

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**İŞİTME VE GÖRME ENGELLİLERE DERİ ÜZERİNDEN ISIL
UYARTIMLARLA BİLGİ AKTARIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

SELİN VULGA

ANKARA - 2020

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ TEZLİ YÜKSEK LİSANS
PROGRAMI**

**İŞİTME VE GÖRME ENGELLİLERE DERİ ÜZERİNDEN ISIL
UYARTIMLARLA BİLGİ AKTARIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

SELİN VULGA

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. EMİR BAKİ DENKBAŞ

TEZ EŞ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ METİN YILDIZ

ANKARA – 2020

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Biyomedikal Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Selin VULGA tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 14 / 01 / 2020

Tez Adı: İşitme ve Görme Engellilere Deri Üzerinden Isıl Uyarımlarla Bilgi Aktarımı İçin Sistem Tasarımı

Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

İmza

Doç. Dr. Pınar YILGÖR HURİ

ANKARA ÜNİVERSİTESİ

Prof. Dr. Emir Baki DENKBAŞ

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Feyzi AKŞAHİN

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ

ONAY

Prof. Dr. Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 17 / 01 / 2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : Selin VULGA

Öğrencinin Numarası : 21710315

Anabilim Dalı : Biyomedikal Mühendisliği

Programı : Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Prof. Dr. Emir Baki DENKBAŞ

Tez Başlığı : İşitme ve Görme Engellilere Deri Üzerinden Isıl Uyarımlarla Bilgi Aktarımı İçin Sistem Tasarımı

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 72 sayfalık kısmına ilişkin, 17 / 01 / 2020 tarihinde tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %2'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

17 / 01 / 2020

Prof. Dr. Emir Baki DENKBAŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın fikir aşamasından başlayarak geliştirilme sürecinden sonuna kadar desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Metin YILDIZ'a,

Tez çalışma sürecimde kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve her zaman destek olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Emir Baki DENKBAŞ'a,

Bu süreçte desteklerini ve anlayışlarını her zaman hissettiğim sevgili araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve tüm değerli hocalarıma,

Varlıklarıyla, sevgileriyle hayatım boyunca en büyük destekçim ve motivasyonum olan aileme,

En içten teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Selin VULGA

İŞİTME VE GÖRME ENGELLİLERE DERİ ÜZERİNDEN ISIL UYARTIMLARLA BİLGİ AKTARIMI İÇİN SİSTEM TASARIMI

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

İletişim, hayatın devamlılığı için temel ihtiyaçlarımızdan biridir. İletişim kanallarından herhangi birinde bir engeli bulunan kişi hayata katılmakta zorluk çekmekteyken, iletişimde en aktif kullanılan duylardan işitme ve görmenin her ikisinde engeli bulunan birey için iletişim neredeyse imkansız hale gelmektedir. Bu durum kişinin bireysel özgürlüğüne de bir engel getirmektedir. Bu durumun önüne geçmek ve kişilere iletişim özgürlüklerini geri vermek için dokunsal sistemler geliştirilmektedir. Bu tez çalışmasında işitme ve görme engelli insanlar için soğuk uyartımlar kullanarak bilgi aktarımını gerçekleştiren bir sistem tasarımı üzerinde çalışılmıştır. İnsan vücudu sürekli uyaranlara karşı bir süre sonra tepkisini azaltmaktadır. Dokunsal duyların ortak özelliği olan bu durum adaptasyon olarak adlandırılır. Soğuk uyartımların tercih edilme sebebi adaptasyon sürecinin uzun olmasıdır. Bunun yanında literatürde, dokunsal sistemlerde soğuk uyartım üzerine yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Özel engelli alfabeleri dışında her dilin harflerine göre kodlanabilecek, daha önce kullanılmayan ikilik tabanda bir kodlama sistemi geliştirilmiştir. Uyarıcılar olarak kullanılan termoelektrik modüller (peltierler), bir elin üstünde 5 parmağın proksimal kısımlarına yerleştirilmiştir. Girilen metnin harf analizini gerçekleştiren yazılım, uyarıcıların ikili kodlara (0-1) göre soğuk uyartım gönderimini kontrol etmektedir. Algılanabilen maksimum frekans değeri 2 Hz olarak belirlenmiş ve deneylerde bu değer aktarım frekansı olarak kullanılmıştır. 10 sağlıklı denek üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda %80’lik bir algılama doğruluğu saptanmıştır. Frekansın kişiye göre ayarlanabilir olması, engelli kişilerin algılarının daha gelişmiş olması, sisteme alışma sürecinin iyileştirilmesi ve donanım üzerinde yapılacak çalışmalar bu algılama doğruluğunu artıracaktır.

ANAHTAR KELİMELEER: Termal Uyartım, İşitme ve Görme Engelli İnsanlar, Dokunsal İletişim, Binary Kodlama.

ABSTRACT

Selin VULGA

SYSTEM DESIGN FOR INFORMATION TRANSFER WITH THERMAL STIMULATION THROUGH THE SKIN FOR THE HEARING AND VISUALLY IMPAIRED PEOPLE

Başkent University Institute of Science and Engineering

The Department of Biomedical Engineering

2020

Communication is one of fundamental need for the persistence of life. Even if one of the communication channels is impaired, people that own this disability have difficulties to join life. If the audio and visual channel which are the most active communication ways have defect the communication is nearly impossible. This situation is an obstacle for individual independence. For covering the situation and giving back the independence to this people, tactile systems are being developed. In this thesis, the system design that transfer information with cold stimuli for the people who are hearing and visually impaired was studied. Human body decrease the reaction to the continues stimulation. This situation is called adaptation that is the common property for tactile senses. The reason that selecting the cold stimuli is adaptation time is long. Also there is no study with the cold stimuli in the literature. Besides special alphabet for disabled people, a new alphabet that could encrypting to all language to binary system. Thermoelectric modules (peltiers) that have used as actuators are placed on the proximal area on the 5 fingers. Software analyzes the input text, controls the stimulus according to binary code. The maximum detectable frequency is determined as 2 Hz and it is used in experiments. Results of the experiments that perform on the 10 healthy voluntary subjects is about %80 accuracy of the detection. Frequency can be adjusted according to the person, the perception of disabled people is improved, the process of getting used to the system and the studies on the hardware that all will increase this perception accuracy.

KEYWORDS: Thermal Stimuli, Deaf-Blind People, Tactile Communication, Binary Encoding.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Kulak Anatomisi ve İşitme Fizyolojisi	2
2.1.1. İşitme kaybı sebepleri	3
2.1.2. İşitmeye yardımcı araçlar.....	5
2.1.2.1. İşitme cihazı	6
2.1.2.2. FM teknolojisi	6
2.1.2.3. Koklear implant.....	7
2.1.2.4. Soundbite cihazı.....	8
2.2. Göz Anatomisi ve Görme Fizyolojisi.....	8
2.2.1. Görme kaybı sebepleri	11
2.2.2. Görmeye yardımcı araçlar	12
2.2.2.1. Optik yardımcıları	12
2.2.2.2. Optik olmayan yardımcıları	13
2.3. Dokunsal Sistemler	13
2.3.1. Düünden bugüne yapılmış çalışmaları	14
3. MATERYAL VE METOT	29
3.1. Uyarıtım Türünün Belirlenmesi	29
3.4. Yazılım ve Donanım.....	38
3.4.1. Donanım	38
3.4.2. Yazılım.....	41
3.5. Kontroller	45
3.6. Deney Prosedürü.....	48
4. BULGULAR	55
5. TARTIŞMA.....	67

6. SONUÇ	72
KAYNAKLAR.....	73



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Literatür ve tasarlanan sistemin karşılaştırılması	28
Tablo 3.1. Türkçedeki harflerin binary kodlanması	36
Tablo 3.2. Binary kodların harflerin kullanım sıklıklarına göre düzenlenmiş hali	37
Tablo 3.3. Denekler tarafından doldurulması istenen tablo.....	52
Tablo 4.1. Uyarım sayısı arttıkça değişen algılama doğrulukları.....	56
Tablo 4.2. İki uyarımlı harfler basitten karmaşığa dizilimi ve algılama doğrulukları.....	56
Tablo 4.3. Üç uyarımlı harfler basitten karmaşığa dizilimi ve algılama doğrulukları.....	57
Tablo 4.4. Dört uyarımlı harfler algılama doğrulukları.....	57
Tablo 4.5. İki harfli metinlerin algılanma doğrulukları.....	58
Tablo 4.6. Sayısı bilinmeyen uyarının algılanma doğrulukları	58
Tablo 4.7. 3, 4 ve 5 harfli kelimelerin algılanma doğrulukları.....	59
Tablo 4.8. Parmakların algılama doğrulukları.....	60
Tablo 4.9. Doğru algılamanın gerçekleşmediği satırların analizi.....	61
Tablo 4.10. Harflerin birbirleri yerine kullanılma sayıları	63

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kulak anatomik yapısı.....	2
Şekil 2.2. Koklea algılama bölgeleri	3
Şekil 2.3. İletim tipi işitme kaybı	4
Şekil 2.4. Sensörinöral işitme kaybı	5
Şekil 2.5. Karışık tip işitme kaybı	5
Şekil 2.6. İşitme cihazı bileşenleri.....	6
Şekil 2.7. İşitme cihazı türleri.....	6
Şekil 2.8. FM sistemi.....	7
Şekil 2.9. Koklear implant uygulaması	7
Şekil 2.10. Soundbite cihazı yerleşimi ve bileşenleri.....	8
Şekil 2.11. Gözün iç yapısı.....	9
Şekil 2.12. Görünür ışık spektrumu.....	10
Şekil 2.13. Renklerin koni ve çubuk hücrelerle algılanması	10
Şekil 2.15. Lup	12
Şekil 2.16. İntraoküler lens.....	13
Şekil 2.17. Selenoid ekran	15
Şekil 2.18. Avuç içi ekran	15
Şekil 2.19. Katakana alfabesi	16
Şekil 2.20. Shimizu tarafından geliştirilen avuç içi ekran.....	16
Şekil 2.21. Braille alfabesi.....	17
Şekil 2.22. Nagano Braille yerleşimi ve tasarımı	17
Şekil 2.23. Elektromanyetik uyarıcıların yerleşimi	18
Şekil 2.24. Pnömatik aktüatörlü sistem	18
Şekil 2.25. Piezoelektrik Braille dokunsal ekran.....	19
Şekil 2.26. SMA Braille hücreleri	19
Şekil 2.27. Lorm alfabesi ve eldivende yerleşimi	20
Şekil 2.28. LormGlove tasarımı	20
Şekil 2.29. Lorm alfabesi ayrıık gösterimi	20
Şekil 2.30. Choudhary çevirmen eldiven tasarımı.....	21
Şekil 2.31. 3x3 ve 2x2 yerleşimi kıyaslaması	22
Şekil 2.32. Harflerin kodlanması ve EdgeVib tasarımı	22

Şekil 2.33. Carrera eldiven ve muhatap iletişimi.....	23
Şekil 2.34. Engelli kişiler ve kontrol grubu başarı oranları.....	23
Şekil 2.35. SmartFingerBraille tasarımı	24
Şekil 2.36. BrailleBand.....	24
Şekil 2.37. Parmak ucu dokunsal algılatma sistemi	25
Şekil 2.38. Latin harflerinin Morse, TwoDashes ve Unistrokes karşılıkları	25
Şekil 2.39. Morse sinyalleri.....	26
Şekil 2.40. Malossi alfabesi.....	26
Şekil 2.41. dBGlove	27
Şekil 2.42. Termal ve titreşim uyarılarının birlikte kullanıldığı sistem.....	27
Şekil 3.1. Dokunma duyusu reseptörleri	30
Şekil 3.2. Yaşa göre vücudun farklı bölgelerinde sıcak ve soğuk algılama değerleri	31
Şekil 3.3. Vücudun farklı bölgelerinde soğuk ve sıcak algılama değerleri ortalaması.....	32
Şekil 3.4. İki nokta algılama.....	33
Şekil 3.5. Vücudun farklı bölgelerinde iki nokta algılama değerleri.....	33
Şekil 3.6. El kemikleri anatomisi.....	34
Şekil 3.7. Uyarıcıların konumları	34
Şekil 3.8. Türkçede harflerin alfabetik olarak kullanım sıklıkları.....	36
Şekil 3.9. Türkçede harflerin kullanım sıklıklarına göre sıralanmış hali	37
Şekil 3.10. Termoelektrik modül iç yapısı	38
Şekil 3.11. Uyarıcı olarak seçilen termoelektrik modül	39
Şekil 3.12. MCC DAQ Card USB-1208FS	39
Şekil 3.13. MCC DAQ Card pin gösterimi	40
Şekil 3.14. Sürücü devre.....	41
Şekil 3.15. Deney yürütücüsü için arayüz tasarımı	42
Şekil 3.16. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "A"	43
Şekil 3.17. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "L".....	43
Şekil 3.18. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "İ"	43
Şekil 3.19. Duty Cycle gösterimi	44
Şekil 3.20. Binary kodun LED'ler ile kontrol edilmesi	45
Şekil 3.21. Yüksek hassasiyet ve küçük boyutlu MF52 NTC	46
Şekil 3.22. NTC ile kontrol devresi.....	46

Şekil 3.23. 1A için NTC grafiği	47
Şekil 3.24. 2A için NTC grafiği	47
Şekil 3.25. 3A için NTC grafiği	47
Şekil 3.26. Sistemin deney yürütücüsü tarafından test edilmesi	51
Şekil 3.27. Deneklerin bulunacağı kısmın LED'lerle son kontrolü	51
Şekil 4.1. Uyarım sayısına göre oluşturulmuş cinsiyet karşılaştırmalı grafik.....	64
Şekil 4.2. İki uyarımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı.....	64
Şekil 4.3. Üç uyarımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı	64
Şekil 4.4. Dört uyarımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı.....	65
Şekil 4.5. Arka arkaya gönderilen harflerdeki algılamanın cinsiyete göre dağılımı	65
Şekil 4.6. Sayısı bilinmeyen uyarımın konum ve sayı doğruluğunun cinsiyete göre dağılımı.....	65
Şekil 4.7. 3, 4 ve 5 harfli kelimelerin algılanma doğruluklarının cinsiyete göre gruplandırılması.....	66
Şekil 4.8. Parmakların algılama doğruluklarının cinsiyete göre dağılımı	66
Şekil 4.9. Cihaz konforu ve kullanım kolaylığı değerlendirme sonuçları	66
Şekil 5.1. El sinirleri anatomisi	70

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

2D	2 boyut
dBHL	dB işitme düzeyi
DC	doğru akım
FM	frekans modülasyonu
GND	topraklama
GUI	grafiksel kullanıcı arayüzü
Hz	hertz
I_B	transistör base akımı
I_C	transistör collector akımı
LCD	sıvı kristal ekran
LED	ışık yayan diyot
MCC-DAQ	ölçüm bilişim şirketi-veri toplama
NTC	negatif sıcaklık katsayılı
PWM	darbe genişliği modülasyonu
R_B	transistör base koluna bağlı direnç
SMA	şekil hafızalı alaşım
TPDT	iki nokta ayırt etme testi
β	transistör kazanç katsayısı

1. GİRİŞ

Gün geçtikçe gelişen teknolojiyle birlikte iletişim de gelişerek ve güçlenerek hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olmaya devam etmektedir. Sağlıklı bir birey iletişim sırasında farkında olmaksızın duyu organlarının birçoğunu kullanmaktadır. İşitme, görme, dokunma, tat alma, koku alma duyularımızdan özellikle ilk üçü iletişimde aktif rol oynar. Bu duyulardan herhangi birinde engeli olan bireyler içinse iletişim bir o kadar zorlaşmaktadır ve sağlıklı birey sahip olduklarının ne kadar farkında değilse sahip olmayan birey engelinin o kadar farkına varmaktadır. Bu çalışmada iletişim konusunda engel yaşayan işitme ve görme engelliler üzerinde yoğunlaşmış ve günümüzde gelişen teknolojiyle paralel olarak geliştirilen iletişim olanakları göz önünde bulundurularak engelli bireylerin iletişim özgürlüklerinin sağlanması amaçlanmıştır.

Herhangi bir duyunun eksikliğinde bile kişinin hayata sağlıklı insanlar gibi adapte olması konusunda birtakım zorluklar oluşurken, iletişimde en aktif rol alan iki duyunun aynı anda eksikliği kişinin bireysel özgürlüğünün önünde yeni bir engeli daha beraberinde getirmektedir. Bu doğrultuda engelli bireyin sadece yakın çevresiyle veya özel iletişim alfabelerini bilen insanlarla değil, tüm insanlarla iletişimine olanak sağlayabilecek bir sistem tasarlanması yoluna gidilmiştir.

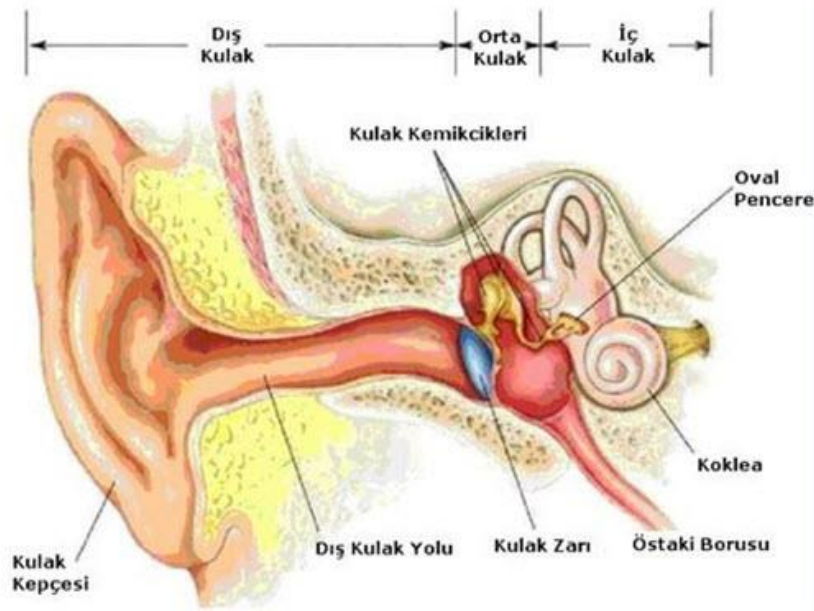
Sistem tasarımında kişinin herhangi bir duyusundaki engelinin diğer duyularının daha gelişmiş olmasını beraberinde getiren bir adaptasyon sağlaması göz önünde bulundurularak dokunma duyusundan yararlanılmıştır [1]. Uyarıcı olaraksa duyu reseptörlerinin neredeyse hiç adaptasyon gösteremediği soğuk uyarımlar tercih edilmiştir, böylece iletişim süresine getirilecek kısıtlamadan kaçınılmak hedeflenmiştir [2, 3]. Bu uyarımları kontrol etmek için bir yazılım geliştirilmiştir. Kişiselleştirilebilir bir tasarım olması yazılım sayesinde kolaylıkla kontrol altına alınmıştır. Sistem konumlandırılmasında dikkat edilecek hususlar ilgili çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir [4, 5, 6]. Bunlardan en önemlisi kişiye iletişim özgürlüğünü vermeyi amaçlarken diğer aktivitelerine, hareketlerine, uzuvlarına bir kısıt getirmemektir. Bir diğer önemli nokta ise termal uyarım kullanılmasının bir getirisi olarak vücudun çeşitli bölgelerindeki sıcak ve soğuk eşik değerleridir. Sonuç olarak kişinin eli üstünde beş parmağının proksimal kısımlarına yerleştirilmiş uyarıcılardan oluşan sistem tasarlanmış ve gerekli deneyler yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde tez konusu ve çalışmasına temel oluşturacak birtakım ön bilgilere yer verilmiştir. İşitme ve görme engellileri hedef kitle olarak seçerek deri üzerinden bir iletişim sistemi tasarlamayı amaçlayan bu çalışmada neden dokunsal bir sisteme ihtiyaç olduğunu göstermek üzere, işitme ve görme olaylarının fizyolojisinden başlayarak kayıplarına ve bu kayıpları gidermek üzere geliştirilmiş yardımcı araçlara değinilmiştir. Sonrasında dokunsal sistemler başlığı altında somatik duylardan bahsedilmiş ve son olarak bugüne kadar bu alanda yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

2.1. Kulak Anatomisi ve İşitme Fizyolojisi

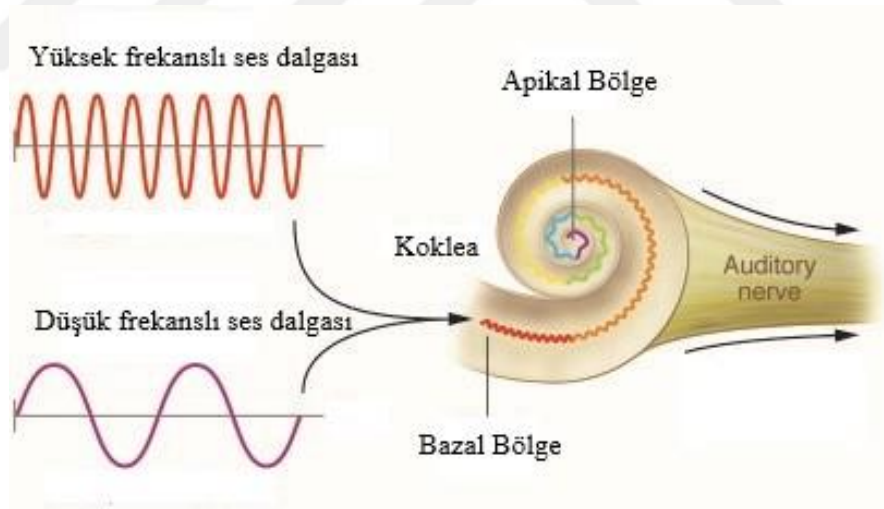
Atmosferdeki ses dalgalarının kulak tarafından toplanmasından beynin ilgili bölümünde algılanmasına kadar olan süreç işitme olarak adlandırılır ve anatomik olarak geniş bir bölgeyi ilgilendirir. Kulak, işitme ve dengenin periferik organıdır. Temporal kemik içine yerleşmiş 3 bölümden oluşur. Bunlar dış kulak, orta kulak ve iç kulaktır (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Kulak anatomik yapısı [7]

Dış kulak, kulak zarına kadar olan kısımdır. Kıkırdak yapılı kulak kepçesi ve dış kulak yolundan oluşmuştur. Kulak kepçesi biçim ve yerleşimi ile sesleri toplayıp dış kulak yoluna yönlendirmeye yarar. Dış kulak yolu ses dalgalarını sadece yönlendirmez veya iletmez, fiziki olarak ses şiddetini artırır. Aynı zamanda dış kulak yolunda yer alan epitel doku hücreleri bir sıvı salgılayarak kulak yolunun nemli tutulmasını sağlar ve tozların içeri itilmesini

engeller. Sonrasında orta kulak ve dış kulağı birbirinden ayıran kulak zarı gelir. Kulak kepçesinde toplanıp dış kulak yolu ile aktarılan ses sinyalleri gergin durumdaki kulak zarında bir titreşime sebep olur. Orta kulakta kulak zarına bağlı örs, çekiç ve üzengi adında üç küçük kemikçik ve bu kemikçikler dışında dış basınç ve kulak basıncını dengeleyen östaki borusu bulunmaktadır. Kemikçiklere iletilen titreşim kokleaya aktarılır. Koklea ve denge merkezi iç kulakta yer almaktadır. Koklea sarmalı içerisindeki sıvı, titreşimler sonucu hareket eder ve hareket eden sıvı da tüylü hücrelerin harekete geçmesine neden olur. Ancak sıvıyı hareket ettirmek, havaya göre daha zordur. Bu yüzden iç kulağa gelene kadar sesin güçlendirilmesi gerekmektedir. İnsan kulağının işitebildiği ses aralığı teorik olarak 20 Hz ile 20 kHz arasında kabul edilmektedir. Kokleada duyulabilir frekans aralığını belirli değer aralıklarına göre algılayan özel bölgeler vardır (Şekil 2.2.). Sesin şiddetine göre bölge spikelar üretir. Oluşan spikelar sinir lifleri aracılığıyla elektriksel sinyaller halinde beyin duyma bölgesine iletilir. Temporal lobda sinyaller ses olarak algılanır. Ses dalgaları başa çarparak yansımaya uğrar. Sesin geliş yönüne göre ses dalgalarının doğrudan geldiği kulak tarafında basınç artar diğer tarafta ise düşer. Yani sesin iki kulağa ulaşması arasında bir zaman farkı oluşur ve sesin yönü de bu şekilde algılanır. Böylece işitme gerçekleşmiş olur.



Şekil 2.2. Koklea algılama bölgeleri [8]

2.1.1. İşitme kaybı sebepleri

İşitme kaybının miktarı hafif, orta, ileri düzeyde, ağır olarak derecelendirilmektedir. Bu kayıp dBHL (desibel işitme düzeyi) ile ölçülür. Bu düzey işitilebilen en yumuşak seviyeyi göstermektedir. Her kulak için ayrı ayrı veya çift taraflı ölçülebilmektedir. Normal işitmede 20 dBHL'ye kadar işitme gerçekleşir. Hafif işitme kaybında 25-39 dBHL arasında bir işitme kaybı söz konusudur. Konuşmaları gürültülü bir ortamda takip etmek zorlaşır. Orta

dereceli kayıpta 40-69 dBHL arasında kayıp görülür. İşitme cihazı olmadan konuşulanların anlaşılması zordur. İleri düzeyde işitme kaybında 70-89 dBHL arasındadır. Kaybı gidermek için implant veya güçlü işitme cihazları kullanılır. Ağır işitme kaybında ise 90 dBHL'den başlayan bir kayıptan bahsedilmektedir. Dudak okuma, işaret dili veya implant kullanımına ihtiyaç duyulur [9].

İşitme kaybı çeşitli sebeplerden kaynaklanabilmektedir. Bunlar iletim tipi işitme kaybı, sensörinöral işime kaybı, karışık tip işitme kaybı veya sinirsel (nöral) işitme kaybı olarak başlıklara ayrılmıştır.

İletim tipi işitme kaybında, sebep dış veya orta kulaktır. Değişkenlik göstermekle birlikte orta kulak enfeksiyonu, kulak kanalında yabancı cisim, benign tümörler, kulak zarı deliği, dış kulakta deformasyonlar bu tip bir kayba neden olur. Sebebine bağlı olarak ilaç tedavisi veya işitme cihazları yararlı olabilmektedir. Bazı durumlarda ameliyat da gerektirebilmektedir.



Şekil 2.3. İletim tipi işitme kaybı [9]

Sensörinöral işitme kaybı iç kulaktan kaynaklanmaktadır. Sebeplerini doğuştan ve sonradan edinilmiş olarak gruplamak mümkündür. Doğuştan işitme kaybı kalıtsallık içerebileceği gibi fetal dönemdeki herhangi bir anormal gelişimden de kaynaklanabilir. Annenin geçirdiği rahatsızlıklar da buna sebebiyet verebilir. Sonradan gelişen işitme kaybı ise travma, yaşlılık, yüksek sese maruz kalma, menenjit, işitme sinirlerindeki tümör ve başka birtakım hastalıklardan kaynaklanabilir. İki kulakta olması işitmeyi yüksek seviyede zorlaştırırken, bir kulakta olması da sesin yerinin tespit edilmesinde zorluk çıkarmaktadır. Hafif ila orta dereceli bu tür bir kayıp yaşayan insanlar için işitme cihazları işe yarayabilmektedir veya bazı durumlarda ilaç tedavisi yararlı olabilmektedir. İleri dereceli bir kayıp durumunda ise koklear implant çözüm olabilir veya olmayabilir.



Şekil 2.4. Sensörinöral işitme kaybı [9]

Karışık tip işitme kaybı, sensörinöral ve iletim tipi işitme kaybının bir arada görülmesinden kaynaklıdır. Sebep dış kulak, ortak kulak veya iç kulak olabilir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Karışık tip işitme kaybı [9]

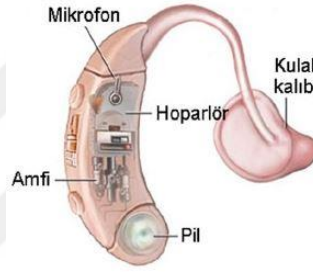
Nöral işitme kaybı ise beyne giden işitme sinirlerinin zarar görmesi veya olmamasından kaynaklıdır. Kalıcı bir kayıp yaratır ve bu kayıp ileri derecededir. Ses bilgisi beyne iletilemediği için koklear implant veya işitme cihazları kaybı gidermekte başarısızdır [9].

2.1.2. İşitmeye yardımcı araçlar

İşitme kayıplarında, kaybın sebebine bağlı olarak farklı tedavi yöntemlerine başvurulmaktadır. İlaç tedavisi, cerrahi tedavi ve işitmeye yardımcı cihazlar bu yöntemlerin ana başlıklarını oluşturmaktadır. Bu bölümde işitmeye yardımcı cihazlardan sırasıyla bahsedilecektir.

2.1.2.1. İşitme cihazı

İşitme cihazı, duyma yeteneğini yükseltmek için dışarıdan algıladığı sesleri uygun biçimde yükselten elektronik bir alettir. Kaybın artmasına ya da azalmasına neden olmaz. Farklı model ve türleri olsa da genel olarak hepsindeki temel bileşenleri; mikrofon, amplifikatör, hoparlör ve pildir (Şekil 2.6.). Mikrofon, toplanan ses dalgalarının akustik enerjisini elektrik sinyallerine çevirmektedir. Bu sinyaller amplifikatörde yükseltilir ve hoparlöre iletilir. Hoparlörde sinyaller tekrar ses dalgalarına çevrilir ve yükseltilmiş halde kişinin kulağına aktarılmış olur. Model ve tür seçiminde kaybın derecesi, tipi, kulağın anatomik yapısı ve durumu, sosyal ihtiyaç ve beklentiler, yaş göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir (Şekil 2.7.).



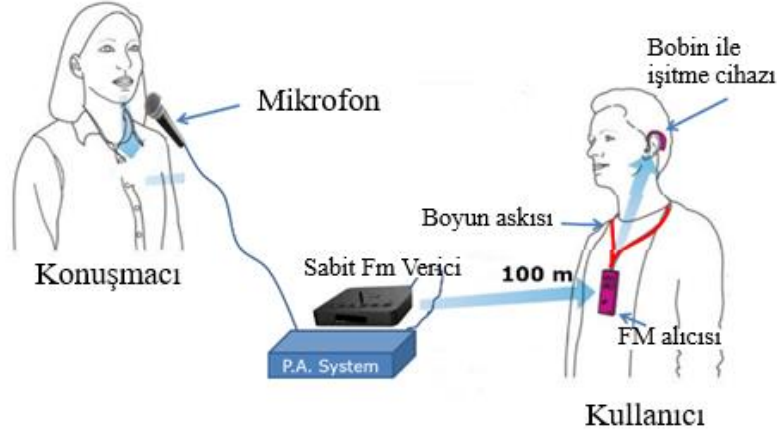
Şekil 2.6. İşitme cihazı bileşenleri [10]



Şekil 2.7. İşitme cihazı türleri [11]

2.1.2.2. FM teknolojisi

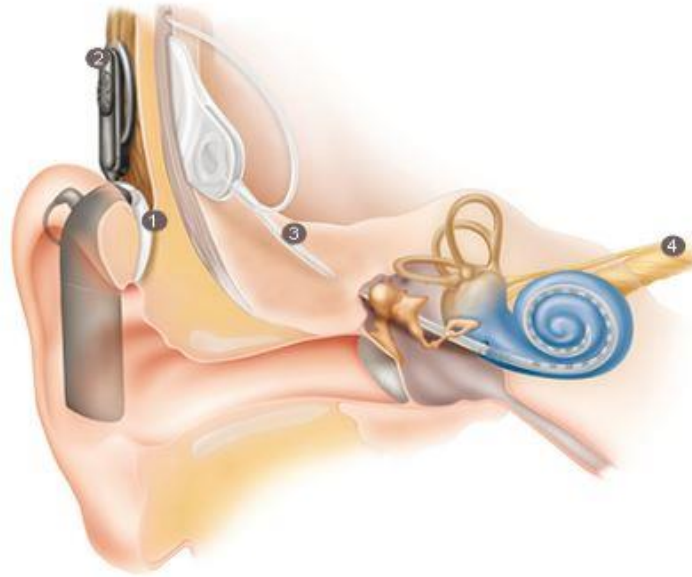
Sesin kaynaktan kulağa doğrudan iletimini gerçekleştiren kablosuz bu sistem FM alıcısı veya alıcıları ve buna ek olarak FM mikrofonundan oluşmaktadır (Şekil 2.8.). Mikrofon bir radyo vericisi içinde yer alır veya vericiye bağlıdır. Mikrofon konuşmacının ses sinyallerini alır, verici radyo dalgaları aracılığıyla sinyalleri alıcıya gönderir. Kişi işitme cihazı kullanıyorsa ona ek olarak bu teknolojiyi kullanabilir veya cihaz kullanmayan insanlarda da doğrudan bu sistem kullanılabilir.



Şekil 2.8. FM sistemi [12]

2.1.2.3. Koklear implant

İç kulaktaki hasardan dolayı yerine getirilemeyen fonksiyonları tamamlamak üzere çalışan elektronik bir tıbbi cihazdır. İşitme cihazlarının aksine ses şiddetini yükseltmez, beyne ses sinyallerinin sağlanması sürecinde hasarlı bölgenin yetersiz kaldığı alanda görev yapar [13]. İşitme cihazlarından yarar sağlayamayan ileri ve çok ileri seviyede işitme kaybı olanlar için tasarlanmıştır.



Şekil 2.9. Koklear implant uygulaması [13]

Şekil 9’da 1 numara ile gösterilmiş, kulak arkasında taşınan ses işlemcisi dışardaki sesi yakalar ve bunu kodlar. İşlemci de aynı zamanda sistemin gücünü sağlayan pil konumlandırılmıştır. 2 numaralı kısımdaki bobin üzerinde dijital kodlanmış seslerin

implanta iletimi gerçekleşir. 3 numaralı bölümde implant, kodları elektriksel uyarılara çevirir ve koklea içine yerleşmiş olan elektrot dizinine aktarır. 4 ile gösterilmiş alanda ise işitme sinirinin uyarılması ve bu uyarıların beyne aktarılarak beyinde ses olarak algılanması işi yapılmaktadır.

2.1.2.4. Soundbite cihazı

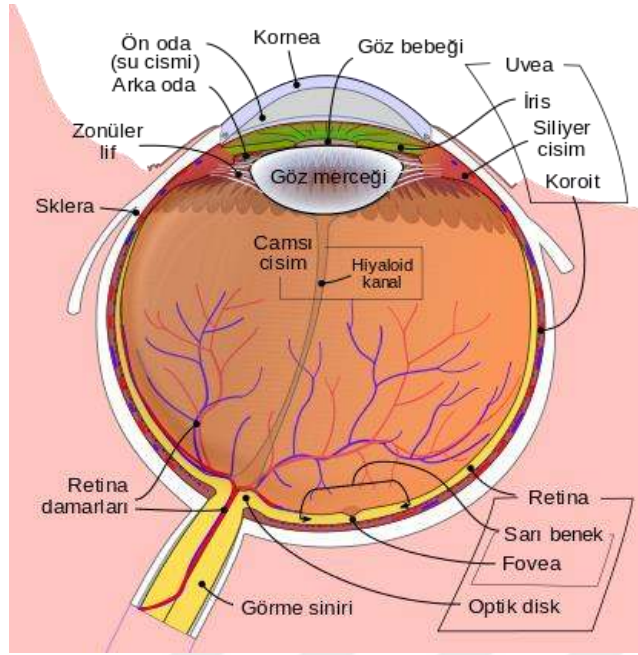
Fonksiyonel bir dış kulak olması gerekliliği yoktur. Dişler yardımıyla alınan sesler çene kemiği üzerinden doğrudan kokleaya aktarılır. Azı dişin üzerine yerleştirilir (şekil 2.10.). Diğer işitme cihazları ses şiddetini hava iletkenliğinden faydalanarak yükseltirken, bu sistem kemiğin iletim gücünden yararlanır. Gürültüyü bastırarak çevredeki sesleri algılayabilen mikrofonlardan ağızdaki cihaza aktarılan sesler buradan da kokleaya iletilir ve işitme gerçekleşmiş olur [14].



şekil 2.10. Soundbite cihazı yerleşimi ve bileşenleri [14]

2.2. Gz Anatomisi ve Görme Fizyolojisi

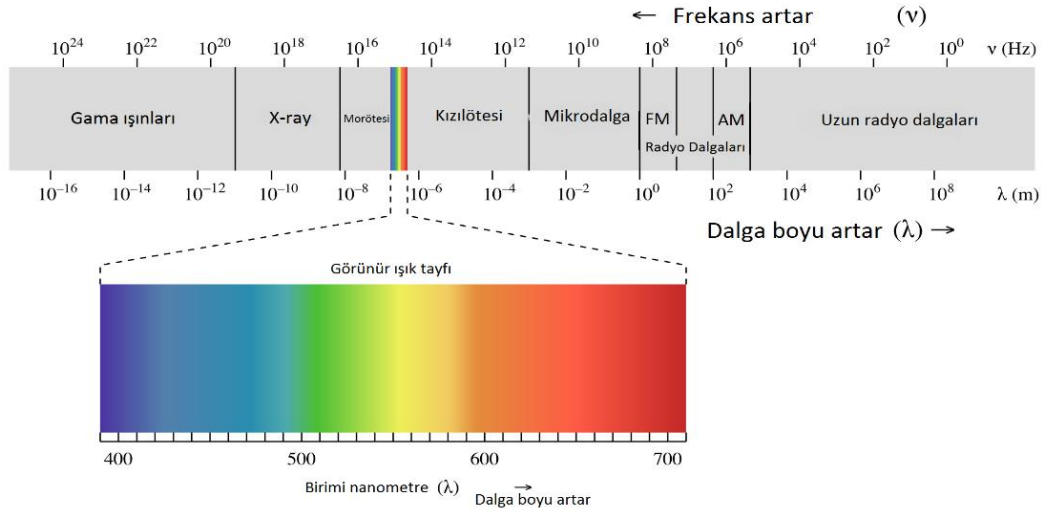
Dış dünyayı algılamamıza yarayan, beynin uzantısı şeklinde kafatasında yerleşmiş olan göz; özel duyularımızdan görmenin başladığı organdır. Işığı geçirme ve kırmaya yarayan  tabakadan meydana gelmektedir. Bunlar dıştan içe doğru sert tabaka, damar tabaka ve ağ tabakadır.



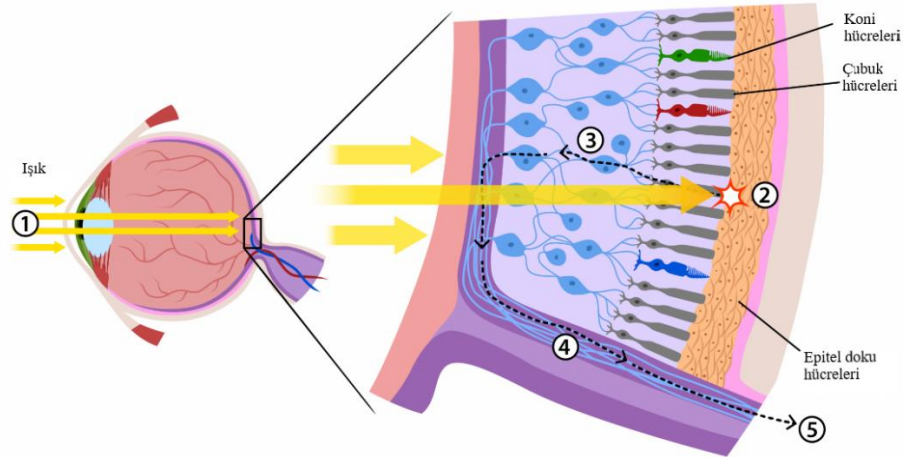
Şekil 2.11. Gözün iç yapısı [15]

En dıştaki beyaz ve lifli yapıdaki tabaka, gözü dış etkenlere karşı koruyan bir zar gibidir. Sklera ya da göz akı olarak da isimlendirilmektedir. Gözün önünde tümsekleşir ve saydam korneayı oluşturur. Kornea, ışığın göze ilk düştüğü bölümdür. Burada ışığın kırılması ve merceğe düşürülmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Damar tabaka isminden de anlaşılacağı gibi çok damarlı bir bağ dokusudur. Kan damarları gözü besler, siyah renk tanecikleri ise gözyuvarını karanlık bir oda haline getirir. Böylece yansımanın önüne geçilir ve net görüntüler oluşturulur. Ön bölümünde kirpiksi cisim kasları yerleşmiştir. Kirpiksi bölgenin uzantısı olarak ortasında gözbebeği bulunan ve damar tabakanın renk değiştirdiği iris bölümü de bu tabakada incelenmektedir. İriste dikey konumlanmış kas lifleri ve yuvarlak yerleşimli kas lifleri de bulunmaktadır. Dikey olanlar gözbebeğinin genişlemesini sağlarken, çember halinde olanlar küçülmesini sağlar. Yani iris değişen ışık miktarına göre göz için uygun miktarı belirleyen bir diyafram olarak nitelendirilebilir. En içte bulunan ağ tabaka çok duyarlı ve incedir. Ön kısmında göz merceği bulunur. Göz bebeğiyle iris arkasında yer alan ince kenarlı mercek, kaslar yardımıyla ağ ve damar tabakaya tutunmuştur. Görüntünün yakınlık ve uzaklığına göre mercek kalınlığı değişir. Mercekle arasında göz yuvarlağının şeklinin korunmasını ve merceğin konumunun sabit olmasını sağlayan camsı cisim bulunmaktadır. Arka bölümünde açık renkli küçük kabartı ve ortasında bulunan çukur, görme sinirinin yolu üstündedir ve kör nokta olarak adlandırılmaktadır. Burada görme hücreleri bulunmaz. Görüntülerin şekillendirildiği sarı nokta da kör noktanın yakınında yer almaktadır. Kör noktanın aksine görme hücreleri yoğun olarak burada görülmektedir. Çubuk

ve koni şeklindeki hücreler görme duyu hücreleridir. Çubuk şeklindekiler, karanlıkta şekillerin algılanmasını, koni şeklindekilerse aydınlıkta renklerin de görülmesini sağlamaktadır. Elbette ki bu görüntünün renkli algılanması durumu görünür ışık dalga boylarında gerçekleşir. Kırmızı, yeşil ve mavi renkleri algılamak üzere özelleşmiş 3 koni reseptörü bulunur. Renkler bu üçünün farklı oranlarda birleşmesiyle çeşitlenerek algılanır [16].



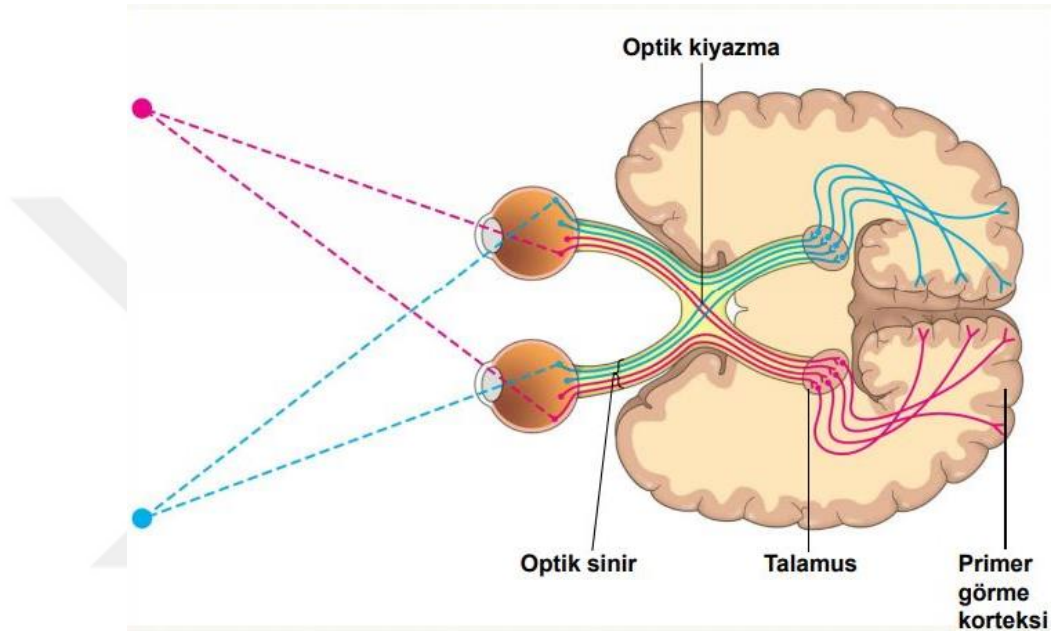
Şekil 2.12. Görünür ışık spektrumu [16]



Şekil 2.13. Renklerin koni ve çubuk hücrelerle algılanması [17]

Görüntü sarı noktaya ters olarak düşer ve görme sinirleri aracılığıyla optik sinyaller halinde beyne iletilir. İki gözden gelen göz sinirleri optik kiyazma denilen bölgede birbiriyle çaprazlaşır bu sayede her iki gözde oluşan görüntüler üst üste getirilir (Şekil 2.14.). Böylece görme olayı gerçekleşmiş olur [18].

Gözün doğrudan bir bileşeni olmasa da gözü koruyan ve yardım eden göz kapakları ve göz kasları, gözyaşı bezleri, kaşlar ve kirpikler gibi oluşumlar da söz konusudur [18]. Göz kapakları dış dünyaya karşı bir kapı gibidir, aynı zamanda kırpma sayesinde nemlilik sağlar ve dinlendirir. Kaşlar ve kirpikler vücut sıvıları veya dışarıdan gelen partiküllerin önünde birer engel oluşturur. Gözyaşı bezleri gözün temiz olmasından ve nemliliğinden sorumludur. Bu koşullar sağlanmadığında görme olayında bir aksama meydana geleceği için dolaylı olarak olsa da görme üzerinde etkileri büyüktür.



Şekil 2.14. Sağ ve sol göz görüntülerinin optik kiyazmada çaprazlanarak birleştirilmesi [18]

2.2.1. Görme kaybı sebepleri

Göz rahatsızlıkları çevresel ve genetik olarak kendini gösterebilen, görmede sorun yaratan fiziksel rahatsızlıklardır. Göz anatomisi ve fizyolojisi başlığı altında bahsedilen göze ve görme işleyişine ait herhangi bir bölümde yolunda gitmeyen işlemler buna sebebiyet verebilmektedir. Göz kapaklarında meydana gelen bir hastalık da kişinin görmesinde sorun yaratabilirken, görme sinirlerindeki bir hasar da görmede sorun oluşturmaktadır. Bu hastalıklardan en kötüsü de körlüktür. Körlük, görme yeteneğinin olmaması ve bu durumda bir engel yaşanması haline verilen addır. Görüşünde kayıp yaşayan herkes kör olarak nitelendirilmemektedir, bunun bir yasal tanımı vardır. Yasal tanımına göre, olağan görme gücünün onda birine ya da daha azına sahip olan ya da görme alanı yirmi derecelik açıyı aşmayan kişiler kör olarak değerlendirilmiştir [19]. Görme kaybı zamana bağlı olarak

ilerleyebileceği gibi aniden de gelişebilmektedir. Sebepleri arasında hastalıklar, kazalar, travmalar, zehirlenmeler ve genetik faktörler incelenmektedir.

2.2.2. Görmeye yardımcı araçlar

Görme kaybı derecesine göre kaybın giderilmesinde birtakım araçlardan yararlanılmaktadır. Bu bölümde görmeye yardımcı araçlara optik olanlar ve olmayanlar olmak üzere ikiye ayrı bölümde yer verilmiştir.

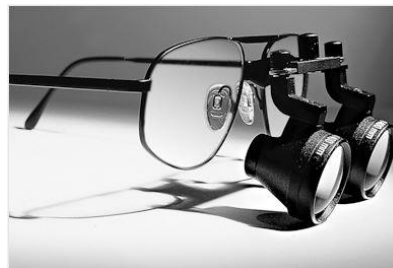
2.2.2.1. Optik yardımcılar

Gözlükler, eğer kişide bir refraksiyon sorunu varsa kullanılmaktadır. Refraksiyon sorunu kırma kusurlarına verilen addır. Az gören kişiler için gözlükler, normalinden daha yüksek lens gücünde geliştirilmiş halindedir. Yüksek güç odak uzaklığını kısaltmakta ve böylece mesafede bir artış sağlamaktadır. Bu gözlükler 4 derece ile 20 derece arasında optik güçte olabilmektedir. Hastanın gözlüğe adaptasyonunun kolay olması, kişiye rahatsızlık verecek bir durum olmaması avantajları vardır. Dezavantajı ise görme mesafesinin ayarlanmasında hastanın yaşadığı zorluktur [20].

El büyüteçleri, mercek ve bir tutacaktan oluşur. Optik olarak gözlükle aynı prensipte çalışır. Çeşitli mesafelerde farklı miktarlarda büyütme gerçekleştirilebilir. Elde taşıma gereksinimi dezavantajdır.

Ayaklı büyüteç, el büyütecinin sabit bir yerde konumlandırılmış halidir. El veya kollarında kontrol problemi yaşayan kişiler için uygundur. Taşınamazdır.

Luplar, göze çok yakın yerleştirilen, gözlük camlarının önüne konumlandırılan yüksek güçlü merceklerdir (Şekil 2.15.). Gözlük camlarına ekstra bir mercek eklenmesi, ağırlık da eklenmesi demektir.



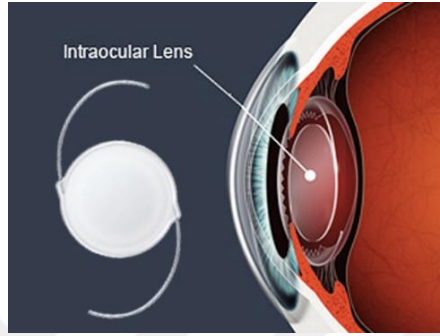
Şekil 2.15. Lup [21]

Teleskoplar, uzak görmeyi iyileştirir. Metal tüp içine konumlandırılmış iki adet lensten oluşmaktadır. El titremesi, kol yorgunluğu kullanımını güçleştirir.

Biyoptikler, el tipi teleskop için alternatiftir. Gözlük camlarında optik merkezin üstüne yerleştirilir. Böylece baş konumuna göre normal görüş ve uzak görüş kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir.

Telemikroskop, yakın görme için gözlük camının alt kısmına yerleştirilir. Biyoptiklerde olduğu gibi kullanıcının bakış açısına göre normal gözlük veya ekstra yakın görme sağlanabilmektedir.

İntraoküler lens, teleskopik sistemlerin göz içinde lens olarak uygulamalarıdır.



Şekil 2.16. İntraoküler lens [22]

2.2.2.2. Optik olmayan yardımcılar

Aydınlatma, daha iyi görüş için en önemli unsurdur. Kontrastın artırılmasını sağlar ve görmeyi kolaylaştırır. Ancak bu aydınlık gözde kamaşma ve odaklama sorununa neden olmayacak güçte olmalıdır.

Büyük puntolu kitap ve gereçler, görme düzeyi belirli bir seviyenin üstünde olan kişiler için faydalıdır.

Delikli gözlükler, günümüzde pek kullanılsa da üzerinde çok sayıda delik olan veya çizgisel yarıklar bulunduran gözlükler yansıyan ışıkları engellemekte ve kontrastı artırmaktadır.

Braille alfabesi, altı nokta ile yükseklik farkına dayalı olarak algılama sağlanan bir alfabadir. Noktalar birbirine yakın olduğu için büyük parmakların kullanımı sırasında algılanması zorlaşmaktadır. Algısını zorlaştıran bir diğer durum da parmak ucundaki algıyı azaltan diyabet gibi rahatsızlıklardır.

2.3. Dokunsal Sistemler

Canlıların gelişmiş olarak sınıflandırılanlarında duyu sistemi; reseptör, afferent sinir ve beyinde duyunun algılandığı merkez olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır [2, 3]. Algı süreci reseptörde başlar. Duyu reseptörleri genel olarak farklı duyu tiplerinde yaptıkları

algılamaları sinirsel uyarılara çevirerek somatik sinir sistemine iletir. Daha detaylı olarak ise alma, dönüştürme, güçlendirme, iletme ve entegrasyon fonksiyonlarını sırasıyla gerçekleştirir. Enerji türüne göre özelleşmiş lokasyonlarda reseptörlerin bu enerjiyi alma, yakalama işini gerçekleştirmesiyle süreç başlar. Bu uyarının enerjisiyle elektriksel potansiyelde, membranın iyon geçirgenliğinde değişim meydana gelir. Bu değişim sürecinde güçlendirme eş zamanlı olarak gerçekleşebilir veya sonrasında yükseltme işlemi uygulanabilir. Aksiyon potansiyelleri halinde iletilen uyarılar beynin ilgili bölümlerinde farklı şekillerde gruplanarak algılanır.

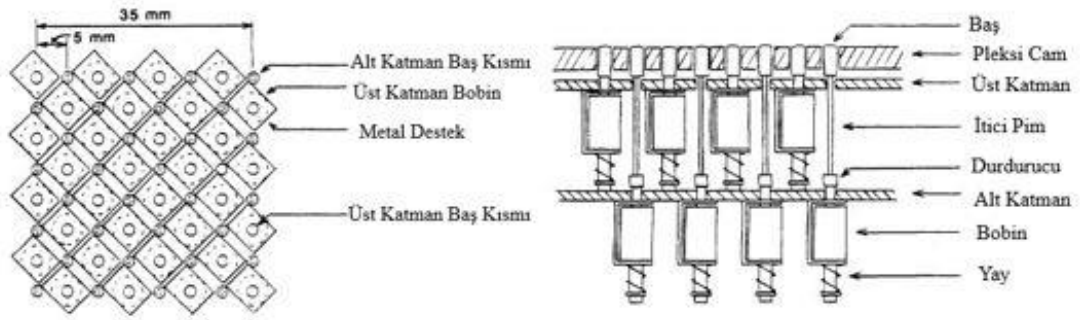
İletişimde aktif olarak rol alan işitme ve görme duyularından herhangi birinin eksikliği bile kişiye zorluklar çıkarırken ikisinin eksikliğinin bir arada oluşu bireyin sosyal ilişkiler kurmasının önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. İşitmeye ve görmeye yardımcı cihazların, kaybın sebebine bağlı olarak çözüm getiremediği durumlarda alternatif yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en yaygını dokunma duyusunu temel alan dokunsal sistemlerdir. Kişide herhangi bir duyu kaybı varsa diğer duyularının sağlıklı bir bireye göre daha gelişmiş olduğu bilinmektedir [1]. Bunun sebebi eksik olan duyunun işlevini yerine getirmek üzere diğer duyuların duruma bir adaptasyon geliştirmesi ve normalinden fazla çalışmasıdır. Hem işitme ve görme duyuları dışında iletişimde kullanılan temel duyulardan biri olduğu için hem de adaptasyon sayesinde daha da algısı güçleneceği için dokunma duyusu tercih edilmektedir.

Somatik duyular fizyolojik olarak üç grupta incelenir [2, 3]. İlki mekanoreseptörler tarafından dokulardaki mekanik yer değiştirmeyi algılayan dokunma ve pozisyon duyularıdır. Dokunma duyuları dokunmayı, basıncı, titreşim ve gıdıklanmayı algılamaya yararken; pozisyon duyuları ise statik pozisyon bilgisi ile algılanan hareketin hızının anlaşılmasını sağlar. İkincisi dokulardaki hasar ile etkin hale gelen, nosiseptif reseptörler tarafından algılanan ağrı duyularıdır. Ve son olarak da termoreseptörler tarafından algılanan sıcak ve soğuk duyularıdır. Bir sonraki başlıkta, bu dokunsal reseptörlerden hangisinin algısının kullanılmak istendiğine bağlı olarak farklı tasarımlar geliştirilmiş sistemler yer almaktadır.

2.3.1. Düünden bugüne yapılmış çalışmalar

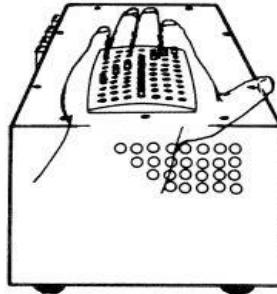
1987 yılında Frisken et. al. [23], dokunsal iletişim kapsamında parmak ucu algısının önemini belirlemek için 8x8 selenoidlerden oluşan 2D görme sağlayıcı bir prototip önermiştir. Görme engelliler için geliştirdiği sisteminde kişinin üzerinde bulunacak minyatür

kameradan alınacak görüntünün kişiye deri yoluyla aktarımı amaçlanmıştır. Ekranın boyutu 40 mm x 40 mm'dir. Dört olası pim yüksekliği, farklı görüntü yoğunluklarını temsil eder. Bu yükseklikler 0, 0.33, 0.67, 1 mm olarak belirlenmiştir. Selenoid aktüatörler ve ekran görüntüsü Şekil 'de verilmiştir. Yükseklik farkına dayalı oluşturduğu algı sisteminde engelli kişilerin zaten adapte oldukları aktif ve pasif dokunmadan faydalanarak dokunma duyularıyla görme algısı yaratma yoluna gidilmiştir. Ancak yükseklik farkının algılanmasında yaşanan problemler, selenoidler aktifleştğinde oluşan ekran gürültüsü, mekanik ekran aksamından dolayı taşınabilir olmaması dezavantajları bulunmaktadır (Şekil 2.17.).

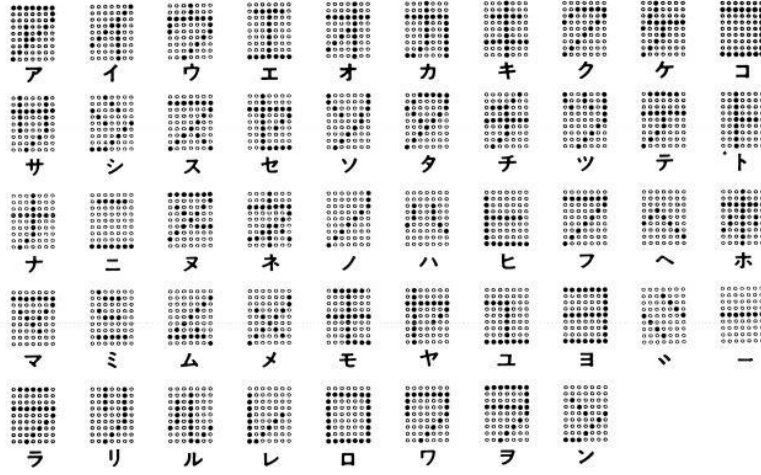


Şekil 2.17. Selenoid ekran [23]

1989 yılında Shimizu et. al. [24], işitme engelli insanlar için konuşmayı metne dönüştüren bir sistem geliştirmiştir. Avuç içinden algılatma hedefleyen bu sistemde aktüatör olarak titreşimden faydalanılmıştır (Şekil 2.18.). Konuşulan kelimayı algılayan sistem görsel ve dokunsal olarak metni kişiye sunmaktadır. Kullanılan alfabe Katakana alfabesidir (Şekil 2.19.).

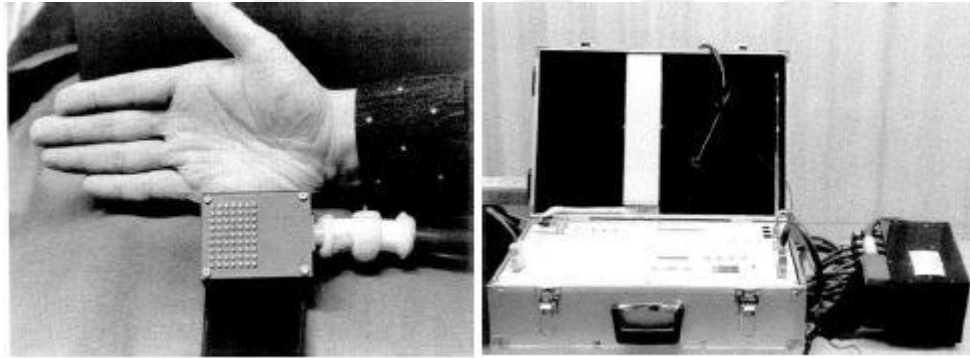


Şekil 2.18. Avuç içi ekran [24]



Şekil 2.19. Katakana alfabesi [24]

Avuç içine yerleştirilen ekran sayesinde tarama yoluyla karakterler kişiye titreşimle aktarılmaktadır. Deneyler öncesinde kişiye tanınan alışma sürecinde LED'ler ile aktüatörlerin aktivitesi görsel olarak da desteklenmiş ve LCD ekranda da kontrol edilmiştir. Ancak Şekil 2.20'de de görüldüğü üzere masaüstü kullanım için tasarlanmıştır ve 22 kg ağırlığında olduğu belirtilmiştir. Kısacası hantal bir sisteme sahiptir.



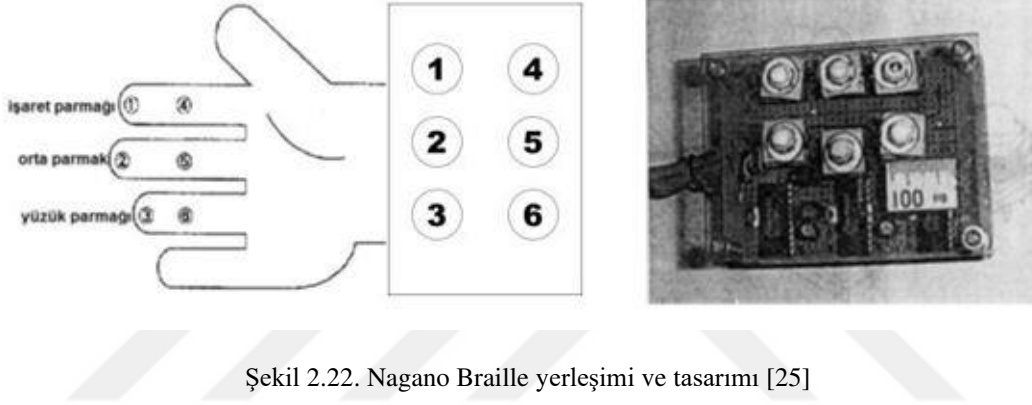
Şekil 2.20. Shimizu tarafından geliştirilen avuç içi ekran [24]

1996 yılında Nagano et. al. [25], engelli bireyler tarafından sıklıkla kullanılmakta olan Braille alfabesini kullanarak titreşim aktüatörlü bir sistem geliştirmiştir. Braille karakterlerinin özelliklerinden faydalananarak 6 noktalı bir yerleşim metodu izlenmiştir (Şekil 2.21.). Bunun için bir elin işaret parmağı, orta parmak ve yüzük parmağı kullanılmıştır. Bu parmakların her birinin distal ve proksimal bölümlerine uyarıcılar gelecek şekilde bir tasarım oluşturulmuştur. Braille karakterleri 6 noktadan aktif olanlara göre bireye aktarılmaktadır. Şekil 2.22.'de yerleşimi verilmiştir.

a	b	c	ç	d	e	f	g	ğ	h	ı	i	j	k	l	m

n	o	ö	p	q	r	s	ş	t	u	ü	v	w	x	y	z

Şekil 2.21. Braille alfabesi [25]

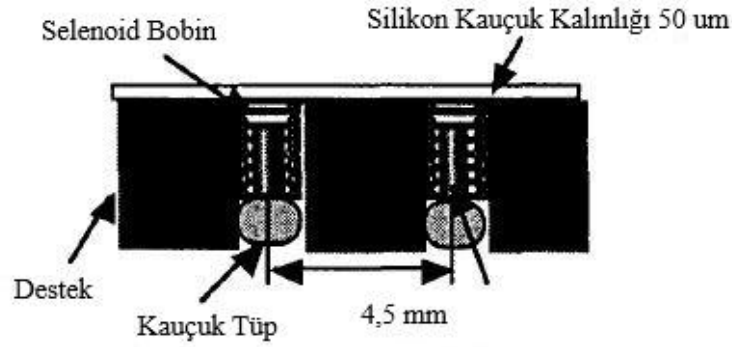


Şekil 2.22. Nagano Braille yerleşimi ve tasarımı [25]

Parmak üzerindeki gösterimde mobil bir sistemmiş gibi görünse de tasarımında anlaşılmaktadır ki kişinin 3 parmağını yerleştirmesini ve sabit bir yerde durmasını gerektirmektedir. Beş saatlik bir alışma sürecinden sonra dakikada 36 karakter aktarıldığı bilgisi de çalışma sonunda belirtilmiştir.

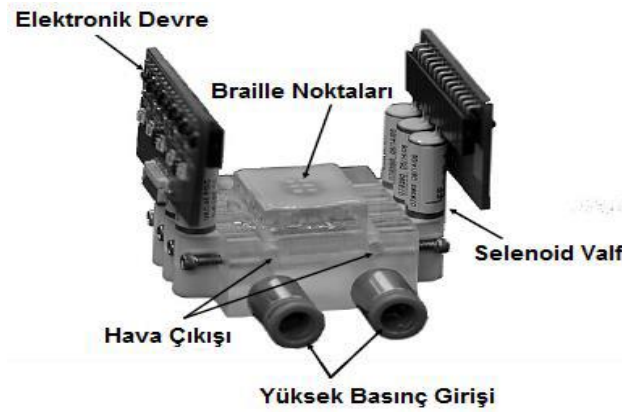
2004 yılında Fukuda et. al. [26], elektromanyetik aktüatörle titreşen tactile ekran geliştirmiştir. Sistemde kullanılan elektromanyetik aktüatör selenoid sargı ve kalıcı mıknatıstan oluşmaktadır (Şekil 2.23.). Aktüatörler tek parmaktan, işaret parmağından algılanacağı için boyutları buna göre seçilmiştir. Braille alfabesi için gerekli 6 nokta iki nokta algılama değerlerine göre boyutlar da belirlendikten sonra yerleştirilmiştir. Böylece kullanıcı güvenliği de sağlanmıştır çünkü elektromanyetik aktüatörün mm'lik boyutlardayken sürülmesi güvenlidir. Deneyler sırasında dış ses ve gürültüden uzaklaşmak için kulaklık kullanılmıştır. Algılama hızının kişiden kişiye değişeceği öngörülerek, kişinin uyarımları algılayabilme sınırına göre frekans 10 Hz olarak artırılmış veya azaltılmıştır. Bunun sonucunda hızın kişiselliği doğrulanmıştır. Peşi sıra gelen uyarılarla bilgiyi aktarmanın ve hangi aktüatörün titreştiğini algılayanın, ayrı uyarıların rastgele

gönderilmesinden daha kolay algılama sağladığı belirtilmiştir. Aktüatörlerin ayırt edilmesi güçlüğü bulunmaktadır.



Şekil 2.23. Elektromanyetik uyarıcıların yerleşimi [26]

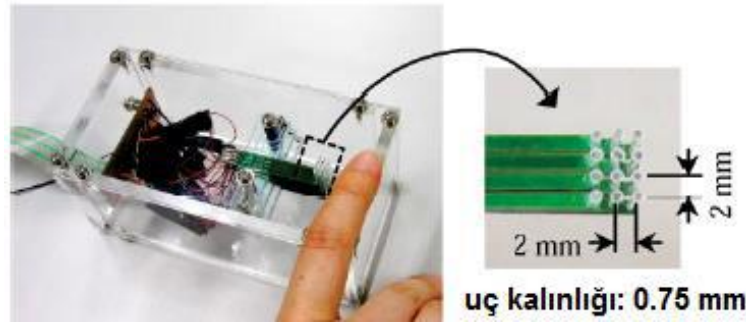
2007 yılında Xiaosong et. al. [27], pnömatrik aktüatörlere sahip bir ekran geliştirmiştir. Hızlı cevap süreleri, basit mekanizmaları ve uygun fiyatları olması pnömatrik sistemleri ümit verici hale getirmiştir. Taşınabilir olduğu iddia edilse de basınçlı gazın depolanmasını gerektirmektedir. Ve mevcut tasarımda 1 cc 10 atm basınçlı hava tek bir Braille hücresini 5 Hz frekansında aktif hale getirdiğinde 24 dakika okuma sağlamaktadır. Böylece taşınabilirliğine bir kısıt gelmektedir. Sistem tasarımı Şekil 2.24.'te görülmektedir. Çalışmanın sonunda gelecek çalışmalarda algının artırılması ve kullanıcı tanımlanması yönünde yapılacak çalışmalardan bahsedilmektedir.



Şekil 2.24. Pnömatrik aktüatörlü sistem [27]

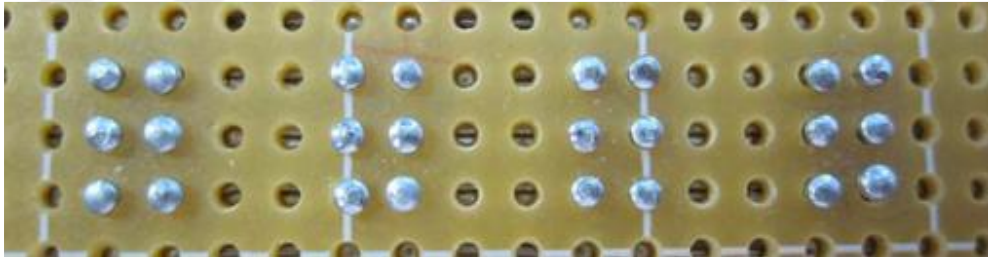
2008 yılında Homma et. al. [28], dokunsal uyarımların ortaya çıkması için 4x3'lük 12 piezoelektrik bimorf aktüatörden oluşan bir matris ekran geliştirmiştir. Titreşimlerin uyarım olarak kullanıldığı ve piezoelektrik kristallerle sağlandığı bu geniş ekranda alfabe olarak Braille alfabesi kullanılmaktadır (Şekil 2.25.). Bilgi parmak ucuna dalga şeklinde

iletilmektedir. Her bir Braille hücresi için 2 saniye gerektirmektedir. Ve yine masaüstü bir tasarıma sahiptir, taşınabilir değildir.



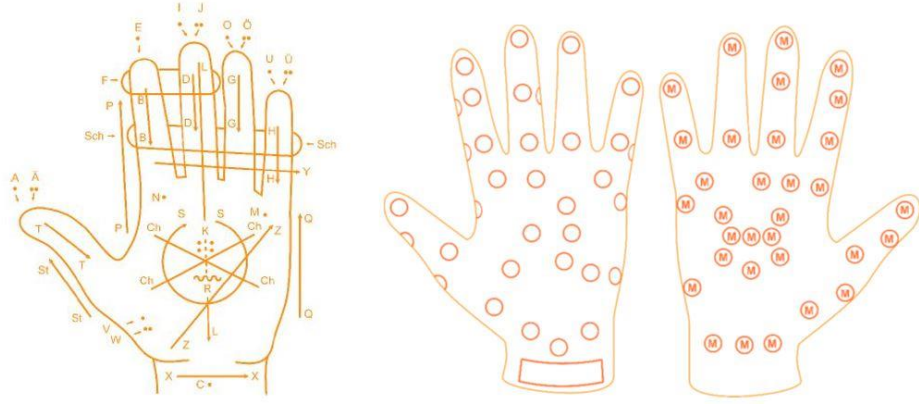
Şekil 2.25. Piezoelektrik Braille dokunsal ekran [28]

2012 yılında Feng Zhao et. al. [29], düşük güç tüketimli, küçük boyutlarda, pasif dokunulabilen bir Braille ekranı tasarlamıştır. Bu ekranda SMA denilen şekil hafızalı alaşımlardan yapılmış aktüatörler kullanılmıştır. Bir ekranda 4 Braille hücresi bulunmaktadır (Şekil 2.26.). Aktüatörler uyarımlarını titreşim yoluyla aktarmaktadır. Kişinin bir kitabı okurmuş gibi parmak uçlarını alışkın olduğu Braille karakterler üzerinde gezdirerek titreşimle algılama sağlaması amaçlanmaktadır. Çalışma sonunda dakikada 60 karakter okunduğu kaydedilmiştir.



Şekil 2.26. SMA Braille hücreleri [29]

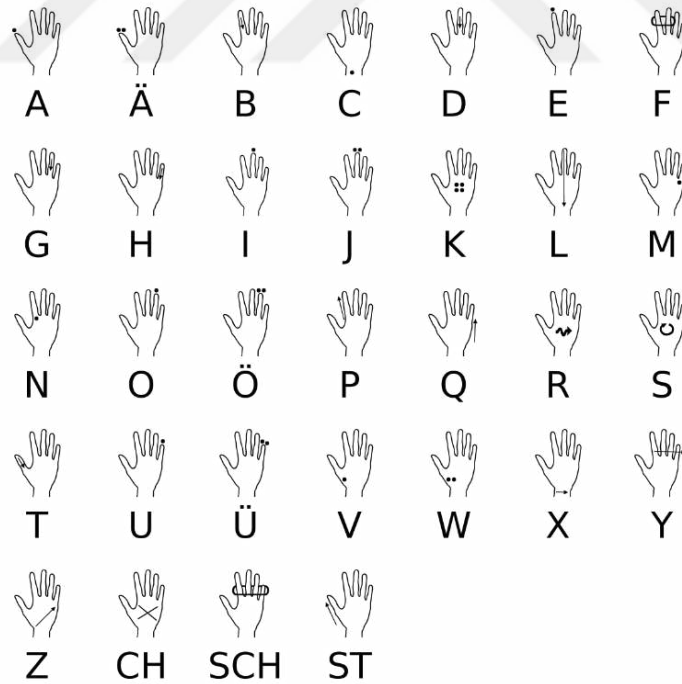
2012 yılında Gollner et. al. [30], el üstünde sabit konum sağlamaya ve geliştirilmesiyle mobilleşmeye olanak sağlayan bir eldiven sistemi tasarlamıştır. Bu tasarım görme ve işitme engellilerin insanlarla iletişim kurmasına Braille dışında bir alfabe ile olanak sağlamaktadır. Geleneksel Lorm alfabesi kullanılmıştır (Şekil 2.27.). Eldivenin el içine gelen bölümünde sensörler, üzerinde ise titreşimli uyarıcılar yer almaktadır. Titreşim yoğunluğu ayarlanabilir olarak kişinin algısına göre değişebilecek şekilde sunulmuştur. Kişisel algılama ve giriş hızı olabileceği göz önünde bulundurularak 2 karakter arası sürenin sabit bir şekilde belirlenemeyeceği belirtilmiştir. Ve bu yüzden algılama ve bir karakter girişi tamamlandıktan sonra belirteç olarak kullanılacak fazladan bir buton konumlandırılmıştır ki kişi bu butona dokunarak diğer karaktere geçişi kendisi kontrol edebilsin.



Şekil 2.27. Lorm alfabesi ve eldivende yerleşimi [30]



Şekil 2.28. LormGlove tasarımı [30]



Şekil 2.29. Lorm alfabesi ayrık gösterimi [31]

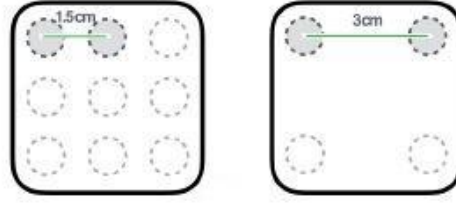
2015 yılında Choudhary et. al. [32], mobil ve giyilebilir bir sistem tasarımı sunmuştur. Bunu bir eldiven üzerine konumlandığı 6 adet dokunma sensörü ve 6 adet de vibratörle gerçekleştirmiştir. Avuç içinde dokunma sensörleri, el üstünde ise vibratörler Braille

alfabesine uygun şekilde yerleştirilmiştir. Böylece kişinin yalnızca konuşulanı algılamasından ziyade kendisinin de konuşmaya yanıt verebilmesi, aktif olarak konuşma içinde bulunması hedeflenmektedir. Eldivenden dokunmatik sensörlerle kişinin girdiği veriler bir mikroişlemci ile Braille'den normal alfabeye çevrilmekte ve bir Bluetooth modülü ile İngilizce metin olarak cep telefonuna aktarılmaktadır. Vibratörlerin kontrolü de tam tersi şekilde telefonda girilen İngilizce metnin Bluetooth modül ile mikroişlemciye aktarılması ve orada Braille kodlamasına dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Bir de ek olarak dokunmatik sensörler altına bir buton eklenmiştir. Kullanıcı girdiği bir karakter sonrasında buna basacak ve böylece girilen karakterler birbirleriyle karışmayacak şekilde iletilebilecektir. Çalışma sonunda eldivenin rahat giyilebildiği ancak gelecekte daha ince bir tasarımın hedeflendiğinden bahsedilmektedir (Şekil 2.30.). Çünkü bu haliyle sistem kişinin bir elini günlük hayatta sadece iletişime ayırmasını gerektirmektedir.

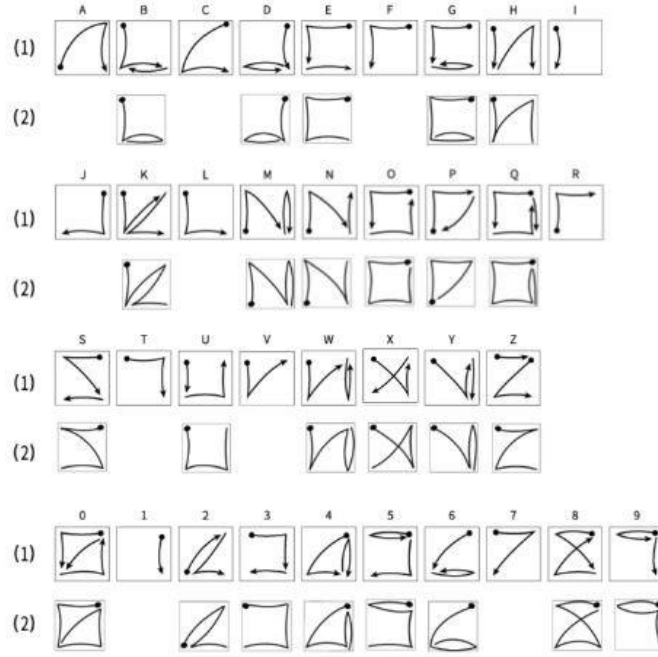


Şekil 2.30. Choudhary çevirmen eldiven tasarımı [32]

2016 yılında Yi-Chi Liao et. al. [33], EdgeVib adını verdikleri bileklik tasarımının 4 köşesine birer adet titreşimli uyarıcı yerleştirmişlerdir. Bu uyarıcıları öncelikle 3x3 olarak konumlanacak şekilde 9 adet tercih etmişlerdir ancak sonrasında görülmüştür ki az sayıda aktüatör daha net bir algı oluşturmaktadır (Şekil 2.31.). Bunun sebebi birbirinden uzaklaşmaları ve insan vücudundaki iki nokta algılama değerleridir. Her harf bir desen olarak kodlanmıştır (Şekil 2.32.). Aktarım harf harf gerçekleştirilmektedir. Ancak algılamayı kolaylaştırmak için birtakım kodlamalar üzerinde de durulmuştur. R: Rain, U: Uber gibi kodlamaların iletişimi hızlandıracağı ve acil durumlarda daha etkili olacağı düşünülmektedir ancak kişiye bir kısıt getirmektedir.



Şekil 2.31. 3x3 ve 2x2 yerleşimi kıyaslaması [33]



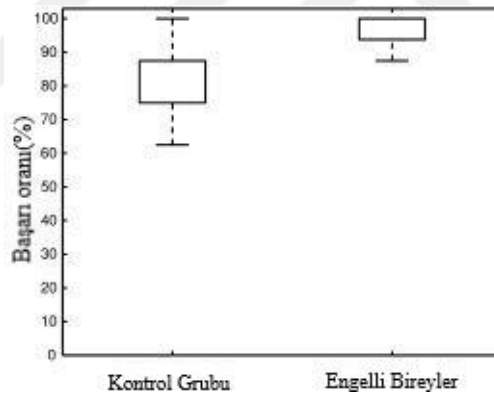
Şekil 2.32. Harflerin kodlanması ve EdgeVib tasarımı [33]

2017 yılında Carrera et. al. [34], engelli kişinin muhatabıyla iletişimine olanak sağlayan başka bir eldiven tasarımı geliştirmiştir (Şekil 2.33.). Bu eldiven muhataplar arasında bir bağlantı gerektirmemektedir. Çünkü TactileCom denen bir sistem aracılığıyla kişiler birbirine kablosuz bir ağ aracılığıyla bağlanabilmektedir. Beş parmakta, bu sefer parmak uçlarında bulunan vibratörlerle iletişim sağlanmaktadır. Braille veya başka bir alfabe kullanılmamıştır. Harf harf aktarım yerine birtakım kalıpların kodlanması ve aktarımına dayanmaktadır. Böylece algılama düzeyinin arttığı ve kullanımının, öğrenilmesinin kolaylaştığı belirtilmiştir. Ve herhangi bir aktarım sırasında birden fazla parmakta uyarıcıların aktif olmasındansa tek bir parmaktaki uyarıcının aktif olması algılama doğruluğunu artırmıştır.



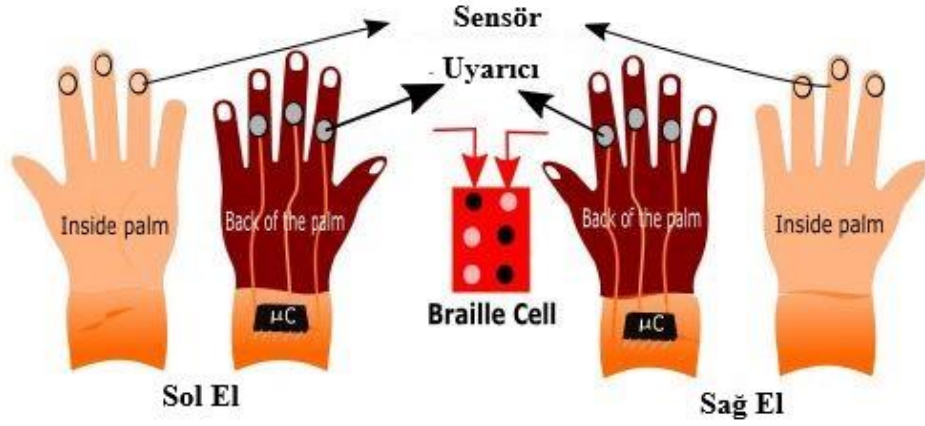
Şekil 2.33. Carrera eldiven ve muhatap iletişimi [34]

Deneyler bir kontrol grubu ve engelli kişiler üzerinde gerçekleştirilmiş, engelli kişilerin başarı oranının daha yüksek olduğu bir grafikte verilmiştir. Bu da önceki çalışmalarda da bahsedilen engelli bireylerin kayıp yaşadığı duyu dışındaki duyularının gelişmiş olduğu bilgisini doğrular niteliktedir [1]. Bu tasarımda karakterler olmaması iletişim özgürlüğünü sağlamak istediğimiz engelli bireylere ne yazık ki başka bir kısıt getirmektedir.



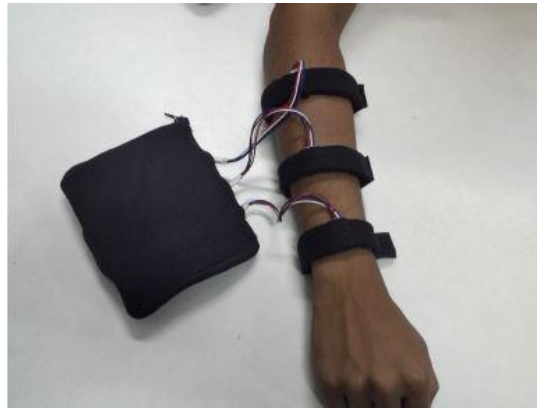
Şekil 2.34. Engelli kişiler ve kontrol grubu başarı oranları [34]

2017 yılında Oliver Ozioko et. al. [35], SmartFingerBraille adını verdikleri çalışmalarında iki elin de işaret, yüzük ve orta parmaklarını kullanan bir iletişim sistemi tasarlamışlardır. Her parmakta bir uyarıcı ve bir sensör olmak üzere toplamda 6 aktüatör ve 6 adet de sensör yerleşimine dayanmaktadır (Şekil 2.35.). Bu 6 nokta Braille'in 6 noktasını karşılamaktadır. Kişi dokunsal olarak bir yüzeyde oluşturduğu karakteri kablosuz ağlarla bir uygulama üzerinden eldiveni olan diğer insanlara veya telefonlara gönderebilmektedir. Aynı zamanda parmakların üstüne konumlanmış algılayıcılarla da diğerlerinden gönderilen mesajları alabilmektedir. Harf harf aktarımın zorluğundan dolayı bu çalışmada da birtakım ifadelerin kodlanabilir oluşundan bahsedilmektedir.



Şekil 2.35. SmartFingerBraille tasarımı [35]

2017 yılında Savindu et. al. [36], el veya parmak algısının dışında bir öneriyle gelmiştir. Braille alfabesinden faydalandığı sisteminde kolda bulunan 3 adet kolluk içerisinde ikişer uyarıcıyla Braille noktaları tamamlanmıştır ve sistemine de BrailleBand adını vermiştir (Şekil 2.36.). Uyarım olarak titreşim tercih edilmiştir. Konumlandırma sırasında dikkat edilen iki şeyden birincisi TPD'T yani iki nokta ayırt edebilme eşiği, diğeri ise titreşim eksenleridir. Bunlar göz önünde bulundurularak kolda 40mm aralıklarla kollukların yerleşimi sağlanmıştır. Deneyler sırasında arka arkaya gönderilen 2 karakter arasındaki minimum bekleme süresi 1000 ms olarak belirlenmiştir. Ayrıca Braille'deki her bir nokta 300 ms titreştirilir ve iki ardışık noktanın titreşimi arasındaki boşluk da 300 ms'dir. Bu nedenle tek bir noktanın titreştirilmesi 600 ms sürecektir.



Şekil 2.36. BrailleBand [36]

2018 yılında Gaffary et. al. [37], parmak ucundaki deri gerilimine dayalı bir sistem sunmuştur (Şekil 2.37.). Dokunsal bir alfabe oluşturma'nın karmaşıklığına dikkat çekerek, dokunsal alfabelerin en popülerleri Braille'in Latin alfabesine alışkın insanlar için öğrenmesi

kolay olmadığını ve parmak ucundan algılamanın gerektirdiği aktif hareketliliğinin her zaman mümkün olmayacağı belirtilmiştir.



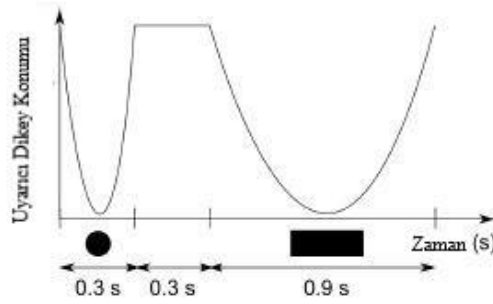
Şekil 2.37. Parmak ucu dokunsal algılatma sistemi [37]

Morse, TwoDashes ve Unistrokes alfabelerini kullanarak tasarladığı sisteminde kişinin parmağını uyarıcının üstünde sabit olacak şekilde konumlandırmasıyla üç alfabenin algılanma doğrulukları ve zorlukları ayrı ayrı değerlendirilmiştir (Şekil 2.38.).

Harf	Morse	TwoDashes	Unistrokes
A	. -	↗	↑
B	- ...	↘	↘
C	- . - .	↗ ↘	↘ ↗
D	- . .	↗ .	↘ ↗
E	.	↑	↑
F	. . - .	↗ ↘ ↗	↑ ↘ ↗
G	- - .	↗ ↘	↑ ↘
H		↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
I	. .	↗ ↘	↑
J	. - - -	↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
K	- . -	↗ ↘ ↗	↑ ↘ ↗
L	. - . .	↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
M	- -	↗ ↘	↘ ↗
N	- .	↗ ↘	↘ ↗
O	- - -	↗ ↘ ↗	↘ ↗ ↘
P	. - - .	↗ ↘ ↗ ↘	↘ ↗ ↘ ↗
Q	- - . -	↗ ↘ ↗ ↘	↘ ↗ ↘ ↗
R	. - .	↗ ↘ ↗	↑ ↘ ↗
S	. . .	↗ ↘ ↗	↑ ↘ ↗
T	-	↗ ↘	↑ ↘
U	. . -	↗ ↘ ↗	↑ ↘ ↗
V	. . . -	↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
W	. - -	↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
X	- . . -	↗ ↘ ↗ ↘	↘ ↗ ↘ ↗
Y	- . - -	↗ ↘ ↗ ↘	↑ ↘ ↗ ↘
Z	- - . .	↗ ↘ ↗ ↘	↘ ↗ ↘ ↗

Şekil 2.38. Latin harflerinin Morse, TwoDashes ve Unistrokes karşılıkları [37]

Morse, harfleri nokta ve çizgilerle temsil eden bir alfabe olarak görünmektedir. Buradaki nokta daha kısa süreli bir sinyal anlatırken, çizgi aslında sadece aynı sinyalin daha uzun süreli halidir (Şekil 2.39.). TwoDashes, harfleri sembolik desenler kullanarak temsil eden bir alfabedir. Unistrokes ise harflerin şekillerinin basitleştirilmiş bir versiyonunu sunar ve Latin alfabesine en yakın olandır. Çalışma sonucunda deri üzerindeki gerilimle iletişim sağlanabileceği ve bunun 3 dokunsal alfabeye göre değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Morse alfabesi tanınma açısından en iyi sonuç verendir ancak TwoDashes ve özellikle de Unistrokes öğrenmesi daha kolay bir seçenek sunmuştur.



Şekil 2.39. Morse sinyalleri [37]

2018 yılında Caporusso et al. [38], farklı bir engelli alfabesi olan Malossi alfabesini kullanarak titreşim aktüatörleri ve butonlardan oluşan bir tasarım geliştirmiştir. Bu tasarım önceki yıllarda üzerinde çalışılmış eldiven tasarımlarının modernize edilmiş ve farklı bir alfabeye göre düzenlenmiş halidir. Malossi alfabesinin özel bir kodlaması veya özel karakterleri yoktur. Sadece parmak bölümlerinin farklı harflere karşılık geldiği ve bazı harflerin dokunma bazılarının sıkıştırma ile eşleştirildiği bir yöntemle sahiptir (Şekil 2.40.).



Şekil 2.40. Malossi alfabesi [38]

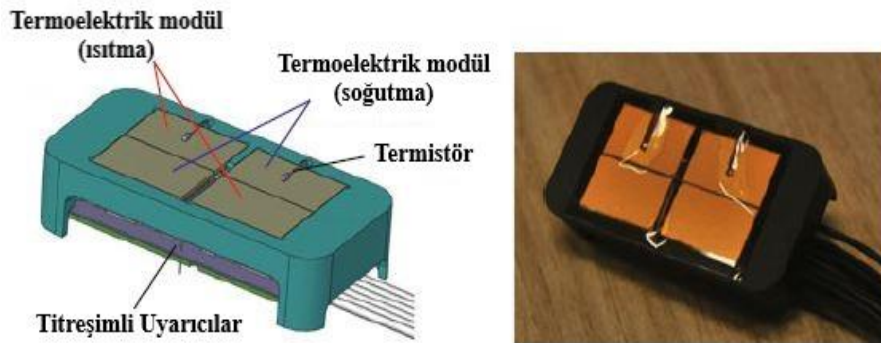
Bu alfabeyi kullanarak geliştirilen sistemde ise hem butonlar hem de titreşim aktüatörleri yerleştirilmiştir (Şekil 2.41.). Yerleşim ve boyutlar yetişkin erkek popülasyonuna göre düzenlenmiştir. Ancak farklılaştırılabileceği belirtilmektedir. Butonlar üzerinde harflerin Braille karşılıklarına da kabartma olarak yer verilmiştir. Böylece kullanabilecek kişi sayısını artırma ve kullanıcıya kolaylık sağlama yoluna gidilmiştir.



Şekil 2.41. dBGlove [38]

Deneyler sonucunda parmakların distal, medial ve proksimal bölümlerindeki algılama yüzdelere bakılmıştır. Veri gönderimi ve alımındaki başarılar incelenmiştir ve birbirleriyle paralel olduğu gözlemlenmiştir.

2018 yılında Nakatani et. al. [39], uyarıcı olarak titreşim ve termal uyarıları eş zamanlı olarak kullanmıştır. Titreşim vibratörlerden, termal uyarılar termoelektrik modüllerden sağlanmaktadır. İki uyarıcının da boyutları parmak ucu algısına ve daha sonra geliştirilebilecek taşınabilir bir sisteme uygun seçilmiştir. Yerleşimi Şekil 2.42.'te görülmektedir. Algının artmasının amaçlandığı sistemde termoelektrik modüllerin hassas çalışmalarına ve bir süre sonra ısınma problemlerine değinilmiştir.



Şekil 2.42. Termal ve titreşim uyarılarının birlikte kullanıldığı sistem [39]

Çalışmaya başlarken belirlenen amaç doğrultusunda edinilen genel bilgiler ve bu konuda daha önce yapılmış çalışmaların incelenmesi sonucunda karar verilen sistemde, uyartım türü olarak bugüne kadar sıklıkla kullanılmış titreşim uyartımlarının yerine termal uyartımlar tercih edilmiştir. Böylece önceki çalışmalarda dezavantaj olarak karşılaşılan adaptasyon süresinin ve ayırt etme gücünün artırılması amaçlanmıştır. Özel bir engelli alfabesinin kullanımı yerine herhangi bir alfabenin kodlanmasına olanak sağlayan binary kodlama yöntemi kullanılmıştır. Bu sayede dil konusunda kişinin iletişimine getirilecek kısıtlamaların önüne geçilmek istenmiştir. Konumlandırılması konusunda literatürde de sıklıkla karşılaşılmış olan el ve parmaklar tercih edilmiştir. İletişim özgürlüğünü sağlamak adına kişinin hareket ve diğer aktivitelerinin engellenmemesi için parmak üstünde yerleşimi uygun görülmüştür. Önceki çalışmalarla kıyaslandığında ortak olan yönleri; dokunma duyusundan faydalanarak iletişim sağlamayı hedefleyen dokunsal bir sistem olması ve el üzerinde konumlandırılmasıyla farklı yönleri; uyartım türü, kullanılan alfabe alanlarında gerçekleştirilmiş seçimlerdir.

Tablo 2.1. Literatür ve tasarlanan sistemin karşılaştırılması

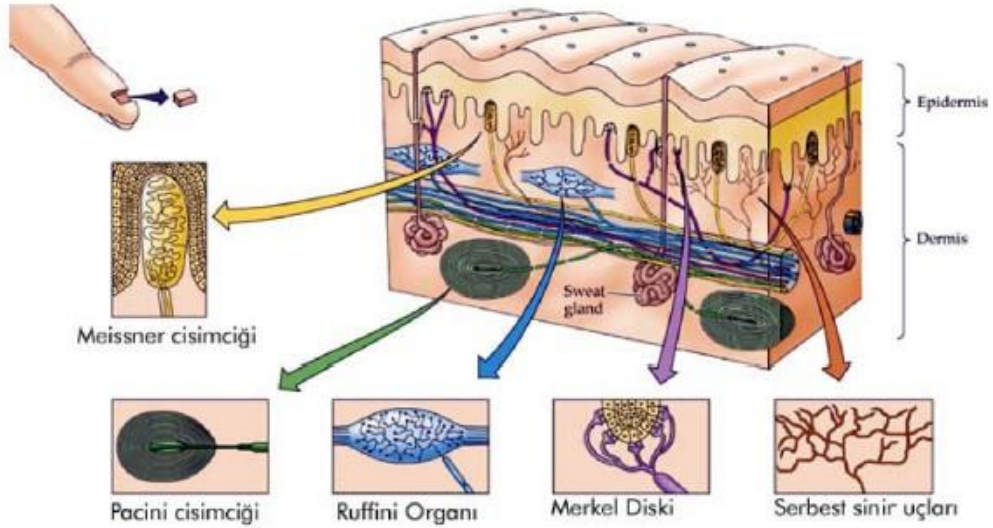
	Literatür	Kullanılan
Uyartım Türü	• Titreşim, • Yükseklik farkı	✓ Termal
Konumlandırma	• Avuç içi • Parmak ve parmak ucu, • Kol, • Bilek	✓ Parmak üstü
Kullanılan Alfabe	• Katakana, • Braille, • Malossi, • Lorm, • Morse, • TwoDashes, • Unistrokes, • Desenleme ile kodlanmış harfler	✓ Binary kodlama

3. MATERYAL VE METOT

Dokunsal bir sistem geliştirilmeye karar verildikten sonra bugüne kadar yapılan çalışmalar da göz önünde bulundurulmuş ve somatik duylardaki en önemli özelliklerden biri olarak nitelendirilen adaptasyon özelliğinden yola çıkılarak uyarım türünün belirlenmesiyle işe başlanmıştır. Sonrasında algılama kolaylığı, kişinin konforu ve seçilen uyarım türüne göre uyarıcıların konumlandırılmasıyla devam edilmiştir. Önceki adımlarda dikkat edilen noktaların etkileri tasarım boyunca devam etmiş ve hem kullanıcının rahatlığı hem de konum için belirlenen yer dolayısıyla uyarıcı sayısının sınırlı tutulması ve bu uyarıları maksimum verimle kullanacak, kolay öğrenilebilir bir alfabenin seçimiyle devam edilmiştir. Daha sonra bu adıma kadar gerçekleştirilmiş seçimler doğrultusunda sistemin yazılım ve donanımı ayrı ayrı planlanmış ve oluşturulmuştur. İkisinin ayrı ayrı kontrolleri gerçekleştirildikten sonra birleştirilmiş ve tekrar kontrol edilmiştir. Kontrol aşamaları başarıyla tamamlandıktan sonra belirlenen deney prosedürünü uygulamak üzere sistem denekler üzerinde denenmeye hazır hale getirilmiştir.

3.1. Uyarım Türünün Belirlenmesi

Somatik duylar olarak adlandırılan ve mekanoreseptif, termoreseptif, nosiseptif olarak gruplandırılan duylardan biri tercih edilmek üzere araştırmalara başlanmıştır. Dokunma duylusu reseptörleri ve özellikleri incelenmiştir. Bunlar yukarıda bahsedilen 3 ana başlığın daha özelleşmiş halleri olarak serbest sinir uçları, Meissner korpüskülü, Merkel diski, kıl kökü reseptörleri, Pacini korpüskülü, Krause ve Ruffini organı olarak sıralanmaktadır [2, 3]. Şekil 3.1.'de görülmektedir. Serbest sinir uçları, algılayıcıların en az özelleşmiş olanıdır. Acı ve ağrının algılanmasında rol oynar. Meissner korpüskülü ve Merkel diski, dokunma ve temas algılayan reseptörlerdir. Temas eden cismin niteliğinin ve konumunun belirlenmesini sağlar. Hızlı adaptasyon gösterir. Kıl kökü reseptörleri, kıl ve kıl kökünü çevrelemiş sinir liflerinden oluşmaktadır. Dokunma duylusunun kuvvetlendirilmesinde görev alır. Pacini korpüskülü, basınç algılar. Vibrasyon ve hızlı mekanik değişimlere duyarlıdır. Çok hızlı adaptasyon gösterir. Krause ve Ruffini organı ise sıcak ve soğuk algılanmasında görev alır. Çok az adaptasyon gösterir [2].



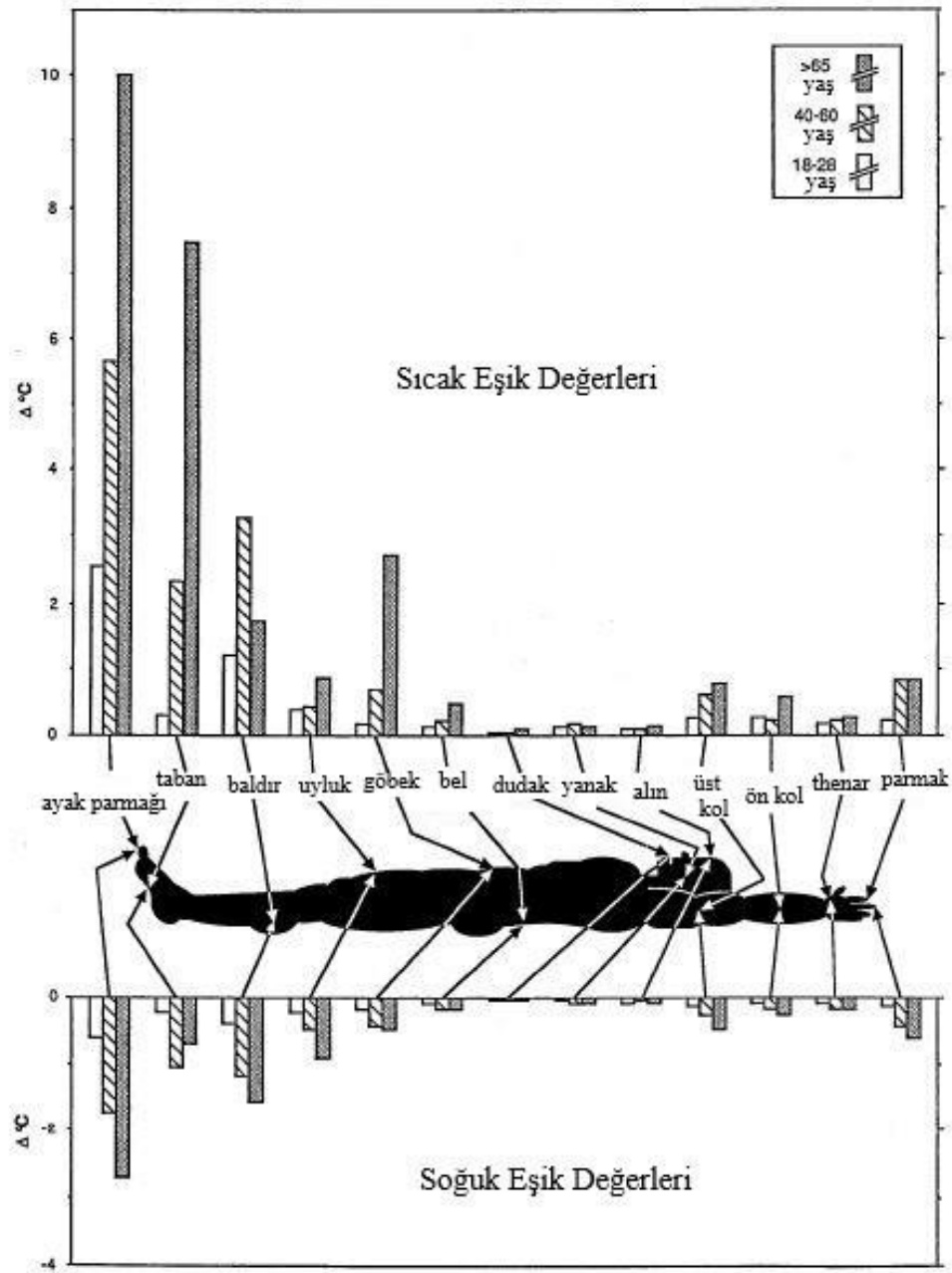
Şekil 3.1. Dokunma duyusu reseptörleri [2]

Ne farklılık gösteriyor olurlarsa olsunlar, bütün duyu reseptörlerinin ortak özelliği uyarana karşı reseptör zar potansiyelinin değişiyor olmasıdır. Reseptör potansiyeli yaratabilecek değişimler şu şekilde sıralanabilir: algılayıcının mekanik şekil değiştirmesinin zarda gerilme yaratarak iyon kanallarını açması, kimyasalların zarla etkileşimi sonrasında iyon kanallarının açılması, zarın sıcaklık değişimiyle geçirgenliğinin değişmesi. Görülmektedir ki hepsinde farklı sebeplerle uyarılan zarda birtakım değişimler meydana gelmekte ve sonuç olarak zar potansiyeli değişmektedir [6]. Bütün hepsinin bir diğer ortak özelliği ise uyarana karşı bir zamandan sonra kısmen ya da tamamen adapte olmalarıdır. Özellikle mekanoreseptif duyular için adaptasyon süresi kısadır. Bu algılayıcıya bağlı olarak saniyeler de günler de sürebilir. Bu yüzden günler süren adaptasyon diğerleriyle kıyaslandığında uyarılan için adapte olmayan terimi kullanılmaktadır. Mekanoreseptörlerde durum böyleyken, kemoreseptörler ve ağrı reseptörleri hiçbir zaman adapte olmamaktadır.

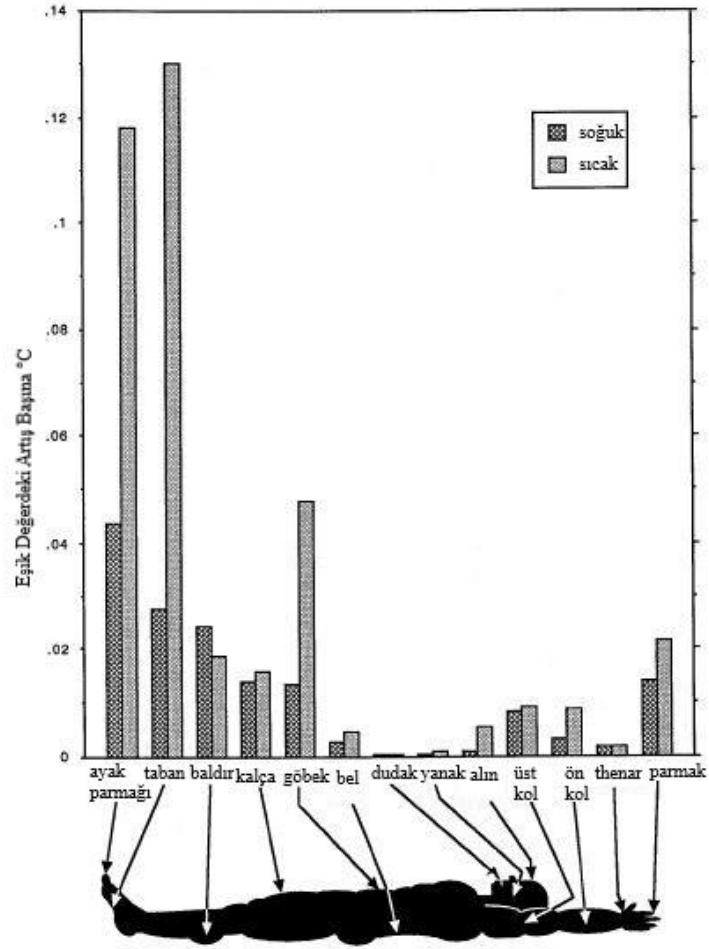
Dokunsal sistemler üzerinde yapılan daha önceki çalışmalar ve somatik duyuların özellikleri esas alınarak adaptasyon sürecinin uzun olmasına dikkat edilmiş ve termoreseptif olanlar uyarılan olarak tercih edilmiştir. Uyarıcı olaraksa soğuk uyarımdan faydalanılacaktır. Çünkü geliştirilen sistemde iletişimin süresine bir kısıtlama getirmemek ve kişinin algısının bir süre sonra düşmesinin önüne geçmek için adaptasyon süresi önemli bir faktördür. Adaptasyon ele alındığında ağrı duyusunun neredeyse hiç adapte olmadığı bilgisi akla gelmektedir ancak nosiseptif reseptörlerde oluşturulacak ağrı hissinin kişide rahatsızlık hissi uyandırması bu düşüncenin önüne geçmektedir. Çünkü amaçlanan iletişimin algısı yüksek ve uzun süreli sağlanabiliyor olmasının yanında kullanıcı kişinin hayatına fazladan bir sorun eklememek ve kullanım rahatlığını da sağlayabiliyor olmasıdır.

3.2. Konumlandırma

Uyarıcının türü termal olarak belirlendikten sonra vücutta konumlandırılacağı bölgenin seçimi için insan vücudunda farklı bölgelerin sıcak ve soğuk eşik değerlerinin belirlendiği bir çalışma referans olarak alınmıştır. Bu çalışma 1998 yılında Stevens ve Choo tarafından, 18-88 yaş arasında 60 yetişkin üzerinde vücudun 13 farklı bölgesinde gerçekleştirilmiştir [40]. Ve sonuçları yaşa göre, sıcak-soğuk algılama eşiklerine göre ve bir de vücut bölgelerine göre değerlendirme sağlayacak şekilde grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 3.2.).



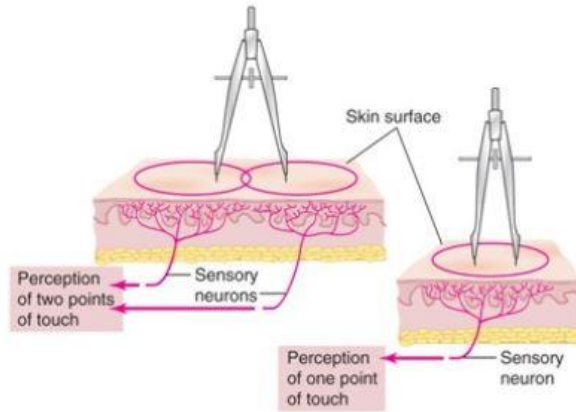
Şekil 3.2. Yaşa göre vücudun farklı bölgelerinde sıcak ve soğuk algılama değerleri [40]



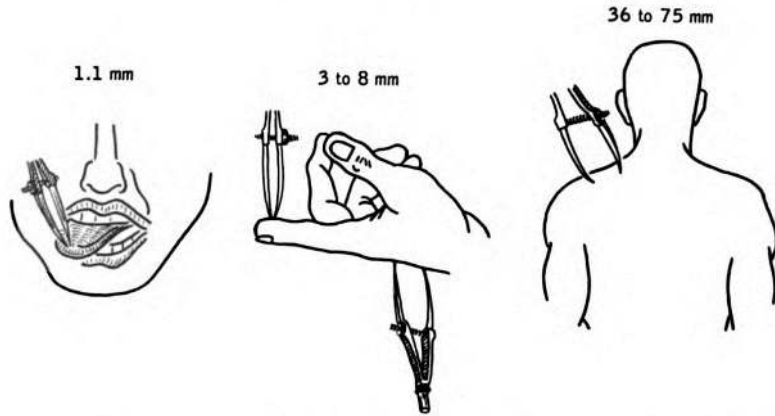
Şekil 3.3. Vücudun farklı bölgelerinde soğuk ve sıcak algılama değerleri ortalaması [40]

Şekil 3.2.'de yaşa göre oluşturulan grafikte bazı bölgelerde değişik sonuçlar görülmekle birlikte çoğunlukla yaş arttıkça algılama eşiğinin de yükseldiği görülmektedir. Ancak sıcak ve soğuk eşik değerleri kıyaslandığında sığa kıyasla soğğun oldukça düşük eşik değerlere sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu da tez çalışmasında termal uyarımlardan soğuk olanın seçimini destekler niteliktedir. Şekil 3.3.'teki grafikte ise ortalamalar alınarak sıcak ve soğuk eşiklerini gösterecek şekilde tek bir grafik halinde sonuçlar sunulmuştur. Buna göre soğuk uyarıcılar için en düşük algılama eşiğı dudakta sonrasında yanakta ve sonra da alında görülmektedir. Bunu thenar adı verilen kas takip etmektedir. Thenar, el ayasının baş parmak hizasındaki kabartısına verilen addır. Bel ondan sonra en düşük soğuk algılama eşiğine sahiptir. Parmakların da ilk sıralarda gelmesine rağmen diğerlerine göre daha yüksek bir eşik değere sahip olduğu görülmektedir. Ancak, sistemi konumlandırırken dikkat edilen nokta eşik değerin düşük olmasının yanında kişinin sistemi rahatça kullanabiliyor olmasıdır. Aynı zamanda uyarıcıların kullanılacak alfabeye göre sayısının belirleneceğı ve seçilen bölgeye konumlandırılacağı göz önünde

bulundurulmalıdır. Soğuk uyarım sağlayacak uyarıcıların şu adımda ulaşılabilir olanları dudakta yerleşim sağlayacak kadar küçük değildir ve kişinin günlük hayatta başka aktivitelerine engel olacağı düşünülmüştür. Alında aynı noktalarda sabitlenmesi için de bir şapka veya bant içine yerleşimi gerekmektedir. Ancak bu deney sürecinde bile farklı kafa büyüklüklerine göre ayarlanması zor bir seçenektir. Birine göre ayarlanan düzenek diğer bir insan için farklı noktalara temas edecek ve sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Bel bölümünde de kişinin bel genişliğine göre temas noktaları değişecektir. Thenar denilen bölümde ise alan dar ve bir yerleşim sağlamaya uygun değildir. Bunların yanında iki nokta algılama değerleri de uyarıcıların yerleşiminde algıların ayırt edilebilmesi için önemli bir faktördür [41]. Vücudun farklı bölgelerinde uyarılan 2 noktanın uyarısının tek bir uyarıymış gibi değil 2 farklı uyarı olarak algılanabildiği mesafe değişmektedir (Şekil 3.5.) ve buna iki nokta algılama değeri denilmektedir (Şekil 3.4.). Parmakların tercih edilmesi durumunda anatomik olarak kendiliğinden ayrılmış bu yapılarda iki nokta algılama değerleri sorun teşkil etmemektedir ve her kişide aynı yerleşimi sağlamak kolaylaşmaktadır.

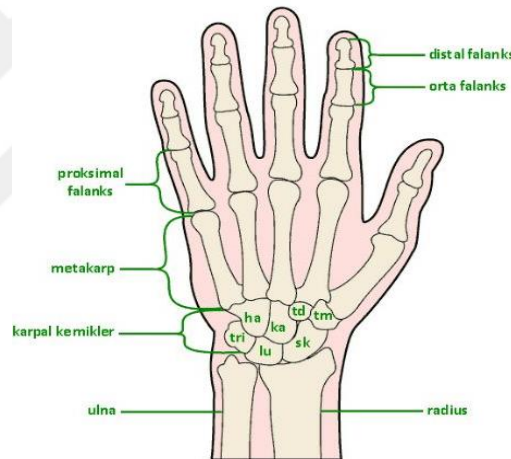


Şekil 3.4. İki nokta algılama [41]

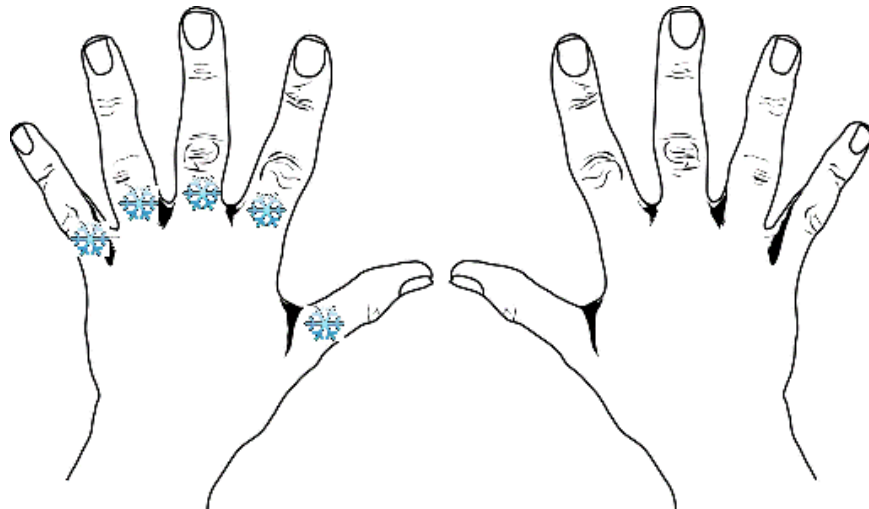


Şekil 3.5. Vücudun farklı bölgelerinde iki nokta algılama değerleri [42]

Bütün bunlar değerlendirilip daha önce tasarlanan sistemlerin de parmak ve el üzerinde konumlandırılmasından yola çıkılarak bir elin beş parmağı üzerinde parmakların proksimal kısımlarına yerleştirilecek 5 adet aktüatöre karar verilmiştir (Şekil 3.5.). El üstünde tercih edilen konumlandırma kişinin el hareketlerine de engel olmayacaktır. Yerleşim için literatürde çoğu çalışmada olduğu gibi sol el tercih edilmiştir [30, 31, 38]. Bunun sebebi, insanların çoğunun sağ elini baskın olarak kullanması ve her ne kadar el üstünde harekete engel olmayacak bir sistem tasarlamak hedeflense de harekete bağlı olarak algının düşmesinin ve kişinin hareket özgürlüğünün kısıtlanmasının önüne geçmektir. Sol elini baskın kullanan biri için tam tersi yerleşim sağlamak da mümkündür. Proksimal kısma yerleştirilmesinin sebebi ise kıl köklerinin yoğun olduğu bir bölge olma özelliği taşımasından dolayı kıl kökü reseptörlerinin her türlü dokunsal hissi güçlendirmesinden faydalanılmak istenmesindendir.



Şekil 3.6. El kemikleri anatomisi [43]



Şekil 3.7. Uyarıcıların konumları

3.3. İletişim İçin Kullanılacak Alfabenin Seçimi

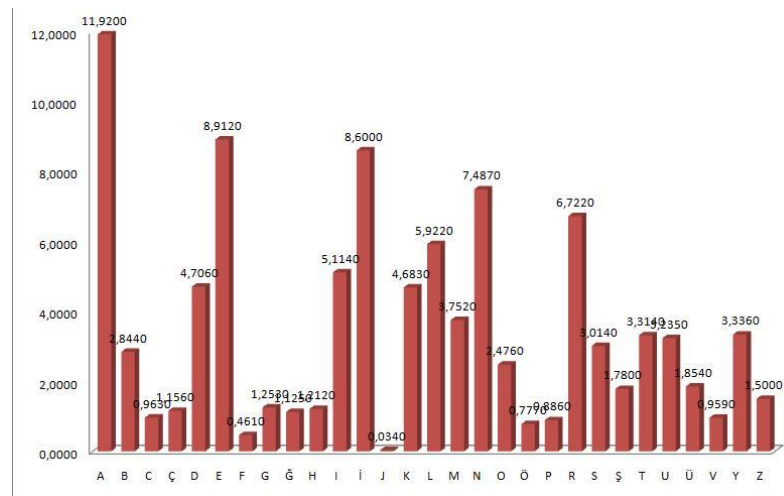
Literatüre bakıldığında çoğu çalışmada Braille alfabesi tercih edildiği görülmektedir. Hedef kitle olarak seçtiğimiz görme ve işitme engelli kişilerin birçoğunun zaten hakim olduğu bu alfabe için altı noktanın Braille yapısına uygun konumlandırılacağı bir alan gerekir. Ve kişiler bunu parmak ucundan yükseklik farkına dayanarak algılamaya alışık oldukları için bu dili kullanarak verilecek termal uyarımlar parmak ucundaki algıları kadar hızlı ve kolay olmayacaktır. Braille kullanarak yapılan çalışmalarda da parmak ucu, avuç içi, parmakların iç kısımlarından çoğunlukla titreşim olmak üzere farklı aktüatörlerle bilgi aktarımı sağlanmıştır. Bunlara ek olarak bir çalışmada BrailleBand denen kol bantlarıyla bu altı nokta ön kola yerleştirilmiş ve titreşim aktüatör olarak seçilmiştir [36]. Braille dışında Malossi ve Lorm alfabeleriyle de çalışmalar gerçekleştirildiği görülmektedir [30, 38]. Bu alfabelerde kural olarak harflerin el anatomisinde farklı konumları ve farklı işaretlemeleri bulunmaktadır. Bu yüzden avuç içi ve parmakları kullanarak algılatma sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak harflerin hepsinin tek bir el üzerinde farklı noktalarda konumlandırıldığı düşünülürse çok fazla aktüatör gerektirmektedir. Ve bazen el üzerindeki konuma göre değil uyarının nasıl geldiğine göre harfler çeşitlenebilmektedir. Bunların yanında Morse, TwoDashes, Unistrokes gibi alfabelerle de bir çalışma yürütülmüştür. Ancak bunlar da termal uyarımlar için uygun iletişim yöntemleri değildir.

Bu çalışmada, sistemin konumlandırılması için el tercih edilmiş olsa da özel engelli alfabeleri dışında yeni bir kodlama sistemi önerilmektedir. Öğrenilme kolaylığı ve farklı dillere uyarlanabilmesi, az sayıda aktüatörle çok sayıda farklı kodlama oluşturulabilmesi dolayısıyla binary kodlama kullanılmıştır. 0 ve 1'lerden oluşan bu sistem bir elin parmaklarına konumlandırılacağı için $2^5 = 32$ farklı kombinasyon sağlamaktadır. Birbirinden farklı kodlar Türkçedeki 29 harfi de karşılamaktadır. Ve kodlamalar yazılım üzerinde harflere atandığı için farklı dillere göre kolaylıkla değiştirilebilmektedir. Çalışma sırasında oluşturulmuş olan yazılım, sistemin dili Türkçe olarak seçilerek oluşturulmuştur. Buna göre ilk olarak bütün harflere sırasıyla binary kodlar atanmıştır (Tablo 3.1.).

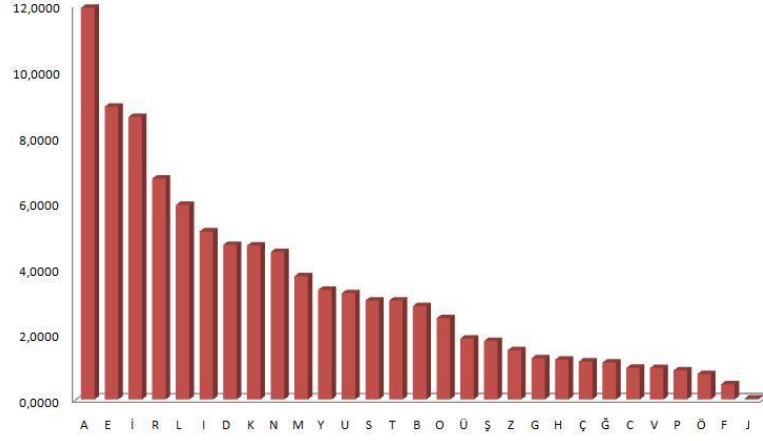
Sonrasında algılama zorluklarının aynı anda gelen uyarım sayısı ile arttığı gözlemlenmiş ve kodlamalar basitten karmaşığa doğru Türkçede harflerin kullanılma sıklığına [44] göre tekrar düzenlenmiştir (Tablo 3.2.).

Tablo 3.1. Türkçedeki harflerin binary kodlanması

Harf	Binary Karşılığı
A	00001
B	00010
C	00011
Ç	00100
D	00101
E	00110
F	00111
G	01000
Ğ	01001
H	01010
I	01011
İ	01100
J	01101
K	01110
L	01111
M	10000
N	10001
O	10010
Ö	10011
P	10100
R	10101
S	10110
Ş	10111
T	11000
U	11001
Ü	11010
V	11011
Y	11100
Z	11101



Şekil 3.8. Türkçede harflerin alfabetik olarak kullanım sıklıkları [44]



Şekil 3.9. Türkçede harflerin kullanım sıklıklarına göre sıralanmış hali [44]

Tablo 3.2. Binary kodların harflerin kullanım sıklıklarına göre düzenlenmiş hali

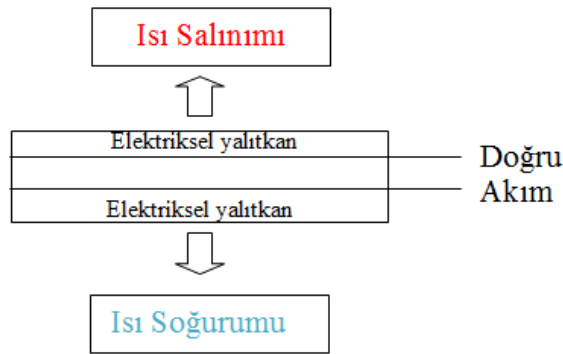
Harf	Binary Karşılığı
A	00001
E	00010
İ	00100
R	01000
L	10000
I	10001
D	01001
K	00101
N	01010
M	10101
Y	00011
U	10010
S	10100
T	00110
B	11000
O	01100
Ü	11001
Ş	01011
Z	01101
G	10011
H	10110
Ç	11010
Ğ	11100
C	00111
V	01110
P	10111
Ö	11101
F	01111
J	11110

3.4. Yazılım ve Donanım

Uyartım türü, konumu ve kullanılacak alfabeye karar verildikten sonra sistemin tasarlandığı gibi çalışması için gerekli donanım ve yazılım elemanları belirlenmiştir. Ayrı başlıklar halinde bileşenleri ve çalışma prensipleri verilmiştir.

3.4.1. Donanım

Donanım kısmında temel olarak soğuk uyarıcılar olarak çalışacak olan elektronik devre elemanları termoelektrik modüllerdir. Termoelektrik modüller, peltierler, iki farklı yüzeyi bulunan yarıiletken elektronik bileşenlerdir (Şekil 3.10.). Üzerinden doğru akım geçirildiğinde bir tarafı ısınma diğer tarafı ise soğuma eğilimi gösterir. Aslında bir pompa gibi çalışarak ısıyı bir yerden başka bir yere taşıma görevi görürler. Modülden akım geçmeye başladığında bir yüzeyden diğerine elektron akışı başlar, yüzeydeki sıcaklık absorbe olur ve diğer yüzeye doğru taşınır. Isının taşınması elektronların soğuyan yüzeyden ısınan yüzeye doğru akışı ile gerçekleşir. Bu yüzeylerin hangisinin ısınıp hangisinin soğuyacağı polariteye bağlı olarak belirlenmektedir. Akımın yönüne göre bu değiştirilebilir [45].



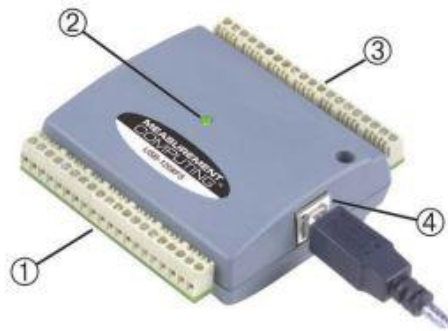
Şekil 3.10. Termoelektrik modül iç yapısı [45]

Termoelektrik modüller, uyarıcı olarak seçildikten sonra daha öncesinde belirlenmiş olan vücutta uyarıcıların konumlandırılacağı bölgeye göre boyutuna karar verilmiştir. Parmak üstünde yerleştirilmek istenen sistemde boyut belirleyici bir faktör olmuş olsa da yapısal özellikleri yanında elektronik özelliklerine de bakılarak kullanımı uygun bulunmuştur. Buna göre tercih edilen modül TEC1-00706T125' dir. 10x10x3.9 (mm) boyutundadır ve $I_{max} = 6A$, $V_{max} = 0.85V$, $R=0.110\Omega$ parametrelerine sahiptir.

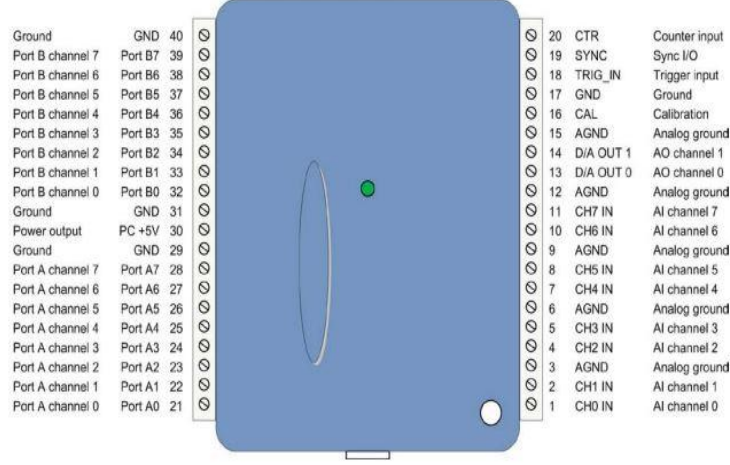


Şekil 3.11. Uyarıcı olarak seçilen termoelektrik modül

Ancak bu elemanların üzerinden uzun süreli akım geçirilmesi durumunda ısısının uzaklaştırıldığı taraf artık ısıyı uzaklaştıramaz hale gelip iki yüzeyin de ısınmasına ve cihazın özelliğini yitirerek bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle termoelektrik modüller için bir sürücü devre tasarımı geliştirilmiştir. Bu hem uyarıcının bozulmasının önüne geçmekte hem de soğuk hissinin uyarım olarak aktarılmasını sağlamaktadır. Sürücü devre bileşenleri termoelektrik modül dışında; yazılımın donanıma aktarılmasına olanak sağlayan MCC DAQ kart, anahtarlama görevi gören ve kazanç sağlayan Darlington Transistör, direnç ve DC güç kaynağıdır. Şekil 3.12.'de DAQ kartın dış yapısı numaralı kısımlarıyla birlikte gösterilmektedir. 1 numaralı ve 3 numaralı bölümde pinler yer almaktadır. Bunların bir tarafı analog, diğer tarafı ise dijital kullanım içindir. 2 numaralı LED, DAQ bilgisayara tanımlandığında sürekli yanar halde bulunan bir kontrol mekanizması sağlamaktadır. Bunun yanında gerçekleştirilen işleme göre de çalıştığı sürece yanıp sönme özelliği gösterir. 4 numaralı kısım kartın bilgisayar ile bağlantısının sağlanmasına yarar. Kart, elektronik devreye bağlanırken kullanılacak bacakları yazılımda da belirtilmek üzere aygıtın kendi kullanıcı kitapçığından pin yapılarını gösteren şemasından seçilmiştir (Şekil 3.13.).



Şekil 3.12. MCC DAQ Card USB-1208FS [46]



Şekil 3.13. MCC DAQ Card pin gösterimi [46]

Transistör olarak BDX53C tercih edilmiştir. Geriye kalan devre elemanları direnç ve DC güç kaynağıdır. Devre elemanlarının değerlerinin belirlenmesinde birtakım işlemler gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sırasında seçilen transistörün datasheetindeki değerlerinden ve türünden kaynaklı genel özelliklerinden yararlanılmıştır [47]. Transistör devrede bir anahtarlama sağlamak üzere bulunmaktadır ve bunu sağlayan V_{BE} voltajının bir eşik değeri olarak kullanılmasıdır. BDX53C, darlington transistör tipindedir ve bu tipteki transistörlerin ortak özelliği diğerlerine göre daha yüksek akım ve voltajlara dayanıklı oluşu, kazancının yüksek oluşudur. BDX53C ile ilgili kullanılacak gerekli bilgiler datasheetinden elde edilmiştir. Bunlardan en önemlisi V_{BE} eşik voltajının 0,7V yerine 1,4V olması ve h_{FE} 'sinin $I_C=3A$ iken minimum 750 oluşudur.

Peltier çalışma grafikleri de göz önünde bulundurulduğunda yüksek akımda birim zamanda daha hızlı bir sıcaklık değişimi sağladığı bilinmektedir. Kullanılan termoelektrik modülün datasheetinden de transistör kazancıyla ulaşmak istenen akım değeri belirlenmiştir [48]. $I_{max}= 6A$ olan modül için ulaşmak istenen akım değeri 5A'dır. Bütün bu bilgiler ışığında gerçekleştirilen işlemler aşağıda verilmiştir.

$I_C = 5A$ için;

$$I_C = \beta \cdot I_B \quad (3.1)$$

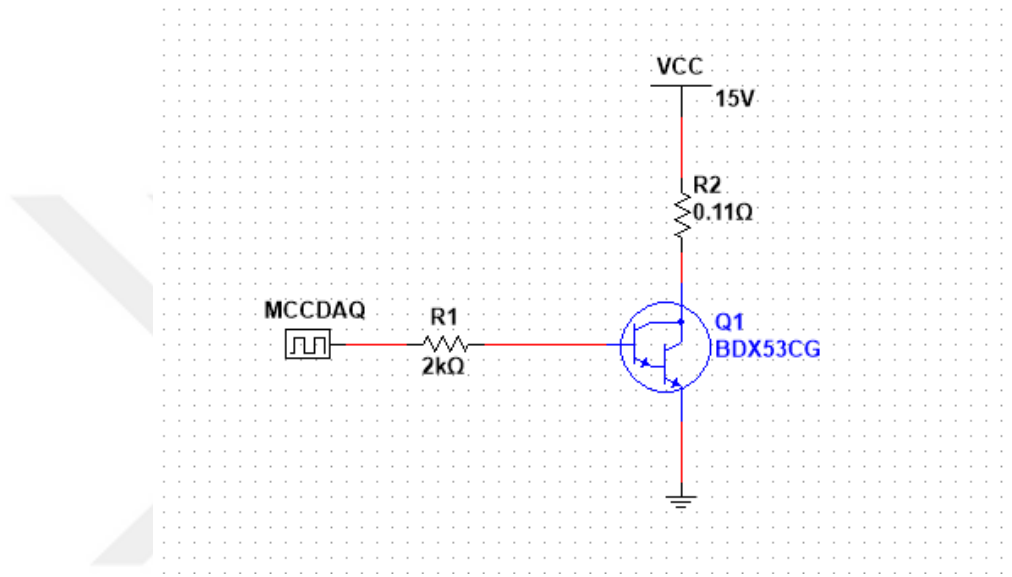
$$I_B = \frac{5V - 1,4V}{R_B} = \frac{3,6V}{R_B} \quad (3.2)$$

$$5A = \beta \cdot \frac{3,6V}{R_B} \quad (3.3)$$

3.1 ve 3.2 eşitliklerinin $I_c=5A$ değeriyle birleştirilip kullanıldığı 3.3 eşitliğinden $R_B = 2k\Omega$ olarak belirlenmiştir.

Kullanılacak DC güç kaynağı yani V_{cc} değeri ise transistörün V_c değerini ve modül üzerindeki voltajı değiştirir, akım üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmamaktadır. 15V olarak kullanımı uygun görülmüştür.

Devre elemanlarının değerlerinin belirlenmesi ve yerleşimleriyle birlikte son halini alan sürücü devre Multisim programında oluşturulmuş ve Şekil 3.14.'te verilmiştir.

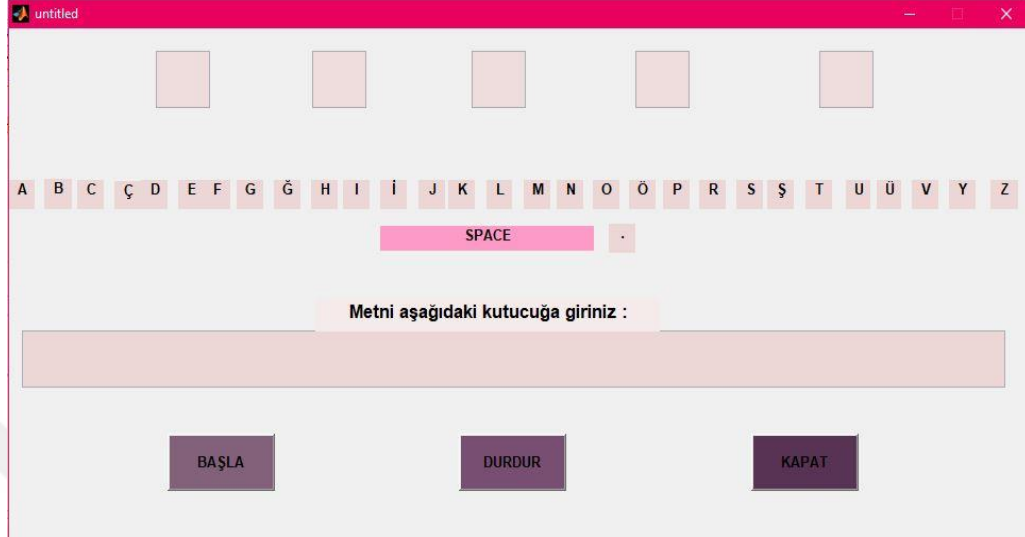


Şekil 3.14. Sürücü devre

3.4.2. Yazılım

Sistemin yazılım kısmında ise MATLAB kullanılmıştır. MCC DAQ kart ile elektronik kısımla birleşimi sağlanmış ve kart dolayısıyla Data Acquisition Toolbox' tan faydalanılmıştır. Deneyler sırasında deney yürütücüsünün takibi için bir ara yüz tasarlanarak işe başlanmıştır. MATLAB' da GUI olarak adlandırılan ara yüzde 5 adet uyarıcıya karşılık gelen 5 adet “Edit Text” kutusu, onların altında dil Türkçe olarak seçildiği için 29 harfin ayrı ayrı yer aldığı 29 adet “Static Text” kutusu, devamında deney yürütücüsünü yönlendiren bir bilgilendirme yazısının yer aldığı “Static Text” kutusu ve hemen altında soğuk uyarıcıların aktaracağı metnin girileceği “Edit Text” kutusu, son olarak en altta başlat, durdur ve kapat işlemlerini yapan 3 adet “Push Button” yer almaktadır. Edit Text, Static Text ve Push Button MATLAB GUI tarafından kullanıcıya sunulmuş özel yapılardan sadece üç tanesidir. Hepsinin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. İlk olarak Static Text, metni kullanıcıya göstermek için kullanılır. Edit Text ise kullanıcıdan veri girişi için veya kod içinde değişen

değer ve karakterleri değişimine göre gerçek zamanlı gösterebilmek için kullanılır. Push Button ise üzerine tıklandığında fonksiyonu içindeki adımları gerçekleştiren bir anahtar görevi görür.



Şekil 3.15. Deney yürütücüsü için arayüz tasarımı

Arayüz oluşturulduktan sonra üstüne yerleştirilen her bileşen için bir fonksiyon açan, düzenlenmemiş kod ekrana gelmektedir. Bu kod üzerinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. İşleyiş sırasına göre önce metin kullanıcı tarafından girilecek ve sonra “Başla” butonuna basılacaktır. Metnin girilmesi istenen Edit Text kısmı için girilen metni String olarak almasını sağlayan kod oluşturulmuştur. Başla butonu fonksiyonu içinde ise alınan metnin uzunluğuna her karakterinin 29 harften hangisiyle eşleştiğinin kontrol edilmesini sağlayan -aslında harf harf analizini gerçekleştiren- ve harflere atanması karar verilmiş binary kodları atayan bir kod dizini yer almaktadır. Oluşturulmuş binary kod Edit Text olarak arayüzün en üstünde verilen 5 kutucukta 0 ve 1’ ler olarak gözlemlenecektir. Bunun yanında metnin karakterleri sırasıyla hangi harfle eşleştiyse ve 5’ li binary kodlama hangi harf içinse Static Text olarak verilen 29 kutuda siyah olarak yer alan harflerin uyarı süresi boyunca yine sırasıyla kırmızı renge dönmesi ve sonra tekrar siyah renk alması sağlanmıştır. Örneğin metin ALİ olsun (Şekil 3.16.). İlk karakterini karşılayan harf bulunduğunda kişiye o harfe karşılık gelen binary kodlama oluşturulmaktadır. A harfi için 10000 olan binary kodu 5’li kutucukta gösterilirken, altında A harfinin bulunduğu Static Text kutusunda A karakteri kırmızı renk alacaktır (Şekil 3.16.). Sonrasında A tekrar siyah hale gelecektir. L harfinin binary kodu yukarıdaki kutucuklarda gösterilirken L harfi kırmızı renk alacak ve uyarı süresi boyunca öyle kalacaktır. İ’ye geçmeden önce L mutlaka siyah hale dönmektedir. Son olarak İ harfinin binary kodu eşleştirilip yukarıya yazıldığında İ harfi kırmızı olacak ve kod

sonunda tekrar siyahlaşacaktır. Bu şekilde deney yürütücüsü girdiği metnin kontrolünü sağlayabilmektedir



Şekil 3.16. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "A"



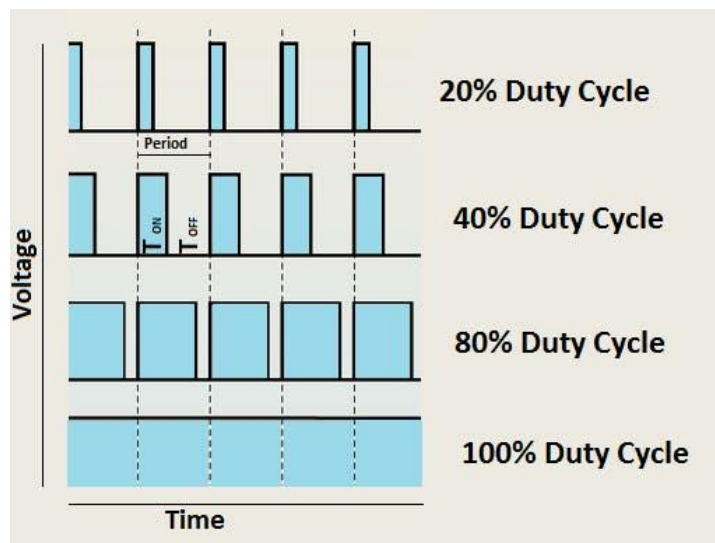
Şekil 3.17. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "L"



Şekil 3.18. Kodlama sırasında arayüz görüntüsü "İ"

“Durdur” butonu, işlemi duraklatıp tekrar başlatmaya olanak sağlarken; “Kapat” butonu arayüzü tamamıyla kapatmaktadır. Eklenen bu özel yapılar dışında GUI Opening

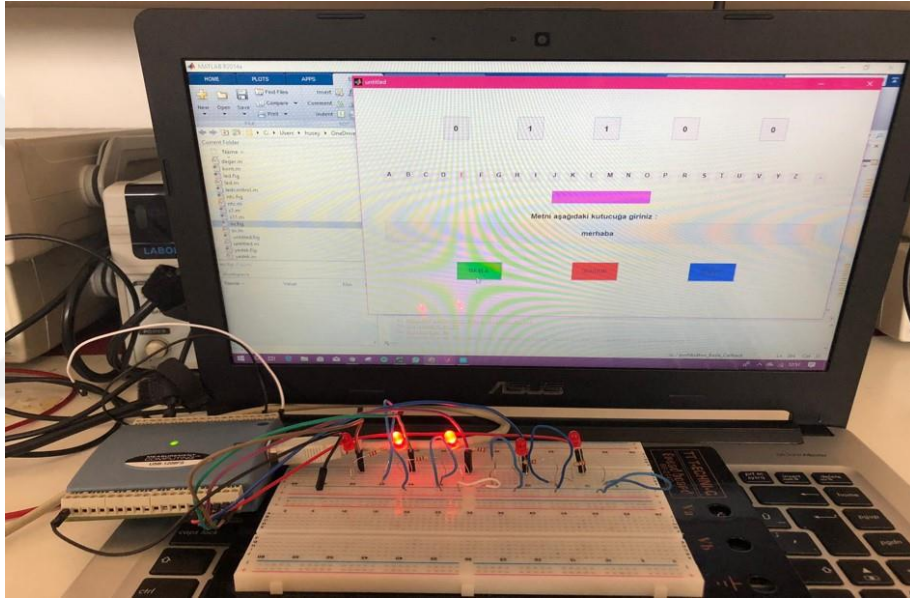
Function içerisinde DAQ kart tanımlaması, hangi pinlerinin kullanılacağı ve ne şekilde kullanılacağı, bu çalışma için frekans değerinin girilmesi, frekansa göre zaman ve zamandan da pwmt, pwmc değişkenlerinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir. DAQ kart tanımlaması adımı kartın türü ve ne şekilde kullanılacağı belirtilmektedir (MCC, Digital). Kaç bacağının kullanılacağı konusunda aktüatör sayısı etkili olmaktadır. Donanımda da her bir modül için ayrı bir sürücü devre tasarlanmıştır. Bu bacakların Digital Input/Output olarak kullanılacağı belirtilmiştir. Donanım kısmında verilen pin gösteriminden uygun sayıda bacak seçilmiştir. Ve hepsi dışında bir GND bacağı mutlaka eklenmiştir. Aynı zamanda input göndermek değil, output almak hedeflenmektedir ve kod içinde bu da belirtilmektedir. Frekans değeri kolaylıkla değişebilir ve ulaşılabilir haldedir ve diğer değişkenler de onun değişimiyle değişmektedir. Zaman, girilen frekansa bağlı olarak hesaplatılmaktadır. Modülün bir uyarım için kaç saniye aktif kaç saniye pasif olacağı “pwm-tepe” ve “pwm-çukur” değerleriyle zamana bağlı olarak formülize edilmiştir. Bu değerlerden Duty Cycle olarak da bahsedilmektedir. Duty cycle kare dalganın bir periyodu boyunca yüzde kaçının tepe değer olduğunu gösteren bir oran vermektedir (Şekil 3.19.). PWM, bu haliyle Pulse Width Modulation anlamına gelmektedir. Yani sinyal genişlik modülasyonu olarak Türkçeleştirilebilir. Genellikle pulse halinde gönderilen kare dalga söz konusu olduğunda gündeme gelen bir kavramdır. Pulse olmasından kaynaklı bir anahtarlama söz konusudur. Sürücü devreye gönderilen pulsalar kimi zaman modülü aktifleştirmekte kimi zaman pasifleştirmektedir. Böylece donanım bölümünde de bahsedilmiş olan koruma ve uyarı aktarımı sağlanmaktadır.



Şekil 3.19. Duty Cycle gösterimi [49]

3.5. Kontroller

Sistemin yazılım ve donanım kısımları birleştirilmek üzere ayrı ayrı tasarlanıp oluşturulduktan sonra herhangi bir aksaklık olmaması adına birtakım kontrollerden geçirilmiştir. Yazılım kısmının istenilen şekilde çalışıp çalışmadığından emin olmak için çıkışları termoelektrik modüllere bağlanmadan önce LED'ler ile görsel olarak kontrolü sağlanmıştır. Arayüzden girilen metnin analizi sırasında görülen 5'li binary kod ile LED'lerin yanıp sönmesi göz ile kolayca takip edilebilir bir görsel sunmaktadır. Şekil 3.20.'de bu kontroller sırasında elde edilmiş fotoğrafa yer verilmiştir. Burada uyarıların doğru pinlere gitmesinin dışında frekansta yapılan herhangi bir değişimin de çıkışa uygulandığından emin olunmuştur.

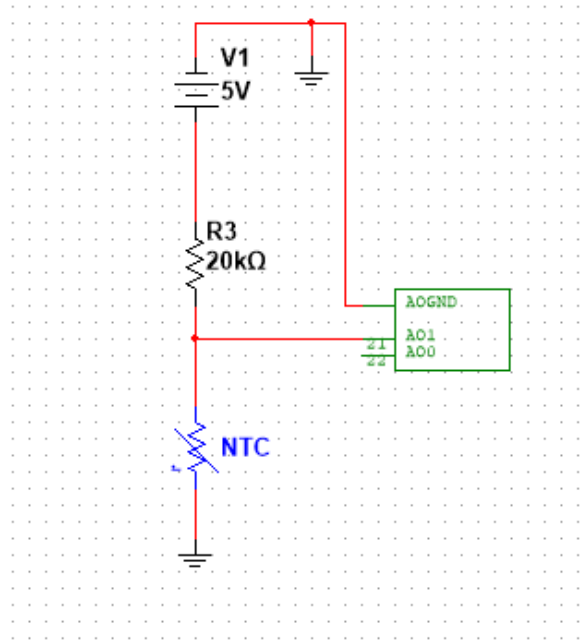


Şekil 3.20. Binary kodun LED'ler ile kontrol edilmesi

Donanım kısmında ise sürücü devreyle kullanılacak temel elemanın, uyarıcı olarak seçilen termoelektrik modüllerin NTC ile kontrolü gerçekleştirilmiştir. NTC, negatif ısı katsayılı termistör ve ısı direnç olarak da adlandırılmaktadır. Sıcaklık ile iletkenliği, buna bağlı olarak da direnci değişen bir tür devre elemanıdır. Sıcaklığın artmasıyla elektronların sayısı da artmakta ve elektrik yükü taşınması kolaylaşmaktadır. Bu kolaylık sıcaklığın artışıyla direncin düşmesi anlamına gelir. Kullanılan NTC, termoelektrik modülün boyutu ve meydana getirebildiği sıcaklık farkı göz önünde bulundurularak ulaşılabilen en küçük ve en hassas 10k Ω 'luk inci NTC'lerden tercih edilmiştir. Kod olarak MF52 NTC olarak ulaşılabilir (Şekil 3.21.). Kullanılan devrenin Multisim üzerinde oluşturulmuş hali Şekil 3.22.'de görülmektedir.

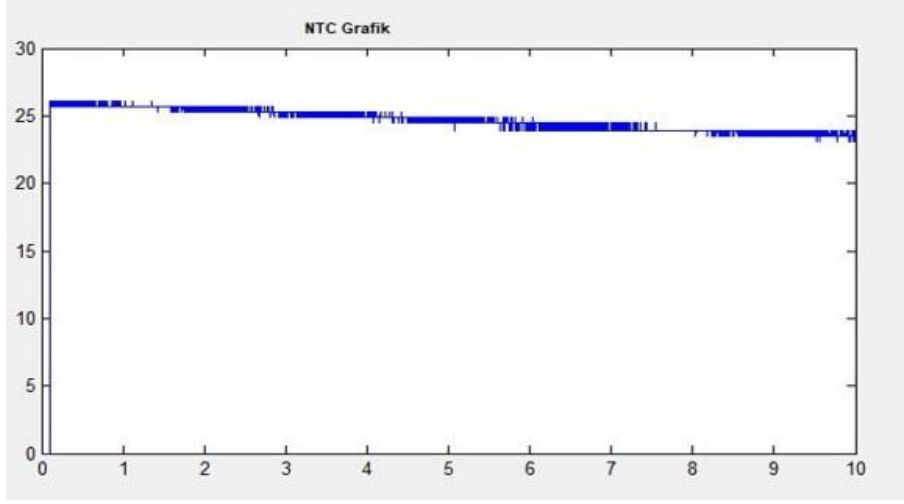


Şekil 3.21. Yüksek hassasiyet ve küçük boyutlu MF52 NTC [50]

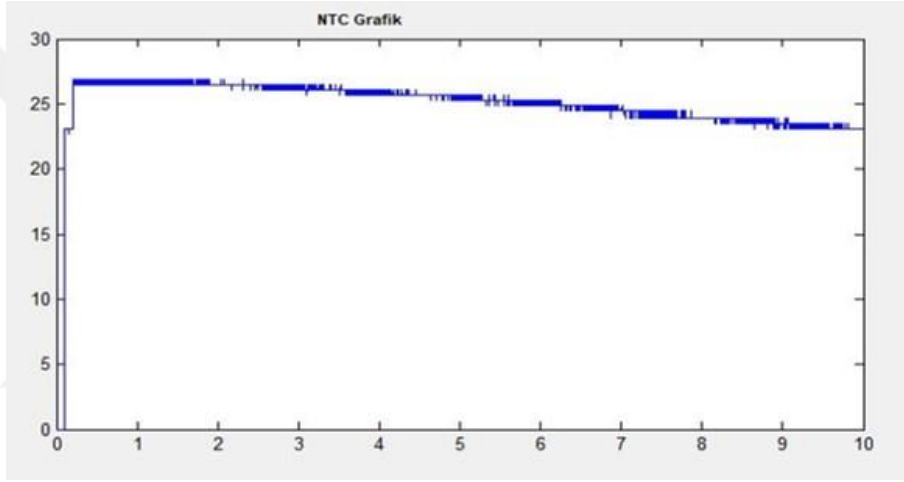


Şekil 3.22. NTC ile kontrol devresi

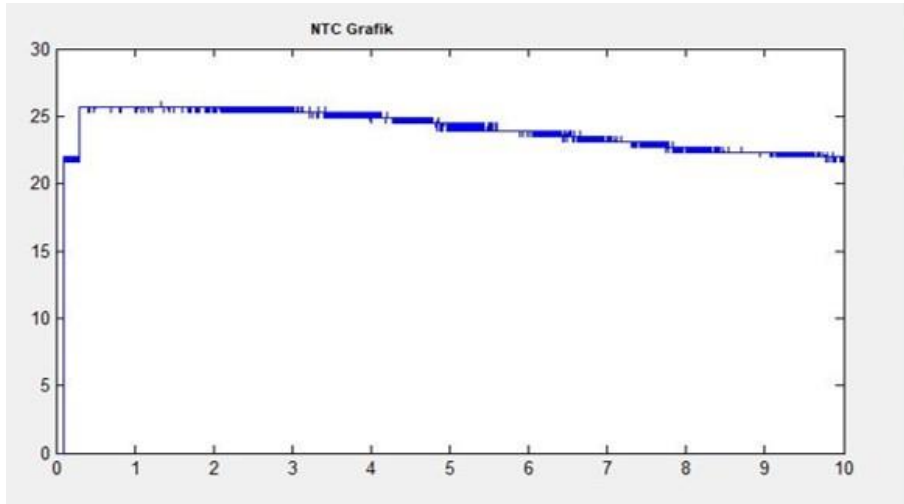
Öncelikle NTC'nin oda sıcaklığındaki voltaj değeri ve vücut sıcaklığında eriştiği voltaj değerine göre bir kalibrasyon sağlanmış ve eşitlik oluşturulmuştur. Bu eşitlik sayesinde modüllerin sıcaklıklarındaki değişimler gerçek zamanlı olarak grafik üzerinde izlenebilmiştir. Bilgisayardan devreye bu adımda DAQ ile bir aktarım olmaksızın, NTC üzerindeki voltajın değişimi bilgisayarda gerçek zamanlı takip edilmek istenmektedir. Analog bir girişin yazılımda işlenmesi ve gösterimi hedeflendiği için MCC DAQ kartın bu sefer karşıdaki pinlerinden yararlanılmış ve analog input ile verinin alımı sağlanmıştır. Termoelektrik modül üzerinden geçirilen akımın artmasıyla nasıl bir değişim görüldüğünü izlemek üzere 3 adet farklı duruma grafik oluşturulmuştur. Ve modülün datasheetinde de belirtildiği gibi üzerinden geçen akım arttıkça birim zamandaki sıcaklık değişiminin arttığı doğrulanmıştır. Kullanılan modülde bunun tehdit edici bir düşüş göstermediği ancak ve ancak insanın algılayabileceği kadar soğuyabildiği gözlenmektedir.



Şekil 3.23. 1A için NTC grafiği



Şekil 3.24. 2A için NTC grafiği



Şekil 3.25. 3A için NTC grafiği

3.6. Deney Prosedürü

Gerekli kontroller de sağlandıktan sonra deneklerden gerekli verileri toplamak üzere bir deney prosedürü oluşturma yoluna gidilmiştir. Bunun için literatürdeki çalışmaların bu bilgileri üzerinde yoğunlaşmıştır. Denek sayısı, frekans yaklaşımı, prosedür ve incelenen parametreler açısından bilgi edinilmiş olanlar olarak bu bölümde derlenmiştir.

2001 yılında LevaËnen et. al., 6 kişiden oluşan kontrol grubu ve 6 kişiden oluşan deney grubu üzerinde gerçekleştirdiği çalışmasında titreşimi uyarıcı olarak tercih etmiştir. 38 mm çapında plastik tüpün avuç içinde tutulmasıyla yürütülen deneylerde kontrol grubunun dış ortam izolasyonu için kulaklık kullanılmıştır. 2 uyartım arasındaki süre farkı deneklerin performansına göre belirlenmiştir. Sonucunda sağlıklı bireyler ve engelli bireylerin algısı kıyaslanmıştır [1].

2012 yılında Gollner et. al., uyarıcı olarak titreşimi tercih ettikleri LormGlove sistemlerinde deneylerin işleyişi hakkında bilgi vermemişlerdir, yeni bir sistem geliştirilmesi üzerinde durarak sistem bileşenlerinden bahsetmişlerdir. Kişisel algı ve hız farklılıkları göz önünde bulundurularak karakter algılandıktan sonra veya sensörlerden gönderme işi tamamlandıktan sonra ayrı bir buton ile bittiği bilgisi vermeleri istenmiştir [30].

2015 yılında Choudhary et. al., uyarıcı olarak titreşimi kullandığı BrailleGlove çalışmasında deney işleyişi hakkında bilgiden ziyade sistemin bileşenleri ve yeni bir sistem geliştirilmesi üzerinde durmuştur. Hızla ilgili doğrudan bir bilgi bulunmamaktadır, bir önceki çalışmada olduğu gibi butonla kişisel kontrol sağlanmaktadır. Bu bağlamda öncekinden ayıran en belirgin farkı alfabe değişikliğidir [32].

2016 yılında Yi-Chi Liao et. al., geliştirdiği EdgeVib bileklik sistemi için denek sayısını 24 olarak belirlemiştir. 12'si kadın, belirli yaş aralığında 24 kişi üstünde deneyler uygulanmıştır. Doğrudan deneylere başlanmamış, 15 dakikalık bir alıştırma süresi tanınmıştır. Katılımcıların bir kısmına karakter karakter aktarım denenirken, başka bir kısmına kısaltmaların ve kodlamaların aktarımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Hız üstünde durulmamıştır. Ve aktüatörlerin cevap sürelerinin insanın maksimum algısının saptanmasının önüne geçtiği vurgulanmıştır [33].

2017 yılında Gaffary et. al., deri gerilimine bağlı olarak algılama hedefleyen ve 3 farklı alfabeyi kullanan sisteminde yaşları 23-40 arasında değişen 2'si kadın 9 katılımcı kullanmıştır. Deneyler 5 farklı günde tamamlanmıştır. Her seans 30 dakika sürdürülmüştür. Öncesinde deneklere alışma ve sistemi tanıma süresi tanınmıştır. Uyarının denek tarafından algılanıp klavyeden girmesi istenmektedir, doğru karakter girilene kadar devam edilir. Her alfabe için değişen bir süre ve frekans söz konusu olmuştur. Morse için dakikada 24 karakter,

TwoDashes için dakikada 28 karakter, Unistrokes içinse dakikada 21 karakter aktarılabilmektedir. Sonucunda bu 3 alfabenin dokunsal sistemlerde kullanımına dayalı bir karşılaştırma sunulmuştur [37].

2017 yılında Savindu et. al., BrailleBand adını verdikleri ve titreşim uyarımını tercih ettikleri kolluklu sistemlerinde, 7'si erkek 10 görme engelli katılımcı denek olarak çalışmaya katılmıştır. Üç parametreye ulaşmak üzere çalışmalar gerçekleştirilmiştir: okuma hızı, transfer oranı, cihaz kullanım rahatlığı. Karakterler gönderilirken 2 karakter arasında 1000 ms beklemek suretiyle 1 Braille noktası için 300 ms gerektiği belirtilmiştir. Karakterler arasındaki bekleme süresinin artmasıyla algılama doğruluğu arasındaki doğru orantıya dikkat çekilmiştir [36].

2017 yılında Oliver Oziokov et. al., SmartFingerBraille adını verdikleri tasarımlarında titreşimi uyarıcı olarak kullanmıştır. Denek sayısı belirtilmemiştir ancak deney prosedürü yerine cihaz testleri olarak birtakım çalışmalar sunulmuştur. Bu çalışmalarda İngiliz Alfabesindeki 26 harf, kısa kelimeler, özel karakterler denemelerde kullanılmıştır [35].

2017 yılında Albano Carrera et. al., 9 erkek 9 kadından oluşan 18 kişilik kontrol grubu ve 3 erkek 1 kadından oluşan 4 kişilik işitme ve görme engelli grup üzerinde geliştirdikleri titreşim uyarıcılı eldiven sistemlerini denemişlerdir. Gerekli cümleler konsept halinde başlıklara ayrılmıştır. Algılama için kişiye 3 tekrar uygulanmaktadır. Sonuçlar bir tablo ve sonrasında da grafik halinde sunulmuştur. Parametreler: aktarım karmaşıklığı, frekans, parmakların hassasiyetidir. Algılama hızının kişiselliği ve değiştirilebilir olması gerektiği savunulmaktadır. Dokunsal algının bağlı olduğu yaş, vücut sıcaklığı, menstrüal döngü, yağ etkenlerine değinilmiştir [34].

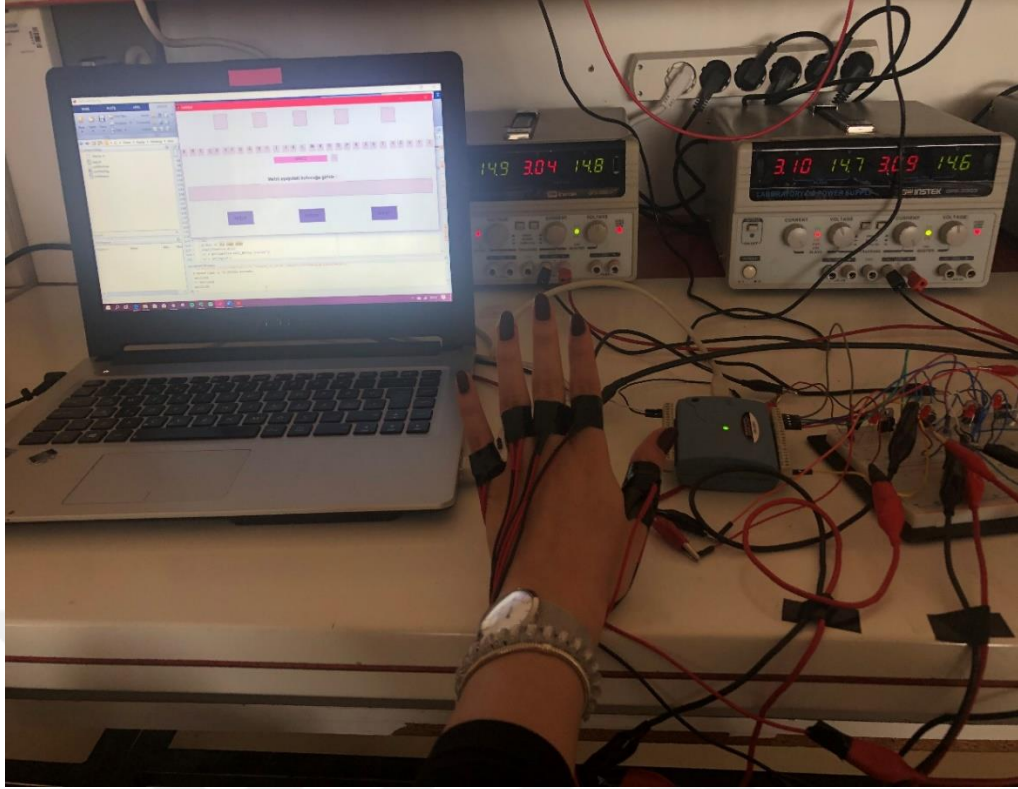
2018 yılında Caporusso et. al., uyarıcı olarak titreşimi kullandıkları Malossi alfabesi kullanarak geliştirdikleri giyilebilir sistemlerinde veri alımı ve gönderimine izin veren bir çalışma yürütmüşlerdir. 88 katılımcı üzerinde denenmiştir. Frekans ve hız bilgisi yer almamaktadır. Veri gönderimi ve alımı ayrı ayrı değerlendirilmek üzere ayrılmıştır. Harf harf aktarım çalışılmıştır. Deney öncesi output için 5 dakika, input için 10 dakika alıştırmaya süresi deneklere tanınmıştır. Sonundaysa hangi harfin ne oranda algılandığı, çeşitli parmakların bölümlerinin farklı algıları görselleştirilerek sunulmuştur [38].

2018 yılında Nakatani et. al., titreşim uyarısını termal uyarı ile destekleyen sistemlerinde 5 katılımcı üzerinde denemeler yapmış ancak işleyişten yeni bir sistem sunulmuş olması ve bileşenlerinden bahsedilmiştir. 5 saniyede 1 uyarı gönderecek bu sistemin termoelektrik modülleri kullanıyor oluşu tez çalışmasıyla ortak noktalar

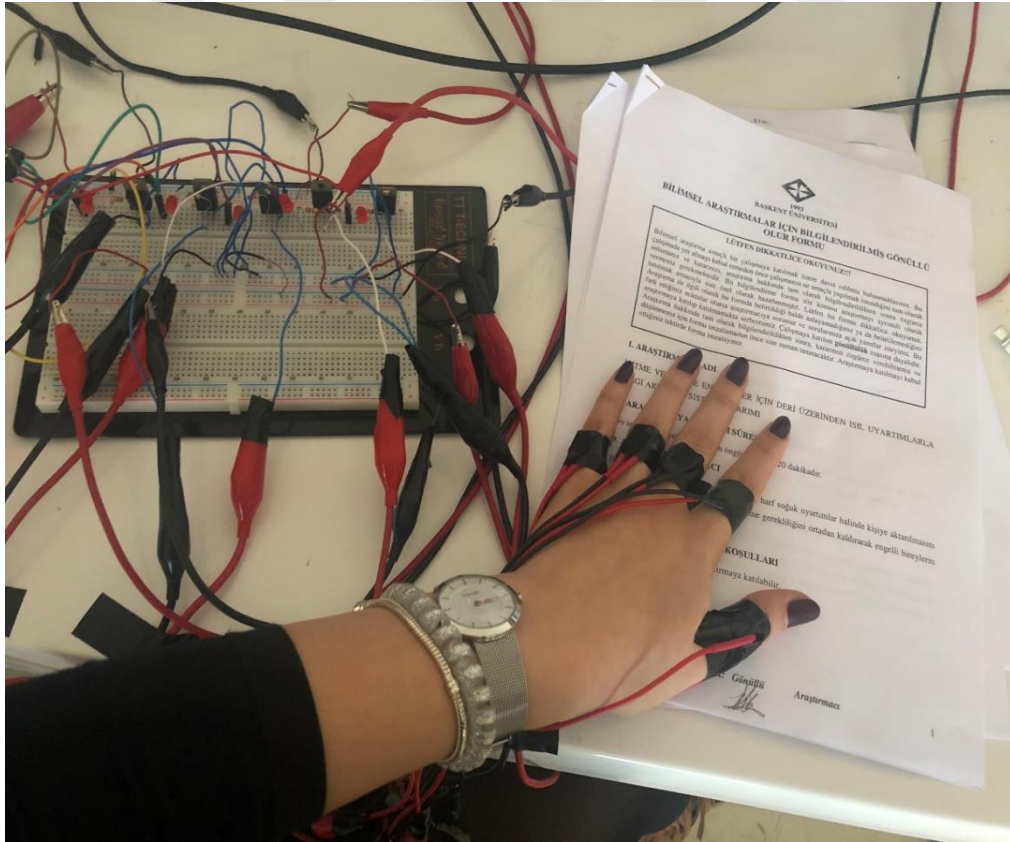
yaratmaktadır. Modüllerin ısınma problemlerine değinilmiş ve iki uyarı çeşidinin bir arada kullanılmasıyla birbirlerinin eksiklerini gidereceği savunulmuştur [39].

Bütün bu çalışmalar göz önünde tutularak deney prosedürü oluşturulmuştur. Buna göre denekler 20-35 yaş arası, sağlıklı 5 kadın ve 5 erkek olarak gönüllük esasına dayanarak seçilmiştir. Kişilerin herhangi bir engeli bulunmadığından deney sırasında dikkatlerini sadece dokunsal algıya vermelerini sağlamak için laboratuvarında deney yürütücüsü ve denek dışında kimsenin bulunmamasına ve sessizliğe önem gösterilmiştir. Kişilere sistemi tanıma ve uyarıların nasıl bir his yaratacağını göstermek için 5 dakikalık alıştırma süresi tanınmıştır. Bu süreçten sonra önlerine 5 sütundan oluşan bir tablo konulmuştur. Binary olarak kodlanmış alfabe sırasıyla 1 uyarım, 2 uyarım, 3 uyarım ve 4 uyarım olacak şekilde 29 harf için kişiye gönderilmiş ve kişinin soğukluk hissettiği parmağının olduğu sütuna bir işaret koyması istenmiştir. Harflerin tek tek gönderilmesinden sonra 2 harfli anlamlı veya anlamsız bir kelime gönderilmiştir. Burada aynı harfin bir kelimeymiş gibi 2 kez arka arkaya gönderilmesi durumunda bu hissedilebiliyor mu veya aynı parmakta uyarı içeren farklı harfler arka arkaya gönderildiğinde veride bir kayıp oluyor mu durumları incelenmek istenmektedir. Sonra kişinin tek bir parmağına sayısı bilinmeyen uyarı gönderilmiş ve bunu hangi parmakta kaç adet hissettiği not edilmiştir. Bu adımda soğuk uyarıların pulse olarak gelişinin algısı kontrol edilmektedir. Sonrasında 3 harfli bir kelime gönderilmiş ve her harfin algısının tek satırda işaretlenmesi istenmiştir. Bu kelimeler için kişiye 3 defa şans tanınmıştır. Aynı işlemler 4 ve 5 harfli birer kelime için de tekrarlandıktan sonra denekten cihaz konforu ve kullanım kolaylığını 10 üzerinden puanlaması istenmiştir. Böylece deney sonlandırılmıştır. Sistemin deneğe bağlı görseli Şekil 3.24.'te ve Şekil 3.25.'te görülmektedir ve deney sırasında doldurulması gereken tablo Tablo 3.3.'te cevaplarıyla birlikte verilmiştir.

Deney öncesinde Başkent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu'ndan gerekli izin alınmış ve gönüllü olarak katılan deneklerin her birine hazırlanan Bilimsel Araştırmalar İçin Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu sunulmuş ve doldurulması sağlanmıştır.



Şekil 3.26. Sistemin deney yürütücüsü tarafından test edilmesi



Şekil 3.27. Deneklerin bulunacağı kısmın LED'lerle son kontrolü

Tablo 3.3. Denekler tarafından doldurulması istenen tablo

Harf	Baş Parmak	İşaret Parmağı	Orta Parmak	Yüzük Parmağı	Serçe Parmak
A	✓				
R				✓	
İ			✓		
E		✓			
L					✓
I	✓				✓
D	✓			✓	
K	✓		✓		
T		✓	✓		
U		✓			✓
O			✓	✓	
S			✓		✓
B				✓	✓
Y	✓	✓			
N		✓		✓	
M	✓		✓		
Ü	✓			✓	✓
Ş	✓	✓		✓	
V		✓	✓	✓	
Z	✓		✓	✓	
H		✓	✓		✓
G	✓	✓			✓
Ğ			✓	✓	✓
Ç		✓		✓	✓
C	✓	✓	✓		
Ö	✓		✓	✓	✓
P	✓	✓	✓		✓
J		✓	✓	✓	✓
F	✓	✓	✓	✓	

Tablo 3.3. devam ediyor.

A	✓				
A	✓				

A	✓				
I	✓				✓

B				✓	✓
B				✓	✓

B				✓	✓
Ç		✓		✓	✓

H		✓	✓		✓
E		✓			
R				✓	

H		✓	✓		✓
E		✓			
R				✓	

H		✓	✓		✓
E		✓			
R				✓	

İ			✓		
Ç		✓		✓	✓
İ			✓		
N		✓		✓	

Tablo 3.3. devam ediyor.

İ			✓		
Ç		✓		✓	✓
İ			✓		
N		✓		✓	

İ			✓		
Ç		✓		✓	✓
İ			✓		
N		✓		✓	

K	✓		✓		
A	✓				
D	✓			✓	
A	✓				
R				✓	

K	✓		✓		
A	✓				
D	✓			✓	
A	✓				
R				✓	

K	✓		✓		
A	✓				
D	✓			✓	
A	✓				
R				✓	

Cihaz Konforu: .../10

Kullanım Kolaylığı: .../10

4. BULGULAR

Bu kısma kadar olan tüm bilgilerin ışığında öncelikle sistem tasarımı tamamlanıp gerekli kontroller sağlandıktan sonra denekler üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu başlık altında deney sonuçlarına farklı parametrelere göre yer verilecektir. Hazırlanan deney prosedürü 5 erkek 5 kadın olmak üzere 20-35 yaş arası 10 denek üzerinde uygulanmıştır. Deney sonuçlarında elde edilen bulgulara göre değerlendirilecek parametreler; aktarım karmaşıklığı, parmakların algıları, frekans, cinsiyet, cihaz konforu ve kullanım kolaylığı olarak belirlenmiştir.

Aktarım karmaşıklığı parametresi altında incelenecek alt başlıklar: uyarım sayısı, uyarıcıların birbirine göre konumları, arka arkaya gelen uyarılar ve harf sayısının artmasıdır. Uyarım sayısı parametresi çerçevesinde, deneyler az uyarım sayısından çok uyarım sayısına doğru alfabenin kişiye aktarılmasıyla başlamaktadır. Tek bir parmağa uyarının gittiği ilk durumda A, R, İ, E, L harfleri deneğe gönderilmiş ve işaretlemeleri algılarına göre oluşturulmuştur. İşaretlemelerin sonuçlarına bakıldığında sadece 2 erkek denek işaret parmağı ve orta parmak farkını ayırt edememiş bu yüzden harflerden birinin algısını gerçekleştirememiştir. Onlar dışındaki 8 kişi doğru bir şekilde tek uyarımlı harfleri algılamışlardır. Ortalama olarak 5 harfin 4,8'i başarılı olarak algılanmıştır. Bu oran diğerleriyle kıyaslayabilmek adına yüzdeye çevrildiğinde %96 sonucu elde edilir. Standart sapması 0,42'dir. Sonrasında iki uyarımlı I, D, K, T, U, O, S, B, Y, N harfleri sırasıyla gönderilmiş ve yine hissettikleri parmakların sütununda işaretlemeler gerçekleştirilmiştir. Bu adımdaki başarıya bakıldığında 10 harfin ortalama olarak 7,9 adeti başarıyla algılanmış görülmektedir. Standart sapması 0,74'tür. Yüzdeye çevrildiğinde %79 sonucu elde edilir. Üç ve dört uyarımlı harfler bu uygulamayı takip etmektedir. Üç uyarımlı da 10 adet harf bulunmaktadır. Bunlar M, Ü, Ş, V, Z, H, G, Ğ, Ç, C'dir. Denekler tarafından bu 10 harfin ortalama olarak 6,8 tanesi doğru algılanmıştır. Bu da %68 sonucunu vermektedir, standart sapması 1,48'dir. Dört uyarımlı harfler ise 4 tanedir ve bunlar Ö, P, J ve F'dir. Bu 4 harfin ortalama olarak 3,1 tanesi doğru algılanmıştır, yüzdeye çevrildiğinde %77,5 sonucu edilir, standart sapması 0,57'dir. Tablo 4.1.'de uyarım sayısı ile değişen algılama doğruluklarına yer verilmiştir. Aktarım karmaşıklığı parametresi altında incelenmesi gereken bir diğer husus da uyarıcıların birbirine göre konumlarıdır. Alfabadeki harfler kullanım sıklığına göre basitten karmaşığa doğru kodlanırken hem uyarım sayısı hem de uyarımların birbirine mesafesi göz önüne alınmıştır. Sayı arttıkça olabildiğince birbirinden uzak

konumlandırılmasına özen gösterilmiştir. Bu sayede algıyı kolaylaştırmak ve doğruluğu artırmak hedeflenmiştir.

Tablo 4.1. Uyarım sayısı arttıkça değişen algılama doğrulukları

	Kadın (%)	Erkek (%)	Toplam (%)
Tek Uyarım	100	92	96
İkili Uyarım	82	76	79
Üçlü Uyarım	70	66	68
Dörtlü Uyarım	85	70	77,5
Ortalama	84,25	76	80,13

İki uyarımlı harflerin kodlamasında uyarıcıların birbirine en uzak olduğundan başlanarak en yakın olduğuna doğru bir inceleme gerçekleştirildiğinde harfler I, D, U, K, S, N, T, O, B ve Y şeklinde yeniden sıralanabilir. Bunların hangi doğrulukla algılandığı binary kodlarıyla birlikte sunulmuştur (Tablo 4.2.).

Tablo 4.2. İki uyarımlı harfler basitten karmaşığa dizilimi ve algılama doğrulukları

Harf ve Binary Kodu	Kadın (%)	Erkek (%)
I (10001)	90	100
D (10010)	60	90
U (01001)	100	90
K (10100)	90	80
S (00101)	100	80
N (01010)	90	80
T (01100)	80	70
O (00110)	100	60
B (00011)	90	100
Y (11000)	100	90

Üçlü uyartım için de aktarım karmaşıklığı uyarıcıların konumlarının birbirine göre uzaklığına bakarak ikili uyartım için incelendiği gibi incelenmiştir. Önce kodlanmış harflerin sıralaması uyarıcıların birbirine olan konumuna göre uzaktan yakına doğru düzenlenmiştir. Buna göre M, Ü, G, Ş, Z, H, Ç, V, Ğ, C şeklinde bir sıralama oluşturulmuştur. Bu harflerin algılanma doğrulukları ve binary kodları Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Üç uyartımlı harfler basitten karmaşığa dizilimi ve algılama doğrulukları

Harf ve Binary Kodu	Kadın (%)	Erkek (%)
M (10101)	95	95
Ü (10011)	95	85
G (11001)	90	90
Ş (11010)	80	80
Z (10110)	85	90
H (01101)	90	85
Ç (01011)	90	75
V (01110)	100	95
Ğ (00111)	100	100
C (11100)	100	95

Dört uyartım içeren harflerde konumlandırmayla ilgili bir sıralama uygulanamamış olsa da algılama doğrulukları harf bazında binary kodlarıyla birlikte verilmiştir (Tablo 4.4.).

Tablo 4.4. Dört uyartımlı harfler algılama doğrulukları

Harf ve Binary Kodu	Kadın (%)	Erkek (%)
J (01111)	100	85
Ö (10111)	95	95
P (11101)	90	80
F (11110)	100	65

Deneyin bu adımına kadar harfler, binary kodlarına göre tek uyartım halinde de olsa birden çok uyartım da içerse deneğe tek tek gönderilmiştir. Aktarım karmaşıklığı açısından değerlendirilecek bir diğer durum ise arka arkaya gönderilen uyarıların zaman algısının sağlanabiliyor oluşudur. Bunun için öncelikle 2 harfli bir kelimemişçesine 2 harfin arka arkaya gönderilmesi sağlanmıştır. Önce aynı 2 harf arka arkaya gönderilmiş ve bu 2

uyartımın ayrı ayrı algılanabilme durumu gözlemlenmiş, arkasındansa birbirinden farklı ancak uyartımlarında ortak parmaklar bulunan harfler deneğe sunulmuştur. Böylece zaman algısının doğru bir şekilde anlaşılıp anlaşılmadığı yönünde bir çıkarım yapmak hedeflenmiştir. Bu çıkarımı güçlendirmek için bu adımdan sonra da parmaklardan herhangi birine sayısı bilinmeyen sayıda gönderilen uyarının denek tarafından hissettiği parmağıyla birlikte kaydetmesi istenmiştir. Bulgular Tablo 4.5.'te ve Tablo 4.6.'da sunulmaktadır.

Tablo 4.5. İki harfli metinlerin algılanma doğrulukları

Metin ve Binary Kodları	Kadın (%)	Erkek (%)
AA (10000-10000)	100	90
AI (10000-10001)	100	95
BÇ (00011-01011)	80	75
BB (00011-00011)	90	90

Tablo 4.6. Sayısı bilinmeyen uyarının algılanma doğrulukları

	Kadın (%)	Erkek (%)
Konum	100	100
Sayı	100	80

Aktarım karmaşıklığıyla ilgili son olarak harf sayısının artmasının etkisini gözlemleyebilmek için 3, 4 ve 5 harfli kelimeler deneğe gönderilmiş ve doğrulukları not edilmiştir. Kelimelerin algısı için 3 kez arka arkaya gönderimi sağlanmıştır. Ve her seferinde kelime algısı doğru veya yanlış olarak değerlendirilmiştir. Bu kelimeler Türkçede en sık kullanılan kelimeler arasından seçilmiştir [51]. HER, İÇİN, KADAR kelimelerinin her denekte algılanma başarısına kelime uzunluğunun etkisi incelenmektedir (Tablo 4.7.).

Tablo 4.7. 3, 4 ve 5 harfli kelimelerin algılanma doğrulukları

	3 Harfli “HER”	4 Harfli “İÇİN”	5 Harfli “KADAR”
Denek 1 (K)	YYY	YYD	YYD
Denek 2 (K)	YDD	DYY	DDY
Denek 3 (K)	YYY	YDY	DYD
Denek 4 (K)	YYD	YDD	YDD
Denek 5 (K)	YYD	YYD	DYD
Denek 6 (E)	YYD	YDY	YDD
Denek 7 (E)	YDY	DYY	YYD
Denek 8 (E)	DYY	YYD	YYD
Denek 9 (E)	YYD	YYD	YDY
Denek 10 (E)	YDY	YYY	YYD

Aktarım karmaşıklığından sonra gelen ikinci parametre parmakların algısıdır. Parmakların algısı parametresi altında incelenecek 2 durum söz konusudur. Birincisi her parmağın algılama doğruluklarının belirlenmesi, ikincisi ise hangi parmakların algılarının birbirleriyle karıştırıldığının belirlenmesidir. Bir elin 5 parmağı üzerinde yerleştirilmiş uyarıcılar her parmakta proksimal kısımlara yerleştirilmiş olsalar da birbirlerine göre algı doğrulukları arasında bir farklılık olup olmadığını incelemek adına toplanan veriler düzenlenmiştir (Tablo 4.8.). Her parmakta doğru algılama toplamında oluşması gereken sayı ile doğru algılanan veri sayısı kıyaslanmıştır. Ve başarı, yüzdeler halinde sunulmuştur.

Tablo 4.8. Parmakların algılama doğrulukları

	Baş Parmak	İşaret Parmağı	Orta Parmak	Yüzük Parmağı	Serçe Parmak
Toplam Uyartım Sayısı	18	15	15	18	19
Kadın Doğru Algılanan Ortalama	16,6	13,4	13,8	15,6	15,8
Erkek Doğru Algılanan Ortalama	15,8	11,4	12	14	16,2
Kadın Başarı Yüzdesi	92,22	89,33	92	86,67	87,78
Erkek Başarı Yüzdesi	87,78	76	80	77,78	85,26

Parmakların karışan algılarının belirlenmesi içinse doğrularla işaretlenenlerin karşılaştırılması sürecinde daha detaylı bir inceleme yapmak gerekmiştir. Bunun sonucunda her denek için hata yaptığı satır incelenmiş ve olması gerekenle onun işaretledikleri kıyaslanmıştır. Baş parmak B, işaret parmağı İ, orta parmak O, yüzük parmağı Y ve serçe parmak S ile gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Doğru algılamanın gerçekleşmediği satırların analizi

Denek (Cinsiyeti)	Olması Gereken	İşaretlenen	Karıştırılan
Denek1 (K)	B-Y	O-Y	B-O
	İ-Y	O-Y	İ-O
	İ-O	İ-B	O-B
	B	İ	B-İ
	B-O-Y	S-O-Y	B-S
	Y	İ	Y-İ
Denek2 (K)	B-Y	İ-Y	B-İ
	İ-O	İ-B	O-B
	B-İ-Y	O-İ-Y	B-O
	B-O-Y	B-Y-S	O-S
	B-İ-Y	B-İ-O	Y-O
Denek3 (K)	B-S	Y-S	B-Y
	B-Y	O-Y	B-O
	B-O-Y	B-O-İ	Y-İ
	İ-Y-S	İ-Y-O	S-O
Denek4 (K)	B-O-S	B-Y-S	O-Y
	B-İ-Y	B-İ-O	Y-O
	B-İ-S	B-İ-O	S-O
	O	Y	O-Y
Denek5 (K)	Y-S	Y-O	S-O
	B-İ-Y	B-İ-O	Y-O
	İ-O-S	İ-O-Y	S-Y
	İ-Y-S	İ-Y-O	S-O

Tablo 4.9. devam ediyor.

Denek6 (E)	İ	O	İ-O
	B-O-S	B-Y-S	O-Y
	B-Y-S	B-İ-S	İ-Y
	B-İ-Y	İ-Y-O	B-O
Denek7 (E)	İ	O	İ-O
	İ-O	B-O	İ-B
	İ-S	Y-S	İ-Y
	B-İ-Y	B-O-Y	İ-O
	B-O-Y	B-O-İ	Y-İ
	İ-O-S	Y-O-S	İ-Y
	İ	Y	İ-Y
Denek8 (E)	B-Y	B-O	Y-O
	O-Y	O-S	Y-S
	İ-Y	O-Y	İ-O
	B-Y-S	İ-Y-S	B-İ
	B-O-Y	İ-O-Y	B-İ
	B-İ-Y	B-İ-O	Y-O
	İ-Y-S	İ-Y-B	S-B
	İ	B	İ-B
Denek9 (E)	İ	O	İ-O
	Y	S	Y-S
Denek10 (E)	O-Y	S-Y	O-S
	B-İ	B-Y	İ-Y
	B-Y-S	B-O-S	Y-O
	İ-O-Y	İ-O-S	Y-S

Tablo 4.9. devam ediyor.

Denek10 (E)	İ-O-S	Y-O-S	İ-Y
	B-İ-S	Y-İ-S	B-Y
	İ-Y-S	İ-Y-O	S-O
	B-İ-O	B-Y-O	İ-Y
	Y	İ	Y-İ

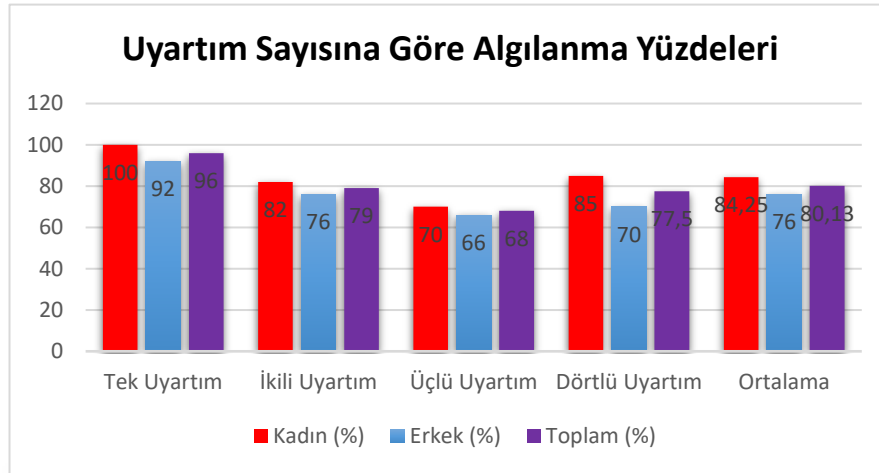
Doğru algılama gerçekleşmemiş satırların analizinden elde edilen veriler aşağıda harflere göre sunulmuştur.

Tablo 4.10. Harflerin birbirleri yerine kullanılma sayıları

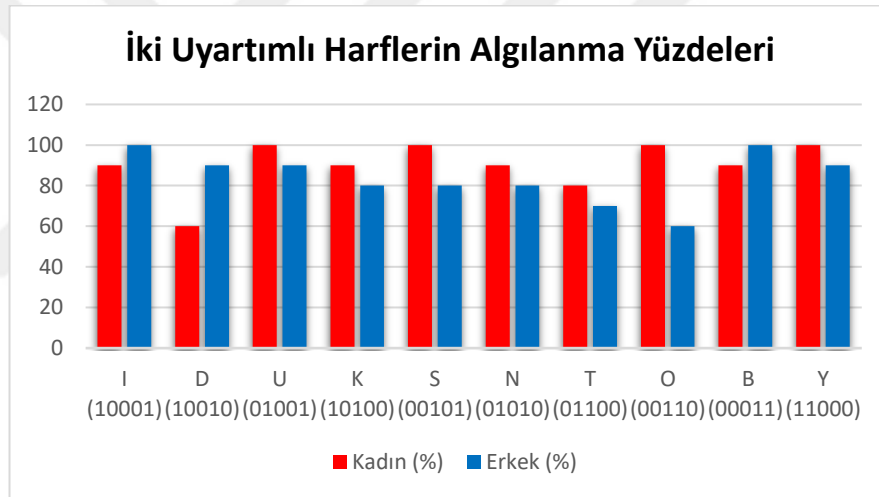
	B	İ	O	Y	S
B		6	6	2	2
İ	6		6	10	0
O	6	6		8	7
Y	2	10	8		5
S	2	0	7	5	

Frekans ayarlaması denekler üzerinde optimize edilmemiş 1 erkek ve 1 kadın üzerinde deneyler öncesinde yapılan denemeler sonucunda aktarılabilen maksimum frekans değeriyle ve algılama doğruluğunun maksimum olduğu diğer değişkenlerle deneyler gerçekleştirilmiştir. Frekansın kod içinde bağlı olduğu diğer değişkenler zaman ve ona bağlı olarak da pwm-tepe ve pwm-çukur olarak belirlenen duty cycle bileşenleridir. Frekans deneyler süresince 2 Hz olarak kullanılmış, sürücü devrenin aktif konuma geçmesini sağlayan pwm-tepe değeri %5, pwm-çukur %95 olarak ayarlanmıştır. Unutulmamalıdır ki uyarılma süresinin önemli olduğu kadar dinlenme süresi de önemlidir. Çünkü seçilen frekans değerinde, tepe değeri ile bir harfin algılanmasını sağlayacak kadar süre tanınmakta, çukur değeri ile ise arka arkaya gönderilen harflerin doğru bir şekilde algılanmasını gerçekleştirecek kadar dinlenme zamanı verilmektedir.

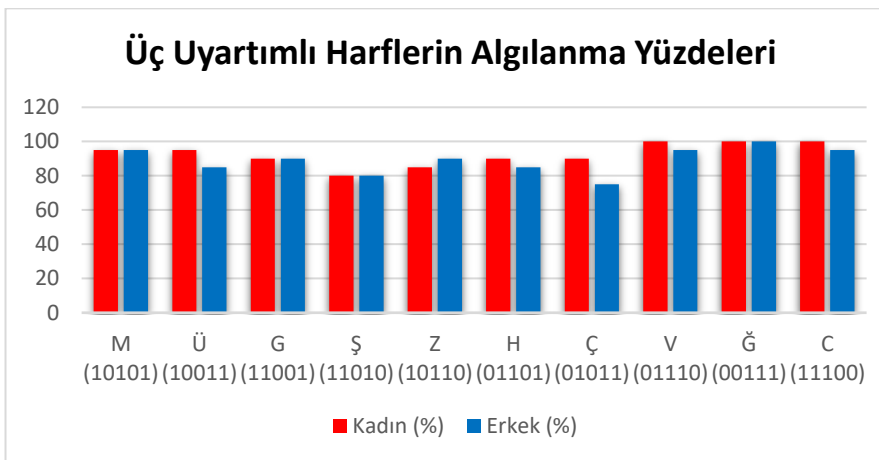
Cinsiyet şimdiye kadarki tüm parametreler içinde yer almaktadır ve bu yüzden ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Burada hepsi grafikler halinde görselleştirilecektir.



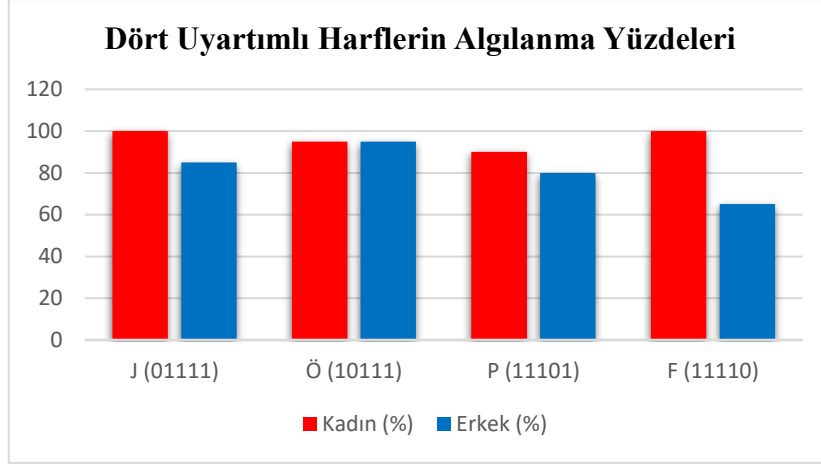
Şekil 4.1. Uyartım sayısına göre oluşturulmuş cinsiyet karşılaştırmalı grafik



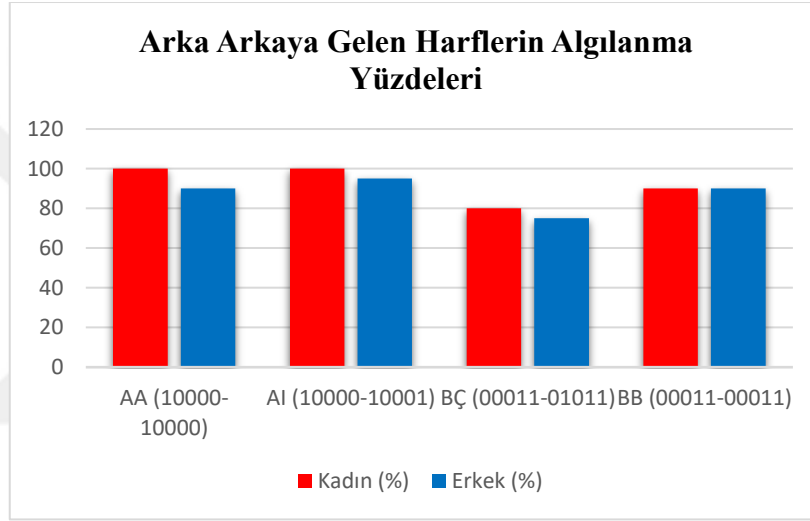
Şekil 4.2. İki uyartımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı



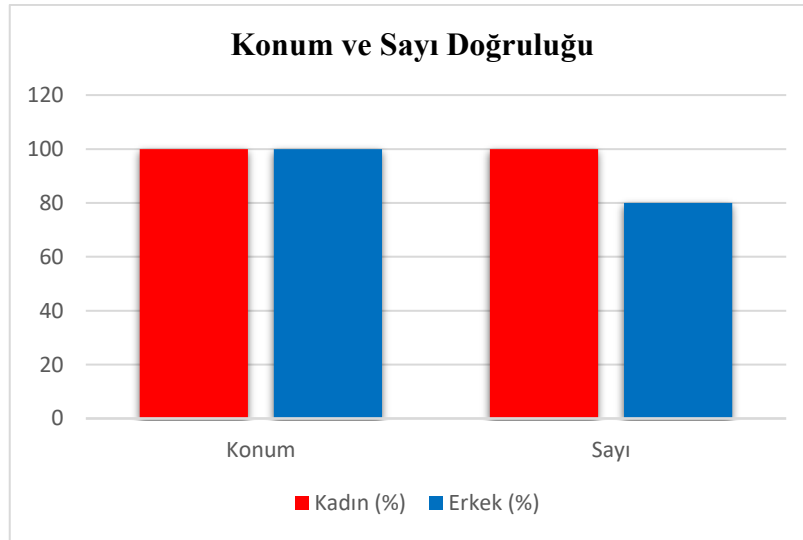
Şekil 4.3. Üç uyartımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı



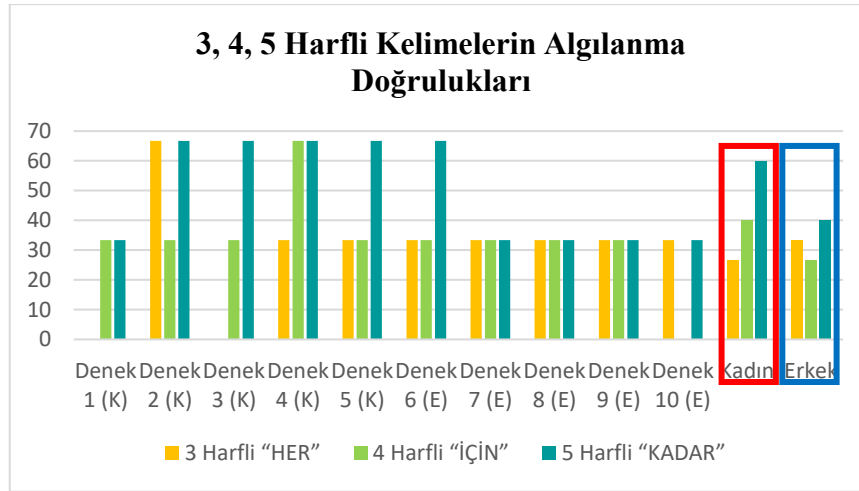
Şekil 4.4. Dört uyarımlı harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı



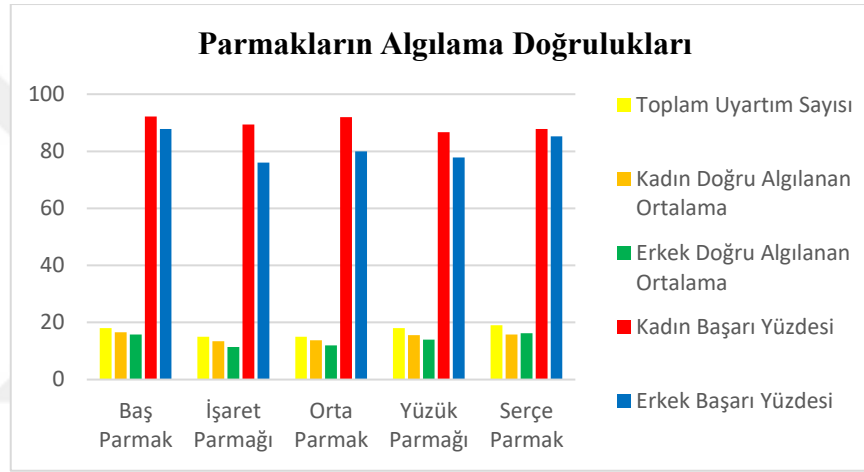
Şekil 4.5. Arka arkaya gönderilen harflerdeki algılamaların cinsiyete göre dağılımı



Şekil 4.6. Sayısı bilinmeyen uyarının konum ve sayı doğruluğunun cinsiyete göre dağılımı

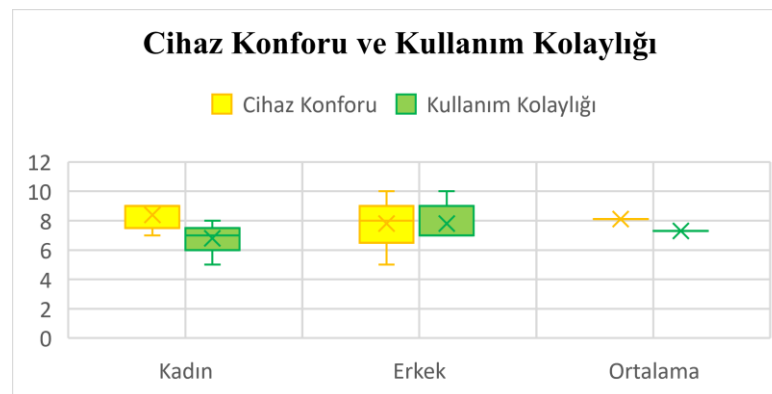


Şekil 4.7. 3, 4 ve 5 harfli kelimelerin algılanma doğruluklarının cinsiyete göre gruplandırılması



Şekil 4.8. Parmakların algılama doğruluklarının cinsiyete göre dağılımı

Son parametreler cihaz konforu ve kullanım kolaylığı deneyler sonucunda denekler tarafından 10 üzerinden puanlanmıştır. Genele bakıldığında cihaz konforuna verilen puan 8,1; kullanım kolaylığına verilen puansa 7,3'tür. Bu adımda da puanlama yanında varsa deneklerin fikir ve önerileri alınmıştır.



Şekil 4.9. Cihaz konforu ve kullanım kolaylığı değerlendirme sonuçları

5. TARTIŞMA

Sağlıklı, 20-35 yaş arasında 5 erkek ve 5 kadın denekten elde edilen bulgular bu kısımda değerlendirilmiştir. Aktarım karmaşıklığı, parmakların algıları, frekans, cinsiyet, cihaz konforu ve kullanım kolaylığı parametrelerine ayrılarak verilerin farklı şekillerde sunulduğu bulgular bölümündeki sıraya göre deney sonuçları üzerinde bir tartışma gerçekleştirilmiştir.

İlk parametre olarak belirlenen aktarım karmaşıklığı ana başlığı; uyarım sayısı, uyarıcıların birbirine göre konumları, arka arkaya gelen uyarılar ve harf sayısının artması alt başlıklarında incelenmiştir. Deneyler gerçekleştirilmeden önce literatür taraması sırasında karşılaşılan sonuçlar ve duyu fizyolojisiyle ilgili araştırmalar sonucunda uyarım sayısı ile ilgili düşünce, aynı zamanda gönderilen soğuk uyarıların sayısı arttıkça algılama zorluğunun artması ve böylece doğruluğunun da azalması yönündedir. Bu sebeple kullanılacak alfabenin Türkçede sık kullanılan harflere göre tekrar düzenlenmesi sırasında da aynı anda gönderilen uyarım sayısı azdan çoğa doğru olacak şekilde sık kullanılanlara az uyarımlı binary kodların ataması gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında tek uyarımda %96, ikili uyarımda %79, dördü uyarımda %77,5 ve üçlü uyarımda %68 oranında doğru algılama gerçekleştiği görülmektedir. Sonuçlar deney öncesinde üzerinde durulan fikri doğrular niteliktedir. Uyarım sayısı arttıkça algılama doğruluğu azalmaktadır. Ancak dördü uyarımın üçlü uyarıma göre daha başarılı sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Bunun sebebinin kişilerin dördü uyarım sırasında soğuk hissetmedikleri parmaklarına odaklanmaları sonucunda kodlamayı daha net anlamaları olduğu üzerinde durulmaktadır. Üçlü uyarımda ise hem daha fazla kombinasyon bulunmaktadır hem de 3 parmaktaki algının doğru bir şekilde ayırt edilebilmesi gerekmektedir. Bu nedenle en düşük başarı üçlü uyarımda çıkmıştır.

Aktarım karmaşıklığı başlığı altında incelenmiş bir diğer durum, uyarıcıların birbirine göre konumlarıdır. Bunun için de deneyler öncesinde üzerinde durulan düşünce uyarılan parmakların birbirine olan konumları yaklaştıkça algılamanın düşmesi yönündedir. Ve kodlama sık kullanılan harflere göre tekrar düzenlenirken dikkat edilen bir nokta da bu olmuştur. Uyarım sayısının fazlaştığı harflerdeki kodlamalarda çok kullanıllana daha kolay algılanacağı düşüncesiyle birbirine uzak uyarımlar sağlayacak kodlar atanmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında bir kıyaslama yapabilmek için önce 2 uyarımlı harfler ve sonra 3 uyarımlılar değerlendirilmek üzere ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Bu gruplandırma arkasından da harfler kendi aralarında tekrar sıralanmıştır ve başarı yüzdeleri incelenmiştir. Giderek

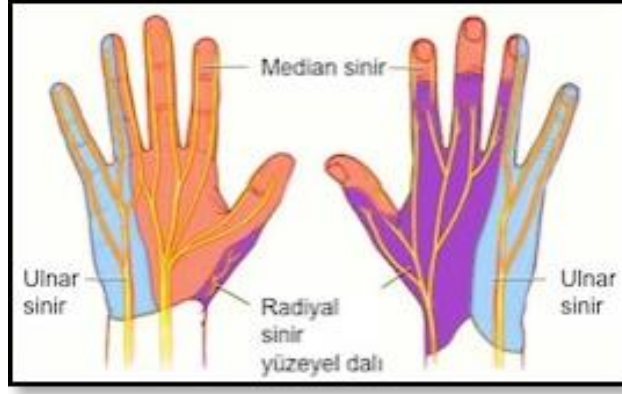
düşmesi öngörülen oranlarda kadın ve erkek ayrı ayrı değerlendirildiğinde de ortak değerlendirildiklerinde de anlamlı bir sonuca ulaşamamıştır. Düzenli bir artış veya azalış söz konusu değildir. Harflerin kodlamalarındaki mesafeden ziyade parmak algılarının ve kombinasyonlarının bu konuda daha etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Aktarım karmaşıklığı başlığı altında üzerinde durulmuş bir diğer husus arka arkaya gelen uyarılardır. Bu uyarıların farklı zamanlarda geldiğinin algısı, hangi parmakta hissedildiği kadar önemlidir. Çünkü engelli kişiye kodlanarak gönderilecek metin içerisinde kullanılan harfler hep arka arkaya kişiye aktarılıyor olacaktır. Ve bu aktarım sırasında kişi zaman algısını sağlayabilmelidir. Deneyler öncesinde 1 erkek ve 1 kadın üzerinde ayarlanan duty cycle bunun için önemlidir. Tek bir harfin algılanabileceği ve arka arkaya gelen harflerin de ayırt edilebileceği şekilde bu değer optimize edilmiştir. Deneyin bu adımı için seçilen harfler ikişerli gruplandırılmıştır. Seçimlerinde dikkat edilen aynı parmakta veya parmaklarda uyartım içermeleri olmuştur. Sonuçlarında uyartım sayısı arttıkça bir azalış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun dışında arka arkaya gelen uyarıları algılama konusunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonucu destekleyecek nitelikteki bir diğer deney adımı da kişilere bilinmeyen sayıda gönderilen uyarıyı konum ve sayısı ile birlikte kaydetmelerinin istendiği adımdır. Kadınlarda konum ve sayı %100 doğru algılanmışken; erkeklerde konum %100, sayı ise %80 doğru algılanabilmiştir. Denek sayısı ile değerlendirildiğinde 10 kişiden 9'unun konum ve sayıyı doğru algıladığı, 1 kişinin ise doğru konumda sayıyı eksik algıladığı görülmektedir. Uyarıcı için belirlenen tepe ve çukur oranlarının doğruluğu böylece deney sonuçlarıyla da desteklenmiştir.

Aktarım karmaşıklığı başlığı altındaki son alt başlık harf sayısının artmasıdır. Bunun için deneklere sırasıyla 3, 4 ve 5 harfli kelimeler gönderilmiştir. Sisteme alışık olmamalarından dolayı ve daha önce yapılmış çalışmalara dayalı olarak oluşturulan deney prosedüründen dolayı her kelime 3 kez gönderilmiştir. Ve sonuçlar doğru-yanlış olarak kaydedilmiştir. 3 harfli kelimenin algılanma başarısına bakıldığında, Türkçede sık kullanılan kelimeler arasından seçilmiş “HER” kelimesi 2 denek tarafından 3 seferde de doğru algılanamamıştır. 1 denek tarafından 2 kez, geriye kalan denekler tarafından birer kez doğru algılanmıştır. 4 harfli “İÇİN” kelimesi ise sadece 1 kişi tarafından 3 seferde de doğru algılanamamış, geriye kalanların 1 tanesi tarafından 2 kez doğru algılanmış ve diğerleri tarafından da birer kez doğru algılanabilmiştir. Harf sayısını artırarak 5 harfli “KADAR” kelimesi incelemeye alındığında herkes tarafından doğru algılanabildiği görülmektedir. Hatta deneklerin %50'si kendilerine sunulan 3 şanstın 2'sinde doğru algılama gerçekleştirmiş, diğerleri ise birer kez doğru algılayabilmişlerdir. Deney sonuçları

yorumlandığında harf sayısının artmasının algılamada herhangi bir kayba sebep olmadığı görülmektedir. Burada da yine dikkat çeken kelimenin uzunluğundan ziyade harflerin kodlanış biçimleridir. En düşük başarı gösterilen “HER” kelimesinde ilk harfin doğru algılanamamasından dolayı bu sonuç elde edilmiştir. Bunun sebebiyse H harfinin binary kodlanmasında 3 uyarım yer alması ve o uyarıcıların konumlarıdır. Daha önceki sonuçları destekler niteliktedir. Kelimenin uzun olması, harflerin arka arkaya geliyor oluşu bir kayıp yaratmazken uyarım sayısının artışı ve konumlandırılış şekilleri algılamada belirleyici olmaktadır.

Tartışılacak ikinci parametre, parmakların algılarıdır. Bu parametre de 2 alt başlıkta incelenmiştir. İlki, her parmağın algılama doğruluğunun belirlenmesi, ikincisiyse algıları birbiriyle karışan parmakların saptanmasıdır. Birincisi için başlangıçta, bütün aktarım boyunca hepsinin doğru yapılması durumunda hangi parmakta kaç uyarım hissedilmesi gerektiğine bağlı olarak yeni bir değerlendirme geliştirilmiştir. Buna göre 5 parmak için ayrı ayrı doğru işaretlenen sayısının, işaretlenmesi gereken sayısına oranı yüzdelik halde verilmiştir. Baş parmak için bu oran %90, işaret parmağı için %82,67, orta parmak için %86, yüzük parmağı için %82,23 ve serçe parmak içinse %86,52 olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi baş parmak ve serçe parmak algılama doğruluğu açısından ilk iki sıradayken onları orta parmak, işaret parmağı ve yüzük parmağı takip etmektedir. İkincisi içinse doğru işaretlenenlere değil bu sefer yanlışlara odaklanarak daha detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Hata yapılan her satır için işaretlenmesi gereken ve işaretlenenlerin bir tablosu oluşturulmuş ve hangi parmakların birbiriyle algılarının karıştığı üstüne yoğunlaşmıştır. Sonucunda oluşturulan tabloda harflerin birbiri yerine işaretlenme sayıları çapraz bir şekilde sunulmuştur. Bu tablodaki veriler incelendiğinde 10 sayısı ile en çok işaret parmağı ve yüzük parmağının karıştırıldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Onu 8 ile orta parmak ve yüzük parmağı takip etmektedir. Sonrasında orta parmak ve serçe parmak 7 ile sıralamaya katılmaktadır. Orta parmak ve işaret parmağının karıştırılma sayısı 6, aynı zamanda baş parmak ve işaret parmağının karıştırılma sayısı olarak da belirlenmiştir. Son olarak yüzük parmağı ve serçe parmak 5 kez karıştırılmıştır. Onun dışında baş parmak ve serçe parmağın 2 kez karıştırılmış olmasıyla, baş parmak ve yüzük parmağının 2 kez karıştırılmış olması ihmal edilebilir düzeydedir. Bu sonuçlar elde edildikten sonra el sinirlerinin anatomisi incelenmiş ve Şekil 5.1.’de verilmiştir.



Şekil 5.1. El sinirleri anatomisi [52]

El anatomisiyle ilgili bu görsele bakıldığında görülmektedir ki el içinde 3 farklı sinir yolu bulunmaktadır. Bu sinirler radyal sinir, median sinir ve ulnar sinirdir. En fazla karıştırılan işaret parmağı ve yüzük parmağına bakıldığında ortak bir sinire bağlandıkları gözlemlenmiştir. Onu takip eden orta parmak ve yüzük parmağı da aynı şekilde radyal sinire bağlanmaktadır. Baş parmak ve işaret parmağının karıştırılması da yüzük parmağı ve serçe parmağın karıştırılması da bu görsel üzerinden anlaşılmaktadır. Şimdiye kadar sayılan parmakların karıştırılıp da baş parmak ve serçe parmağın, baş parmak ve yüzük parmağının sadece 2 kez karıştırılıp ihmal edilebilir oluşunu da el anatomisi doğrular niteliktedir. Bütün bunlar göstermektedir ki iki nokta algılama değerlerine göre parmaklar anatomik olarak ayrılmış yapılar olsa da el içindeki 3 temel sinir ağı algılamada karışıklıklara yol açabilmektedir.

Değerlendirilecek üçüncü parametre aktarım frekansıdır. Frekans deneyler sırasında değil öncesinde 1 erkek ve 1 kadın üzerinde optimize edilmiş olsa da deneylerdeki başarıya göre bir yorumlama yapmak mümkündür. Öncelikle frekansın azalmasıyla algılama kolaylığı ve doğruluğu ters orantılıdır. Bu deneyler öncesinde yapılan optimizasyon çalışmalarında da doğrulanmıştır. Ancak deneyde kullanılan 2 Hz'lik frekans, bu yazılım ve donanımda aktarımın algılanabilir düzeyde gerçekleştirilebildiği son noktadır. Hızın kişisel bir değişken olduğu, hiç kimsenin algısının ne düzeyinin ne de hızının aynı olamayacağı önceki çalışmalarda vurgulanmış olsa da 2 Hz'te aktarım gerçekleştirilebiliyorken hızdan ödün vermemek tercih edilmiştir [30, 32, 34]. Ve deneyler 2 Hz'te uygulanmıştır. Frekansa göre yazılım içerisinde zaman ve duty cycle ayarlayıcı adımlar bulunmaktadır. Duty cycle içindeki oranlar da deneklere uygulanmadan önce 2 kişi üzerinde yapılan denemelerle belirlenmiştir. Ve deney sonuçlarında duty cycle'ın başarılı bir oranda tutulduğu kanıtlanmıştır. Genele bakıldığında sistemin aktarım başarıları %80,13 olarak verilmiştir. Bu başarıyı artırmak kişiye göre frekansı değiştirmek sonucunda kolaylıkla sağlanacaktır. Ve

dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta deneylerin sağlıklı bireyler üzerinde gerçekleştirilmiş olmasıdır. Engelli bireylerde algı seviyesinin daha yüksek olacağı bilinmektedir [1].

Bir sonraki parametre aslında şimdiye kadarki tüm parametrelerin içinde yer alan cinsiyet değişkenidir. Bulgular kısmında da bu bölümde bütün veriler kadın-erkek karşılaştırmasını kolaylaştırmak adına görselleştirilmiştir ve grafikler halinde sunulmuştur. Algılama doğruluğuna bakıldığında genelde %80,13'lük doğruluğun %84,25'ini kadınlar, %76'sını erkekler oluşturmaktadır. Kadınların algılama doğrulukları 2 harf dışında (D harfi ve Z harfi) tüm deney boyunca erkeklerden daha yüksek çıkmıştır. Bu 2 harf de deney süreci düşünüldüğünde ihmal edilebilir bir yüzdelik dilime karşılık gelmektedir. Kadın ve erkek arasındaki bu farklılık frekans değişimiyle kolaylıkla giderilebilecek bir farklılıktır. Farklılığa sebep olan kadın deneklerin farklı anatomik yapıya sahip oluşu ve derilerindeki algı hassasiyetinin daha yüksek oluşu yanında daha dikkatli ve özenli oluşlarıdır. Deneyler sırasında iki cinsiyet arasındaki dikkat farkı gözle görülebilir seviyededir.

Son değerlendirilen parametreler cihaz konforu ve kullanım kolaylığıdır. Cihaz konforu çalışmada prototip olarak geliştirilen sistemin kullanıma hazır olması durumunda kişilerin el üstünde konumlandırılmış bu tasarımdan rahatsızlık duyup duymayacakları, soğuk hissin rahatsızlık oluşturup oluşturmadığı, ellerini rahatlıkla hareket ettirip ettiremedikleri üzerinden değerlendirilmiş bir sonuç sunmaktadır. Kullanım kolaylığı ise soğuk hissinin takip edilmesi ve algılanmasındaki kolaylık, binary kodlamanın öğrenilebilirliği üzerinden değerlendirilmiştir. Bu iki parametre deney sonunda deneklere 10 üzerinden puanlandırmaları için sunulmuştur. Ve varsa fikir ve önerileri de kaydedilmiştir. Puanlama sonucunda cihaz konforu ortalama olarak 8,1 puan, kullanım kolaylığı ise 7,3 puan almıştır. Kişilerin fikir ve önerileri arasında adaptasyon süresinin daha uzun tutulması, sisteme alışılmış olması durumunda algılamanın kolaylaşacağı çünkü sona yaklaştıkça algılamanın arttığı; alfabenin bir zorluğunun olmadığı zamanla öğrenilebilir olduğu; el üstünde yerleşiminin kişiye engel teşkil etmediği ve soğuk hissin rahatsızlık verici derecede olmadığı düşünceleri not edilmiştir. Bunların yanında parmakların birbirine karıştırıldığı, bu yüzden daha uzak noktalara uyarıcıların yerleştirilmesiyle algılamanın kolaylaşacağı önerisi de notlar arasına eklenmiştir. Parmak algılarının neden karıştırıldığı bölüm içinde açıklanmıştır. Daha geniş alanda yerleşim ile algı artırılabilir ancak amaçlandığı şekilde kişiyi rahatsız etmeyecek, tercih edilecek bir tasarım sunulması zordur.

6. SONUÇ

Teknoloji, özellikle de iletişim alanında, gün geçtikçe gelişirken iletişim yollarından herhangi birinde engeli bulunan kişi bu gelişmelerden mahrum kalmaktadır. En büyük azınlık olarak nitelendirilen engelli nüfus, dünya nüfusunun %15'ini oluşturmaktadır. Bu yüzdelik dilim içinde tüm engeller söz konusu olsa da iletişim konusunda engel yaşayanların sayısı da azımsanamayacak kadar çoktur. Bu kişiler engel türlerine göre ya özel iletişim alfabelerini bilen yakın çevreleriyle iletişim kurabilmekte ya da yaşam şartlarına göre ona bile erişemeyebilmektedir. İletişim yollarından herhangi birinde engeli olan kişi bu zorluklarla karşılaşırken, iletişimde en aktif kullanılan görme ve işitme duyularının ikisinde de kayıp yaşayan kişiler için durum daha da zorlaşmaktadır. Kaybın derecesi ve sebebine bağlı olarak eğer herhangi bir çözüm getirilemiyorsa kişinin iletişim kanallarındaki engeli sosyal hayatına taşınmakta ve bireysel özgürlüğünde de bir engel yaratabilmektedir. Bu durumun önüne geçmek ve engelli kişilere iletişim özgürlüklerini vermek amacıyla dokunsal sistemler üzerinde çalışılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında da görme ve işitme engelliler için dokunsal bir sistem önerilmiştir. Bu sistemde öncekilerin aksine uyarıcı olarak dokunsal duyuların zamanla adaptasyon probleminden yola çıkılmış ve termal uyarımlar tercih edilmiştir. El üstünde konumlandırılan tasarımda 5 parmağa gelen soğuk uyarımlar sayesinde kişinin diğer insanları anlaması ve bunu yaparken günlük aktivitelerine, hareketlerine devam edebilmesi amaçlanmıştır. Hız ve algının kişiye göre değişen kavramlar olduğuna önceki çalışmalarda sıklıkla değinilmektedir. Buna rağmen yapılan deneylerde algının sağlanabildiği maksimum frekans, 2 Hz frekansı kullanılmıştır. Bu frekans dakikada 120 karakter aktarımına karşılık gelmektedir. Bir kelimenin 5 harf olması kabulüyle ise dakikada 24 kelime aktarımı anlamına gelmektedir. Engelli kişiler için bu aktarım miktarının sağlanabilmiş olması küçümsenemeyecek bir sonuçtur. Bu frekansa göre yapılan deneyler sonucunda ortalama olarak %80 oranında bir doğru aktarım söz konusudur. Deneyler sonucunda değerlendirilen çoğu parametre sistem tasarlanırken hedeflendiği şekilde ilerlemiştir. Unutulmamalıdır ki bu deneyler sağlıklı kişiler üzerinde denenmiş ve kişiler sistemle ilk defa karşılaşmıştır. Engelli kişilerin algılarının daha gelişmiş olması ve sisteme adaptasyonları sonucunda bu oranın artacağı ön görülmektedir. Frekansın kişiye göre ayarlanabilir olmasıyla da algılama doğruluğu daha da artacaktır ve hedeflendiği gibi giyilebilir hale getirilen sistem yazıyı soğuk uyarılara çevirerek engelli kişiye yüksek doğrulukla aktarabilecek bir tasarımla iletişim özgürlüklerinin önündeki engelleri kaldıracak modern bir seçenek sunabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] S. LevaÈnen, D. Hamdorf, “Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans,” Brain Research Unit, Low Temperature Laboratory, Helsinki University of Technology, P.O. Box 2200, FIN-02015 HUT, Espoo, Finland, 2001 Elsevier Science Ireland.
- [2] S. Canan, Turkey. *Duyu Fizyolojisi ve Deri Duyuları*. (2009). Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: https://aybu.edu.tr/sinancanan/contents/files/322009_Duyu.pdf
- [3] İstanbul University, Turkey. *Duyu Fizyolojisi*. (2017). Accessed: Dec. 12, 2019. [Online]. Available: <http://cdn.istanbul.edu.tr/FileHandler2.ashx?f=duyu-fizyolojisi.pdf>
- [4] J.C. Stevens, K.K. Choo, “Temperature sensitivity of the body surface over the life span,” John B. Pierce Laboratory and Yale University, New Haven, CT 06519, USA, Somatosensory & Motor Research 1998, pp.13-28.
- [5] Maeda, Setsuo and H. Sakakibara, “Thermotactile perception thresholds measurement conditions,” Industrial Health-Kawasaki- 40.4, 2002, pp.353-361.
- [6] J.E. Guyton, A.C. Hall, “Sensory Receptors, Neuronal Circuits for Processing Information,” in *Textbook of Medical Physiology*, 12th ed. New York, NY, USA: W.B. Saunders 2011, [Online]. Available: <http://www.brandonspanishsda.com/wp-content/uploads/2016/01/Guyton-and-Hall-Textbook-of-Medical-Physiology-12th-Ed.pdf>
- [7] “Kulak Anatomisi.” anatomi.gen.tr. <https://www.anatomi.gen.tr/kulak-anatomisi.html> (Accessed: Dec. 12, 2019).

- [8] C. Williams, "Hearing restoration: Graeme Clark, Ingeborg Hochmair, and Blake Wilson receive the 2013 Lasker-DeBakey Clinical Medical Research Award," *The Journal of Clinical Investigation* Volume 123 Number 10 October 2013. [Online]. Available: <https://www.jci.org/articles/view/72707/pdf>
- [9] "İşitme Kaybı Tipleri." cochlear.com.
<https://www.cochlear.com/tr/home/understand/hearing-and-hl/what-is-hearing-loss/types-of-hl> (Accessed: Dec. 15, 2019).
- [10] "İşitme Cihazı ve Kullanımı Hakkında Bilgiler." ent.com.tr.
<https://www.ent.com.tr/isitme-cihazı-ve-kullanımı-hakkında-bilgiler-917s.html> (Accessed: Dec. 15, 2019).
- [11] Ohio Coalition for the Education of Children with Disabilities, ABD, *A Guide for Parents and Educators of Deaf or Hearing Impaired Children*. (2019). Accessed: Dec. 26, 2019. [Online]. Available: <https://www.oecd.org/Downloads/A%20Guide%20for%20Par%20&%20Educ%20of%20Deaf%20or%20HI%20Book%20Rev%205%202019.pdf>
- [12] C. Wolford, Assistant Director Deaf/HH and Assistive Technology. "The Kaleidoscope of Communication and Technology." mo-rehab.org.
<http://www.morehab.org/pdf/Kaleidoscope%20of%20Communication%20and%20Technology.pdf> (Accessed: Dec. 13, 2019).
- [13] "Koklear İmplantlar." cochlear.com.
<https://www.cochlear.com/tr/home/understand/hearing-and-hl/hl-treatments/cochlear-implant> (Accessed: Dec. 15, 2019).
- [14] "SoundBite Patient Satisfaction High, According to New Study." hearingreview.com.
<https://www.hearingreview.com/hearing-products/implants-bone-conduction/cochlear-implants/soundbite-patient-satisfaction-high-according-to-new-study-2> (Accessed: Dec. 15, 2019).

- [15] “Schematic Diagram of the Human Eye.” en.wikipedia.org.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Schematic_diagram_of_the_human_eye_en.svg
(Accessed: Dec. 28, 2019).
- [16] “EM Spectrum.” commons.wikimedia.org.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_spectrum.svg (Accessed: Dec. 20, 2019).
- [17] “What Does the Lens of eye Do | Eye Lens Anatomy.”
medicalschooledu.blogspot.com.
<https://medicalschooledu.blogspot.com/2017/05/what-does-lens-of-eye-do-eye-lens.html> (Accessed: Dec. 29, 2019).
- [18] Ankara University, Turkey. *Fizyoloji Hafta 10*. (2010). Accessed: Dec. 19, 2019.
[Online]. Available:
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/79458/mod_resource/content/0/Hafta%2010.pdf
- [19] “Körlük.” wikizero.com.
<https://www.wikizero.com/tr/K%C3%B6r> (Accessed: Dec. 20, 2019).
- [20] “Az Görenlere Yardımcı Cihazlar.” azgorenlericin.com.
<https://azgorenlericin.com/2015/06/19/az-gorenlere-yardimci-cihazlar/> (Accessed: Dec. 25, 2019).
- [21] “Oculus Binocular Loupes.” oculus.de.
<https://www.oculus.de/en/products/binocular-loupes/binocular-loupes/highlights/>
(Accessed: Dec. 22, 2019).
- [22] D. McNamara. (2016). Extended-range intraocular lens improves visual acuity. American Society of Cataract and Refractive Surgery Symposium (ASCRS) 2016.
[Online]. Available: <https://www.medscape.com/viewarticle/863185>

- [23] G. Frisken, F. Sarah, "A 64-solenoid, four-level fingertip search display for the blind," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.BME-34, No.12, pp.963-965, 1987.
- [24] Shimizu, "Microprocessor-based hearing aid for the deaf," J RehabilRes Dev 26.2 (1989): 25-36.
- [25] Nagano, Kanno, "Communication aid for deaf-blind due to the vibration motor," IEICE Technical Report, HCS96-09, 1996.
- [26] T. Fukuda, "Micro resonator using electromagnetic actuator for tactile display," Micromechatronics and Human Science Proceedings of the 1997 International Symposium on, IEEE, 1997.
- [27] W. Xiaosong, Z. Haihong, "A portable pneumatically-actuated refreshable braille cell," Transducers & Eurosensors, The 14th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, Lyon, France, June 10-14, pp.1409-1412, 2007.
- [28] S. Ino, T. Homma, "Psychophysical measurement of multiple tactile sensations using a broadband vibrotactile display," Universal Communication ISUC08, Second International Symposium on, pp.274-280, 2008.
- [29] F. Zhao, C. Jiang and H. Sawada, "A novel braille display using the vibration of sma wires and the evaluation of braille presentations," Journal of Biomechanical Science and Engineering 7.4 (2012): 416-432.
- [30] U. Gollner, T. Bieling, "Mobile lorm glove – introducing a communication device for deaf-blind people," TEI12, Feb. 2012. ACM 978-1-4503-1174-8/12/0002.
- [31] "Lormen." de.wikipedia.org.
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lormen> (Accessed: Dec. 21, 2019).

- [32] T. Choudhary, S. Kulkarni and P. Reddy, "A braille-based mobile communication and translation glove for deaf-blind people," International Conference on Pervasive Computing (ICPC) 2015.
- [33] L. Yi-Chi, C. Yi-Ling, L. Jo-Yu and C. Bing-Yu, "EdgeVib: effective alphanumeric character output using a wrist-worn tactile display," Tokyo UIST, Oct. 2016, DOI: 10.1145/2984511.2984522.
- [34] A. Carrera, A. Alonso and J. Abril, "Sensing performance of a vibrotactile glove for deaf-blind people," MDPI, 2017.
- [35] O. Ozioko, W. Taube, M. Hersh and R. Dahiya, "SmartFingerBraille: a tactile sensing and actuation based communication glove for deafblind people," Bendable Electronics and Sensing Technologies Group, School of Engineering, University of Glasgow UK, IEEE 2017.
- [36] H.P. Savindu, K.A. Iroshan and C.D. Panangala "BrailleBand: blind support haptic wearable band for communication using Braille language," International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), IEEE 2017.
- [37] Y. Gaffary, F. Argelaguet, M. Marchal, A. Girard and F. Gosselin, "Toward haptic communication: tactile alphabets based on fingertip skin stretch," IEEE Transactions on Haptics (ToH), 2018, pp.1 - 10.
- [38] N. Caporusso, L. Biasi, G. Cinquepalmi and G.F. Trotta, "A wearable device supporting multiple touch and gesture-based languages for the deaf-blind," Advances in Human Factors in Wearable Technologies and Game Design, Springer International Publishing AG 2018.
- [39] M. Nakatani, K. Sato, Y. Kawana, D. Takai, K. Minamizawa and S. Tachi, "A novel multimodal tactile module that can provide vibro-thermal feedback," Springer Nature Singapore 2018 S. Hasegawa et al. (eds.), *Haptic Interaction*, Lecture Notes in Electrical Engineering 432, DOI: 10.1007/978-981-10-4157-0_73.

- [40] C. S. Kenneth, K. Choo, "Temperature sensitivity of the body surface over the life span," *Somatosensory & Motor Research* 15.1, 1998, 13-28.
- [41] M. McKinley, V. O'Loughlin and T. Bidle, "Sensory Physiology," in *Human Physiology*, 10th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008, [Online]. Available: <https://slideplayer.com/slide/7845801/>
- [42] "Two Point Discrimination." en.wikipedia.org.
https://en.wikipedia.org/wiki/Two-point_discrimination (Accessed: Dec. 26, 2019).
- [43] "El Anatomisi." anatomi.gen.tr.
<https://anatomi.gen.tr/el-anatomisi.html> (Accessed: Dec. 21, 2019).
- [44] "Türk Alfabesindeki Harflerin Kullanım Sıklıkları." tr.wikipedia.org.
https://tr.wikipedia.org/wiki/Turk_alfabesindeki_harflerin_kullanim_sikliklari
(Accessed: Dec. 27, 2019).
- [45] "Termoelektrik Soğutma." tr.wikipedia.org.
https://tr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrik_so%C4%9Futma (Accessed: Dec. 27, 2019).
- [46] "Measurement Computing USB-1208FS User's Guide." mccdaq.com.
www.mccdaq.com (Accessed: Jan 2, 2020).
- [47] "Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors NPN BDX53B BDX53C PNP BDX54B BDX54C, Motorola Semiconductor Technical Data 1995." alldatasheet.com.
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/20117/POINN/BDX53C.html>
(Accessed: Jan. 1, 2020).
- [48] "Standard Thermoelectric Cooler Modules-TEC." everredtronics.com.
<http://www.everredtronics.com/standard.TEC.html> (Accessed: Jan 1, 2020).

- [49] “Arduino PWM Tutorial.” create.arduino.cc.
<https://create.arduino.cc/projecthub/muhammad-aqib/arduino-pwm-tutorial-ae9d71>
(Accessed: Jan 5, 2020).
- [50] “MF52 NTC 10k.” turkish.alibaba.com.
<https://turkish.alibaba.com/product-detail/negative-temperature-coefficient-thermistors-mf52-pearl-shaped-precision-ntc-thermistor-10k-60547225023.html>
(Accessed: Jan. 5, 2020).
- [51] “Vikisözlük:Türkçe temel sözlük (kullanım sıklığına göre).” tr.wiktionary.org.
[https://tr.wiktionary.org/wiki/Vikis%C3%B6zl%C3%BCk:T%C3%BCrk%C3%A7e_temel_s%C3%B6zl%C3%BCk_\(kullan%C4%B1m_s%C4%B1kl%C4%B1%C4%9F%C4%B1na_g%C3%B6re\)](https://tr.wiktionary.org/wiki/Vikis%C3%B6zl%C3%BCk:T%C3%BCrk%C3%A7e_temel_s%C3%B6zl%C3%BCk_(kullan%C4%B1m_s%C4%B1kl%C4%B1%C4%9F%C4%B1na_g%C3%B6re)) (Accessed: Jan. 6, 2020).
- [52] M. Nalbant, “Karpal tünel sendromunda düşük yoğunluklu laser tedavisi etkinliğinin ultrasonografik ve elektrofizyolojik olarak değerlendirilmesi,” M.S. Thesis, Dept. Physical Medicine and Rehabilitation, Başkent University, Ankara, Turkey, 2016.

