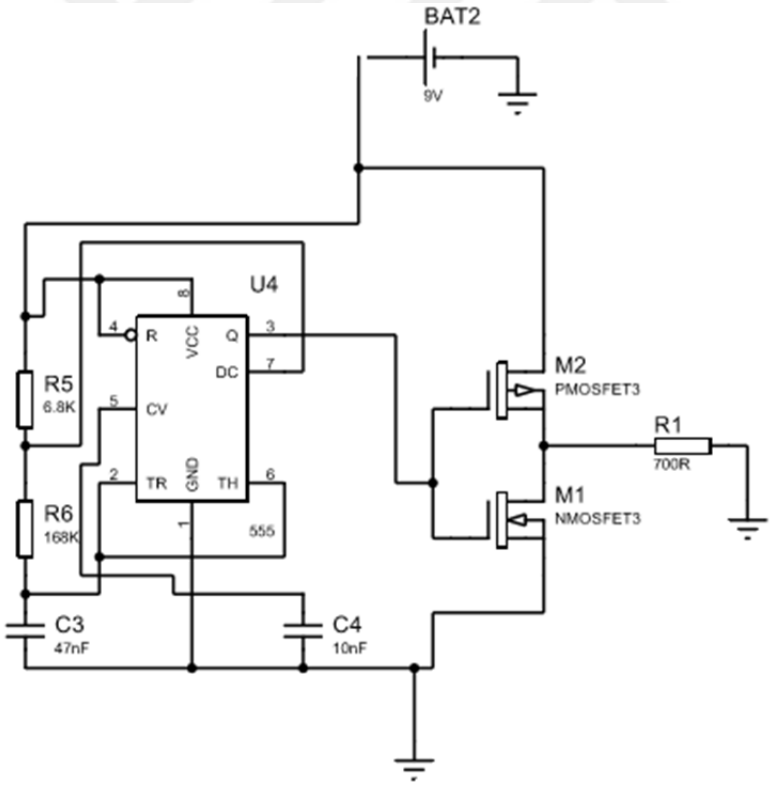


Şekil 3.22. Yüz Tanıma İşleminin Sonucu

3.4. Elektriksel Uyarım Oluşturmak İçin TENS Birimi

Bu çalışmada tanınan yüzler için kontrolcü birim tarafından sağlanan komutlar ile elektriksel sinyal üreten bir devre ihtiyacı doğdu. Bu ihtiyacı karşılamak için TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation) cihazının çalışma prensibine sahip bir devre tasarlandı. TENS cihazı rehabilitasyon amacıyla sinirlerin elektrik akımıyla uyarılmasını sağlayan bir cihazdır. TENS, tanımı gereği, sinir uyarımı için kullanılan tüm deri altından uygulanan akımları kapsar, ancak terim genellikle daha kısıtlayıcı bir amaçla kullanılır, yani ağrıyı azaltmak için kullanılan taşınabilir uyarıcılar tarafından üretilen darbelerin türünü tanımlamak için kullanılır. Ünite genellikle tipik olarak iletken jel pedler olan iki

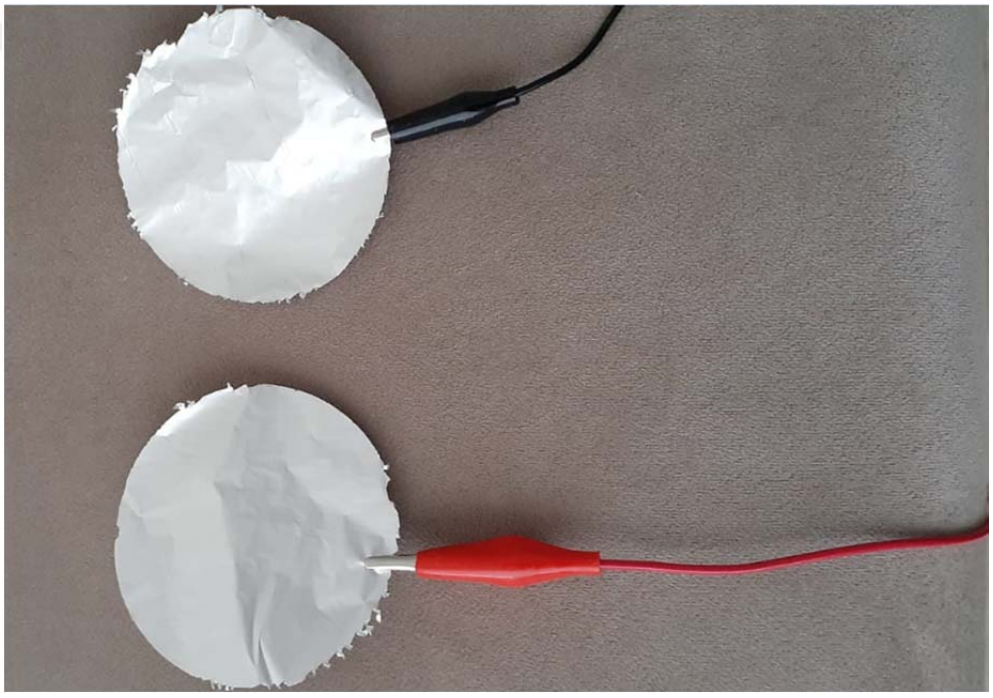
veya daha fazla elektrot kullanılarak cilde bağlanır. Tipik bir pille çalışan TENS ünitesi, darbe genişliğini, frekansını ve yoğunluğunu modüle edebilir. Genel olarak TENS, motor kasılmasının altında bir yoğunlukta (duyusal yoğunluk) yüksek frekansta (> 50 Hz) veya motor kasılmasına neden olan bir yoğunlukta düşük frekansta (<10 Hz) uygulanır. Bu çalışmada 555 timer entegresi ile duty cycle oranı 0.50 olan 80-100 Hz arası frekanslarda kare dalga çıkışı veren bir tens devresi üretilip elektriksel sinyaller bu devre ile oluşturulmuştur. Kare dalgalara evrensel olarak dijital anahtarlama devrelerinde rastlanır ve doğal olarak ikili mantık cihazları tarafından üretilir. Zamanlama referansları veya saat sinyalleri olarak kullanılırlar çünkü hızlı geçişleri, eşzamanlı mantık devrelerini kesin olarak belirlenmiş aralıklarla tetiklemek için uygundur. Kare dalga, herhangi bir çıkış değerindeki frekansların vücuda daha verimli bir şekilde girmesine izin verir.



Şekil 3.23. TENS Birimi Şematik Görünümü

3.5. Elektriksel Uyarımları Kullanıcıya Ulaştırmak İçin Stimülatör Birim Tasarımı

Bu tez çalışmasında önerilen iki ayrı tedavi yöntemi için iki farklı stimülatör birimi tasarlanıp kullanılmıştır. Bunlardan ilki segment-dürtü eşleşmesi yönteminde kullanılan anot ve katot vazifesi gören metal elektrot pedlerdir. Bu pedler Şekil 3.23'de verilen TENS devresinin çıkışına bağlanarak kullanıcıya TENS biriminin ürettiği elektriksel dürtüleri ulaştırırlar.



Şekil 3.24. Segment-Dürtü Eşleşmesinde Kullanılan Stimülatör

Bu tez çalışmasında önerilen ikinci tedavi yöntemi olan yüz-örüntü eşleşmesini sağlamak için PCB üzerinde gerçekleşecek bir stimülatör devresi tasarlanmıştır. Eagle ortamında tasarlanan devre PCB formatında üretilmiştir. 10x10'luk bir matris şeklinde tasarlanan PCB stimülatör 100 piksel çözünürlükte görüntü sağlayabilecek durumdadır. Ayrıca stimülatör devresi üzerinde her bir

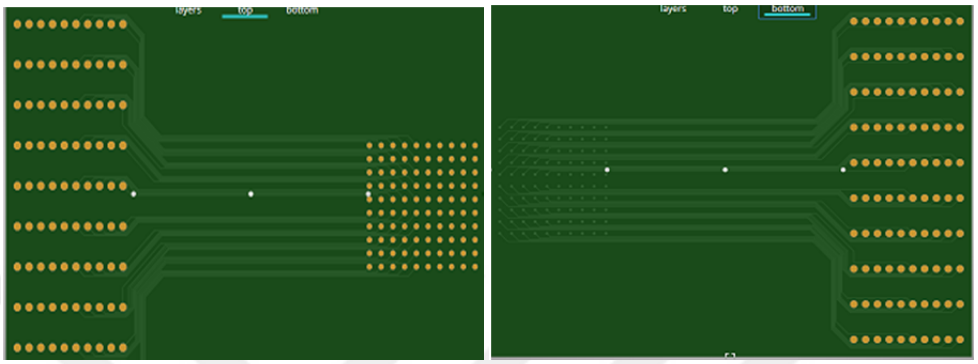
piksele akım iletecek olan yine 10x10 adedinde header girişleri mevcuttur. Bu PCB Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

PCB ya da baskılı devre kartı, elektronik devre elemanlarını monte etmek için yüzeyinde iletken yollar ve adalar, yüzeyler arasında ise içi lehim kaplı delikler içeren değişik yalıtkan materyallerden yapılmış plakalardır. Bileşenler genellikle elektriksel olarak birbirlerine bağlanmak ve mekanik olarak sabitlenmek için PCB üzerine lehimlenir. Baskılı devre kartları çok basit elektronik ürünler hariç hepsinde kullanılır. Pasif anahtar kutuları gibi bazı elektrikli ürünlerde de kullanılırlar. PCB'lere alternatifler arasında tel sarma ve noktadan noktaya iletim yapıları bulunur; ancak bu yöntemlerin ikisi de artık popülaritesini yitirmiştir. PCB'lerde devre elemanlarını yerleştirmek manuel bir süreçtir ancak üretim ve montaj otomatikleştirilebilir. Bu konu için geliştirilmiş bilgisayar destekli çizim programları yerleşim işlerinin çoğunu yapmak için kullanılabilir. PCB tabanlı yapılan seri üretim devreleri, bileşenler tek bir işlemde monte edildiğinden ve kablolandığından, diğer kablolama yöntemlerinden daha ucuz ve daha hızlıdır. Çok sayıda PCB aynı anda üretilebilir bu sayede maliyet ve zaman tasarrufu çok yüksek seviyelerde olur.

Baskılı devre kartı birden fazla bakır katmana sahip olabilir. İki katmanlı bir levhada her iki tarafta bakır varken çok katmanlı levhalar yalıtım malzemesi katmanları arasında daha fazla ek bakır katmanları ihtiva ederler. Farklı katmanlardaki iletkenler birbirlerine, yalıtım alt tabakası boyunca bir nevi elektrik tüneli olarak işlev gören bakır kaplama delikler ile bağlanır. İki katmanlı PCB'lerden sonraki adım genellikle dört katmanlı PCB'ler olur. Bu kartlarda sıklıkla iki katman güç kaynağı ve toprak düzlemleri olarak ayrılır ve diğer ikisi bileşenler arasında sinyal iletimi için kullanılır.

Bu tez çalışması için üretilen PCB çift katmanlı olup 104 mm boya ve 76 mm ene sahiptir. FR4 yalıtım malzemesi ile üretilen kartımız 0.6 mm kalınlığa sahip oldukça esnek bir üründür. Üretimden sonra, kullanıcıya stimülasyon

sağlayacak olan 10x10'luk bileşen içi boş bir şekilde gelmiştir. Bu kısmın içerisi klasik lehim yöntemiyle doldurularak iletime hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.25. Yüz-Örüntü Eşleşmesinde Kullanılan PCB Stimülatör

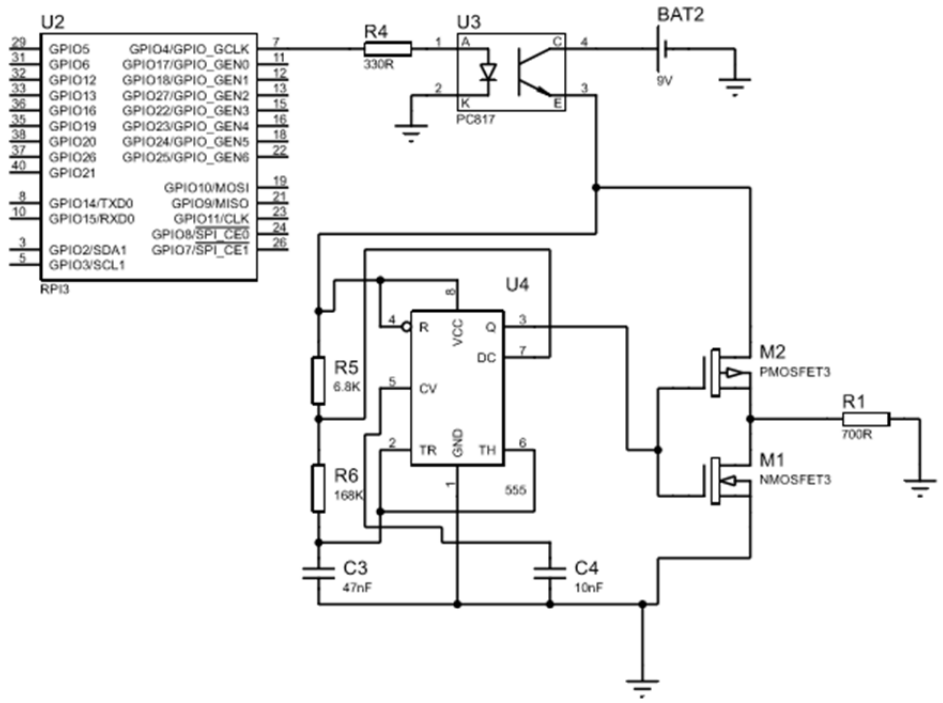
Stimülatörler bu çalışmada amaçlanan plan doğrultusunda sadece yüz ayırt etmek için kullanılmıştır. Bu sebeple kontrolcü birim her bir dizi elemanını piksel piksel kontrol etmek yerine her bir yüz için ayrı bir sinyal oluşturmaktadır.

3.6. Tasarlanan Birimlerin Bir Araya Getirilmesi

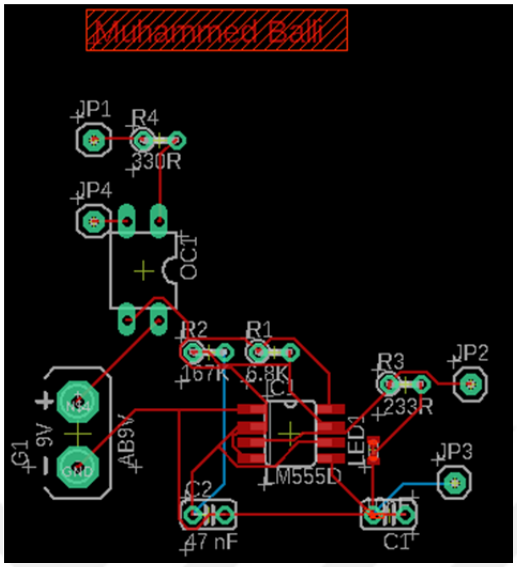
Bu tez çalışmasında Şekil 3.5'te verilen blok diyagram doğrultusunda oluşturulan kamera, kontrolcü birim, elektriksel uyarım için tasarlanan TENS birimi ve kullanıcıya uyarımları ileten stimülatör birim gerekli bağlantılar neticesinde kullanıma hazır hale getirilmiştir. Cihazın bütün halde şematik gösterimi Şekil 3.26'da verilmiştir. TENS devresi 9V'luk bir güç kaynağıyla çalışmaktadır ve bu Raspberry Pi'nin sağlayabileceği maksimum çıkış geriliminin üzerindedir.

Bu sorunu çözebilmek için optokuplör entegresi kullanılmıştır. 9V'luk harici bir batarya ile beslenen TENS devresi Raspberry Pi tarafından optokuplöre verilen akım ile açılıp kapanmıştır. Yani kameranın tespit ettiği yüzün algoritma tarafından tarafından tanınması halinde Raspberry Pi optokuplörün girişine bir akım göndermiş bu akım optokuplörün içindeki ledi aktif hale getirmiş, ledin

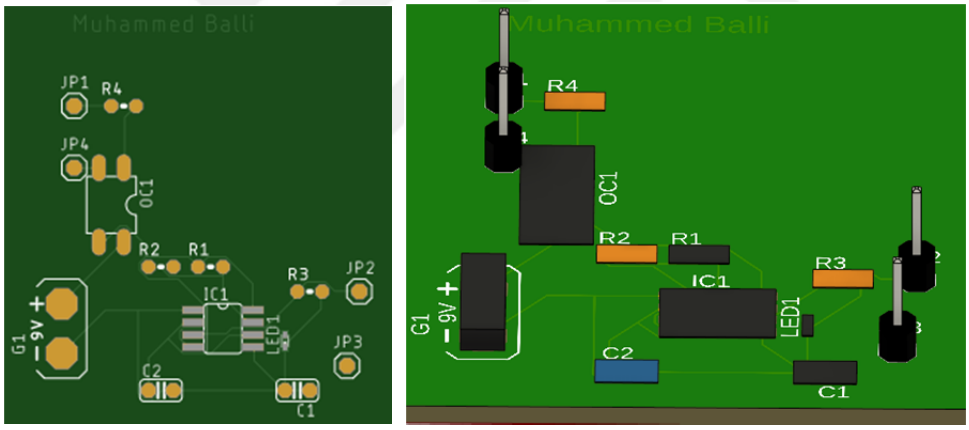
sağladığı ışık optokuplörün çıkış tarafında bulunan fotosensitif transistörü uyarmış bu sayede 9V'luk gerilim kaynağı devreye girmiştir. TENS biriminin çıkışında bulunan n ve p tipi mosfetler ile class b bir kuvvetlendirici yapılmıştır, burada amaç akım kazancı sağlamaktır. Ayrıca 700 ohm'luk çıkış direnci jel yardımıyla direnci düşürülen insan derisini modellemektedir. Bu cihazın çalışma akışı Şekil.3.29'da gösterilmiştir.



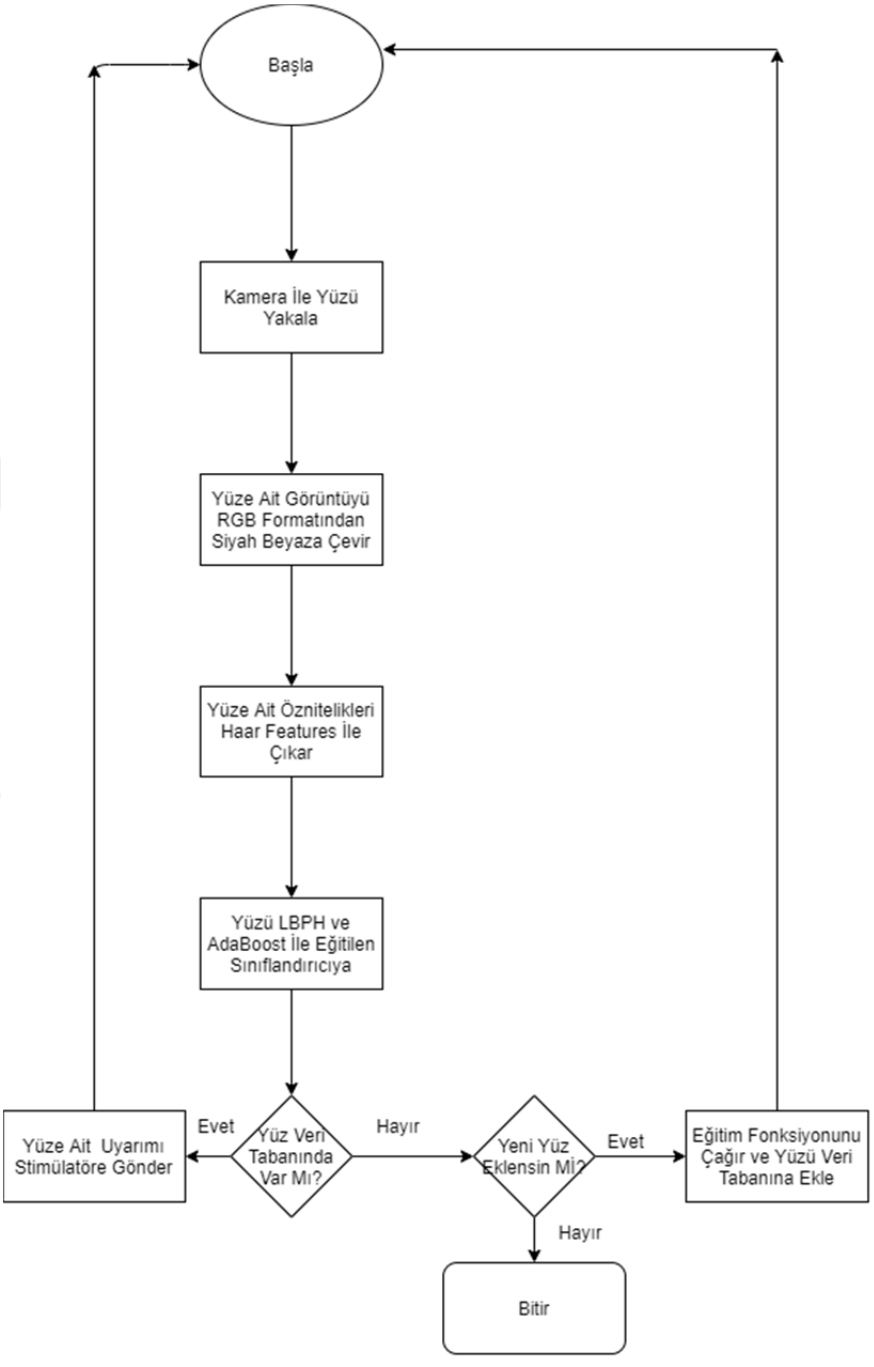
Şekil 3.26. Tasarlanan Cihazın Şematik Görünümü



Şekil 3.27. Tasarlanan Cihazın Kart Görünümü



Şekil 3.28. Tasarlanan Cihaza Ait PCB'nin 2 ve 3 Boyutlu Görüntüsü



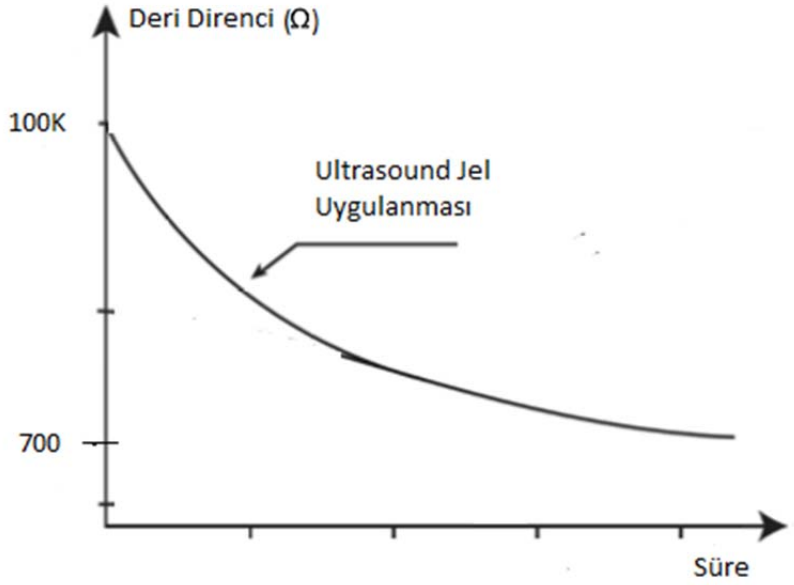
Şekil 3.29. Eğitim ve Destek Cihazının Akış Diyagramı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada yüz tanıma sonrasında algoritma yüzün ait olduğu kişinin ismini belirleyip bir dikdörtgenin üzerine yazmaktadır. Çalışma için yazılan yüz tanıma kodu veri tabanındaki kişileri başarılı bir şekilde ayırt edip tanımıştır. Bu sayede ikinci aşama olan elektriksel uyarım için gereken koşullar oluşmuştur.

Yüz tanıma kodunun içerisinde her isme ait bir uyarım üretme fonksiyonu vardır. Hangi yüz tanınırsa o kişiye ait uyarım üretme fonksiyonu çağrılır. Raspberry Pi kartı, üzerinde bulunan in/out bacakları sayesinde dış dünyayla bağlantı kurabilmektedir. Uyarım üretme fonksiyonunun sağladığı bilgiler bu in/out bacakları tarafından elektriksel stimülasyonları üreten TENS devresine ulaştırılmıştır.

Kullanıcıya ayrı yüzler için farklı uyarım örüntüleri veya dürtü miktarları verilmiş ve bunu öğrenmeleri sağlanmıştır. Bu çalışmada deneysel amaçlı olarak üç kişinin yüzleri veri tabanına kaydedilerek sistem tarafından öğrenilmeleri sağlanmıştır. Daha sonra bu yüzlerin cihaz tarafından tespit edilip tanınmaları ile bu yüzlere özgü spesifik bir sinyal deseni ya da dürtü miktarı oluşturulmuştur. Oluşturulan desen ve uyarımlar gözleri bağlanmış bir şekilde bulunan bir gönüllü katılımcıya derisi üzerinden, TENS devresinin oluşturduğu elektriksel sinyaller ile verilmiştir. Kullanıcıya verilen elektriksel sinyalin gerilim değeri yaklaşık 3.5 volt olarak ölçülmüş ve derinin üzerinden akan akım yaklaşık 5 mA şeklinde hesaplanmıştır. Akımın deride uyarım oluşturabilmesi için deri direnci ultrasound jeli ile düşürülmüştür. Şekil 4.1'de ultasound jeliyle birlikte deri direncinin değişimi görülmektedir. Bu gerilim ve akım değerleri kullanıcı için herhangi bir olumsuzluk oluşturmaksızın hissedilebilmiştir.



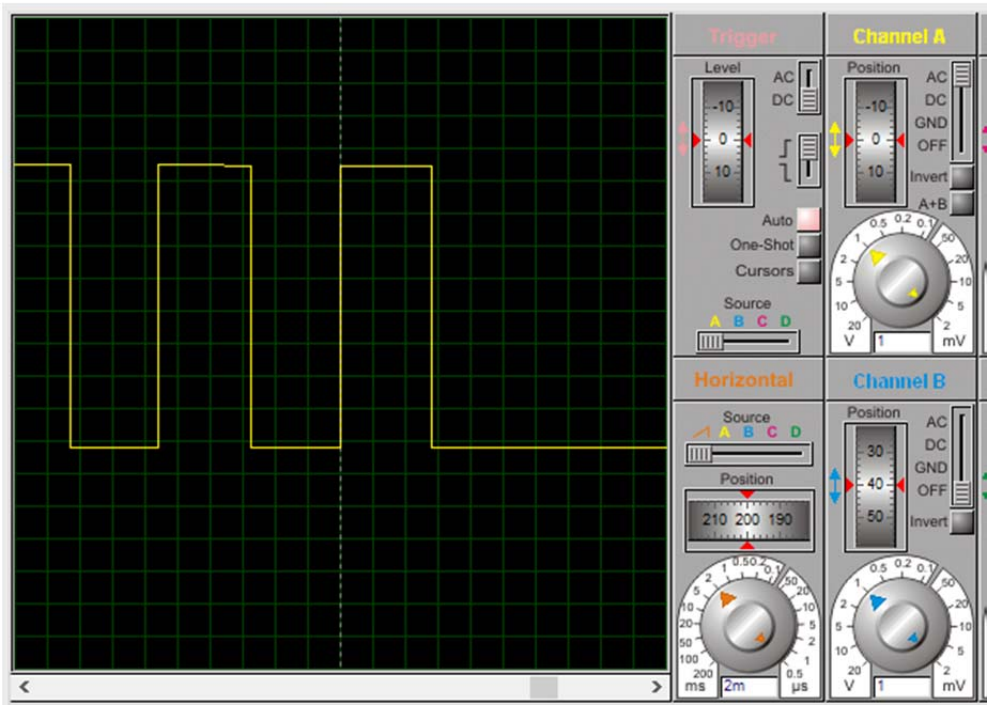
Şekil 4.1. Jel ile Deri Direncinin Değişimi

Şekil 4.2'de verilen görsel ise cihazın çıkış sinyalinin dijital osiloskop ile alınan grafiğidir. Burada da görüleceği üzere duty cycle oranı 0.50 olan bir kare dalga elde edilmiştir. Y ekseni bu kare dalganın voltaj cinsinden genliğini x ekseni ise süreyi göstermektedir. Elde edilen kare dalganın periyodu yaklaşık 10 ms olarak ölçülmüştür.

Denklem 5: $f = \frac{1}{T}$

Denklem 5'te gösterilen formül ile çıkış sinyalinin frekans değeri yaklaşık 100 Hertz olarak hesaplanmıştır. Benzer frekanslar ile çalışan TENS cihazlarıyla yapılan işlevsel görüntüleme çalışmalarında kortikal aktivitenin arttığı gözlenmiştir (Sarkar, 2015). Bu veri bu çalışmanın amacını destekler niteliktedir ve üretilen cihazın kortekste aktiviteyi arttıracağı beklentisine uygundur. Nitekim 20 dakikalık eğitimin ardından gözleri bağlanmış gönüllü katılımcı, 3 kişiye ait yüzleri sinyaller

vasıtasıyla ayırt edebilmeyi başarmış olup gerçek hayatta da kullanımı için umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Cihaz sayesinde prosopagnozi hastaları muhatap oldukları kişileri tanıyabilecek ayrıca önerilen tedavi algoritmalarıyla yapılacak, işlevsel görüntüleme destekli çalışmaların başarılı olması halinde prosopagnozi hastaları yüzleri tanıma yetisi kazanabilecektir.



Şekil 4.2. Deneysel Cihazın Çıkış Sinyali

5. TARTIŞMA

Üretilen cihaz prosopagnozi hastalarının hayatlarını olağan akışında ve ikinci kişilerin yardımı olmaksızın sürdürmelerini sağlayacaktır. Bu kişiler aile üyelerini, işyerlerinde her gün gördükleri çalışma arkadaşlarını dahi ayırt edememektedirler. Bu engel yüzünden ruhsal ve bedensel olarak ciddi problemler yaşamaktadırlar. Bu giyilebilir ürün ile gündelik hayatta sık sık karşılaştıkları yüzleri ayırt edebilecek, nispeten daha normal bir yaşama sahip olacaklardır.

Çalışma prosopagnoziye çözüm getirmeyi amaçlaması bakımından literatür de ilk olma özelliği taşımaktadır. Düşük maliyetiyle herkesin rahatlıkla ulaşabileceği bir ürün ortaya çıkmıştır. Ayrıca nihai hedefimiz olan tam görme engelliler için duyu ikamesi cihazını elde edebilmek adına çok önemli Know-How birikimi elde edilmiştir.

Çalışmadan beklenen bir diğer çıktı, yüz tanıma bölgeleri çalışmayan prosopagnozi hastalarının cihazı kullanmaya başladıktan sonra beyinlerinde nöral plastisitenin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğidir. Plastisiteyi beynin yeni bağlantılar kurarak kaybedilen işlevleri geri kazanması veya ek işlevler üstlenmesi olarak açıklamıştık. Bu cihazın kullanımıyla dokunsal uyarımların merkezi olan somatosensöriyel korteksle, yüz tanıma için özelleşmiş beyin bölgesi olan fusiform girus arasında bir nöral yolak oluşup oluşmayacağı merak konusudur. Bunu anlayabilmek için işlevsel görüntüleme teknikleri kullanılarak kontrollü deneyler yapmakta fayda vardır. Bu sayede gizemlerle dolu insan beynini aydınlatmaya bir nebze de olsa katkımız olabilecektir

KAYNAKLAR

Bach-y-Rita, P. (1972). *Brain mechanisms in sensory substitution*. academic Press.

Bach-y-Rita, P., & Kercel, S. W. (2003). Sensory substitution and the human–machine interface. *Trends in cognitive sciences*, *7*(12), 541-546.

Bach-y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, *221*(5184), 963-964.

Bach-y-Rita, P., Tyler, M. E., & Kaczmarek, K. A. (2003). Seeing with the brain. *International journal of human-computer interaction*, *15*(2), 285-295.

Barnes, J. (2017). *Temel biyolojik psikoloji*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Behrmann, M., & Avidan, G. (2005). Congenital prosopagnosia: face-blind from birth. *Trends in cognitive sciences*, *9*(4), 180-187.

Bramer, M. (Ed.). (2006). *Artificial Intelligence in Theory and Practice: IFIP 19th World Computer Congress, TC 12: IFIP AI 2006 Stream, August 21-24, 2006, Santiago, Chile* (Vol. 217). Springer Science & Business Media.

Carlson, N. R. (2011). *Fizyolojik psikoloji*. Nobel Akademik Yayıncılık.

Davis, Joshua (2006). *Face Blind.* Wired.

Göktürk, M., & İNCEOĞLU, N. E. REAL TIME SENSORY SUBSTITUTION FOR THE BLIND.

Grüter, T., Grüter, M., & Carbon, C. C. (2008). Neural and genetic foundations of face recognition and prosopagnosia. *Journal of neuropsychology*, *2*(1), 79-97.

Hebb, D. O. (2005). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Psychology Press.

Kacznaarek, K. A., & Bach-Y-Rita, P. (1995). Tactile displays. *Virtual environments and advanced interface design*, 349.

Kanade, T. (1974). Picture processing system by computer complex and recognition of human faces.

Kandel, E. R. (2007). *In search of memory: The emergence of a new science of mind*. WW Norton & Company.

Kean, S. (2014). *The Tale of the Duelling Neurosurgeons: The History of the Human Brain as Revealed by True Stories of Trauma, Madness, and Recovery*. Random House.

Livingston, R. B. (1966). Brain mechanisms in conditioning and learning.

Maguire, E. A., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1997). Recalling routes around London: activation of the right hippocampus in taxi drivers. *Journal of neuroscience*, *17*(18), 7103-7110.

Mateos-Aparicio, P., & Rodríguez-Moreno, A. (2019). The impact of studying brain plasticity. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, *13*, 66.

Novich, S. D., & Eagleman, D. M. (2015). Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput. *Experimental brain research*, *233*(10), 2777-2788.

O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and brain sciences*, *24*(5), 939.

Reagan, L. P., Reznikov, L. R., Evans, A. N., Gabriel, C., Mocaër, E., & Fadel, J. R. (2012). The antidepressant agomelatine inhibits stress-mediated changes in amino acid efflux in the rat hippocampus and amygdala. *Brain research*, *1466*, 91-98.

Renier, L., Collignon, O., Poirier, C., Tranduy, D., Vanlierde, A., Bol, A., ... & De Volder, A. G. (2005). Cross-modal activation of visual cortex during depth perception using auditory substitution of vision. *Neuroimage*, *26*(2), 573-580.

Ribani, R., & Marengoni, M. (2019, January). Vision Substitution with Object Detection and Vibrotactile Stimulus. In *VISIGRAPP (4: VISAPP)* (pp. 584-590).

Russell Stuart, J., & Norvig, P. (2009). *Artificial intelligence: a modern approach*. Prentice Hall.

Sarkar, J. (2015, February). Design and fabrication of A TENS pain relief unit. In *Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT)* (pp. 1-6). IEEE.

Turati, C., Macchi Cassia, V., Simion, F., & Leo, I. (2006). Newborns' face recognition: Role of inner and outer facial features. *Child development*, *77*(2), 297-311.

Viola, P., & Jones, M. (2001, December). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In *Proceedings of the 2001 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. CVPR 2001* (Vol. 1, pp. I-I). IEEE.

Wang, Z., Feng, J., & Yan, S. (2015). Collaborative linear coding for robust image classification. *International Journal of Computer Vision*, *114*(2-3), 322-333.

Wildenberg, J. C., Tyler, M. E., Danilov, Y. P., Kaczmarek, K. A., & Meyerand, M. E. (2010). Sustained cortical and subcortical neuromodulation induced by electrical tongue stimulation. *Brain imaging and behavior*, *4*(3-4), 199-211.

ÖZGEÇMİŞ

1994 Yılında Bursa'da dünyaya geldi. Eğitim hayatının tamamına yakınını Adana'da geçirdi. 2017 yılında Çukurova Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümünden Mezun oldu.