

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DUYUSAL UYARIM SİSTEMİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI

Coşkun KAZMA

DOKTORA TEZİ

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilgisayar Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Nizamettin AYDIN

Aralık, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DUYUSAL UYARIM SİSTEMİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI

Coşkun KAZMA tarafından hazırlanan tez çalışması 24.12.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilgisayar Mühendisliği Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nizamettin AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Nizamettin AYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sırma YAVUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Gökhan BİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Hasan Fatih UĞURDAĞ
Özyeğin Üniversitesi

Prof. Dr. Tamer ÖLMEZ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Nizamettin AYDIN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Duyusal Uyarım Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Coşkun KAZMA

imza

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 2014-04-01-DOP02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Sevgili Kızım Elif

ve

Biricik Eşim Dilek'e

TEŞEKKÜR

Tez çalışması süresinde tam zamanlı olarak çalıştığımın otürü gün içerisinde okulda bulunamadım. Fakat, mesai sonrası tez danışmanın sayın Prof. Dr. Nizamettin AYDIN özveri göstererek benim için gece geç saatlere kadar okulda kalarak birlikte çalışmıştır. Bıkmadan, usanmadan ve büyük bir sabırla bilimsel yetkinlik kazanmam adına bilgeliği ile bana yeni ufuklar açmış ve bilim yolunda nasıl yürümem gerektiğini öğretmiştir. Sayın hocam Prof. Dr. Nizamettin AYDIN ve çok kıymetli ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Değerli yorumlarından otürü çok kıymetli jüri üyelerine teşekkürü bir borç bilirim.

Doktora programına kayıt olduğum ilk andan itibaren, her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen sevgili eşime teşekkürü bir borç bilirim.

İlk günden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem, babam ve kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Geliştirmiş olduğumuz sistemin FPGA ile geliştirmiş gömülü sistem kartının tasarımında yardımını esirgemeyen Vecdi Emre LEVENT'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Ana Bilim Dalın'da gerçekleştirdiğimiz test çalışmalarında yardımcı olan Doktor Merve ÇARDAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tam zamanlı çalışma arkadaşlarımdan maddi ve manevi desteklerinden dolayı kendilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Coşkun KAZMA

İÇİNDEKİLER

KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiv
1 Giriş	1
1.1 Reseptörler	1
1.2 Uyarıları Merkezi Sinir Sistemine İleten Duyusal Yollar	3
1.3 Merkezi Sinir Sistemi Sinapsları.....	6
1.4 Duyusal Uyarıların Elektrik Sinyallerine Çevrilmesi.....	7
1.5 Merkezi Sinir Sisteminin Bölümleri	8
1.6 Literatür Özeti	10
1.7 Tezin Amacı	38
1.8 Hipotez	39
2 Duyusal Uyarım Sistem Donanımı	44
2.1 Genel Bakış	44
2.1.1 VCA Kullanılarak Geliştirilen Makine.....	44
2.1.2 Adım Motor Kullanılarak Yapılan Tasarım	47
2.1.3 Kontrol Kartı.....	53
2.1.4 Tek Mikrodenetleyici ile Yapılan Çalışma ve Karşılaşılan Sorunlar	54
2.1.5 Sistemin Enerji Kaynağı	61
3 Duyusal Uyarım Sistem Yazılımı	62
3.1 Genel Bilgiler.....	62
3.2 Masaüstü Yazılımları.....	62
3.2.1 Statik Olarak Belirlenen Test Parametreleri.....	62

3.2.2	Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri	68
3.3	Gömülü Sistem Yazılımları	76
3.3.1	Ana Mikrodenetleyici Yazılımı.....	76
3.3.2	FPGA Prototip Tasarımı	78
3.4	İşaret ve Orta Parmak Uyarımı İçin Mikrodenetleyici Yazılımı	87
3.5	LZ ve Huffman Sıkıştırma Algoritmaları	88
4	Benzetim Sonuçları	93
4.1	Genel Bilgi	93
4.2	Yorgunluk Testi.....	94
4.2.1	Puan Hesaplama Yöntemi.....	94
4.3	Ergen ve Çocuk Hastalara Uygulanan Test.....	96
4.3.1	Test Sonuçları.....	96
5	Sonuç ve Öneriler	101
5.1	Genel Bilgi	101
5.2	Sonuç.....	101
5.3	Öneriler	101
5.4	Gelecek Çalışmalar	102
5.4.1	Mekanik Bileşenler.....	102
5.4.2	Yeni bir özellik: Isıtma ve Soğutma	103
5.4.3	Bulut Bilişim İle Veri Analizi	103
5.4.4	EEG Cihazı ile Test Uygulama	104
A	Ana Mikrodenetleyici Kodları	105
B	Sağ-Sol Kontrol Eden Mikrodenetleyici Kodları	108
C	Şase Teknik Çizim	112
D	Üst Kapak Teknik Çizim	113
E	Dişli Seti Teknik Çizim	114
	Kaynakça	115
	Tezden Türetilmiş Yayınlar	125

KISALTMA LİSTESİ

CNS	Central Nervious System
DEHB	Dikkat Eksikliği Hiperaktivite Bozukluğu
GOT	Grating Orientation Task
JND	Just-Noticeable Differences
LAI	Latens Aferent İnhibisyon
MSS	Merkezi Sinir Sistemi
OKB	Obsesif-Kompulsif Bozukluk
OSB	Otizm Spektrum Bozukluğu
S I	Somatik Alan 1
S II	Somatik Alan 2
SAI	Short Latens Aferent İnhibition
TMS	Transkraniyal Manyetik Stimülasyonun
TOJ	Temporal Order Judgement
TS	Tourette Sendromu
VCA	Voice Coil Actuator

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Reseptör Türleri.....	2
Şekil 1.2	Brodmann Alanları	3
Şekil 1.3	Somatik Alan I-II Organizasyonu	5
Şekil 1.4	Aksiyon Potansiyeli.....	7
Şekil 1.5	Merkezi Sinir Sistemi Bölümleri.....	9
Şekil 1.6	Sistem Diyagramı	40
Şekil 1.7	Test Süreç Akışı	42
Şekil 2.1	Üç Boyutlu Yazıcıda Üretilen VCA Tutucu	45
Şekil 2.2	Örnek Kare dalga.....	45
Şekil 2.3	İlk Mekanik Tasarım	46
Şekil 2.4	Helis Dişli Seti ve Bağlantı	48
Şekil 2.5	Kremayer ve Rulman Seti	49
Şekil 2.6	Şase.....	50
Şekil 2.7	Nihai Cihaz Görünümü	51
Şekil 2.8	Kızılötesi Sensör ve Kremayer Dişli	53
Şekil 2.9	Kare Dalga Sinyal Üretici	55
Şekil 2.10	Kare Dalgaların Örtüşmesi.....	55
Şekil 2.11	2 Hertz ve 3 Hertz Kare Dalganın Binary Olarak İfadesi	56
Şekil 2.12	Örtüştürülen İki Kare Dalganın Tek Döngüde Koşturulması	57
Şekil 2.13	3 Mikrodenetleyici İçeren Gömülü Sistem Kart	60
Şekil 2.14	Gömülü Sistem Kartı Akış Şeması.....	61
Şekil 3.1	Test Parametre Tanımlama Ekranı	64
Şekil 3.2	İlişkisel Veri Tabanı Modeli Tablo Yapısı.....	65
Şekil 3.3	Test Uygulama Ekranı.....	66
Şekil 3.4	Veri Formatı	67
Şekil 3.5	Dinamik Test Parametre Belirleme Ekranı	69
Şekil 3.6	Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametrelerinin Belirlendiği Test Akış Diyagramı.....	71
Şekil 3.7	Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri İçin Geliştirilen Veri Tabanı Modeli	74
Şekil 3.8	Dinamik Test Parametrelerinin Oluşturulduğu Denek Test Uygulama ve Cevap Ekranı	75
Şekil 3.9	Gömülü Kart Veri Akışı.....	77
Şekil 3.10	FPGA İç Yapısı	79
Şekil 3.11	Digilent Atlys FPGA Geliştirme Kartı	80
Şekil 3.12	UART Kontrolör Modülü.....	81
Şekil 3.13	UART Kontrolör Modülü.....	81
Şekil 3.14	Prototip Tasarımı Blok Diyagramı	82
Şekil 3.15	Adım Kontrolör Modülü İç Yapısı	83
Şekil 3.16	Hareket Kontrolü Durum Makinesi Yapısı	84
Şekil 3.17	ISIM Arayüzü Test Ortamı.....	85
Şekil 3.18	Örnek test	89
Şekil 3.19	Huffman ve LZ sıkıştırma Algoritmalarının Uygulandığı Yazılımın Ekran Görüntüsü	90
Şekil 3.20	Test Parametrelerinin Metin Hali	91

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Pinyon Ölçüsüne Göre Adım Mesafesi.....	52
Tablo 3.1 FPGA Prototip Tasarım Sentez Sonuçları	86
Tablo 3.2 Hareket Kontrolör Modülü Sentez Sonuçları	86
Tablo 3.3 LZ-Huffman Sıkıştırma Sonuçları	92
Tablo 4.1 Yorgunluk Testi Test Sonuçları	93
Tablo 4.2 Cinsiyete Göre Yaş Değişkeninin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları.....	97
Tablo 4.3 Total Soruların Cinsiyetlere Göre Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları.....	98
Tablo 4.4 Yaş ve Toplam Soru Sayısı Arasındaki Korelasyon Analizi	99
Tablo 4.5 Doğru Cevap Sayısının Cinsiyetlere Göre Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları.....	100

Duyusal Uyarım Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması

Coşkun KAZMA

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. Nizamettin AYDIN

Merkezi sinir sisteminde oluşan veya oluşabilecek sorunların tespiti amacıyla “Tactile Stimulator” diye adlandırılan bir sistem geliştirilmiştir. Merkezi sinir sisteminden bilgi elde edilmesi amacıyla parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaran yeni bir yöntem üzerinde çalışılmış ve bir makine tasarlanmış, üretilmiş, yazılımları kodlanmış ve denekler üzerinde test çalışmaları yapılmıştır.

Merkezi sinir sistemi birçok bölümden oluşmaktadır ve bu bölümler birbirleri ile iletişim ve etkileşim halindedirler. Merkezi sinir sisteminde bulunan bir bölümde herhangi bir sebepten dolayı bir sorun oluştuğunda, sorun oluşan merkezi sinir sistemi birimi diğer birimleri de etkileyebilmektedir. Merkezi sinir sisteminin herhangi bir birimi rahatsızlandığında veya bir problem oluştuğunda, reseptörlerin ilettiği uyarılar, merkezi sinir sisteminin Somatik alan I-II de normal olmayan bir şekilde karşılık bulmaktadır. Bu bakış açısıyla, parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarak, deneklerden alınan yanıtların kayıt altına alınıp analiz edildiğinde merkezi sinir sisteminde oluşan ya da oluşma olasılığı olan rahatsızlıklar tespit edilebilmektedir. Belirlediğimiz deney grubu ile öncelikle tasarladığımız ve geliştirdiğimiz sistemin amaçlandığı doğrultuda çalışıp

çalışmadığı test edilmiştir. Ayrıca, deney grubu üzerinde yapılan testler ile yaş ve cinsiyet gibi farklılıkların denekler üzerindeki etkilerinin olup olmadığının ayrıştırılması amaçlanmıştır. Daha sonra yapılacak testlerde ise oluşturulacak deney grubunda, teşhisi konulmuş hastaların, sağlıklı deneklerden ayrılması amaçlanacaktır.

Geliştirmiş olduğumuz sistem test protokollerine göre parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyardıktan sonra deneklere 3 farklı soru yöneltmektedir. Bu sorular “Hangi parmağa daha çok dokundu”, “Hangi parmağı daha çok yukarı doğru itti” ve “Hangisi önce başladı” şeklindedir. Geliştirmiş olduğumuz sistem sağ el işaret parmağı ve sağ el orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmaktadır. Deneklere sorular vs.net C# da geliştirilen bir uygulama aracılığı ile sorulmakta ve denekler soruları bilgisayar faresi sol ve sağ tuşlarını kullanarak cevaplandırmaktadırlar. Deneklerin verdikleri cevaplar SQL Express 2014 kullanılarak modellenmiş ilişkisel veri tabanına test sonuçları daha sonra analiz etmek üzere kaydedilmektedir.

Test türlerini ve parametrelerini testi oluşturan kişi belirleyebilmektedir. Geliştirmiş olduğumuz sistem ile cihaza tamamen dinamik bir test oluşturabilme ve uygulayabilme yeteneği kazandırılmıştır. Ayrıca sistemi oluşturan tüm parçaların toplam ağırlığı, sistemi kontrol eden kişisel bilgisayar ile birlikte, yaklaşık 3 kg civarındadır. Taşınması ve test sisteminin hazır hale getirilmesi oldukça kolaydır.

Sistemin mekanik tasarımı AutoCAD ve CATIA ortamında yapılmış, lazer makinelerde hassas olarak üretilmiştir. Hareket kabiliyeti için adım motor ve sürücüler kullanılmıştır. Adım motorlara doğrusal hareket kazandırabilmek için metal kremayer ve kestamit pinyon kullanılmıştır. Sistemi kontrol eden gömülü sistem kartının kontrolcüsü PIC18F46K22 kullanılarak tasarlanmış, MikroC de programlanmış ve devre şeması ARES/ISIS de çizilmiştir. Ayrıca FPGA kullanılarak sistemi kontrol eden alternatif bir gömülü sistem kartı geliştirilmiştir.

Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Ana Bilim Dalı’nda test çalışmaları yapılmış ve anlamlı sonuç elde edilmiştir. Ayrıca 24 mavi ve beyaz yaka çalışanı üzerinde de yorgunluk testi yapılmış ve anlamlı sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dokunsal uyarım sistemi, merkezi sinir sistemi, gömülü sistem tasarımı, FPGA, istatistiksel analiz

Design and Application of Tactile Stimulator System

Coşkun KAZMA

Department of Computer Engineering

Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof. Dr. Nizamettin AYDIN

In order to identify central nervous system diseases, a system called “Tactile Stimulator” has been designed. In order to obtain information from the central nervous system, a new method that stimulates the mechanoreceptors at the fingertips was studied and a machine was designed, manufactured, software coded and test studies were performed on the subjects.

The central nervous system consists of several parts, which communicate and interact with each other. When a problem occurs in a part of the central nervous system for any reason, the central nervous system unit may also affect other units. When any unit of the central nervous system is disturbed or a problem occurs, the stimuli transmitted by the receptors respond abnormally in the Somatic area I-II of the central nervous system. From this perspective, by stimulating the mechanoreceptors at the fingertips, disturbances in the central nervous system can be detected when the responses from the subjects are recorded and analyzed. With the experimental group we determined, first of all, it was tested whether the system we designed and developed worked in accordance with the intended purpose. In addition, the tests conducted on the experimental group aimed to distinguish

whether differences such as age and gender had effects on the subjects. In the tests to be carried out later, it will be aimed to separate the diagnosed patients from healthy subjects in the experimental group to be formed.

According to the test protocols we developed, the system asks 3 different questions to the subjects after stimulating the mechanoreceptors at their fingertips. These questions are “Which finger touched more”, “Which finger pushed up more” and “Which one started first”. Our system stimulates the mechanoreceptors in the index finger of the right hand and the middle finger of the right hand. Questions were asked to the subjects through an application developed in vs.net C # and the subjects answered the questions using the left and right keys of the computer mouse. The responses of the subjects are recorded to the relational database modeled using SQL Express 2014 for later analysis.

Test types and parameters can be determined by the person who created the test. With the system we developed, the device has the ability to create and apply a completely dynamic test. In addition, the total weight of all the components of the system, together with the personal computer controlling the system, is about 3 kg. It is very easy to transport and prepare the test system.

Mechanical design of the system is made in AutoCAD and CATIA environment and produced with precision in laser machines. Step motor and drivers are used to convert rotational movement to linear movement. In order to give linear motion to step motors, metal rack and cestamide pinion are used. The controller of the embedded system board controlling the system is designed using PIC18F46K22, programmed in MikroC and the circuit diagram is drawn in ARES / ISIS. In addition, an alternative embedded system board was developed to control the system using FPGA.

Test studies were conducted at Kocaeli University Faculty of Medicine, Department of Child and Adolescent Mental Health and Diseases and a significant result was obtained. In addition, 24 blue- and white-collar employees were tested for fatigue and significant results were obtained.

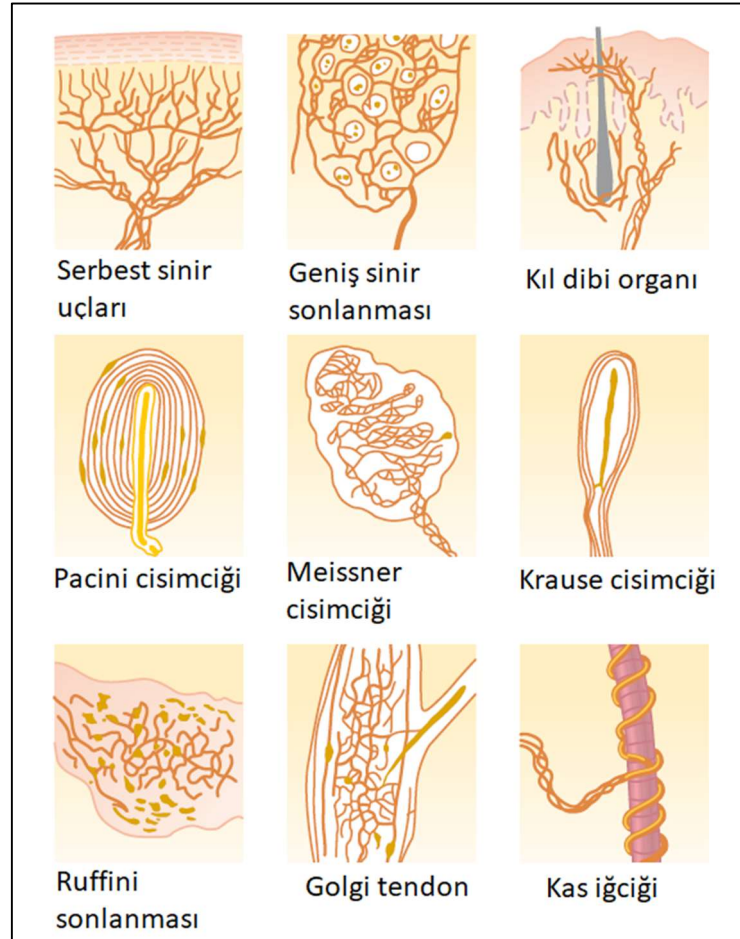
Keywords: Tactile stimulator system, central nervous system, embedded system design, FPGA, statistical analysis

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Reseptörler

İnsan, bedeninin dış dünya ile olan iletişimini ve etkileşimini vücudu çepeçevre saran reseptörler aracılığı ile gerçekleştirmektedir. Doktora çalışması kapsamında geliştirdiğimiz sistemde vücuttan gelen ve duyuşsal bilgileri toplayan mekanizmalar olan somatik duylardan faydalanılmıştır. Somatik duylar fizyolojik olarak 3 ayrı sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan ilki, mekanoreseptif duylardır. Mekanoreseptif duylar vücudun bazı dokularının mekanik yer değıştirmesi ile uyarılan, dokunma ve pozisyon duylarını içerir. İkincisi, sıcak ve soğuşu algılayan termoreseptif duylardır. Üçüncü duyu ise ağrı duysu diye adlandırılan, dokularda hasar yapan herhangi bir sebepten dolayı aktif olan duylardır. Mekanoreseptif duylar kategorisinde en az 6 farklı tipte reseptör vardır. Birinci tip reseptör derinin her tarafında ve bazı dokularda bulunan serbest sinir uçlarıdır. Bu serbest sinir uçlarına hafif bir temas, basınç ve dokunma duysu oluşturmaktadır. İkinci tip reseptör *meissner korpüskülü*dür. Kapsül içerisinde bulunan sinir uçları myelinli duyu sinir lifini uyararak duyu oluşturur. Kapsül içerisinde çokça dallanmış terminal sinir iplikçikleri bulunur. Derinin kılsız bölümlerinde, az da olsa parmak uçlarında, dudaklarda ve dokunma duylarının uzamsal özelliklerini ayırt etme yeteneğinin yüksek olduğu deri bölgelerinde bulunur. Meissner korpüskülleri çok hızlı bir şekilde adapte olmaktadır. Bu nedenle düşük frekanslı titreşimlere ve çok hafif cisimlerin deri üzerindeki hareketlerine de oldukça yüksek duyarlılığa sahiptirler. Üçüncü olarak *merkel diskleri* diye adlandırılan reseptörler vardır. Bu reseptörler genellikle deri epitelinin alt kısmında yukarı doğru projeksiyon yapan *iggo kubbe reseptörü* diye adlandırılan tek bir reseptör organı olarak gruplaşırlar. Oluşan bu kubbe çok hassas bir reseptör olarak karşımıza çıkmaktadır. Merkel disklerinin tüm grubu büyük, tek bir miyelinli sinir lifi ile inerve edilir. Merkel diskleri vücutta spesifik yüzey alanlarının dokunma duysunu lokalize etmede ve dokunulan yüzeyin yapısını saptamada oldukça kuvvetli rol almaktadırlar. Dördüncü olarak kıl köklerinde bulunan *kıl son-organı* olarak adlandırılan sinir uçlarıdır. Kılıra temas

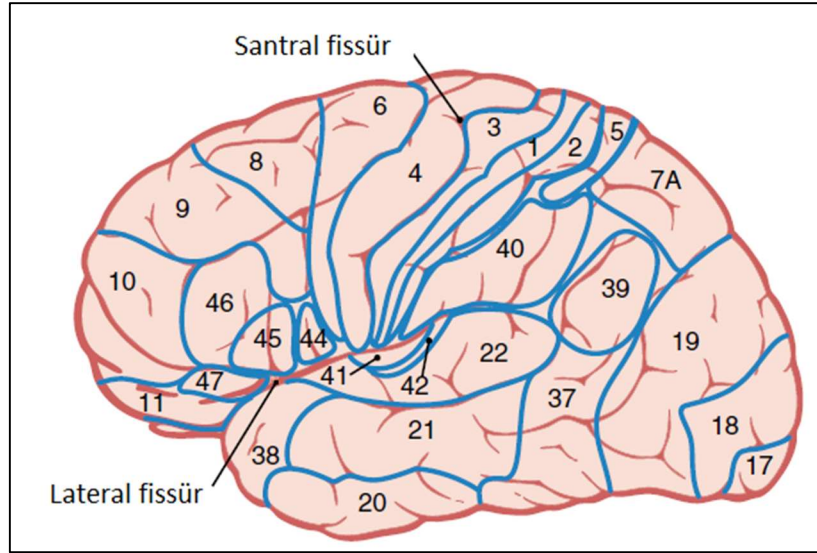
eden herhangi bir nesne tarafından uyarılır. Bu yapının adaptasyonu çok hızlı olmaktadır. Dolayısı ile vücut yüzeyindeki nesnelerin hareketini veya vücutla ilk temasını algılar. Beşinci olarak *ruffini son-organları* vardır. Bu reseptörler kapsülle çevrili sonlanmaları olan derinin derin tabakalarında ve derin dokularda yer alan reseptör türüdür. Adaptasyon çok azdır ve bu nedenle ağır ve dokunma sinyalleri ve basınç gibi deri ve derin dokulardaki deformasyonlar hakkında bilgi iletir. Ayrıca eklem kapsüllerinde bulunur ve eklemlerin dönüş açısını da bildirilmesinde yardımcı olurlar. Altıncı reseptör grubu *pacini korpüskülleridir*. Bu reseptör grubu dokuların hızlı hareketleri ile uyarılırlar. Doku vibrasyonu veya dokuların mekanik durumlarındaki hızlı değişimlerini saptarlar. Şekil 1.1 Reseptör türlerinin görselleri bulunmaktadır.



Şekil 1.1 Reseptör Türleri

Meissner korpüskülleri, iggo kubbe reseptörleri, kıl reseptörleri, pacini korpüskülleri ve ruffini reseptörlerinin iletim hızı 30-70m/s arasında değişmektedir. Aβ tipi sinir lifi olarak adlandırılan sinir lifleri ile sinyallerin iletimi

sağlanır. Bunun yanında, serbest sinir sonlanmaları olan dokunma reseptörlerinin hızları ise 5-30 m/s arasında değişmektedir ve A δ diye adlandırılan sinir lifleri ile taşınmaktadır. Bunlara ek olarak deri üzerindeki konumu net olarak belirlenebilen, şiddetindeki en ufak değişiklikleri ayırt edilebilen ya da duyuşal sinyal şiddetindeki hızlı değişimlerin algılanabildiği kritik tipteki duyuşal sinyaller daha hızlı ileten duyuşal sinyal lifleri ile taşınır. 6 farklı dokunma reseptörü titreşim algılamada da etkin rol oynamaktadırlar. Fakat pacini korpüsküllerinin 30-800 devir/s'ye kadar titreşimleri algıladığı saptanmıştır. Hızlı adapte olan pacini korpüskülleri A β tipi sinir lifleri aracılığı ile sinyalleri iletmektedir. A β tipi sinir lifleri saniyede 1000'den fazla uyarım iletebilmektedirler [1].



Şekil 1.2 Brodmann Alanları

1.2 Uyarıları Merkezi Sinir Sistemine İleten Duyuşal Yollar

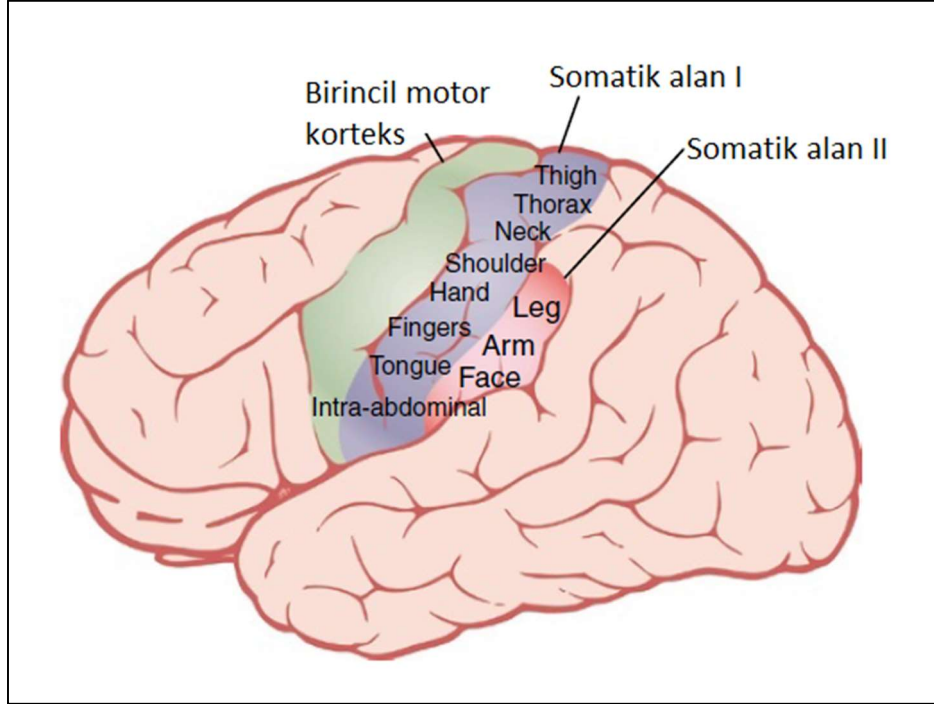
Vücudun çeşitli bölgelerinden iletilen somatik bilgiler spinal sinirlerin arka kökleri ile omuriliğe girmektedir. Duyuşal sinyaller omuriliğe girdikten sonra merkezi sinir sistemine, alternatif 2 duyuşal yoldan biri ile taşınır ve talamus seviyesinde tekrar kısmen birleşmektedirler. Bu yollardan ilki dorsal kolon-medyal lemniskal sistem diğeri ise anterolateral sistem olarak adlandırılmaktadırlar. Dorsal kolon-medyal sistemde veri transfer hızı 30 ile 110 m/s kadardır ve geniş miyelinli sinir liflerinden oluşmaktadır. Anterolateral sistemde veri hızı ise birkaç metreden 40m/s arasında değişen hızlarda veri iletimi sağlanmaktadır. Anterolateral sistem çapı 4 μ m den oluşan ince miyelinli liflerden oluşmaktadır ve dorsal kolon-medyal lemniskal

sistemi liflerine göre oldukça incedir. Dorsal kolon-medyal lemniskal sistemi geçici ve uzamsal doğruluk ile hızlı iletilmesi gereken bilgileri taşır. Anterolateral sistem ise uzamsal doğruluk ve hızlı iletilmesi gerekmeyen bilgileri taşımaktadır. Bu doğrultuda baktığımızda, uyarımın yüksek derecede lokalizasyonu gerektiren dokunma duyuları, uyarım şiddetinin hassas olduğu uyarımlar, vibrasyon duyuları, deri üzerindeki hareketleri ileten duyular, pozisyon duyuları ve basınç şiddetinin hassas derecelerinin iletilmesi gereken durumlarda dorsal kolon-medyal lemniskal sistem kullanılarak veriler iletilir. Bunun dışında ağrı, soğuk ve sıcak duyuları, vücut yüzeyinde oluşan kaba dokunma ve basınç duyuları ve cinsel duyular anterolateral sistem üzerinden merkezi sinir sistemine iletilir [2].

Merkezi sinir sistemi 50 farklı alandan oluşan ve Brodmann alanları diye adlandırılan bölümlerden oluşmaktadır. Şekil 1.2 de Brodman alanlarının gösterimi bulunmaktadır. Nörofizyologlar ve nörologlar tarafından Brodmann alanları merkezi sinir sistemini fonksiyonel olarak belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Genellikle, duyu modalitelerinin tümünden gelen duysal sinyaller merkezi sinir sisteminde bulunan ve santral fissür (santral sulkus) diye adlandırılan serebral kortekste santral fissürün posteriyorunda sonlanmaktadır.

Pariyetal lobun ön yarısının tamamına yakınında algılama ve somatik duysal sinyallerin yorumlanması gerçekleşmektedir. Ayrıca arka yarısı daha da yüksek düzeylerde yorumlama yapmaktadır. Somatik duysal alan I ve II Pariyetal lobda bulunmaktadır ve Brodmann alanında 3, 1 ve 2 numaralı bölümleriyle haritalandırılmıştır. Somatik duysal alan I ve somatik duysal alan II vücudun farklı bölümlerinin belirgin ve ayrı uzamsal oryantasyonlarını barındırmaktadır. Somatik duysal alan I de somatik duysal alan II ye göre çok daha fazla vücut bölgesinin lokalizasyonu bulunmaktadır. Somatik alan II de kabaca yüz anteriyorda, kollar ortada ve bacak posteriyorda temsil edilmektedir. Somatik alan I de yansıyan birçok duysal sinyal somatik duysal alan II de de gözlemlenmektedir. Merkezi sinir sisteminin diğer duysal alanlarından da sinyaller hatta görsel ve işitsel alanlardan gelen bazı sinyaller de somatik duysal alan II de gözlemlenebilmektedir. Şekil 1.3 de merkezi sinir sistemindeki somatik alan I ve II nin konumu gösterilmektedir.

Somatik duyuşal alan I de kişilerin vücutlarının farklı bölümlerindeki farklı duyuşları ayrı bir şekilde lokalize edilmesini sağlar. Bunun yanında vücuda uygulanan basınçların hassas bir şekilde ayırt edilmesini, nesnelerin ağırlıklarının ayırt edilebilmesini, nesnelerin şekilleri ve biçimleri hakkında bilgi edinilebilmesini ve dokunulan maddelerin yapısı hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.3 Somatik Alan I-II Organizasyonu

5'inci ve 7'inci Brodmann alanları, somatik duyuşal alanlara giren bilgilerin çözümlenmesini sağlamaktadırlar. Bu nedenle bu alanlar somatik duyuşal asosiyasyon alanı olarak adlandırılmaktadırlar. Somatik asosiyasyon alanı elektrik ile uyarıldığında, denekler karmaşık duyuşal deneyim yaşayabiliyorlar. Uygulanan bu uyarım nedeniyle denekler bazen top, bazen de bir bıçağı dokunuyormuş hissi algılayabilmektedirler. Bu da somatik duyuşal asosiyasyon alanının, somatik duyuşal alan I den gelen sinyalleri çözümlediğini göstermektedir.

Sinaptik seviyede diverjans (dallanma) oluşan dorsal kolon yolunun temel organizasyonu gereğı deri üzerinde tek bir reseptörün uyarılması o reseptörün bağlantı kurduğu tüm kortikal nöronlarda aynı oranda deşarja neden olamamaktadır. Uyarımın şiddetine göre uyarım merkezi sinir sistemindeki nöronların ateşlenme adedi de değişmektedir.

Dorsal kolon sistemi 400 Hz. hızında veri iletimi yapabilmektedir. Bu nedenle dokunma duyusunun verisi merkezi sinir sistemine dorsal kolonlar aracılığı ile iletilmektedir. Saniyede 700 defa uyarım vibrasyon olarak algılanmaktadır ve pacini cisimciği ile iletilmektedir. 200 ün altında olan uyarılar ise meissner korpüskülü aracılığı ile merkezi sinir sistemine titreşim olarak iletilmektedir.

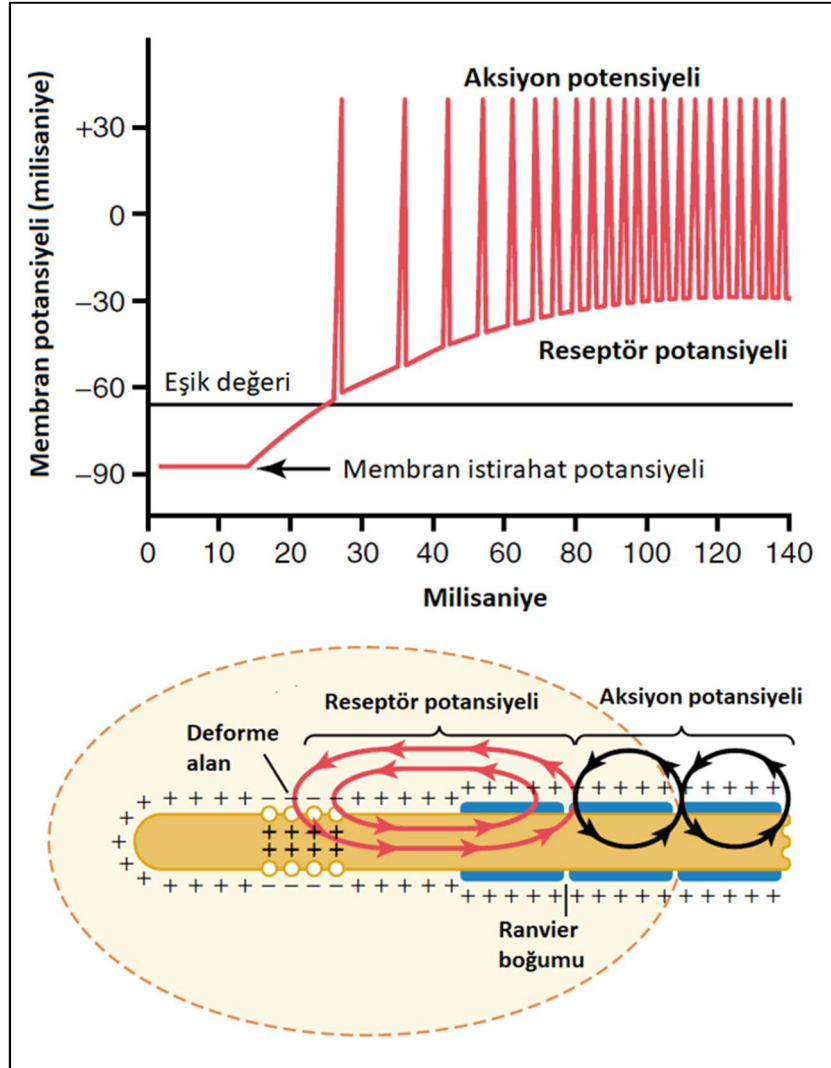
Tüm bu dokunma sinyallerinin içerisinde kaba dokunma sinyalinin iletimi için anterolateral yol kullanılmaktadır. Anterolateral yol lokalizasyonu ve hassasiyeti önemsiz olan dokunma duyu sinyallerinin iletiminde kullanılır. Kaba dokunmanın yanında anterolateral yol ile ağrı, sıcak, soğuk, gıdıklama, kaşınma ve cinsel duyular da iletilir.

1.3 Merkezi Sinir Sistemi Sinapsları

Sinir sistemi organizasyonunda reseptörlerin ürettiği bilgi aksiyon potansiyelleri şeklinde birbiri ardına sıralı bir şekilde ilerleyen nöron hatları boyunca iletilir. İletilen bu bilgi literatürde impuls olarak adlandırılır. Bu impluslar bir nöron hattından diğerine iletilirken duraklatılabilir, tekrarlayan impulslara dönüştürülebilir ya da başka nöronlardan gelen impulslarla birleştirilerek diğer bir nöron hattına iletilebilir.

Merkezi sinir sisteminin genel organizasyonunda 2 farklı sinaps türü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi kimyasal sinaps, diğeri de elektriksel sinapsdır. İnsan sinir sisteminin sinyal iletiminin hemen hemen hepsinde kimyasal sinapslar kullanılmaktadır. Sinapslar nörotransmitter madde denilen bir kimyasal madde salgılayarak ikinci nöronun membranındaki algılayıcı reseptörlere veri akışı sağlamaktadır. Asetilkolin, norepinefrin, histamin, gama-aminobütirik asit (GABA), glisin, serotonin ve glutamat en çok bilinen nörotransmitter maddelerin bazılarına örnek olarak gösterilebilir. Kimyasal sinapslar tek yönlü olarak iletilmektedir. Sinyal nörotransmitter maddeyi salgılayan ve presinaptik diye adlandırılan nörondan etki edeceği postsinaptik nörona iletilir. Kimyasal nörotransmitter tek yönlü olarak veri iletimi gerçekleştirmektedir. Buna karşın elektriksel sinapslar, verileri elektrik sinyali olarak bir hücreden diğerine küçük protein tübülleri aracılığı ile iletmektedir. Bu yapılara yarık bağlantılar adı verilmektedir. İyonlar bu yarıklardan bir hücreden diğerine geçmektedir. Merkezi sinir sistemi organizasyonunda çok az kullanılmaktadır. Yan yana bulunan viseral düz kas lifleri arasında ve kalp kası

hücreleri arasına aksiyon potansiyelleri elektriksel sinapslar aracılığı ile iletilmektedir [3].



Şekil 1.4 Aksiyon Potansiyeli

1.4 Duyusal Uyarıların Elektrik Sinyallerine Çevrilmesi

Reseptörler uyarıldığında ilk olarak membran potansiyelinde değişikliğe yol açmaktadır. Bu değişiklik reseptör potansiyeli olarak adlandırılır. Şekil 1.4 de aksiyon potansiyelinin oluşumu ve grafiği gösterilmektedir. Membran geçirgenliği, mekanik baskının membranın iyon kanallarının açılmasına neden olarak, kimyasal bir maddenin membrana uygulanmasından dolayı membran kanallarının açılmasına neden olarak, membranın sıcaklığının değişmesi sonucu geçirgenliğinin artması ile ve reseptöre uygulanan elektromanyetik radyasyonların (ışık gibi) etkisi ile artmaktadır. İyon geçirgenliğinin değişmesi ile iyonların difüzyonundaki artış

veya azalış potansiyel farkın değişmesine neden olmaktadır. Doğrudan veya dolaylı yollardan değişen membran kanallarının iyon geçirgenliği nedeniyle aksiyon potansiyeli oluşmaktadır.

Duyusal reseptörlerin genliği 100 mV civarındadır. Membran geçirgenliği maksimuma ulaştığında voltaj değişikliği 100 mV civarında olmaktadır. Reseptör potansiyeli, reseptörün bağlı bulunduğu sinir lifinde aksiyon potansiyeli oluşturacak eşiğin üzerine çıktığında aksiyon potansiyeli oluşur. Reseptör potansiyeli eşik değerinin (yaklaşık -55 mV) ne kadar fazla üzerine çıkarsa aksiyon potansiyelinin frekansı da o nispette artmaktadır [3].

1.5 Merkezi Sinir Sisteminin Bölümleri

Merkezi sinir sistemi 7 ana bölümden oluşmaktadır. Spinal kord diye adlandırılan ve kuyruğumsu yapıya benzeyen bölümdür. Bu bölüm deriden, eklemlerden, uzuv ve vücut kaslarından sensör bilgilerini alıp işlemektedir. Servikal, torasik, lomber ve sakral bölümlerinden oluşmaktadır.

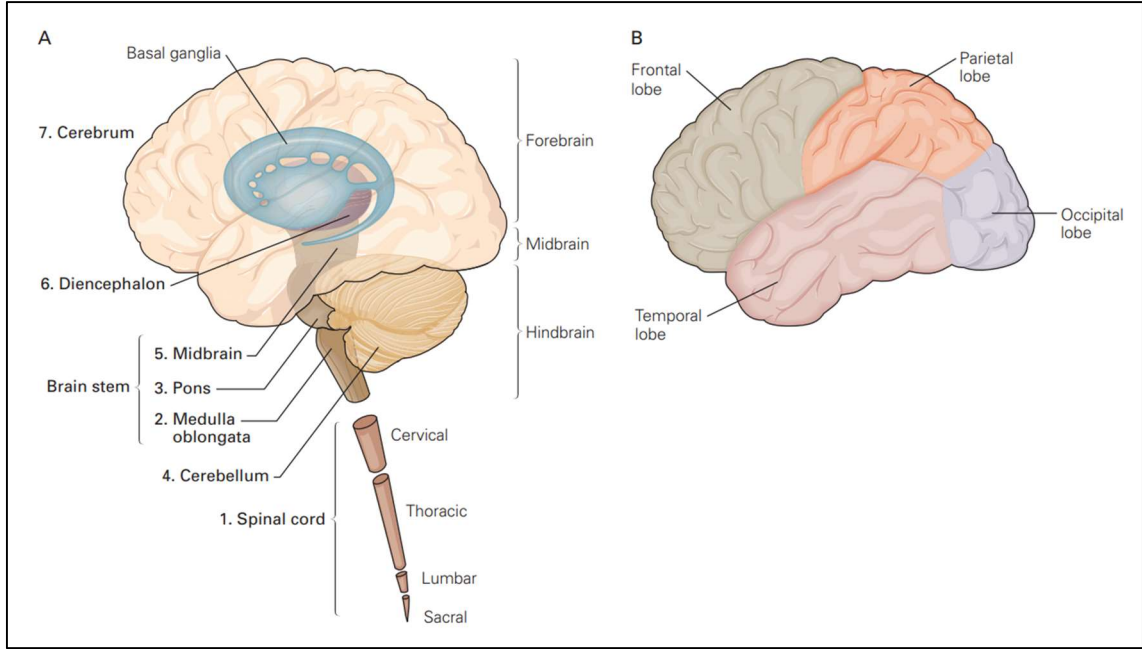
Spinal kortun devamında, omurilik medulla oblongata, pons ve midbrain'den oluşan beyin sapı gelmektedir. Beyin sapı, baş bölgesinde bulunan deri ve kaslardan sensör bilgisini alarak baş bölgesinde bulunan kas grubunu kontrol etmektedir. Ayrıca beyinden spinal korta ve spinal korttan beyine bilgi akışı sağlayıp retiküler formasyon yoluyla uyarılma ve farkındalık seviyelerini düzenlemektedir. Beyin sapı çeşitli hücre gövdeleri ve kranial sinir hücreleri çekirdeği içermektedir. Bir kısım sinir hücreleri çekirdeği baş bölgesindeki deri ve kaslardan bilgiler alır. Diğer bir kısım ise yüz, boyun ve göz kaslarının motor çıktılarını kontrol eder. Diğerleri ise işitme, denge ve tat duyusunda özelleşmişlerdir.

Diğer bir bölüm olan ve doğrudan omuriliğe rostral olan medulla oblongata, sindirim, solunum ve kalp atış hızı kontrolü gibi hayati otonomik fonksiyonlardan sorumlu çeşitli merkezler içermektedir.

Medullaya rostral olan pons, serebral yarım küreden serebelluma olan hareketler hakkında bilgi aktarmaktadır.

Serebellum, ponsların arkasında uzanır ve beyin sapına peduncles adı verilen birçok önemli lif yolu ile bağlanır. Beyincik, hareket gücünü ve hareket alanını düzenler ve motor becerilerinin öğrenilmesine katılır.

Ponsun devamı olan orta beyin, göz hareketi ve görsel ve işitsel reflekslerin koordinasyonu da dahil olmak üzere birçok duyuşal ve motor fonksiyonlarını kontrol eder.



Şekil 1.5 Merkezi Sinir Sistemi Bölümleri

İki yapı içeren diencephalon ortabeyine doğru uzanmaktadır. Talamus, merkezi sinir sisteminin geri kalanından beyin korteksine ulaşan bilgilerin çoğunu işler. Hipotalamus ise otonom, endokrin ve iç organ fonksiyonlarını düzenler.

Serebrum iki beyin hemisferden oluşur. Her biri ağır buruşuk bir dış tabakadan (beyin korteksi) ve üç derinleştirici yapıdan (bazal ganglionlar, hipokampus ve amigdaloid çekirdekler) oluşur. Serebral korteks dört ayrı loba bölünmüştür: frontal, parietal, occipital ve temporal.

Bazal ganglionlar motor performansını düzenlemeye katılır. Hipokampus, hafıza saklama yönleriyle ilgilenir ve amigdaloid çekirdekler, duygusal durumların otonom ve endokrin tepkilerini koordine eder.

Beyin aynı zamanda üç geniş bölgeye ayrılmıştır: arka beyin (medulla oblongata, pons ve serebellum), orta beyin ve ön beyin (diensefalon ve beyin). Arka beyin (beyincik hariç) ve orta beyin birlikte beyin sapıyla aynı yapıları içerir [4]. Şekil 1.5 de merkezi sinir sisteminin bölümleri görselleştirilmiştir.

1.6 Literatür Özeti

Merkezi sinir sistemi ile mekanoreseptörler arasındaki ilişkiyi ortaya koymak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan biri de [5] numaralı kaynakta bahsedildiği gibi, deneklerin sağ parmağının volar yüzeyi mekanik uyarı ile uyarılırken merkezi sinir sistemi fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) cihazı ile görüntülenmiştir. Görüntülemeye parmağa uygulanan mekanik uyarımın yansıması Somatik Alan I de gözlemlenmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada pnömatik bir dokunsal uyarım sistemi ile ayak tabanı uyarılarak deneklerin merkezi sinir sistemi 3 T MRG ile görüntülenmiştir. 7 sağlıklı denek üzerinde yapılan görüntüleme sonuçlarına göre, Somatik Alan I ve paracentral gyrusta uyarım etkileri ortaya çıkmıştır. Ayrıca Somatik Alan II de de uyarımın etkisi gözlemlenmiştir [6].

[7]'te belirtilen bir başka araştırmada manyetik alandan etkilenmeyen bir dokunsal uyarıcıdan bahsedilmiştir. Bu cihazla fMRI görüntülemesi sırasında bireylere bir düğmeye basma testi yapılmıştır. Test sonuçlarına göre sağ paracentral gyrusta bulunan Somatik Alan I, bilateral medial frontal gyrus, putamen ve serebellumun uyarıldığı gözlemlenmiştir.

IEEE Tıp ve Biyoloji Derneği Konferansı Konferansı'nda sunulmuş [8] numaralı çalışmada, fMRI ile kullanılabilecek bir dokunsal uyarıcı geliştirilmiştir. Araştırmacılar 12 sağlıklı birey üzerinde test uygulamışlardır. Test sonuçlarına göre, görsel-dokunsal senkronizasyonu bilateral temporo parietal korteksteki modülasyonlarla ilişkisi saptanmıştır.

[9]'te belirtilen bir başka araştırmada, piezoelektrik tabanlı bir uyarım içere yeni bir cihaz kullanılarak, fMRI 3.0T'de, deneklerdeki dokunsal uyarımın uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla üç çalışma yapılmıştır. Test 8 kişinin sol el işaret ve serçe parmaklarına uygulanmıştır. Test sonucuna göre, Somatik Alan I ve II, subcentral gyrus, precentral gyrus, posterior insula, posterior parietal bölgeler (alan 5) ve posterior singülatta önemli aktivasyon kümeleri bulunmuştur. Ayrıca Somatik Alan I'de tüm bireyler için, uyarılan parmağı denekler tarafından ayırmak mümkün olmuştur. İkinci çalışma, farklı altı denek üzerinde uygulanmış ve ilk çalışmanın, ana kontralateral aktivasyon paterninin aynısı kopyalanarak

uygulanmış ve Somatik Alan I'de, uyarılan parmakların ayırma yeteneğinin arttığı gözlemlenmiştir. Üçüncü çalışmada, stimülasyon sıklığı 30 Hz.'den 80 Hz.'e çıkarılmıştır. Deneklere stimülasyon uygulanırken fMRI ile görüntülenmiştir. Sonuçlara göre, Somatik Alan II'de fMRI görüntüsünün piksel sayısı artarken, Somatik Alan I'de piksel sayısının azaldığı gözlemlenmemiştir.

Aktif dokunuşun (kişinin kendi kendine yönettiği dokunuştur, burada bir motivasyon ve yaklaşımda olan duyuşal girdilerin beklentisi vardır), öz dokunuşun ve pasif dokunuşun (başka bir kişinin dokunması) nöral sinyallerinin üzerindeki etkilerini ayırt etmek için [10]'da bildirildiği gibi bir test çalışması yapılmıştır. Testi gerçekleştirmek için hem tüysüz (avuç içi) hem de tüylü (kol) cildin uyarılması için yumuşak bir fırça kullanılmıştır. Katılımcılar sol ellerini ve kollarını, sağ ellerini kullanarak yumuşak bir fırça ile uyarılmıştır. Test sonucuna göre, denekler sol avuç içlerine dokunarak uyarmaları, kollarına dokunarak uyarmalarına göre daha fazla kan oksijenlenme seviyesi bağımlılığı (BOLD: Blood Oxygenation Level Dependency) diye adlandırılan sinyal Somatik Alan I'de, büyük, anlamlı ve pozitif olmuştur. Ayrıca, Somatik Alan I'de de aktif dokunma sinyali pasif dokunma sinyalinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

The Journal of Comparative Neurology tarafından yayınlanan Kortikal alanların sayısını ve iç organizasyonunu tanımlamak amacıyla yapılmış başka bir araştırma bulunmaktadır [11]. 18 kişi üzerinde uygulanan testte, bireylerin dudak, yüz, el ve gövdeleri uyarılmıştır. Bu uyarım testi sonucunda deneklerin sylvia fissüründeki somatosensöriyel korteksi stimülasyonlara göre haritalandırılabilmiştir.

[12]'de bahsi geçen araştırmaya göre, insan somatosensör sistemini özellikle Somatik Alan II'de araştırmak için 8 kişi üzerinde bir test prosedürü uygulanmıştır. Bireylerin sağ el ikinci, beşinci parmak ve ayak baş parmağı elektriksel olarak uyarılmıştır. Uyarım sırasında, bireylerin merkezi sinir sistemi fMRI ile görüntülenmiştir. Sonuçlara göre, araştırmacılar, uyarımının etkisi Somatik Alan I'de ve yanmasını da Somatik Alan II'ye yansımasını gözlemlemişlerdir.

Merkezi Sinir Sistemi'ndeki somatosensör ve motor sinyalleri arasındaki akışı ve etkileşimi açıklayan bir derlemede duyuşal sinyallerin nereden geldiği ve sinyallerin nasıl işlendiğini ve ayrıca Merkezi Sinir Sistemi'nin stimülasyona nasıl cevap verdiği

gösterilmiştir [13]. Ayrıca bu derlemede yapı-işlev ilişkilerinin döngüsü de açıklanmaktadır.

[14] numaralı kaynakta, somatosensöriyel sistemi uyarmak amacıyla geliştirilen yeni bir cihaz açıklanmaktadır. Cihazın adı Tactile Spinning Wheel (TSW) ve EEG cihazı ile birlikte kullanılabilir. Test prosedürü sırasında TSW parmak uçlarını uyarırken, EEG bireyin Merkezi Sinir Sistemi'ni izlemektedir. Test sonuçlarına göre uyarımın, Merkezi Sinir Sistemini etkinleştirdiği gözlemlenmiştir.

[15]'de bahsi geçen diğer bir araştırmada, elektriksel uyarmı yapan bir cihaza alternatif olarak dokunsal uyarmı yapabilen bir cihazı geliştirilmiştir. Elektriksel stimülasyon çocuklarda telafi edilemeyecek boyutlarda eser bırakmakta ve telafi edilemeyen rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Geliştirilen bu sistemde, ucunda bir çeşit keskin olmayan iğne bulunan ve hidrolik olarak sürülen uyarıcılar mevcuttur. Stimülasyon sırasında, bireylerin periferik sinirlerinin elektriksel tepkileri, Manyetoensefalografi (MEG) ile görüntülenmiştir. Sonuçlara göre, dokunsal stimülasyon, elektrik stimülasyonu ile karşılaştırıldığında birincil somatosensöriyel korteksin daha fazla aktif olduğu gözlemlenmiştir.

Araştırmacılar, [16]'de belirtilen diğer bir çalışmada, insan dokunsal çalışmaları için başka bir dokunsal uyarıcı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu sistem üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar kontrol ünitesi, kompresör ve stimülasyon ünitesidir. Kontrol ünitesi kompresöre komut iletir. Daha sonra hava kontrol ünitesi stimülasyon gücünü stimülasyon ünitesine ileterek uyarmı gerçekleştirilir. Geliştirilen bu cihazla event-related potential (ERP-somatosensörlerin uyarılması sonucu ortaya çıkan potansiyel) uygulayıp electroencephalographic (EEG) ile görüntülenmişlerdir. Araştırmalar, N100 ve P300 dalgalarının beyin somatosensöriyel alanında C3 standart elektrot pozisyonunda bulunduğunu göstermektedir.

[17] numaralı kaynakta bahsedilen başka bir çalışmada yeni bir dokunsal uyarı sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem, görsel ve işitsel algı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan E-Prime yazılımı kullanılarak aynı anda deneklerin görsel ve işitsel duyularını uyatabilmektedir. Bu cihaz, kontrol ünitesi, tahrik ünitesi ve vibratör olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Bu cihaz parmaklar dahil vücudun herhangi bir bölümünü uyatabilmektedir.

[18] Numaralı kaynakta anlatılan diğer bir çalışmada araştırmacılar, dokunsal uyarım için piezoelektrik polimer film bazlı rezonans aktüatörü geliştirmişlerdir. Dokunsal uyarıcı, 3×4 uyarıcı nokta dizisinden oluşmaktadır. 2 ms aralıklarla (250 Hz.) 80 Vpk (52.5 kHz.) giriş gerilimi uygulandığında stimülatör 257.0 ± 1.5 nm yer değiştirme, 339.1 N/m² çıkış basıncı oluşturabilmektedir. Ayrıca bu cihaz deneysel olarak da test edilmiştir.

Araştırmacılar, fMRI ile birlikte kullanmak amacıyla yeni bir dokunsal p geliştirmişlerdir. MR ile dokunsal bir stimülatör kullanmak zordur. Çünkü sahada manyetik alan vardır ve hastalardan manyetik alan nedeniyle fMRI ile izlenmeden önce üzerlerinde bulunan tüm metal nesneleri çıkarmaları istenmektedir. [19] Numaralı kaynakçada belirtilen çalışmada pnömomatik tahrikli dokunsal stimülatör geliştirilmiştir ve altı denek üzerinde bir test prosedürü uygulanmıştır. Test sonuçları, pnömomatik tahrikli dokunsal stimülatörün fMRI ile birlikte kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

Otizm spektrum bozukluğu (ASD) olan çocuklar üzerinde bir test uygulanmıştır. Bilindiği gibi, ASD'li çocuklar, dokunsal uyaranlara anormal tepkiler verir, ağrı algısını değiştirir ve ASD'li çocukların motor becerileri sağlıklı çocuklardan daha düşüktür. Ayrıca bu farklılıklar çoğunlukla klinik gözlem ve kişisel raporlama anketleri kullanılarak değerlendirilebilmektedir. [20] Numaralı kaynakta bahsedilen çalışmada, ASD'li çocuklarda somatosensör ve motor fonksiyonları araştırılmıştır. Bu çalışmaya 27 ASD'li çocuk ve 30 sağlıklı çocuk katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ASD'li çocukların ağrıya duyarlılığı ve C-tactile afferents diye adlandırılan sinirlerle örülü alanda dokunma hassasiyeti artmıştır. Ayrıca Sağlıklı çocuklarla kıyaslandığında motor performansı ve proprioepsiyon azaldığı gözlemlenmiştir. Bu karşın Stereognoz (cisimlerin şekillerini belirten duyu) için grup farklılığı gözlenmemiştir.

Araştırmacılar, [21]'de belirtildiği gibi fMRI kullanarak beyin aktivitesi ve bağlantısının, Parkinson hastalığının (PD) erken evresinde, dokunsal algı altında nasıl değiştiğini bulmaya çalışmışlardır. 21 PD ve 22 kontrol grubundaki denekler üzerinde test yapılmıştır. Sonuca göre PD'de ipsilateral SMA'da toplam bağlantı derecesinde önemli bir düşüş olduğu ve bunun Unified Parkinson Hastalığı Değerlendirme Ölçeği skoruyla negatif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Bu

nedenle, bu çalışma erken PD'nin sadece değiştirilmiş beyin aktivasyonu ile ilişkili olmadığını, aynı zamanda dokunsal algıdaki işlevsel bağlantıyı da değiştirdiğini göstermiştir.

Alkol tüketiminin merkezi sinir sisteminin bazı fonksiyonları üzerinde etkileri vardır. Uzun dönemli alkol tüketiminden dolayı, bazı sinir sistemi algıları etkilenebilmektedir. Yapılan bu çalışmada Cortical Metrics adı verilen bir uyarım cihazı kullanılarak yapılan bu çalışmada alkol tüketiminin, somatik sensor bilgisinin işlenmesi üzerindeki potansiyel etkilerinin ölçülmesi amaçlanmış ve yaşları 18 ile 26 arasında değişen öğrenciler üzerinde testler yapılmıştır. Yapılan test çalışmaları sonucunda tepki zamanı ve eşik değeri ölçümü testlerinde anlamlı sonuç elde edilememiştir. Fakat kısa süreli adaptasyon testi sonuçlarına göre, alkol tüketiminin sensor algıları üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Test sonuçlarına göre, normalde kronik alkol tüketiminden etkilenen bazı sensor algıları, alkolik olmayan fakat alkol tüketimini artıran deneklerde gözlemlenmemiştir. Merkezci aracılı mekanizmanın etki ettiği diğer ölçümler, alkol tüketiminin artmasıyla normal değerlerden sapma göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile, yüksek seviyeli alkol tüketiminin merkezi sinir sistemi mekanizmasını etkilediği saptanmıştır. [22]

Baş ağrısı ilaçları hastanın öznel ağrı raporuna göre belirlenmektedir. Teşhis ve tedavi ise hastanın baş ağrısı ile ilgili verdiği beyana göre yapılmaktadır. Baş ağrısı şiddetinin objektif bir şekilde biyolojik sayısal ölçüm ile belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, migreni olan hastalara çoklu-konum vibrotactile uyarımı üzerinden nicel sensor testi uygulanmıştır. Bu çalışmanın amacı migren hastalarından elde edilen test sonuçlarının, sağlıklı deneklerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılıp, yöntemin duyarlılığını ölçümlemektir. Yapılan bu çalışmanın ölçüm sonuçlarına göre, migren ağrısı çeken ve sağlıklı deneklerin sensör algısının “Amplitude Discrimination”, “Temporal Order Judgement” ve “Duration Discrimination” testlerinde anlamlı bir şekilde farklılık olduğu gözlemlenmiştir [23].

Yapılan bu çalışmanın amacı başını çarpan deneklere ve çarpmayan deneklere test uygulayarak, başını çarpan denekleri çarpmayanlardan ayrıştırılması ve karakterilize edilmesidir. “Coartical Metrics” cihazı, deri ile somatik alanlar arasındaki ilişkiden faydalanarak, kortikal-kortikal etkileşimlere aracılık eden

temel mekanizmaları araştırmak ve bitişik kortikal bölgeler arasındaki etkileşimleri ölçmek için tasarlanmıştır. Bu yapılan çalışma, yaşları 18 ile 22 arasında değişen atletlerin beyin travması sonrası oyuna dönüş durumlarının belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. “Illusion-inducing” var-yok şartlı uyarımında işaret ve orta parmak uçlarına “Amplitude Discrimination”, “Temporal Order Judgement” ve “Duration Discrimination” testleri uygulanarak sensor temelli performans testleri yapılmıştır. Şartlı uyarıcılarının var-yok performanslarının karşılaştırılması sonucunda beyin sarsıntısı geçiren bireyler ile beyin sarsıntısı geçirmeyen bireyler arasında fark olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca, ölçülerden elde edilen sonuçların matematiksel olarak birleştirilmesi, deneklerin merkezi sinir sisteminin (CNS) bilgi işleme kapasitesini de ortaya koymaktadır. Kıyaslama, beyin travması geçiren ve geçirmeyenler arasında yapılmıştır ve %99 oranında başını çarpanlar ile çarpmayanlar arasında anlamlı bir fark gözlemlenmiştir [24].

Anormal somatosensör işlemlerin Parkinson hastalığındaki motor bozukluğuna etkisi olabilmektedir. Dopaminerjik ilaçların dokunsal algıyı iyileştirecek şekilde somatosensörlerin işlevlerinin değişmesini sağladığı gözlemlenmiştir. Parkinson hastalığında, dokunsal uyarıların geçici sekanslanmasının değişip değişmediği ve dopaminerjik ilaçların bu algıyı değiştirip değiştirmediği belirsizliğini korumaktadır. Yapılan bu çalışma ile somatosensör dokunsal algı, Parkinson hastalarında, dopaminerjik ilaç kullanmayan hastalarda ve sağlıklı kontrol gruplarında “Temporal Order Judgement” testi ile test edilmiştir. “Temporal Order Judgement” testinde bilgisayar destekli uyarım, sağ el işaret ve orta parmağa uygulanmış ve deneklere hangisi önce uyarıldı sorusu yöneltilmiştir. “Temporal Order Judgement” testi işaret ve orta parmağa senkron ve asenkron bir şekilde uygulanarak her iki deney kıyaslanmıştır. Parkinson hastalarında ilaç kullanan ve kullanmayan hastaların test sonuçları, sağlıklı bireylere yapılan test sonuçları ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. “Temporal Order Judgement” testine göre, kontrol grubunda ve ilaç kullanmayan Parkinson hastalarında aynı bozulma seviyesi gözlemlenmiştir. Fakat bu algısal bozulma ilaç kullanan Parkinson hastalarında ilk etapta gözlemlenmemiştir. Bu bulgular, Parkinson Hastalarında kullanılan dopaminin kortikaller arasındaki bağlantıyı azalttığını öne sürmektedir [25].

Otizmdeki işlevsiz bağlantının nedeninin önde gelen teorilerinden biri, terapötik ve nörotipik korteks arasında farklı olan, farklı anatomik yapılara dayanmaktadır. Fonksiyonel “minicolumn” otizmlili kişilerin korteksinde, nörotipik kontrollere kıyasla çok daha küçük bir alan kapladığı tespit edilmiştir. Mimarideki bu sapmanın lokal ya da macrocolumn düzeyinde düşük bağlanabilirliğe yol açtığı öne sürülmüştür. Bu da otistik bireylerin kortikal alanların birbirleri ile işlevsiz bağlanmasına neden olmaktadır. Çok sayıda rapor, otizmi olan insanların beyinlerinde büyük ölçüde etkinlik senkronizasyonunun azaldığını göstermektedir. Bu yaklaşımla, otizmde daha geniş çaplı anormal dinamizm, mini sütunlar arasında yerel bağlantı düzeyinde ortaya çıkan hataların geniş yayılımından kaynaklanıyorsa, o zaman yerel işlevsel bağlantıdaki sapmalar da otizmde tespit edilebileceği hipotezi kurgulanmıştır. Yöntem olarak, cilt yüzeyindeki reseptörler aynı anda koşullu uyarılarak bireylerin algısal değişikliğin ölçülmesi amaçlanmıştır. “Temporal Order Judgement” ve “Temporal Discriminative Treshold” testleri 10 yetişkin otistik üzerinde uygulanmıştır. Sağlıklı deneklere uygulanan testlerde birbirine yakın noktalardan cildin uyarılması ile deneklerin ayırtırma yeteneğinin 3-4 kat azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, otistik bireylere uygulanan “Temporal Order Judgement” testinde eşik değeri daha fazla olmasına rağmen bu boyutta bir düşüş kapasitesi göstermemiştir. Otistik deneklerin, senkronize koşullandırma uyarıcılarının varlığında, duyuşsal algısal kapasitelerdeki farklılıklarının nedeni mini sütunların organizasyonel seviyedeki kortekste bulunan yerel kopukluktan kaynaklandığı düşünülmektedir [26].

Pek çok obsesif kompulsif bozukluk (OKB) hastası, bedensel duyuşlar ve “just-right (bir tür algısal mükemmeliyetçilik olan tam olarak doğru olduğunu hissedememe)” algılamaları gibi duyuşsal olaylar yaşamaktadır. Bu çalışmada OKB hastaları üzerinde dokunsal işlem çalışması ile psikofiziksel testler yapılmıştır. Çalışma OKB olan 34 çocuk ve ergen ile cinsiyet ve yaş uyumlu kontrol grubu üzerinde yapılmıştır. Klinik değerlendirmelerden sonra duyuşsal problemler için deneklerden iki anket doldurmaları da istenmiştir (İlköğretim Çağı Çocuklar İçin Duyuşsal Profil ve Dokunma Envanteri). Psikofiziksel deney türleri beş adettir. Bu beş test türü literatürde, “simple reaction time”, “choice reaction time”, “dynamic (detection) threshold”, “Amplitude Discrimination” ve “Amplitude Discrimination with Single Site Adaptation” olarak adlandırılmaktadır. Dokunsal uyarılar 25 Hz. Lik mekanik

titreşim şeklinde parmak uçlarına uygulanmıştır. “Amplitude Discrimination” testinde “Just-Noticeable Differences (JND)” bulunmuş, kontrol gurubu ile OKB hastaları arasında bir fark tespit edilememiştir. Bununla karşın, literatürde adı “Amplitude Discrimination” olarak geçen test sonuçlarına göre kontrol grubu, OKB grubuna göre daha başarılıdır. Genç OKB’li deneklerin, genç kontrollere göre adaptasyonu daha azdır. Tikli OKB denekleri ve duyuşsal algılı olanların, olmayanlara göre daha yüksek eşik değeriine sahip oldukları gözlemlenmiştir [27].

Fonksiyonel bağlanabilirlik otizmde anormaldir, ancak bu anormalliklerin niteliği belirsizliğini korumaktadır. Otizm ile ilgili birçok farklı çalışma yapılmıştır. Ancak özgün bir test modeli oluşturulamamıştır. Tipik olarak gelişmekte olan 20 denek ve 15 otistik denek üzerinde kortikal tepkinin ölçülmesi amacıyla 25 Hz. frekansta test uygulanmıştır. Deneklerin tamamı erkek olup yaşları 8 ile 18 arasında değişmektedir. Vibrotactile uyarımların sonucunda iki ana grup gözlemlenmiştir. İlk grupta, birincil (S I) ve ikincil (S II) somatosensörük korteksinde lokal olarak üretilen kortikal cevabın 50 Hz. faz kilitleme bileşenin otizm grubunda azaldığı gözlemlenmiştir. Diğeri ise, otizm grubunda S I ve S II arasındaki iler yönlü (feedforward) fonksiyonel bağlantısı arttığı gözlemlenmiştir. Dinlenme durumunda ise “mu-arhythm” gruplar arasında fark gözlemlenmemiştir. Buna karşılık, geribildirim bağlantısıyla ilişkilendirilen “mu-ritm”, otizm grubunda belirgin şekilde azalmıştır. Otizmde, farklı fonksiyonel bağlantı akışlarında eşzamanlı olarak meydana gelen hem anormal olarak artmış hem de anormal olarak azalmış fonksiyonel bağlantının doğrudan gözlemlenmesi, mevcut bulgulardaki açıklanamayan tutarsızlıklar için potansiyel bir birleştirici çerçeve sunmaktadır [28].

Yapılan bir diğeri çalışmada somatosensör metriklerinin ölçülmesi ile travma sonrası beynin iyileşip iyileşmediğinin anlaşılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, literatürde adları “Reaction Time”, “Amplitude Discrimination”, “Temporal Order Judgement with and without conditioning” ve “Duration Discrimination” diye adlandırılan testler 20 dakika boyunca deneklere uygulanmıştır. Beyin sarsıntısı sonrası 18, 25 ve 48. günlerde elde edilen metrikler daha önce yayınlanmış çalışmalardan elde edilen normatif değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda, bir kısım insanların kafa travması sonrası iyileşmeleri 10 günden fazla sürebilir.

SCAT3'ün (SCAT3: sarsıntı nedeniyle sporcuları değerlendirmek için standartlaştırılmış bir araçtır ve 13 yaşından büyük sporcularda kullanılabilir) beyin sarsıntısı sonrası elde edilen skorla birlikte semptom indekslerinin kullanılması, semptomların yoğunluğu için bir ölçüm sağlayabilir. Somatosensör sistemi tüm kortikal sistemin teşhisinde kullanılabilir. Ancak, beyin sarsıntısı için yapılan çalışma artırılarak doğruluğunun kanıtlanması gerekmektedir [29].

Rugby sporu en çok beyin sarsıntısı yaşanan sporlardan biridir. Medyanın ve araştırmaların yoğun ilgisine rağmen, rugby ile beyin sarsıntısı arasındaki ilişki yeteri kadar araştırılmamıştır. Bu nedenle, beyin sağlığını niceliksel ve gerçek zamanlı bir şekilde ölçmek için yeni, invazif olmayan teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de literatürde adı "Brain Gaugesomatosensory System" olarak adlandırılan sistemdir. Bu doğrultuda, geliştirilen cihaz ilk olarak, "Brain Gauge" 2017/2018 oyun sezonunda altı maç boyunca beş üniversite rugby oyuncusu arasında beyin sağlığını izlemek ve ölçmek için kullanılmıştır. Dört adet rugby oynamayan üniversite öğrenci grubu kontrol grubu olarak kullanılmıştır. Denekler üzerinde Reaksiyon Süresi (RT), Sıralı (SEQA) ve Eşzamanlı Genlik Ayrımı (SIMAD) ve Reaksiyon Süresi değişkenliği (RTVar) ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm sonucunda elde edilen verilere istatistiki analiz uygulanmıştır. Ayrıca, 6 haftalık süre boyunca deneklerle anket çalışması yapılmıştır. Ölçüm sonucunda yapılan analiz çalışmalarına göre 4 testin üçünde anlamlı bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın sadece SIMAD testi anlamsızdır. RT ve RTVar testleri arasında yapılan ikili korelasyon analizine göre, bu iki test türü arasında bir ilişki vardır. "Brain Gauge" somatosensör sistemi beyin sağlığındaki dalgalanmaları doğru bir şekilde ölçmüş ve gelecekteki çalışmaları desteklemek için nicel temel veriler sağlamıştır [30].

Tourette Sendromu (TS), kronik tiklerin belirmesi ile ortaya çıkmaktadır. TS'li hastalar dokunma dürtüsünü engelleyememektedirler. Genel olarak, TS de fizyolojik bozulmanın nedeni tikin kendisidir. GABAergic (GABA Gamma Aminobütirik Asit, vücutta doğal olarak bulunan ve sinir sisteminde nöron aktivitesini azaltarak nörotransmitter görevi gören bir çeşit amino asittir) işlem dokunsal uyarıların nörofizyolojik tepkilerin şekillendirilmesi işleminde önemli bir rol oynamaktadır. Hatta, GABAergic iletimindeki bozukluk TS'deki semptomların oluşmasına neden olmaktadır. Yapılan bu çalışmada GABA-edited manyetik rezonans spektroskopisi

(MRS) ile elde edilen test sonuçları ile vibrotactile stimülatör ile yapılan test sonuçları birlikte değerlendirilerek GABA'nın etkisi ve TS'li çocuklarda tipik sensör bilgisinin işlenmesi araştırılmıştır. TS'li çocukların azaltılmış sensor-motor korteksindeki (SM1) GABA konsantrasyonu ile sağlıklı kontrol grubu kıyaslanmıştır. Dokunsal algılamada bozulmuş performans kalıpları ve adaptasyon işlemi, değiştirilmiş GABAergic fonksiyonu ile uyumludur. TS'li SM1 GABA konsantrasyonu motor tik şiddeti ile ilişkilidir. Kontrol grubu ve TS'li hastalara uygulanan testlerin sonucu incelendiğinde, ayırıştırma performansı testinde bir ilişki gözlemlenmemiştir. Bu da TS'li çocuk hastalarda indirgenmiş GABA konsantrasyonunun hem motor tiklerine hem de sensör bozulmalarına etkisinin olduğunu göstermiştir. TS'li hastalarda değişen sensor işleme mekanizmasının anlaşılması bu semptomun hafifletilmesi için bir temel sağlayabilir [31].

Otistik çocuklarda dokunma anormalliği yaygın bir şekilde gözlemlenmektedir. GABA, insan beynindeki ana inhibitör nörotransmitlerdir ve dokunma kodlamasında anahtar rol oynamaktadır. MRS ile insan beynindeki GABA seviyesinin ölçülmesi mümkündür. GABA seviyesi otistik spektrum bozukluğu (Autizm Spectrum Disorder: ASD) olan hastalarda azalmaktadır. Bu çalışmada beyin GABA seviyesinin ASD'li deneklerde değişip değişmediği ve beyin GABA düzey taramasındaki değişikliklerin dokunsal hassasiyetteki farklılıkları öngörüp görmediği araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucuna göre, GABA seviyelerinin sensörimotor alanlarda azaldığı, ancak oksipital görsel alanlarda azalmadığı gözlemlenmiştir. Düşük GABA seviyesi dokunma bilgisinin daha az bir şekilde filtrelenmesi ile ilgili olup, ASD hastalarının alışkanlıkları ile alakalı olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucuna göre, beyin GABA seviyesinin azalması dokunsal fonksiyonların değişmesinin ana nedenidir. Değişen GABA fonksiyonu GABA ve davranış arasındaki bağı bozmaktadır. GABA ile dokunsal davranışların arasındaki ilişkiyi anlamak, ASD'li hastaların beyin davranışlarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Bu sayede duyuşal semptomların şiddetini azaltmak için gelecekteki tedavilere yol göstermesi amaçlanmıştır [32].

Konsantrasyon eksikliği, yüksek aktivite ve hipermotor davranışlarının eksiklikleri, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu (DEHB) rahatsızlığının karakteristik özelliğidir. Ayrıca sensör (özellikle dokunsal) problemleri yaygın olarak

gözlemlenmektedir. Yapılan bu çalışmanın amacı DEHB hastalığına sahip çocukların algı azalmasının ölçülmesidir. Bu kapsamda 67 DEHB çocuk ile 62 gelişmekte olan çocuk (TDC) üzerinde çalışma yapılmıştır. Yapılan bu test çalışmasında literatürde adları “Simple and Chosie Reaction Time”, “Static and Dynamic Detection Treshold”, “Amplitude Discrimination without Adapdation and with Dual and Single Site Adapdation”, “Sequential and Simultaneous Frequency Discrimination” ve “Temporal Order Judgement with and without a Synchronous Carrier Stimuli” olan testler uygulanmıştır. DEHB’li çocuklar, adaptasyon olmaksızın farklı genlikleri ayırt edebilmektedirler. Bu da lateral inhibasyonun sağlam olduğunu, ancak tüm adaptasyon koşullarında negatif olarak etkilendiğini gösterirken, TDC grubunun ise sadece tekli adaptasyon sırasında etkilendiği gözlemlenmiştir. DEHB olan çocukların normal frekansı ayırt etmede başarılı oldukları gözlemlenmiştir. Kontrol grubu çocuklar “Static and Dynamic Detection Treshold” ve Simple and Chosie Reaction Time” testlerinde DEHB grubuna göre daha başarılıdırlar. Buna da IQ seviyesi ve dikkatsizliliğin neden olduğu düşünülmektedir. “Static and Dynamic Detection Treshold” ve Simple and Chosie Reaction Time” testlerinin IQ ve ince motor sinyalleri ile olan ilişkisi bizi bu düşünceye sevk etmektedir [33].

Tek taraflı uzuv kaybı sensor algısının değişmesine neden olmaktadır. Sadece kalıcı uzuvda değil, aynı zamanda bozulmamış uzuvda da değişikliklere neden olmaktadır. Bu çalışmada var olan uzvun uyarılması ile kaybedilmiş uzuvdaki uyarının tespiti amaçlanmıştır. Uzvunu tamamen kaybetmiş denekler üzerinde test yapılmıştır. Yapılan bu test ile vücudun başka bir bölümü uyarıldığında kaybedilmiş uzuvdaki tecrübe edilmiş uyarının uzuv kaybindan dolayı beyindeki yansımaları tanımlanması amaçlanmıştır. 19 ampute denneğin 8 inin farklı vücut noktaları uyarılmıştır ve hayalet organ uyarısı alınmıştır (organ olmamasına rağmen uyarım hissetmişlerdir). RS (referred sensations: göndermeli duyu)’nin olduğu yerde hayalet uzuv ağrısı ile hayalet his arasında bir ilişki saptanamamıştır. Altı ampute ya hayalet ağrı ya da hayalet hisse sahiptirler. Literatürde “Temporal Order Judgement” diye adlandırılan test sonuçlarına göre denekler arasında anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Ayrıca süre algılamasıyla ilgili de anlamlı bir sonuç gözlemlenmemiştir. Tek taraflı kısmi uzuv kaybı yaşayanların cilt yüzeyi uyarımı esnasında hayalet ağrı veya hayalet his algılamışlardır. Bu da nöral ağda veya somatosensör korteksinde ampute sonrası değişiklik olduğunun düşünülmesine

neden olmaktadır. Ancak tek taraflı uzuv kaybı “Temporal Order Judgement” ve zaman algısı testlerinin sonuçlarını değiştirmemektedir [34].

Yapılan bu çalışma ile beyin travması geçmişine sahip deneklere uygulanan darbeli elektromanyetik alanın (PEMF), denekler üzerindeki etkisinin takibi yapılmıştır. Brain Gauge Pro ile hem tedavi öncesi hem de her hastanın bir sonraki klinik ziyareti sırasında bir grup test uygulanmıştır. Yapılan bu çalışma, hastaların PEMF tedavisi uygulanırken beyin sağlığında önemli bir iyileşme olduğunu göstermektedir. lm sonularından elde edilen sonular, diğer merkezi sinir sistemi fonksiyonlarında da iyileşme olduğunu gösteren ölçüm sonularıyla uyumludur. Ek olarak, hastaların beyin sağlığı ve bilişsel işlevlerde nitel gelişmeler olduğu gözlemlenmiştir. [35]

Yapılan bu çalışmanın amacı, kafasını çarpan kişileri çarpmayan kişilerden ayırmaktır. Yapılan bu çalışmanın diğer bir amacı ise, kafasını çarpan kişilerin, çarpma sonrasındaki iyileşme süresince merkezi sinir sistemi durumunun tanımlanmasıdır. Yapılan bu çalışmada cilt ile korteks arasındaki ilişkiden faydalanılmıştır. 35’i erkek ve 14 ü kadın olmak üzere toplam 49 denek üzerinde kafa çarpması sonrası performanslarının belirlenmesi amacıyla SCAT, ImPact ve Balance testleri ile görüntülenmişlerdir. Ayrıca deneklere Tactile Stimulator ile test uygulanmıştır. Tactile stimulator ile yapılan test testelerden elde edilen sonular, iyileşme sürecinin etkilerini göstermektedir [36].

Geçmiş araştırmalar, kısa süreli vibrotactile uyarıların (2 saniye ya da daha kısa), insanlarda etkin ve istikrarlı bir biçimde hem algısal yanıtı hem de somatosensöriyel korteksteki nörofizyolojik yanıtı değiştirdiğini göstermiştir. Adaptasyonla birlikte kortikal yanıtta değişiklik, birçok araştırmayla doğrulanmıştır. Ayrıca, araştırmalar, GABA ve NMDAR aracılı nöro-transmisyonun somatosensöriyel kortikal nöronların dinamik yanıtında belirgin bir rol oynadığını da göstermiştir. Bu araştırmada, bir NMDAR antagonisti olan deksrometorfanın (DXM) vibrotactile adaptasyonu üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda hem 60mg DXM hem de plasebo verilen denekler, aynı anda uygulanan iki vibrotactile uyarı arasında genlik ayırma kapasiteleri açısından test edilmiştir. Bulgular, genlik ayırma becerisinin, 60mg DXM alan deneklerin algısal özelliklerinin anlamlı düzeyde değiştiğini göstermiştir. Adapte edici uyarıya ve/veya uyarılara n maruziyet olmadığında, DXM alan deneklerle kontrol deneklerinden elde edilen gözlemler

arasına çok az fark bulunmuştur. En belirgin etki, ilacın alımından 60 dakika sonra ortaya çıkmıştır. Plasebo alanlardaysa skorlar değişmemiştir. Sonuç olarak DXM'in vibrotactile adaptasyonu bloke ettiğini gösteren bulgular, NMDAR aracılı nörotransmisyonun algısal adaptif yanıtta önemli bir rol oynadığına yönelik iddialarla uyumludur [37].

Zaman algısını konu alan çok sayıda araştırma yapılmış olmakla birlikte, çok az çalışmada deneklerin süre algısını değerlendirmek amacıyla vibrotactile uyarılar kullanılmıştır. Primatlar üzerinde yapılmış optik görüntüleme çalışmaları, vibrotactile uyarının süresi uzatıldığında SI kortikal yanıtının istikrarlı olarak uzadığını ve çok daha iyi tanımlanabildiğini göstermiştir. Ayrıca, vibrotactile uyarının genliği artırıldığında, büyük bir optik entresek sinyal (OIS) olduğu gibi, aynı zamanda uyarılmış yanıtın uyarı öncesi düzeye dönmesi de çok daha uzun sürdüğü gözlemlenmiştir. Bu bulgulara dayanarak, vibrotactile uyarının şiddetinin, uyarının süresiyle ilgili algıyı etkileyebileceğini ileri sürülmüştür. Bu hipotezi test etmek amacıyla, deneklerin zaman algısını ölçmek amacıyla iki vibrotactile uyarı setini karşılaştırmaları istenmiştir. Vibrotactile uyarılar arasında sadece süre açısından fark olduğunda, deneklerin ayırım eşiği farkı yaklaşık %13 olmaktadır. Bu Weber Yasası'na uymaktadır. Süre algısı vibrotaktil uyarıcıların genliğindeki değişikliklerden etkilenmiştir. Özellikle, standart uyarının genliğini artırmak ayırım eşiğini de artırmaktadır. Test uyarısının genliğini artırmak ise ayırım eşiğini azaltmaktadır. Beyin sarsıntısı geçirmiş bireylerle yapılan bir pilot çalışmada, genliğinin artırılması, ayırım eşiği üzerinde etki göstermemektedir. Bu bulgu, primatların somatosensöriyel korteksindeki optik görüntüleme bulguları ile uyumadığından, bu gözlemin, nöro-enflamasyona duyarlı olabileceğini ve beyin sarsıntısından etkilenen nöron-gliyal etkileşimlerin, genlik artışını fark etmeme ya da bütünleştirememesi gibi etkilere neden olabileceği düşünülmektedir [38].

Bir vibrotactile uyarının genliği sürekli değiştirilirse, bu modülasyonun adaptasyona etki edeceği varsayılmaktadır. Bu görüşü test etmek için, iki tekrarlayıcı vibrotactile uyarı aynı anda iki bitişik parmak ucuna uygulanmıştır. Bir uyumlama görevi dahilinde, test uyarılarının genliği sıfırdan deneklerin (n=50) iki uyarıyı aynı olarak algıladığını ifade ettiği düzeye kadar sabit bir hızla (10 $\mu\text{m/s}$) yükseltilirken, standart bir uyarı sabit bir genlikte uygulanmıştır. Standart genliğin

değiştirilmesi, Weber Yasası ile uyumlu sonuçlar sağlamış ve başlangıçtaki, modülasyon hızının değiştirilmesinin, daha yüksek modülasyon hızlarının daha düşük adaptasyona yol açacağına dair hipotezini desteklemiştir. Tanımlanan bu yöntemin kullanıldığı karşılaştırmalı bir araştırmada, daha önce normalin altında adaptasyon özellikleri olan 12 otistik denek üzerinde test uygulanmıştır. Bu pilot çalışmanın bulgularına göre, otizm spektrumu çerçevesinde bimodal bir dağılım gösterdiğinden, vibrotactile uyarıların hıza bağlı modülasyonu, daha kolay adaptasyon sağlamaktadır [39].

Bu araştırmada, sağlıklı 10 denekte uyarı şiddetinin artırılması sonucu genlik ayırmayla ilgili algısal özelliklerde gözlenen değişiklikler araştırılmıştır. Vibrotactile genlikteki farkları algılama yeteneği, artan uyarı şiddetiyle birlikte hemen hemen doğrusal olarak (Weber'in Yasası doğrultusunda) sistematik bir değişim göstermiştir. Genlik ayırımı testinde saptanan doğrusal özellik, deneğin saptama eşiğinin öngörülmesini sağlamıştır. Ayrıca, algısal ölçümler daha önce yayımlanan başka bir araştırmadaki gözlemlerle uyumludur. Bu araştırmada, farklı genliklerdeki vibrotactile stimülasyonla Somatik alan I ölçümleri elde edilmiştir. Uyarılar aynı anda iki farklı parmağa uygulanmıştır. Ölçümün karaklılığı ve gürbüzlüğü, hızlı elde edilmesi ve SI kortekste daha önceki yanıtlarla olan ilişkisi, elde edilen algısal özelliklerin başlangıç değerlerinden sapmasının serebral kortikal sağlığın yararlı bir göstergesi olabileceği sonucuna varılmıştır [40].

Cilt fizyolojisinin ve buna bağlı olarak periferik uyarılara duyarlılığının yaşla birlikte azaldığı bilinmektedir. Bu doğrultuda 18-70 yaş arasındaki deneklerde işlem hızı, eşik ayırma kapasitesi ve adaptasyon testleri yapılmıştır. Her ne kadar reaksiyon hızı ve eşik ayırma kapasitesi yaşla birlikte değişse de, ayırma kapasitesinin ve adaptasyonun etkilenmediği gözlemlenmiştir. Bu bulgular, benzer adaptasyon ölçümlerinin merkezi sinir sisteminin risk altında olduğunda belirgin olarak değiştiği için anlamlıdır. Bu tür riskler, otistik, kronik ağrı, akut NMDA reseptör bloğu, beyin sarsıntısı olan ve dokunsal-ısısal etkileşimler görülenlerde saptanmıştır. Eğer adaptasyon parametreleri kortikal plastisite ile paralellik gösteriyorsa, bu çalışmanın sonuçları, yaşlılarda MSS'nin hala plastik değişim kapasitesine sahip olduğunu ve bu mekanizmanın yaşlılarda doğal olarak ortaya çıkan bozulmayı dengelediği gözlemlenmiştir [41].

Median sinirin baskı altında olduğu durumda ortaya çıkan ve bir nöropati olan karpal tünel sendromu, sensörimotor bozukluklarının karakteristik bir özelliğidir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, bu sendromun aynı zamanda beyindeki primer somatosensöriyel kortekste işlevsel ve yapısal nöroplastisite ile de ilgili olduğunu göstermiştir. Ancak, karpal tünel sendromunda nöroplastisite ve işlevsel bozukluklar arasındaki ilişki bilinmemektedir. Karpal tünel sendromu olan, 20-60 yaş arasındaki 63 hasta ile 21'i kadın olmak üzere toplam 28 kişiden oluşan ve yaş bakımından hasta grubu ile özdeş olan kontrol grubu deneklerinin, 2. ve 3. parmaklardaki median sinir ve 5. parmakta ulnar sinire uygulanan vibrotactile stimölasyon sırasında denekler 3T fonksiyonel MR görüntülenmiştir. Denekler her parmağın kontralateral primer somatosensöriyel korteks temsili için parmaklar arası kortikal ayırma mesafesi değerlendirilmiştir. Ayrıca, daha önce doğrulanmış psikomotor performans testi ile ince motor beceri performansı ve 4 parmak zorunlu seçim yanıt testiyle dokunsal ayırma kapasitesi de test edilmiştir. Bu biyodavranışsal ve klinik parametreler değerlendirilmiş ve bunların 2.-3. parmaklar arası kortikal ayırma mesafesiyle ilişkisi araştırılmıştır. Kontrol grubu denekleriyle karşılaştırıldığında, karpal tünel sendromu olan deneklerde 2. ve 3. parmaklar arası kortikal ayırma mesafesi, kontralateral primer somatosensöriyel kortekste azalmıştır. Bu bulgu, daha önceki prelininer multi-nodal nöro-görüntüleme bulgularını desteklemektedir. Psikomotor performans testinde, karpal tünel sendromu olan deneklerde, maksimum istemli çimdikleme kontraksiyonu şiddetinde ve saniyede yapılabilen tut/bırak hareketi sayısında azalma gözlenmiştir. Ayrıca, 4 parmak zorunlu seçim testinde, karpal tünel sendromu olan deneklerde yanıt süresinin daha uzun olduğu gözlemlenmiş ve median sinirin olduğu parmaklarda sensöriyel ayırma hassasiyetinin azalmış olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, 2./3. parmaklar arası kortikal ayırma mesafesinin parestezi şiddeti ve saniyedeki tut/bırak sayısı ile negatif bir korelasyon göstermiştir. Ancak, 2. ve 3. parmak sensöriyel ayırma hassasiyetiyle pozitif korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu nedenle, kontralateral primer somatosensöriyel kortekste azalmış olan 2. ve 3. parmaklar arası kortikal ayırma mesafesi, median sinirin bulunduğu parmaklarda azalmış olan ince motor beceri performansı ve kötüleşmiş sensöriyel ayırma hassasiyetiyle ilişkilidir. Sonuç olarak, karpal tünel sendromunda median sinir bulunduğu parmaklarda primer somatosensöriyel korteks

nöroplastisitesi uyumsuzdur ve bu hastalarda görülen işlevsel bozuklukların altyapısını oluşturduğu düşünülmektedir [42].

Temporomandibüler bozukluğu (TMB) olan bireyler inatçı yüz ağrılarından muzdariptirler ve dokunsal uyarılara anormal duyarlılık gösterirler. TMB'nin altında yatan patofizyolojik mekanizmaları daha iyi anlayabilmek için, dokunmaya karşı olan bu anormal duyarlılığın kortikal korelasyonu araştırılmıştır. fMRG ile TMB olan bireyler ve sağlıklı kontrol bireylerin işaret parmaklarında düşük frekanslı vibrasyonla oluşturulan kortikal yanıtlar kaydedilmiştir. Her grupta, SI, SII ve insüler korteksin ayrı alt bölgelerinden maksimum yanıtlar elde edilmiştir. Her ne kadar uyarı duyma eşiği dışındaysa da TMB bozukluğu olanlarda primer işitme korteksi de uyarılmıştır. TMB'de ayrıca bilateral olarak anterior singulat korteks ve kontralateral olarak amigdalada da daha şiddetli aktivasyon kaydedilmiştir. TMB ve sağlıklı kişiler arasındaki, SI, SII ve insula 'ya uygulanan zararsız stimülasyonun oluşturduğu yanıtlar, daha önce rapor edilen ve sağlıklı bireylerde zararlı ve zararsız uyarılara alınan yanıtlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, zararsız ve zararlı uyarıları işlemekle görevli merkezi kaynaklar arasında bulunan normal dengenin bozuk olduğunu yansıtıyor ve zararsız uyarılarda dahi ağrı matriksini aktive ediyor olabilir. TMB grubunda amigdalanın aktive edilmesi, inatçı ağrı nedeniyle dokunsal stimülasyonla kaçınılmalı bir ilişkinin varlığını yansıtıyor olabilir. Bu araştırma, TMB olanlarda, zararsız dokunsal stimülasyon sürecinin normal olmadığına dair kanıtlar sunmaktadır. Kronik ağrıda sensöriyel bozuklukların ne kadar karmaşık olduğunun anlaşılması, bu hastalarda serebral kortikal fonksiyonların değerlendirilmesine yönelik yöntemlerin geliştirilmesini sağlayabilir [43].

Békésy, sensöriyel inhibisyonu, sensöriyel nöronlardan oluşan bir bölgenin uyarılmasının çevredeki nöronların aktivitesinde azalmaya yol açtığı ve böylece uyarılan bölgede kontrast bir artışa neden olduğu bir süreç olarak tanımlamıştır. Somatosensöriyel kortekste, temas ya da vibrasyonla uyarılmış kortikal nöronlar, çevredeki algılayıcı bölgelerde bulunan nöronların uyarılmasını baskılar. North Carolina Üniversitesi'nde geliştirilmiş ve üretilmiş olan dokunsal stimülatörlerin yardımıyla, sensöriyel inhibisyonun veri işlenmesinde rol oynadığı iki basit deney yürütülmüştür: Uyarıların tek bir elin parmaklarına uygulandığı unilateral bir deney

ve uyarıların her iki elin parmaklarına uygulandığı bilateral bir deney. Unilateral deneyde, 3. parmaktaki (D3) eşik saptanmasının, bitişik 2. ve 4. parmaklara (D2 ve D4) uygulanan koşullanma uyarılarından etkilendiği gösterilmiştir. Bilateral deneydeyse, sağ ele uygulanan koşullanma stimülasyonunun sol eldeki ayırma kapasitesinin yetkinliğine etki edip etmediğini incelemek amacıyla farklı koşullarda bilateral uyarılar uygulanmıştır. Sonuçlar, sağ ele uygulanan koşullanma stimülasyonunun sol eldeki ayırma kapasitesini belirgin olarak etkilediğini göstermiştir. Ayırma kapasitesindeki bu değişiklik, unilaterale karşılık bilateral uyarılarla oluşturulan uyarı koşullarının tetiklediği somatosensöriyel kortikal yanıtların karşılaştırıldığı hayvan deneyleriyle uyumludur. Bu araştırma sonucunda, öğrenciler sensöriyel inhibisyonun temellerini anlayacak ve insan deneklerden veri elde edilmesi ve analizi süreçleriyle ilgili yöntemleri öğreneceklerdir. Bu araştırma, deney yöntemleri ve süreçleriyle ilgili sağlam bir temel sağlayarak, öğrencileri sensöriyel süreçlerin diğer yönlerini araştırmaya hazırlamak amacıyla tasarlanmıştır [44].

Unilaterale karşılık bilateral dokunsal sensöriyel stimülasyon uygulamalarının etkilerini araştıran bir dizi algısal ve nörofizyolojik araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, etkilenmemiş (UH; unattended hand) elin uyarılmasının, etkilenmiş (AH; attended hand) eldeki ayırma kapasitesini azaltıp azaltmadığını, parmaklar üzerinden araştırmaktır. Yöntem olarak, sağ elin 2. ve 3. parmaklarına uygulanan koşullanma uyarısının varlığı ya da yokluğu sırasındaki sensöriyel algısal beceriden (sol elin 2. ve 3. parmaklarının uçlarına uygulanan vibrotactile genlik ayırma kapasitesi) yararlanılmıştır. UH'nın 2. ve 3. parmaklarına uygulanan eşit genlikli uyarı, genlik ayırma performansını anlamlı derecede kötüleştirmiştir. Buna karşılık, UH'nın 2. ve 3. parmaklarına uygulanan farklı genliğe sahip uyarılar, sadece etkilenmemiş uyarıların AH'daki uyarı parametreleriyle uygun bir şekilde eşleşmediği koşullarda kötüleşmiştir. Buna ek olarak, UH'nın 2. ve 3. parmaklarına tek yönlü uyarılar uygulanması, uyarı genliği AH'nın homolog parmaklarına uygulanan uyarının genliği ile uyuşmadığında, genlik ayırma performansını kötüleştirmiştir. Bu bulgular, UH uyarısının AH'ya uygulanan uyarıyla en az uyum sağladığı durumlarda performansın düştüğünü göstermektedir. Buna karşılık, kontralateral eldeki homolog parmaklara uygulanan uyarıların benzer olduğu

durumlarda performans ya hiç değişmemiş ya da çok az etkilenmiştir. Sonuçlar, bilateral etkileşimlerin parmaklardaki algıyı etkilediğine işaret etmektedir [45].

Dokunsal uyarılara azalmış yanıt, OSB olan çocuklarda sıklıkla gözlemlenen bir semptomdur. Ayrıca, OSB li kişilerde dokunsal uyarı girdilerinin filtrelenmesi veya dokunsal girdilere alışma alışkanlıklarında azalma tarif edilmiştir. Bu çalışmada, OSB'si olan çocuklarda tipik olmayan temas duyarlılığını değerlendirmek amacıyla dokunsal testler uygulanarak, sürecin farklı etkileri ölçülmüştür. Tipik olarak gelişme gösteren 67 çocuk (TDC) ve 32 OSB'si olan çocuk (8-12 yaş arasında) vibrotactile işlem değerlendirme sürecini tamamlamış ve şu parametreler değerlendirilmiştir: Reaksiyon süresi (RS); statik ve dinamik algılama eşiği, genlik ayırımı; eşzamanlı uyarı olarak ya da olmadan temporal order judgement (TOJ). Sonuç olarak OSB'li çocuklarda statik algılama eşiğinde yükselme saptanmıştır. Ayrıca, dinamik olarak yükseltelen eşik altı uyarı, statik algı eşiğini aştığında bir etki göstermemiştir. OSB'li çocuklarda genlik ayırımı ve adaptasyon TDC'li çocuklara göre daha kötüdür. Frekans ayırımı ya da TOJ performansı açısından iki grup arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Dinamik stimülasyonun algı eşiği üzerindeki etkilerinde saptanan fark, otizmde ileri beslemeli inhibisyonun azaldığını düşündürmektedir. Bu da sensöriyel filtrelemenin bozulmuş olmasına bağlı olabilir. OSB'de başlangıç genlik ayırımının artmış olması, OSB'de lateral inhibisyon bağlantılarının nispeten zayıf olduğuna işaret etmektedir. Adaptasyon etkisinin olmaması da OSB'de lateral inhibisyon bağlantılarının modülasyonunun azalmış olduğunu düşündürmektedir. Bu da anormal habituasyonla ilgili olabilir. Bu sonuçlar, otizmde somatosensöriyel inhibisyon sisteminde fonksiyonel bozukluk olduğunu düşündürmektedir. Otizmdeki sensöriyel semptomların altında yatan spesifik mekanizmaların anlaşılması, yakın gelecekte daha spesifik tedavilerin ya da nedene yönelik ilaçların geliştirilmesini sağlayabilir [46].

Somatosensöriyel süreçlerin kortikal dinamikleri vibrotactile psikofizik yöntemleriyle incelenebilir. Farklı vibrotactile yaklaşımların farklı kortikal mekanizmaları hedef aldığı ileri sürülmüş ve son yıllarda yayımlanan bazı araştırmalar somatosensöriyel kortikal fonksiyonla davranışların ölçülebilir özellikleri arasında ilişki olduğunu göstermiştir. Kortikal mekanizmalarla sensöriyel fonksiyonlar arasında ilişki, özellikle OSB ve DEHB gibi inhibisyon

sürelerinin değişikliğe uğradığı gösterilmiş gelişimsel bozukluklarda belirgindir. Bu araştırmada, dokuz görevden oluşan bir vibrotactile uyarı dizisi (reaksiyon süresi, algı eşiği ve genlik ve frekans ayırımı içeren), sağlıklı erişkinler ve tipik gelişme gösteren çocuklara uygulanmıştır. Böylece, bu tür bir uyarı dizisinin her iki grubu ve çocuk ve erişkinler arasındaki performansı değerlendirmek için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Sonuçlar, her ne kadar çocuklar frekans ayırımına nispeten daha az duyarlı olsalar da çocuk ve erişkinlerin bu görevleri benzer bir performansla yerine getirdiklerini göstermiştir. Farklı görev gruplarındaki performans erişkinlerde kümelenmiştir. Bu kümelenmenin çocuklarda gözlenmemiş olması, gelişim sürecinin ve daha büyük bir değişkenliğin göstergesi olabilir. Sonuç olarak, bu araştırmada hem çocukların hem de erişkinlerin kapsamlı vibrotactile testleri yerine getirebildiğini ve bu testlerin farklı kortikal mekanizmaları değerlendirmek için farklı gruplarda kullanılmasının uygun olduğunu göstermektedir [47].

Nörobilim öğrencilerinin ilk karşılaştıkları kavramlardan biri, periferik sinir sistemi (PSS) ve merkezi sinir sistemi (MSS) olarak iki bölüme ayrılan sinir sisteminin genel organizasyonudur. Sensöriyel sistemlerde; bu temel ayrım, dış ortamdan MSS'ye gelen verilerin bütünleştirilmesi ve işlenmesini sağlayan veri işleme sürecinde özellikle belirgin bir rol oynar. Veri işlemede PSS ve MSS'nin oynadığı roller arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için, basit bir sınıf içi laboratuvar egzersizi geliştirilmiştir. Deneklerin ayırma kapasitesinin çeşitli özelliklerini (eşik saptama, genlik ayırımı, süre ayırımı) saptamak için çeşitli deneysel yöntemler tanımlanmıştır. Bu yöntemler ya kontrollü koşullar altında ya da öğrenciler cilt hassasiyetlerini soğuk suya batırarak değiştirdikten sonra uygulanmıştır. Bu laboratuvar egzersizi sonunda, öğrenciler PSS'ye karşılık MSS'nin ilkeleri yanında sayısal sensöriyel testlerle ilgili temel bilgiyi edinmiş olacaklardır. Sensöriyel testlerle ilgili bu temel anlayış, bağımsız araştırmalarda ya da daha sonraki laboratuvar egzersizlerinde sensöriyel verilerin işlenmesinin diğer özelliklerini izlemeleri ve araştırmaları için bir temel oluşturacaktır [48].

Mevcut yöntemlerde, iki yönlü vibrasyon uyarılarını cilde uygulamak için tipik olarak iki ayrı vibrotactile stimülatör kullanıldığından, uyarıların konumlandırılması ve uyarıların hatasız olarak aynı genlik ve frekansta

uygulanması zordur. Bu çalışma, ciltte uyarılacak bölgelerin arasında değişen mesafelerde iki noktaya tek tek uyarılar uygulamak için geliştirilmiş olan İki-Nokta stimülatörü hakkında bilgi edinilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Cihaz, bir vibrotactile stimülatöre bağlandığı için, standart tekli test çubuğundan ikili test çubuğuna geçilmektedir. Her iki test çubuğu bağımsız olarak konumlandırılarak uçtan uca mesafe ayarlanabilmektedir. İki noktalı uyarımın her iki ucu aynı vibrotactile stimülatör tarafından kontrol edilir ve iki uyarı bölgesi arasındaki mesafe deneyden deneye değiştirilebilir. Cihazı test etmek için, modifiye bir Bekesy izleme yöntemi geliştirilmiş ve farklı genlik ve frekanslarda uyarı koşullarında iki-nokta eşik belirleme amacıyla uygulanan testte kullanılmıştır. Toplanan veriler, daha önce yayımlanmış raporlarla uyumlu olduğundan, geliştirilen sistemin mekânsal dokunsal hassasiyetin ölçülmesinde daha gelişmiş bir araç olarak kullanılabileceği düşünülmektedir [49].

Otistik erişkinler, sıklıkla tekrarlayıcı davranışlar ve/veya sensöriyel aşırı duyarlılık gibi davranışsal değişikliklerle kendini gösteren inhibisyon bozuklukları sergilerler. Eğer bu tür davranışlar, inhibe edici nörotransmisyonunda görülen jeneralize bozuklukların sonucuysa, sensöriyel ayırma görevleri gibi lokalize kortikal-kortikal etkileşimleri içeren bozuklukların saptanabileceği ve şiddetinin ölçülebileceği sonucu çıkarılabilir. Bu araştırma, sensöriyel test ölçümlerinin miktarını saptamak için yeni geliştirilmiş bir yöntemi konu almaktadır. Bu yeni sensöriyel ayırma testleri şunları sağlayabilir: (a) otizme özgü bozuklukların biyodavranışsal değerlendirilmesi için etkili bir araç, (b) tedavi sonrası değişiklikleri izlemek için etkili ve hassas bir ölçüm. 10 Otistik ve 10 kontrol bireyin sensöriyel ayırma kapasitesi, kısa süreli adaptif uyarılardan önce ve sonra karşılaştırılmıştır. Her ne kadar, adaptasyonun kontrol deneklerinin genlik ayırma kapasitesi üzerinde belirgin bir etkisi varsa da otistik deneklerin sensöriyel ayırma kapasitesi üzerinde ya çok az etkisi olmuş ya da hiç etkisi olmamıştır [50].

Vibrotactile stimülasyona önceden maruz kalmanın ("adaptasyon") deneklerin birbirini izleyen dokunsal uyarıları mekânsal olarak lokalize etme kapasitesine etkisini değerlendirmek için iki-interval (adaptasyon uyarısının farklı iki süre altında niteliğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bir test türüdür) zorunlu seçim izleme (two-interval forced choice tracking 2IFC) testi uygulanmıştır. Uyarı, peş

peşe, el sırtına lineer dizilim boyunca farklı noktalara uygulanmıştır: Bir uyarı, adapte edici stimölasyonun yapıldığı noktaya (“standart” uyarı), diğer uyarıya daha uzak bir noktaya (“test” uyarısı) uygulanmıştır. Her denemeden sonra, iki uyarıdan hangisinin adapte edici uyarının yapıldığı yere uygulandığı deneklere sorulmuştur. Doğru yanıt verildiğinde, bir sonraki testte, standart uyarı ile test uyarısı arasındaki mesafe azaltılmıştır. Dört deneğin her biri 10 seansa katılmıştır. Her seans 20 denemeden oluşan 2 setten oluşmaktadır (bir sette 0.5 saniyelik ve diğer sette 5 saniyelik adapte edici uyarı süresi uygulanmıştır). Her denekte, 5 saniyelik adaptasyon, mekânsal ayırma performansında 0.5 saniyelik adaptasyonda sağlanana göre 2 kat daha fazla gelişme sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında; insanlarda, 5 saniyelik 25 Hz. frekansındaki uyarı sonrasındaki vibrotactile mekânsal lokalizasyon performansında, cilde uygulanan 25 Hz.’lik flutter uyarılarının süresinin artışa eşlik ettiği, daha önce gösterilmiş olan primer somatosensöriyel korteksin (SI) genel nöronal popölasyon yanıtının mekânsal kanallanmasının artışına bağlı olarak gelişme görüldüğü sonucuna varılmıştır [51].

Bu araştırmada, kadınlarda ki vulvodin hastalığının merkezi sinir sistemi ile ilişkisi araştırılmıştır. Değişikliğe uğramış merkezi sensitizasyon, merkezi sinir sisteminin inhibitör yollarındaki (ör. g-Aminobütirik asiderjik) işlev bozukluğuyla ilişkilidir. Bu işlev bozukluğuna duyarlı merkezi bir süreç olan sensöriyel adaptasyon ölçümleri, konvansiyonel yöntemlerle tedavi edilen kadınlarda başarısız tedavinin saptanmasında kullanılabilir. Vulvodini olan 20 kadın hasta grubu ve yaş açısından uyumlu 20 kadın kontrol grubu çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmada, sağ elin işaret ve orta parmaklarında sensöriyel test yapılmıştır. Çalışma sırasında vibrotactile algı eşiği, genlik ayırma kapasitesi ve adaptasyon testleri uygulanmıştır. Temel demografik özellikler, vibrotactile sezim eşiği ve genlik ayırma kapasitesi açısından katılımcılar arasında fark saptanmamıştır. Ancak, adaptasyon kriteri açısından kontrol grubu ile vulvodinli kadınların bir alt grubu arasında anlamlı fark gözlemlenmiştir. Kontrol grubu, kısa süreli ağrı şikâyeti olan kadınlarla karşılaştırıldığında, daha uzun süreli ağrısı olanlarda kontrol değerlerine benzer adaptasyon ölçümü olma olasılığının daha düşük olduğu saptanmıştır [52].

Deneklere uygulanan bu testte iki alternatif zorunlu seçim (2AFC: two alternative forced-choice) prosedürüyle, deneğin birbirine yakın iki cilt noktasına uygulanan

uyarılar arasındaki genlik farkını ayırma becerisi değerlendirilmiştir. Genlikler arasındaki sabit fark dışında tamamen aynı olan iki 25 Hz.'lik flutter uyarısı eşzamanlı olarak el sırtına uygulanmıştır. Uyarılar başlangıçta 30 mm birbirinden uzak noktalara uygulanmış ve noktalar arasındaki mesafe deneğin uyarıları daha belirgin olarak ayırma performansına bağlı olarak her denemede değiştirilmiştir. Deneyde, aynı vibrotactile uyarı eşzamanlı olarak değil ardışık olarak uygulanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, genlik ayırma becerisinin ölçümlendiği testte, uyarılar eşzamanlı verildiğinde ve deneğin iki-nokta limenine yakın olduğunda, anlamlı olarak azaldığını göstermiştir. Buna karşılık, denekler, iki uyarı ardışık verildiğinde bütün test ucu mesafelerinde genlikler arasındaki ayırımları doğru olarak yanıtlamışlardır ve ayırma becerisi, eşzamanlı uygulanan uyarılardan önce bir adaptif uyarı verildiğinde artmıştır. Deneklerin iki vibrotactile uyarı arasındaki genlik farkını ayırma kapasitesi, uyarılar arasındaki mesafe, deneklerin iki-nokta mekânsal ayırma kapasitesinin sınırlarına yaklaştığında azalmıştır. Bu azalma, adaptif uyarı kullanıldığında daha hafif olmuştur [53].

İnsanlarda, güvenilir bir biçimde ciltte ağrı oluşturan prosedürlerin (ör. 5-7 saniye boyunca 47-51°C sıcaklıktaki test ucuyla cilde temas, intradermal algojen enjeksiyonu) ortalama dürtü (elektrostimülus) ateşleme hızını (MFR: mean spike firing) ve derecesini düşürdüğü gösterilmiştir. Sincap maymunlarının primer somatosensöriyel korteksinde (SI) bulunan 3b/1 bölgelerindeki hızlı adapte olan (RA: rapidly adapting) nöronların, uyarı genliği eşğine yakın olduğunda (örn. 10-50 mm) reseptif alan merkezine (Rfcenter) uygulanan 25 Hz.'lik uyarının derecesini belirler. Buna karşılık, RA nöron MFR ve katılımı (entrainment), 25 Hz.'lik uyarının genliği 100-200 mm (eşik üstü) olduğunda, 47-51°C'lik temastan ya da intradermal algojen enjeksiyonundan etkilenmemektedir. Sonuçlar, RA nöronların GABAA reseptörlerinde g-Aminobütirik asidin (GABA) aktivite bağımlılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. 47-51°C sıcaklıktaki test ucuyla cilde temas ya da intradermal algojen enjeksiyonuyla tetiklenmiş nosiseptif aferent uyarının, 3b/1 bölgelerinde kortikal-kortikal bağlantılar aracılığıyla GABA salınımına yol açan 3a bölgesindeki nositepkin (nociresponsive) nöronları aktive ettiği ileri sürülmüştür. İleri sürülen hipoteze göre, GABA hiperpolarize ve inhibe edicidir ve uyarı tarafından aktive edilmiş RA nöronlarda, RA nöron aktivitesi düşük olduğunda, MFR

ve katılımı baskılar. Ancak depolarize ve uyarıcı ise ve RA nöron aktivasyonu yüksekse (uyarı güçlü/eşik üstü ise) MFR ve katılım artar [54].

Yapılan bu çalışmada iki-intervalli zorunlu seçim (2-IFC: two-interval forced-choice) izleme prosedürü, 25 Hz. ya da 200 Hz. stimülasyona 15 saniyelik ön maruziyet, insanlar üzerindeki vibrotactile frekans ayırma eşiğine (frekans DL/Weber fraksiyonu) etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışma 3 denek üzerinde yürütülmüştür. Bütün uyarımlar, el bölgesinde tenar eminens bölgesinin ortasına uygulanmıştır. Frekans DL/Weber fraksiyonu, şu koşullara göre her denek için belirlenmiştir: (1) yakın bir zaman içinde vibrotactile stimülasyona maruziyet olmaması ("adapte olmamış"); (2) 25 Hz.'lik bir stimülasyonla 15 saniyelik adaptasyondan sonra ve (3) 200 Hz.'lik bir stimülasyonla 15 saniyelik adaptasyondan sonra. Sonuçlar, standart uyarı 25 Hz. olduğunda, adaptasyon frekansının frekans ayırma kapasitesi üzerindeki etkisinin, standart uyarı 200 Hz. olduğundakiyle aynı olmadığını göstermiştir. Deneklerin, tenar bölgeye 15 saniye boyunca 25 Hz. ya da 200 Hz.'lik uyarıya maruziyetinden sonra, kütanöz flutter (10-50 Hz.) ya da titreşimli (>200 Hz.) uyarıların frekansını ayırma kapasitesindeki değişikliklerin, kontralateral primer somatosensöriyel korteksin (SI ve SII) ciltteki mekanoreseptör aferent uyarıya yanıtının frekans özelinde, adaptasyona bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir [55].

[56] 'de otizmle birlikte görülen algısal bozukluklar ebeveyn raporunda kapsamlı bir biçimde anlatılmıştır. Bu araştırmada, OSB'de somatosensöriyel süreçleri değerlendirmek için çok-yöntemli (ebeveyn raporu ve ölçüm) ve çok-boyutlu (dokunsal duyarlılık ve dikkat) bir deney tasarımı kullanılmıştır. Sonuçlar, yöntem (ör. farklı boyutlar için ebeveyn raporu) /çapraz-boyutlu (ör. dikkat ve dokunsal duyarlılık) anlamlı korelasyonlar göstermiştir. Bu sonuçlara dayanarak, ebeveyn raporundaki dokunsal sensöriyel fonksiyon bozukluğu ve performansa dayalı dokunsal duyarlılığın farklı davranışsal özellikler gösterdiği düşünülmektedir. Ebeveyn raporundaki dokunsal işlev, görme ve performansa dayalı dokunsal duyarlılık ölçümleri, dikkat ölçümleriyle anlamlı düzeyde ilişkili bulunmuştur. Bulguların OSB'de görülen dokunsal duyu anomalilerin çok yönlü olduğunu ve kısmen davranışsal regülasyonda (dikkat dahil olarak) daha genel bir bozukluğu yansıttığı düşünülmektedir.

Aferent inhibisyon, elektriksel koşullanma uyarısının periferik sinire uygulanmasından dolayı oluşan Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS), kas yanıtını zayıflatmaktadır (Afferent inhibition is the attenuation of the muscle response that is evoked from transcranial magnetic stimulation (TMS) by a prior conditioning electrical stimulus to a peripheral nerve). Aferent inhibisyonun büyüklüğünün duyu ve kas hareketi ile ilişkisi bilinmemektedir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışma, 24 sağlıklı genç erişkinle yürütülmüştür. Median ve dijital sinir stimülasyonundan sonra kısa-latens aferent inhibisyon (SAI) ve uzun-latens aferent inhibisyon (LAI) elde edilmiştir. Zamansal dokunsal hassasiyet, temporal order judgement (TOJ), mekânsal dokunsal hassasiyet ise grating oryantasyon göreviyle (GOT: grating orientation task) değerlendirilmiştir. Ayrıca ince el becerisi Pegboard becerisi ile değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, korelasyon analizlerinde SAI ya da LAI büyüklüğü ile TOJ, GOT ya da Pegboard beceri performansları arasında herhangi bir ilişki saptanmamıştır. SAI ve LAI büyüklüğü ile test edilen sensöriyel ve motor işlev performansı arasında herhangi bir korelasyon bulunmamıştır. Aferent inhibisyon fenomeninin insan davranışlarıyla ilişkisinin olup olmadığının anlaşılabilmesi için daha ileri araştırmalara ihtiyaç vardır [57].

Yayımlanan bir çalışmada, cilt bölgesine önceden 5 saniye boyunca 25 Hz.'lik flutter uyarısının, ("adaptasyon") nörolojik olarak sağlıklı erişkin insanlarda, adaptif uyarının uygulandığı aynı cilt bölgesine uygulanan mekanik stimülasyonu lokalize etme becerisinde 2 kata varan bir iyileşme sağladığı gösterilmiştir. Adaptasyon sonrası dokunsal mekânsal ayırma performansının, adaptasyona kontralateral primer somatosensöriyel kortekste (SI) mekanik cilt stimülasyonunun eşlik etmesine bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu etki, daha önce anestezi altındaki primatların SI korteksinin görüntülediği çalışmalarda da saptanmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada tarif edilen deneylerde bildirilen paradigmanın aynısı otizmli erişkinleri incelemek amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar, her ne kadar otizmli erişkinlerin kütanöz lokalizasyon performansının, adapte edici stimülasyonu kısa süreli olduğunda (ör. 0.5 saniye) kontrol deneklerinden daha iyi olduğunu göstermişse de dokunsal mekânsal ayırma kapasitesi, aynı deneklerde adapte edici stimülasyon süresi uzatıldığında (5 saniyeye kadar) değişmemiştir. Dokunsal uyarının, otizmli erişkinlerde dokunsal mekânsal lokalizasyonunda değişikliğe neden olmaması ve adaptasyon dönemi kısa olduğunda, otizmli erişkinlerde

dokunsal lokalizasyon performansının normalden daha iyi olmasına bakılarak, bu hastalığa özgü serebral kortikal GABA-erjik inhibe edici nörotransmisyon bozukluğuna bağlanabileceği sonucuna varılmıştır [58].

Bu pilot çalışmanın amacı, beyin sarsıntısı geçiren ve geçirmeyen bireylerin ayırıcı tanısı ve karakterizasyonunda farklı bir sensöriyel değerlendirme aracı olan kortikal özelliklerin kullanılıp kullanılamayacağını saptamaktır. Çalışmanın ikincil amacı, beyin sarsıntısı geçiren deneklerde MSS'deki düzelmenin takip edilip edilemeyeceğini saptamaktır. Bu amaçla, dokunsal stimülatör tasarlanmış ve bitişik parmak uçlarını uyaracak şekilde uyarlanmıştır. Cilt ve korteks arasındaki somatotropik ilişkiden yararlanılarak, komşu kortikal bölgeler arasındaki etkileşimleri uyarmak ve kortikal-kortikal etkileşimle ortaya çıkan temel mekanistik değişiklikleri incelemek amacıyla biyolojik bazlı ve hipoteze dayalı protokoller tasarlanmıştır. Bu etkileşimler, nörolojik hasar ya da travmada olduğu gibi kortikal düzeneklerdeki sistemik değişikliklerden etkilendiğini, dolayısıyla da bu ikili dokunsal uyarıların sensöriyel algılanışının öngörülebilir bir biçimde değiştirilebileceğini göstermiştir. Üniversitenin spor antrenman merkezi tarafından beyin sarsıntısı sonrası spora dönüş yaptığı kayıt altına alınmış olan 18-22 yaşları arasındaki sporcu öğrenciler çalışmaya alınmıştır. Beyin sarsıntısı sonrası deneklerden, her biri 1-3 dakika süren ve von Bekesy izleme algoritmasının değiştirilmiş bir versiyonu kullanılarak, bireysel protokol serisi yardımıyla sensöriyel algıyla ilgili çok sayıda veri elde edilmiştir. Kullanılan protokoller, kişinin veri işleme hızı ve kapasitesi, lateral inhibisyon, adaptasyon, ileri beslemeli (feed-forward) inhibisyon ve senkronizasyon ile ilişkili ölçümleri değerlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Her bireyin performansı, 6 adet sensöriyel test dizisiyle, ilgili bireyi çok boyutlu bir "kortikal ölçümler" alanında lokalize edecek şekilde değerlendirilmiştir (her koordinat ekseninin sensöriyel testin bir dizisine karşılık geldiği soyut bir alan tasarlanmıştır). Beyin sarsıntısı geçiren ve geçirmeyen deneklerden toplanan verilerden bireysel MSS profillerini oluşturmak için Principal Component Analysis (PCA) kullanılmıştır. Hotelling'in t2 testi, bu iki popülasyonun %99 güven aralığıyla istatistiksel olarak farklı olduğunu ve MSS profillerindeki iyileşmenin takibinde kullanılabileceğini göstermiştir [59].

Diğer bir araştırmada, sürekli Theta Burst Stimülasyonunun (cTBS) primer somatosensöriyel korteks (SI) üzerinden dokunsal algıya etkileri incelenmiştir. Zamansal ve mekânsal hassasiyet ölçümleri, gerçek ve sahte cTBS 'den önce ve sonra Cortical Metrics cihazı kullanılarak değerlendirilmiştir. Theta burst stimülasyonu (TBS), SI üzerinden kortikal uyarılabilirliği değiştirir. TBS'nin aralıklı formu (iTBS) dokunsal mekânsal hassasiyeti iyileştirir. cTBS dokunsal hassasiyet üzerindeki etkileri bilinmemektedir. Bu çalışmada, cTBS'nin SI üzerinde, zamansal ve mekânsal hassasiyete etkisi araştırılmıştır. Yöntem olarak, farklı deneylerle, sol hemisfer SI üzerinden gerçek ve sahte cTBS'nin (600 uyarı) öncesinde ve 34 dakikaya kadar sonrasında zamansal ayırma eşiği [(temporal discrimination threshold (TDT)] ve mekânsal genlik ayırma eşiği [spatial amplitude discrimination threshold (SDT)] testleri uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmadaki bulgular şöyledir; Gerçek cTBS 'den 18 dakika sonra cTBS zamansal ve mekânsal dokunsal hassasiyeti azaltmıştır. Dokunsal hassasiyet, sahte cTBS uygulanan gruplarda değişmemiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçları ise şöyledir; SI üzerinden cTBS uygulaması hem zamansal hem de mekânsal dokunsal hassasiyet alanlarını benzer sürelerde azaltmıştır. Ayrıca, SI üzerinden cTBS uygulaması, hedeflenen korteks içinde nöral aktivitesini azaltıyor gibi görüldüğünden aşırı sensöriyel süreçleri önlemek için yararlı olabilir [60].

20 sağlıklı erişkin deneğin, eşzamanlı uygulanan 25 Hz.'lik vibrotactile uyarıların genlikleri arasındaki farkı saptama kapasitesi, adaptif uyarının farklı koşullarına önceden maruz kalma, varlığı ya da yokluğu durumuna göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, iki cilt bölgesinden birinde adaptif uyarının sürelerinin 0.2 ile 2.0 saniye arasında uzatılmasının, deneğin iki farklı genlik arasında hassas bir biçimde ayırım yapma kapasitesini azalttığını göstermiştir. Cilt stimülasyonunun her iki bölgesine de test ve standart uyarıların eşzamanlı uygulanmasından önce adaptif uyarıların uygulanması, genlik ayırma testi sonuçlarında iyileşmeye yol açmaktadır. Bu çalışmanın sonuçlarıyla, sincap maymunun kontralateral SI korteksinin vibrotactile stimülasyona optik yanıtı üzerinde vibrotactile adaptasyonun etkilerini bildiren daha önceki bir çalışmanın sonuçları arasındaki benzerlikler, bu çalışmada elde edilen algısal etkilerin SI yanıtına adaptasyon tarafından ortaya çıkarılan değişiklere bağlı olabileceğini düşündürmektedir [61].

Optik içsel sinyal (OIS) görüntüleme yöntemleri, cilde uygulanan 25 Hz.'lik ("flutter") ve 200 Hz. ("vibrasyon") uyarılarının kontralateral SI'de oluşturduğu yanıtları kaydetmek amacıyla kullanılmaktadır. Anestezi altındaki kedi ve sincap maymunları denek olarak kullanılmıştır. Sürekli, çoklu saniyeli 25 Hz. ve 200 Hz. uyarıya kontralateral SI yanıtını değerlendirmek için çok sayıda farklı deney yapılmıştır. Uyarılar (a) hayvanların ön ve arka ayaklarında proksimal-distal eksen boyunca birçok cilt noktasına (b) uyarı noktasının çevresindeki deriye sıkı bir biçimde bastırılarak konulan bir halkanın varlığı ve yokluğunda (c) uyarı yapılacak noktaya lokal anestezi uygulanmasından önce ve sonra ve son olarak (d) aynı cilt noktasına sürekli 25 Hz. ya da 200 Hz. ayrı ayrı ve eşzamanlı uygulanmıştır. En önemli bulgular şunlardır: (a) bir cilt bölgesine uygulanan 25 Hz. ve 200 Hz. uyarılara karşılık SI'de oluşan optik yanıtlar arasındaki ilişki, ayakta uyarının uygulandığı bölgeye göre sistematik olarak değişmektedir. Distal bölgede hem 25 Hz.'lik hem 200 Hz.'lik uyarılar, algılamada iyi korunan bir artış sağlamıştır. Uyarı ayakta proksimale doğru kaydırıldığında, 200 Hz.'e olan yanıt algıda azalmaya yol açmıştır. 25 Hz.'de böyle bir etki gözlenmemiştir. (b) Halka konulmadığında, 200 Hz.'lik uyarı SI algısında azalmaya yol açmış ve 200 Hz.'e yanıtı, artmış SI nöronal aktivasyonla uyumlu bir duruma getirmiştir (halka varlığında, 200 Hz.'lik uyarı SI'deki algı, 25 Hz.'lik uyarıya yanıtta görülene yaklaşan bir değişikliğe yol açmıştır). (c) Topikal anestezi, 25 Hz.'lik flutter stimülasyonu ile ilişkili algı artışının miktarını geriye dönüşümlü olarak azaltmaktadır. (d) Kompleks dalga formu stimülasyon istikrarlı olarak algıda, aynı tarafta 25 Hz.'lik uyarıyla elde edilene göre küçük bir artışa neden olmuştur. Bir bütün olarak, bulgular, her zaman kütanöz flutter uyarıya eşlik eden; flutter uyarıya mekânsal olarak dağıtılan kontralateral SI yanıtı keskinleştiren MSS mekanizmalarını tetikleyen Pacinian (PC) aferent aktivite varsayımıyla uyumludur [62].

SII korteks vücudun her iki tarafından iletilen dokunma bilgisinin entegre edildiği yolağın ilk kortikal aşamasıyken, SI korteks, bilateral (ve ayna-görüntüsü) cilt bölgelerinin eşzamanlı uyarılması sonrası nöronal yanıtın modüle edildiği bölge olarak kabul edilir. Optik içsel sinyal (OIS) görüntüleme yöntemi, ön patinin ortadaki yastığına (eşzamanlı olarak) kontralateral, ipsilateral ve bilateral uygulanan 25 Hz.'lik sinüzoidal deri deplasman uyarısı (cilt flutter) uygulandığında aynı hemisferde SI ve SII yanıtlarını değerlendirmekte kullanılmıştır. Hem

kontralateral hem de bilateral flutter uyarısında, SI ve SII'de absorbansta lokalize bir artış ortaya çıkmıştır. İpsilateral flutter uyarısıysa SII'de absorbansta lokalize bir artışa neden olurken, SI absorbansta çok az bir değişiklik görülmüş ya da hiç değişiklik olmamıştır. SI'de ön patiyi temsil eden bölgede, ortadaki yastığın bilateral olarak uyarılması, kontralateral orta yastığın flutter uyarıya verdiği yanıtta daha az bir yanıt (yaklaşık %30-35 daha az) oluşturmuştur. Sonuç olarak SI kortekste orta yastıkta bilateral olarak oluşturulan flutter uyarısına yanıtın, kontralateral flutter uyarısının oluşturduğu yanıtta daha küçük olduğuna dair bulgu, SII'ye posterior bir bölgedeki bilateral flutter uyarısına yanıtın kontralateral orta yastıktaki uyarının oluşturduğu yanıtta daha az olduğunu ileri süren araştırmayla birlikte değerlendirildiğinde, kontralateral deri stimülasyonu ile oluşturulan SI aktivitesinin, (aynı hemisferdeki SII ve SI arasındaki kortikal-kortikal bağlantılar üzerinden) posterior SII'de eşzamanlı ipsilateral deri uyarısının oluşturduğu aktivite tarafından baskılandığını/inhibe edildiğini düşündürmektedir [63].

RA tipi SI kortikal nöronların elektriksel uyarım boşalım aktivitesi, anestezi altındaki maymun ve kedilerde hücre dışı olarak kaydedilmiştir. Çoklu 10-50 Hz. sinüzoidal vertikal cilt deplasman uyarımları ("Flutter"), reseptif bölgeye (RF) uygulanmıştır. Analizler, sadece SI RA nöron duyarlılığında değil, aynı zamanda entrainment'de ve entrained yanıtların faz açısından büyük ve sistematik zamansal eğilimler ortaya çıkarmıştır. SI RA nöronlardan farklı olarak, cilt flutter stimülasyon koşullarıyla karşılaştırılabilir durumlarda, RA cilt aferentlerinin yanıtı ya çok az hareketlilik göstermiş ya da hiç göstermemiştir. Cilt flutter stimülasyonuna eşlik eden SI RA nöron yanıt dinamiklerinin ortaya çıkışı ve formunun, global kortikal yanıt örüntüsündeki kayıt bölgesinin lokalizasyonuna ve uyarı frekansı gibi faktörlere bağlı olduğu gösterilmiştir. Bunun ötesinde, radiale yakın ve teğet olarak mikroelettrot penetrasyonlarında elde edilen kayıtların karşılaştırılması, cilt flutter stimülasyonu sırasında ortaya çıkan SI RA nöron yanıt dinamiklerinin kendi içinde nispeten tutarlı ve kolon boyutundaki bölgelerde heterojen olduğunu göstermiştir. Gözlemlenen SI RA nöron yanıt dinamikleri, cilt flutter stimülasyonu uygulamasından sonra uyarı frekansını ayırma kapasitesindeki düzelmenin kısmen dikkate alınmasının uygun olabileceğini düşündürmüştür. Kısa görsel algılamaya katkıları hakkında yapılan önergelerle paralel olduğu gözlemlenmiştir [64].

Flutter-vibrasyon duyusunun adaptasyonunun altında yatan süreçleri araştırmak için Bekesy izleme yöntemi kullanılarak işaret parmağına konulan bir ped yardımıyla vibrotactile eşiğin ölçüldüğü bir dizi deney tasarlanmıştır. Önce adapte olmayan eşikler ölçülmüştür. Birinci deneyde ki başlangıç verileri, izleyen deneyler için uyarı parametrelerinin seçimine kılavuzluk etmiştir. Sonraki deneylerde, test uyarısı eşiği vibrotactile adaptasyon dönemlerinden önce, dönemleri sırasında ve dönemlerinden sonra ölçülmüştür. İkinci deneyde, 10 Hz. ve 50 Hz.'lik test uyarıları, aynı iki frekansın 30 dB algılama seviyesi adapte edici uyarılarıyla kombine edilmiştir. Test uyarısı, 10 Hz. olarak alındığında, iki adapte edici frekansta eşit düzeyde eşiği yükseltirken, 50 Hz. test uyarısı kullanıldığında, 50 Hz. adapte edici uyarı eşiği daha fazla yükseltmiştir. Bu sonuçlar, parmaklarda Pacinian ve non-Pacinian kanallarda adaptasyonun bağımsızlığını doğrulamıştır. Bütün frekans kombinasyonları için eşik değeri sabit sürede (1.5-2 dakika) katlanarak yükselmiştir. Üçüncü deneyde, her frekans serisinde eşiği 10 dB olan bir uyarıda gereken uyarlayıcı genliği gösteren bir aksiyon spektrumu belirlenmiştir. Sonuç olarak, hızlı uyan kütanöz mekanoreseptörler hakkında bilinenlerle birlikte düşünüldüğünde, uyarlayıcı bir uyarının, yalnızca ilk basamak afferentlerde oluşturduğu etkinlik miktarıyla saptanmadığına işaret etmektedir [65].

1.7 Tezin Amacı

İnsan, vücudunu çepeçevre saran reseptörler sayesinde dış dünya ile iletişim kurabilmektedir. Bu reseptörlerin ürettiği işaretler merkezi sinir sisteminde yorumlanmakta ve bu yorumlar doğrultusunda insan vücudu dış dünyaya tepki vermektedir. Duyu algılayıcı reseptörler vücudun hemen hemen her bölgesinde yer almakla beraber, bölgesel olarak sensörlerin yoğunluğu değişmektedir [66].

Bu çalışmada parmak uçlarında yoğun bir şekilde bulunan mekanoreseptörlerin ürettiği uyarılardan faydalanılarak merkezi sinir sisteminden bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaran bir cihazın tasarlanması, cihazı kontrol eden ve deneklere test uygulayan yazılımların geliştirilmesi ve cihazın doğruluğunu test amacıyla deney grupları oluşturularak denekler üzerinde testlerin uygulanması amaçlanmıştır. Daha sonra, deneklere uygulanan test sonuçları üzerinde istatistiksel analiz uygulanarak geliştirilen sistemin doğruluğunun ıspatlanması amaçlanmıştır.

1.8 Hipotez

Vücutun çeşitli bölgelerinde bulunan duyu algılayıcı sensörleri uyarıp, bu uyarılara deneklerin verdiği tepkiler doğrultusunda merkezi sinir sisteminde oluşabilen değişimler tespit edilebilmektedir. Bu bağlamda otizm [67] [68], ağrı kodlanması [69], migren ağrıları [70], Parkinson hastalığının etkileri [71], beyin travmalarının merkezi sinir sistemine olan etkileri [72], beyin sarsıntısı değerlendirmesi [73] gibi birçok çalışma yapıp başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu yaklaşımla “Cortical Metrics” firmasının geliştirmiş olduğu CM4 cihazı [74] parmaklara uygulanan çeşitli titreşim testleri ile hastalığın teşhisi için bilgi sunmaktadır.

North Caroline Üniversitesi Nörobilim Bölümü altında kurulan “Cortical Metrics” firmasının ürettiği cihaz ile deneklerin parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılmaktadır. Mekanoreseptörlerin ürettiği işaretler merkezi sinir sistemi üzerinde bulunan Somatik Alan I-II de karşılık bulmaktadır [75]. Somatik Alan I-II de karşılık bulan bu uyarılar doğrultusunda merkezi sinir sistemi dış dünyada gerçekleşen bu hadiselerle tepki üretmektedir. North Caroline Üniversitesi’nde yapılan çalışmalar ile parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılarak deneklerin merkezi sinir sistemleri üzerinden bilgi edinimi sağlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

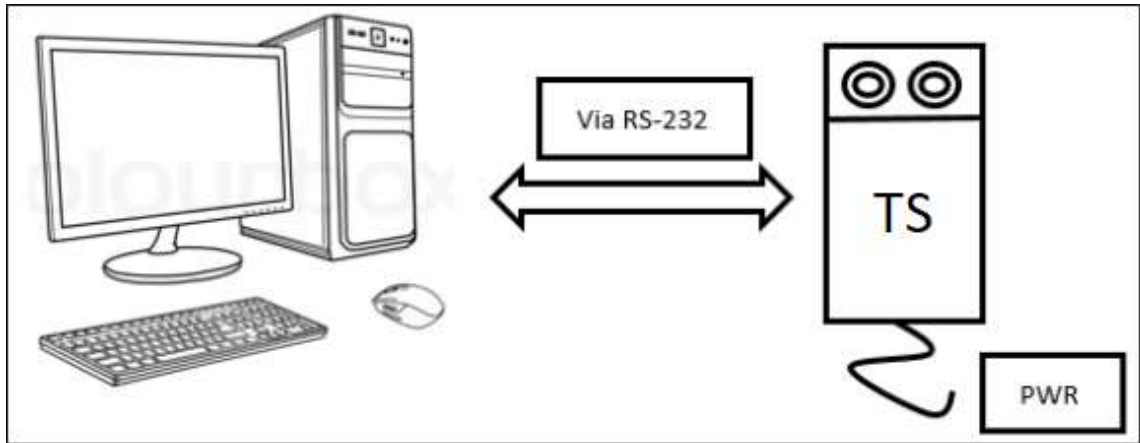
Vücutun dış dünyada gerçekleşen durumları-olayları algılayan mekanoreseptörler fazik ve tonik reseptörler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bir reseptör grubuna sabit güçte bir uyarı uygulandığında bunun duyuusal sinirde oluşan aksiyon potansiyellerinin frekansı zamanla azalır. Bu olaya adaptasyon denir. Adaptasyon derecesi duyu organının tipine bağlıdır. Dokunma duyusu hızlı adapte olur ve reseptörlerine fazik reseptör denmektedir. Dokunma reseptörü olan ve parmak uçlarında çokça bulunan pacini cisimciğine uzun süre basınç uygulanması hızla azalan bir jeneratör potansiyeline yol açar [76].

Yapılan çalışma kapsamında yeni geliştirilen cihaz ile hastaya çeşitli testler uygulanabilmektedir. Bu testlerde hastanın dış dünya ile iletişimini sağlayan ve beynin “Somatik Duyusal Alan I” ve “Somatik Duyusal Alan II” bölgelerinde yorumlanan işaretleri üreten mekanoreseptörler uyarılmaktadır. Bu uyarımlar mekanoreseptörlerin çokça bulunduğu bölge olan parmak uçlarına uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde Tactile Stimulator diye adlandırılan bir sistem tasarlanmış ve isitemi kontrol eden yazılımlar kodlanmıştır. Ayrıca 2 farklı deney grubunda da test çalışmaları yapılmıştır. Dolayısı ile bir makine, yani mekanik tasarım da gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen cihaz ile deneklerin dokunma duyusu 1 saniyede 1 ile 40 (1-40 Hz.) arasında değişen adetlerde uyarılabilmektedir. Bu sayede hastanın parmak uçlarında bulunan reseptörler devamlı aktif olarak tutulabilmektedir. Daha sonra bu uyarılara deneklerin verdiği tepkiler kaydedilip istatistiksel analiz yöntemleri ile deney grubunda bulunan kişilerin merkezi sinir sistemi ile ilgili herhangi bir olumsuzluk olup olmadığı tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca yine, deney grubunda bulunan kişilerin yaş ve cinsiyet gibi özelliklerin ayrıştırıcı olup olmadığı araştırılmıştır.

Geliştirilen sistem ile son kullanıcıların kolayca yeni test türleri ve parametreleri belirleyebilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda, geliştirilen yeni cihaz, yeni test uygulamaları için dinamik bir yapıya büründürülmüştür. Kullanıcılar, bir ara yüz yardımıyla uygulanması istenen testleri kolayca cihaza yükleyebilmektedirler. Uygulanacak test parametrelerinin tamamı testi oluşturan test uygulayıcı veya oluşturucular tarafından dinamik olarak kolayca belirlenebilmekte ve test oluşturulabilmektedir.



Şekil 1.6 Sistem Diyagramı

Hiyerarşik olarak sistemin şöyle çalıştırılması amaçlanmıştır: İlk olarak uygulanmak istenen test türleri ve parametreleri vs.net 2015’de geliştirilmiş masaüstü yazılımı yardımı ile belirlenip SQL Express 2014 de ilişkisel veri tabanı yöntemi ile geliştirilmiş veri tabanına kaydedilmektedir. Testi uygulayacak kişi ya da kişiler yine

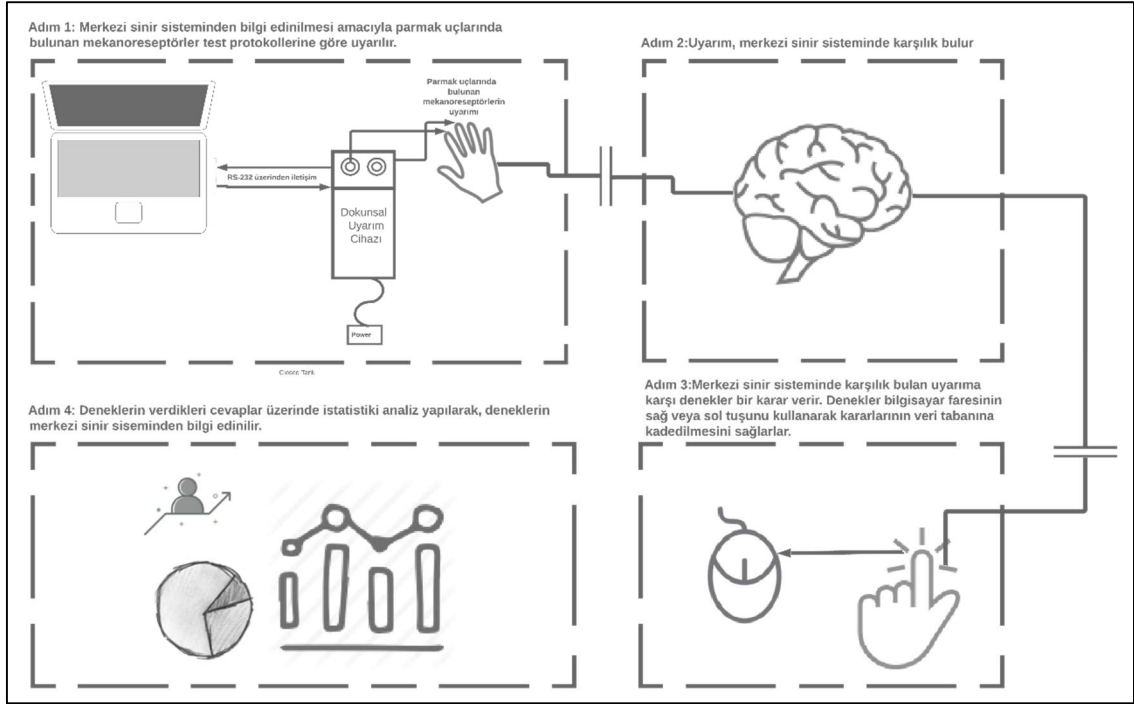
masaüstü yazılım yardımı ile test uygulayacağı kişinin bilgilerini sisteme eklemektedir. Kişi eklendikten sonra uygulama üzerinden daha önce oluşturulmuş test türü seçilerek test süreci başlatılmaktadır. Masaüstü uygulaması, seri port (RS-232) üzerinden test türünü ve parametrelerini içeren veri seti, cihazı kontrol eden gömülü sistem kartına iletilmektedir. Masaüstü programının gönderdiği bilgilerde uygulanacak test ile ilgili tüm parametreler bulunmaktadır. Bu bilgiler sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına ulaştıktan sonra, gömülü sistem kartı tarafından gerekli hesaplamalar yapılmakta ve test uygulanmaktadır. İlgili test aşaması tamamlandıktan sonra gömülü sistem kartı üzerine düşen görevleri başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğine dair bilgiyi masaüstü uygulamasına iletmektedir. Test sürecinin tüm adımları tamamlanınca dek süreç bu şekilde akmaktadır. Geliştirilmiş sistemin veri akışı Şekil 1.6'de gösterildiği gibi çift yönlüdür.

Proje kapsamında geliştirilen cihaz ile sağ el işaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlerin uyarılması sağlanmıştır. Deneklerin sağ el işaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler test türlerine ve parametrelerine göre uyarılmakta ve deneklere uygulanan test parametre ve türüne göre 3 farklı soru sorulmaktadır. Deneklere sorulan sorular ise şöyledir; “hangi parmağa daha çok dokundu”, “hangi parmağı daha çok yukarı doğru itti” ve “hangisi önce başladı” şeklindedir.

Deneklere test parametreleri uygulandıktan sonra, bilgisayar faresinin sağ veya sol tuşunu kullanarak ilgili testi cevaplandırmaktadırlar. Örnek verecek olursak, “hangi parmağa daha çok dokundu” sorusu için sağ el işaret parmağını saniyede 15 defa ve sağ el orta parmağını da saniyede 40 defa uyardığımızı varsayalım. Deneğe uygulanan bu test parametreleri doğrultusunda deneğin bilgisayar faresinin sağ ve sol tuşlarından birini seçerek soruyu cevaplanması beklenmektedir. Yine aynı şekilde “hangi parmağı daha çok yukarı doğru itti” sorusunun test parametreleri, sağ el işaret parmağı için 2000 μm ve sağ el orta parmak içi 3450 μm olduğunu varsayalım. Deneğe sorulan bu soruyu deneğin yine bilgisayar faresini kullanarak cevaplandırması beklenmektedir. Yine aynı şekilde “hangisi önce başladı” sorusu için test parametrelerinin sağ el işaret parmağı için 100 ms ve sağ el orta parmak için 550 ms olduğunu varsayalım. İlgili test süreci başladıktan 100 ms sonra sağ el işaret parmak uçlarındaki mekanoreseptörler uyarılmakta ve yine test süreci

başladıktan 550 ms sonra sağ el orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılmaktadır. Dolayısı ile sağ el işaret parmak ucunda bulunan mekanoreseptörler uyarıldıktan tam 450 ($550-100 = 450$) ms sonra sağ el orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılmaktadır. Deneğe uygulanan bu test parametresinin ardından sorulan soruya denek, yine bilgisayar faresinin sağ ve sol tuşlarını kullanarak cevaplandırmaktadır.

Deneklere uygulanan test süreci uçtan uca dört adımda tamamlanmaktadır. İlk adımda deneklerin parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılır. İkinci aşamada ise parmak uçlarının uyarımı sonucunda merkezi sinir sistemi üzerinde uyarımı gerçekleşir. Üçüncü aşamada denek merkezi sinir sistemi üzerinde gerçekleşen bu uyarıma göre bilgisayar faresini kullanarak uygulanan test türü ile ilgili soruyu cevaplandırır. Dördüncü ve son aşamada ise deneklerin verdikleri cevaplar üzerinde istatistiksel analiz yapılarak deneklerin merkezi sinir sistemi hakkında bilgi edinilir. Bu dört aşama Şekil 1.7 de özetlenmiştir.



Şekil 1.7 Test Süreç Akışı

Belirlenen denek grubuna göre test türleri ve parametreleri oluşturulabilmektedir. Belirlenen deney grubunda 3 farklı sonuç aranmaktadır. Bunlardan ilki, merkezi sinir sisteminden kaynaklı sorun yaşayan deneklerle birlikte, merkezi sinir sisteminde herhangi bir sorun olmayan kişilerden oluşan deney grubuna test

uygulanıp, sağlıklı kişileri, merkezi sinir sisteminde problem yaşayan kişilerden ayırmak, ikincisi, merkezi sinir sistemi özelinde sorun yaşayan deneğe tanısı konulmuş denekler içerisinde yaş, cinsiyet gibi ayrıştırıcı özelliklerin var olup olmadığını öğrenmek ve üçüncüsü ise aynı özelliklere sahip kişilerden oluşan deney grubunda 2 farklı zamanda test yaparak, 2 zaman arasında gerçekleşen farklılıkların deney grubu üzerindeki etkilerin ölçülmesidir. Örnek verecek olursak, aynı şartlar altında çalışan kişilerin mesaiye başlamadan önce ve mesaiyi tamamladıktan sonra test uygulayıp, mesainin kişilerin merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri ölçümlenebilir. Ya da sigara tiryakilerinin sigara içmeden hemen önce ve sigara içtikten sonra test yapılarak sigara içmenin tiryakilerin merkezi sinir sistemi üzerindeki etkileri ölçülebilir.

Geliştirdiğimiz sistem ile 2 farklı deney grubu üzerinde 2 farklı yöntem ile test yapılmıştır. Uygulanan bu iki test türünde de anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

2.1 Genel Bakış

Geliştirmiş olduğumuz sistem ile parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlerin uyarılması sonucu uyarılar, merkezi sinir sisteminde bulunan somatik alan I-II bölgelerinde karşılık bulmaktadır [77]. Merkezi sinir sistemi içerisinde bulunan birçok bölüm birbiri ile iletişim ve etkileşim içerisinde. Bu iletişim ve etkileşimden faydalanılarak, somatik alan I-II de karşılık bulan mekanoreseptör sinyallerine deneklerin verdikleri cevaplar doğrultusunda merkezi sinir sisteminde bulunan diğer birimler hakkında bilgi edinilmesi hedeflenmiştir.

Geliştirdiğimiz sistemin bir bölümü olan makinenin uygulayacağı test protokolleri için gereken test parametreleri, detaylı bir şekilde incelenmiş akademik yayınlar referans alınarak aşağıda bulunan maddelerde olduğu gibi belirlenmiştir [78] [79] [80] [81] [82].

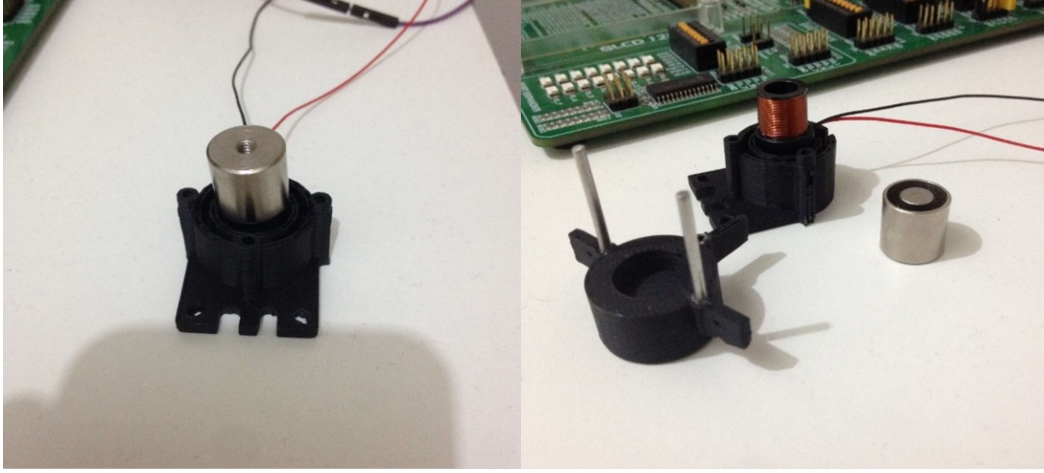
- Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler 1 saniyede 40 kez uyarılabilir. Yani sistemin frekansı 40 Hz. olmalıdır.
- Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler 1 saniyede 40 defa uyarılırken uyarım genliği 3000 μm olmalıdır.
- Genlik parametresinin çözünürlüğü 50 μm olmalıdır.

Proje kapsamında iki farklı mekanik tasarım gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen ikinci makine üzerinde birçok kez iyileştirme yapılmıştır. İlk makinede “Voice Coil Actuator” [83] olarak adlandırılan bir aktüatör kullanılmış ve makineden istenen verim alınamamıştır. Başarısızlıkla sonuçlanan ilk cihaz ardından adım motor kullanılarak yeni bir tasarım geliştirilmiştir.

2.1.1 VCA Kullanılarak Geliştirilen Makine

İlk makine VCA diye adlandırılan aktüatörler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen ilk makine 3 boyutlu yazıcı kullanılarak üretilmiş, sistemin gövdesi

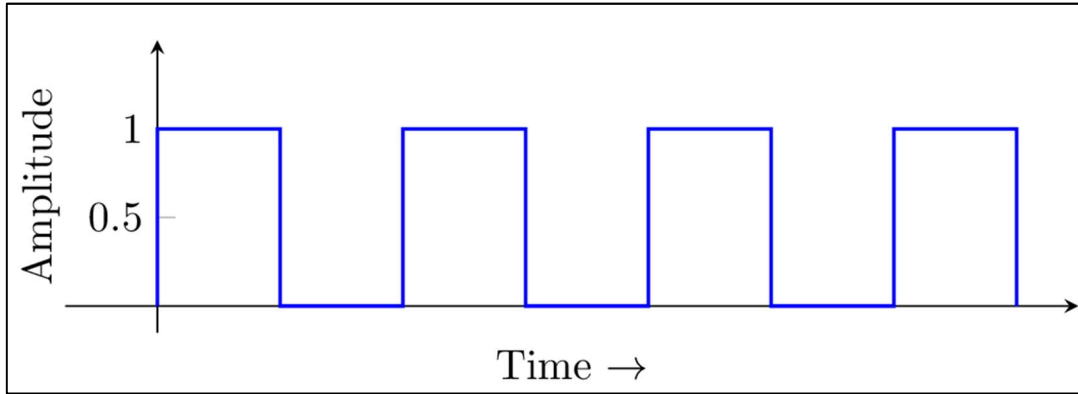
pleksiglas malzeme kullanılarak lazer kesim makinesinde hassas bir şekilde üretilmiştir.



Şekil 2.1 Üç Boyutlu Yazıcıda Üretilen VCA Tutucu

2.1.1.1 VCA ve Sürücü Çalışmaları

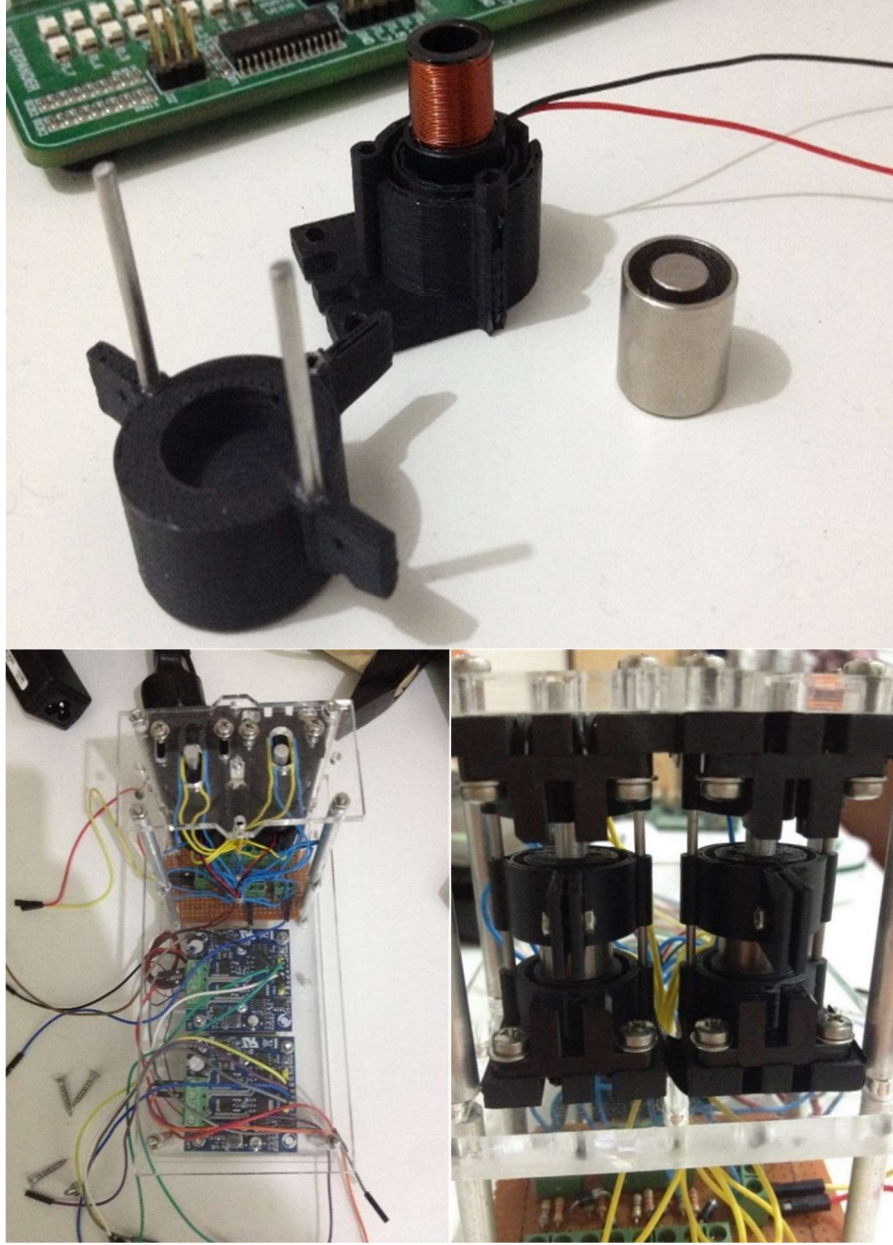
Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak amacı ile daha önce North Caroline Üniversitesinde üretilen “CM4” makinesi örnek alınarak ilk prototip üzerinde çalışma yapılmıştır. Makinede kullanılmak üzere VCA ve sürücüleri temin edilmiş ve çeşitli çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 2.2 Örnek Kare dalga

Sistem kurgulanırken belirlenen gereksinimlere erişebilmek için kullandığımız sürücüden istenilen verim elde edilememiş ve farklı özelliklerde 7 farklı motor sürücü ile VCA'lara hareket kabiliyeti kazandırılmak için çalışmalar yürütülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda 7 farklı sürücünün performans parametreleri göz önünde bulundurularak en iyi sonuç aldığımız motor sürücüsünün (BTS7960B, Infineon Technologies AG, www.infineon.com) kullanılmasına karar verilmiştir.

Mikrodenetleyici olarak Microchip firmasının ürünü olan 18F46K22 PIC mikrodenetleyici kullanılmıştır. VCA'larda 2 adet giriş bulunmaktadır. Bu girişlere kare dalga uygulandığında VCA doğrusal olarak hareket etmektedir.



Şekil 2.3 İlk Mekanik Tasarım

Mikrodenetleyicinin uyguladığı kare dalga alçalan kenardan yükselen kenara geçiş yaptığı esnada VCA, koordinat düzlemine göre +Y yönünde hareket etmektedir. Örnek kare dalga Şekil 2.2 de gösterilmektedir. Aynı zamanda kare dalga negatif kenardan pozitif kenara geçtiği anda ise VCA -Y yönünde hareket etmektedir. Böylelikle VCA $\pm Y$ ekseninde doğrusal olarak hareket edebilmektedir. Şekil 2.3 de gerçekleştirilen ilk mekanik tasarımın görseli bulunmaktadır.

VCA'lar $\pm Y$ ekseninde hareket ederken, VCA ların salınım frekanslarını değiştirilmesi için mikrodenetleyici tarafından uygulanan kare dalganın frekansı değiştirilmelidir. Uygulanan kare dalganın frekansı 40 Hz. olduğunda VCA $\pm Y$ ekseninde 40 defa hareket edebilmektedir.

Dokunma testinin diğer bir parametresi için VCA'ların $\pm Y$ eksenini doğrultusunda hareket edeceği mesafedir. Mesafe parametresi kullanıcılar tarafından ayarlanabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle VCA'lara uygulanan kare dalganın genlik değeri ayarlanabildiğinde VCA'ların $\pm Y$ ekseninde hareket edeceği mesafe de ayarlanabilmektedir.

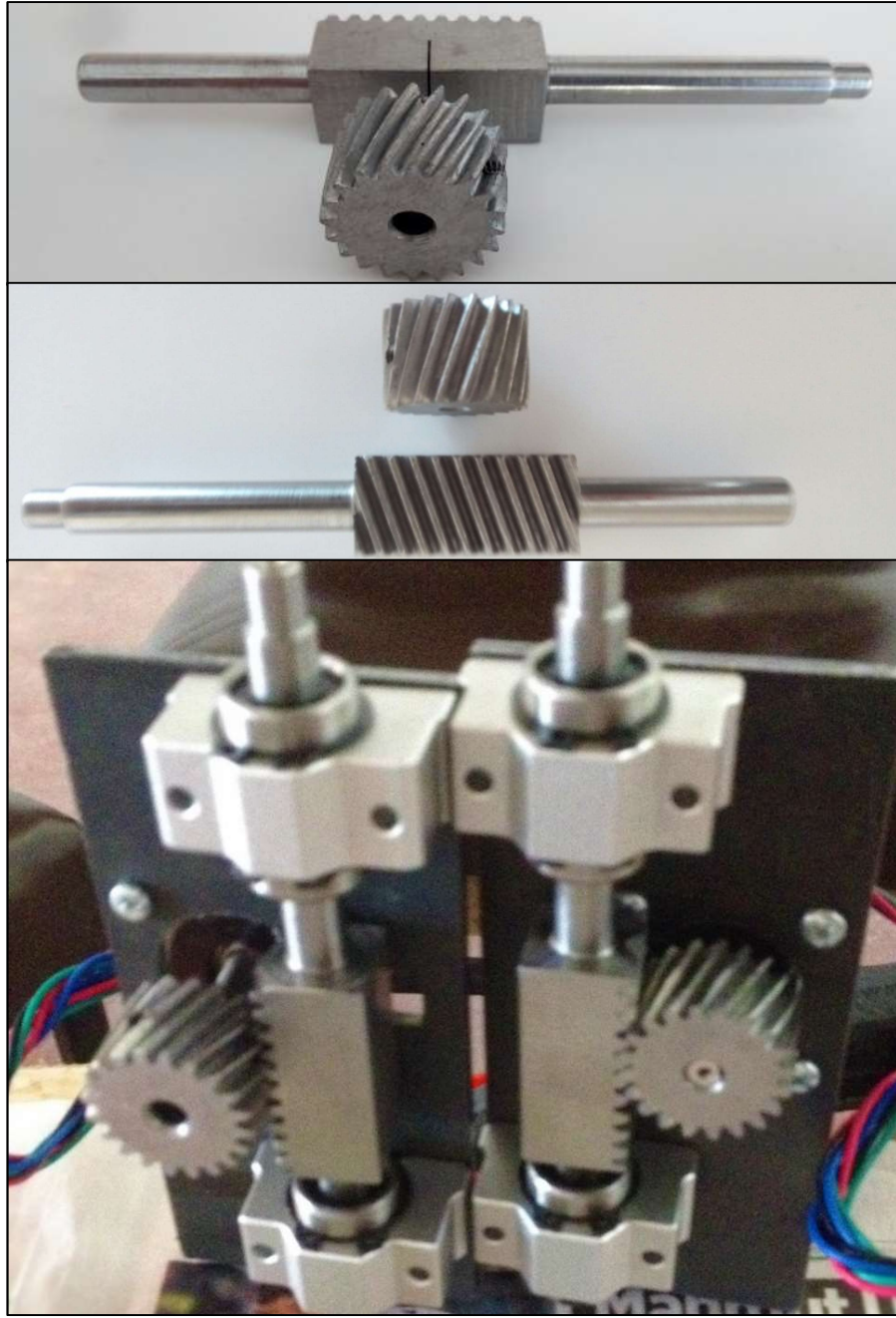
Teorik olarak kurgulanan bu yöntemin pratik olarak da uygulanıp test edilebilmesi için mekanik bir tasarım geręekleřtirip, VCA'ların motor sürücüler ile birlikte sürölerek, test edilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, mekanik tasarım çalışmaları yapılmış ve geliştirilen bu tasarım üzerinde test çalışmaları yapılmıştır.

Sistemde kullanılması planlanan VCA'ların, test sürecinin tamamlanması ve sistemde kullanılması planlanan diğer malzemeler ile birlikte (sürücüler, kontrol kartı ve enerji kartı) aynı makine üzerinde birleştirmek için şase tasarımı yapılmıştır. şase imalatı için AutoCAD [84] teknik çizim programı kullanılarak makinenin bileşenlerinin çizimi yapılmış ve pleksiglas malzeme kullanılarak lazer kesim makinesinde hassas bir şekilde imal edilip birleştirilmiştir.

Sistemde kullanılan VCA'ları, tasarımı geręekleřtirilen ve üretilen cihaza tutturabilmek için CATIA V5R20 [85] teknik çizim programı kullanılarak VCA tutucu tasarımı yapılmış ve 3 boyutlu yazıcıda [86] hassas bir şekilde üretilmiştir. Üretilen VCA tutucusu şekil 2.1 de gösterildiği gibidir.

2.1.2 Adım Motor Kullanılarak Yapılan Tasarım

VCA'lar kullanılarak yapılan tasarımın akademik yayınlar referans alınarak belirlenen bazı gereksinimleri karşılamamasından dolayı yeni bir yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda, doğrusal hareket edebilen motorlar üzerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan alışmalar sonucunda sistemimizde kullanılabilecek motorlar detaylı bir şekilde incelenmiştir.



Şekil 2.4 Helis Dişli Seti ve Bağlantı

Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için, parmak uçlarına dokunan, $\pm Y$ ekseninde hareket edebilen uyarıcılara ihtiyacımız vardır. Bu nedenle uyarıcılara hareket kazandırılması için adım motor [87] kullanılmıştır. Kullanılan 17HS8402 kodlu adım motor ile ilgili detaylı bilgi [88] numaralı kaynaktan edinilebilir. Adım motorlar $\pm Y$ ekseninde (doğrusal) hareket etmemektedirler. Bu nedenle adım motora doğrusal hareket kabiliyeti kazandırılması yönünde çalışmalar yapılmıştır.

Adım motorlara doğrusal hareket edebilme yeteneği kazandırmak amacıyla metal kremayer ve kestamit pinyon kullanılmıştır. Pinyon gövdesine, torna tesviye makinesinde 3 mm çapında delinerek kılavuz ile diş açılmıştır. Pinyon, torna tesviye makinesinde delinen ve kılavuz ile diş açılan yuva ile adım motorun miline setskur kullanılarak sabitlenmiştir. Kremayer ise merkezinden 34 mm dişli kalacak şekilde tornada işlenerek uçları yuvarlanmış ve mil formu kazandırılmıştır. Mil formu kazandırılmış kremayer dişlisi şaseye bağlanmış görüntüsü Şekil 2.4 da gösterilmektedir.

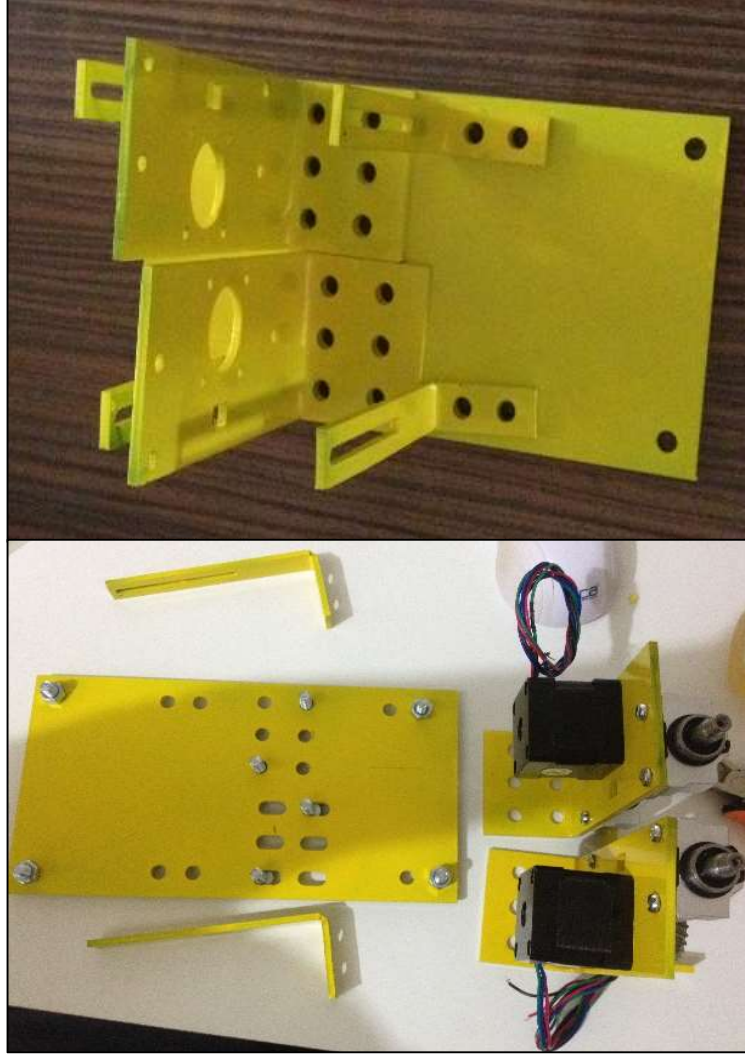
Mil formu kazandırılmış kremayer dişliler doğrusal rulmanlar kullanılarak AutoCAD de çizilip fiber lazer makinede [89] üretilmiş ve şaseye sabitlenmiştir. Mil formu kazandırılmış kremayer dişlisinin rulman seti ile birlikte kullanımı, Şekil 2.5 de gösterilmiştir. Şekil 2.6 da şasenin görseli bulunmaktadır. Ayrıca, sistemde kullanılan nihai şasenin teknik çizimi Şase Teknik Çizim başlığı altındaki ekte bulunmaktadır.



Şekil 2.5 Kremayer ve Rulman Seti

Torna tesviye makinesinde mil formu kazandırılmış kremayer dişli seti, adım motorun miline bağlanmış pinyon ile aralarında 90 derecelik açı olacak şekilde şaseye sabitlenmiştir. Bu sayede, adım motor kendi eksenini etrafında saat yönünde ve saat yönünün tersi yönünde hareket ettikçe, uçlarına mil formu kazandırılmış

kremayer dişlisi $\pm Y$ ekseninde hareket edebilmektedir. Kremayer ve pinyon dişli seti daha önce hazırlanan şaseye doğrusal hareket eden rulmanlar aracılığı ile sabitlenmiştir. Dışı taşlanmış mod 1 boyutunda pinyon ve kremayer kullanılmıştır.

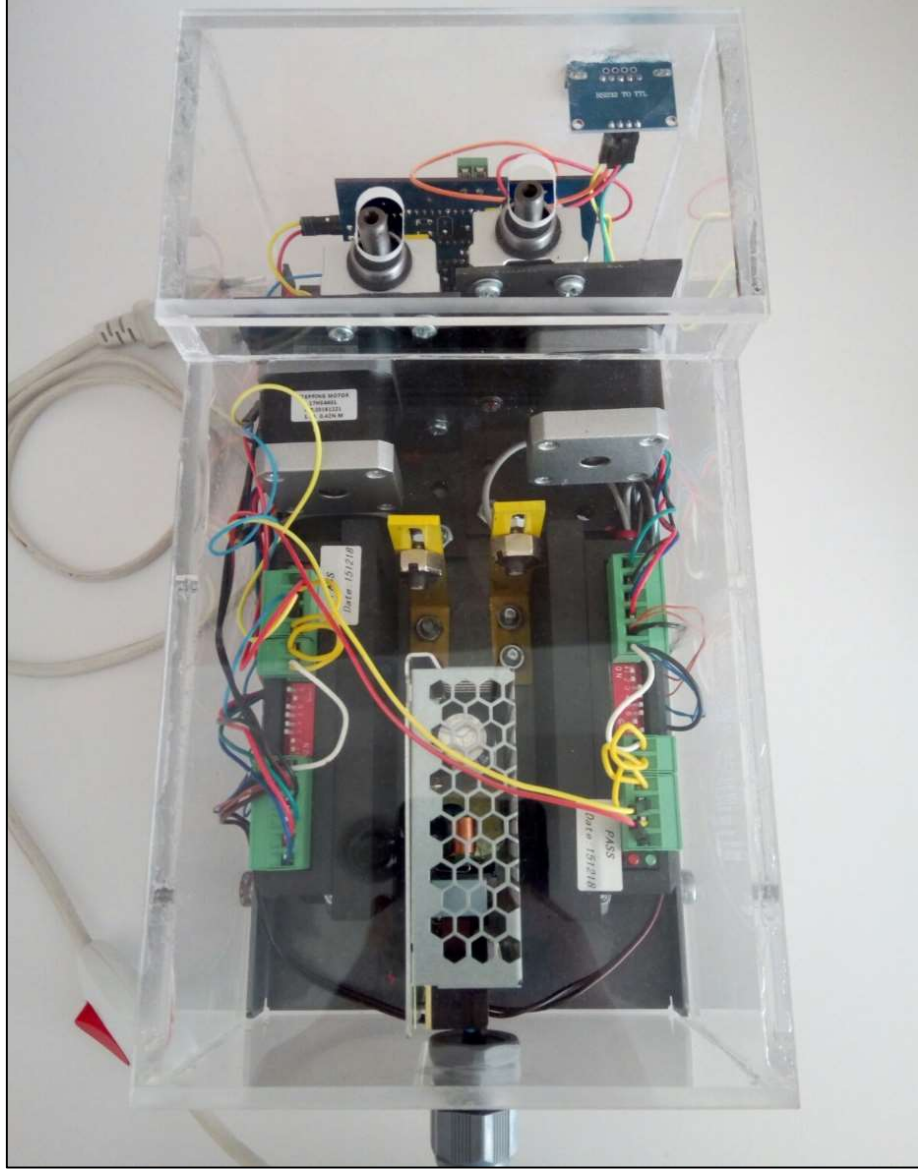


Şekil 2.6 Şase

Sistemde kullanılan adm motorları sürmek amacıyla CW556 kodlu adım motor sürücüsü kullanılmıştır. Adım motor sürücüsü ile ilgili detaylı bilgi [90] numaralı kaynakta bulunmaktadır.

Sistemde kullanılan kestamit pinyonun çapı 30 mm olarak hesaplanmıştır. Adım motorlar mikro adımlama yaparak tam turu 2000 adımda tamamlamaktadır. Yani, adım motor sürücülerine uygulanan her bir kare dalgada, adım motor 1 adım atmaktadır ve 2000 kare dalga uygulandığında adım motorlar 1 tam tur olan 360 dereceyi tamamlamaktadırlar. Bu durumda adım motor sürücülerine uygulanan her bir kare dalgada, mil formu kazandırılmış kremayer dişlisi 47,1 μm hareket

etmektedir. Hesaplamalar Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Sistemde kullanılan pinyon ve kremayer dişli setinin teknik çizimi, ekte buluna Dişli Seti Teknik Çizim başlığı altında bulunmaktadır.



Şekil 2.7 Nihai Cihaz Görünümü

Yapılan bu çalışmaların sonucunda aşağıda belirtilen test parametrelerine erişilmiştir.

- 1 sn. de 40 kez mekanoreseptörlerin uyarımı (Frekansı 40 Hz.)
- Frekans 40 Hz. iken parmağı en çok 3740 μm kadar yukarı doğru itmektedir
- Mesafe çözünürlüğü 47,1 μm

Sistemin uyguladığı frekans parametresinin değeri artırılabilir. Fakat bu artış 3740 μm olan mesafe parametresinin kısalması anlamına gelmektedir. Söz gelimi, eğer frekans 80 Hz.'e çıkarılırsa mesafe parametresi 1870 μm olmaktadır. Ya da frekans 150 Hz. 'e çıkarıldığında mesafe parametresi 1000 μm olmaktadır.

Sistemde kullanılan tüm malzemeler metal bir şase üzerine monte edilmiştir. Üzeri açık halde bulunan cihaz, şeffaf pleksiglas malzemeden üretilen bir kapak sistemi ile kapatılmıştır. Üretilen bu kapak sistemi AutoCAD programı kullanılarak 7 parça halinde pleksiglas lazer kesim makinesinde üretilmiş ve daha sonra yapıştırıcı ile birleştirilerek kullanıma hazır hale getirilmiştir. Kapak sisteminin teknik çizimi Kapak Teknik Çizim ekinde bulunmaktadır. Geliştirilen cihazın nihai görünümü Şekil 2.7'daki gibidir.

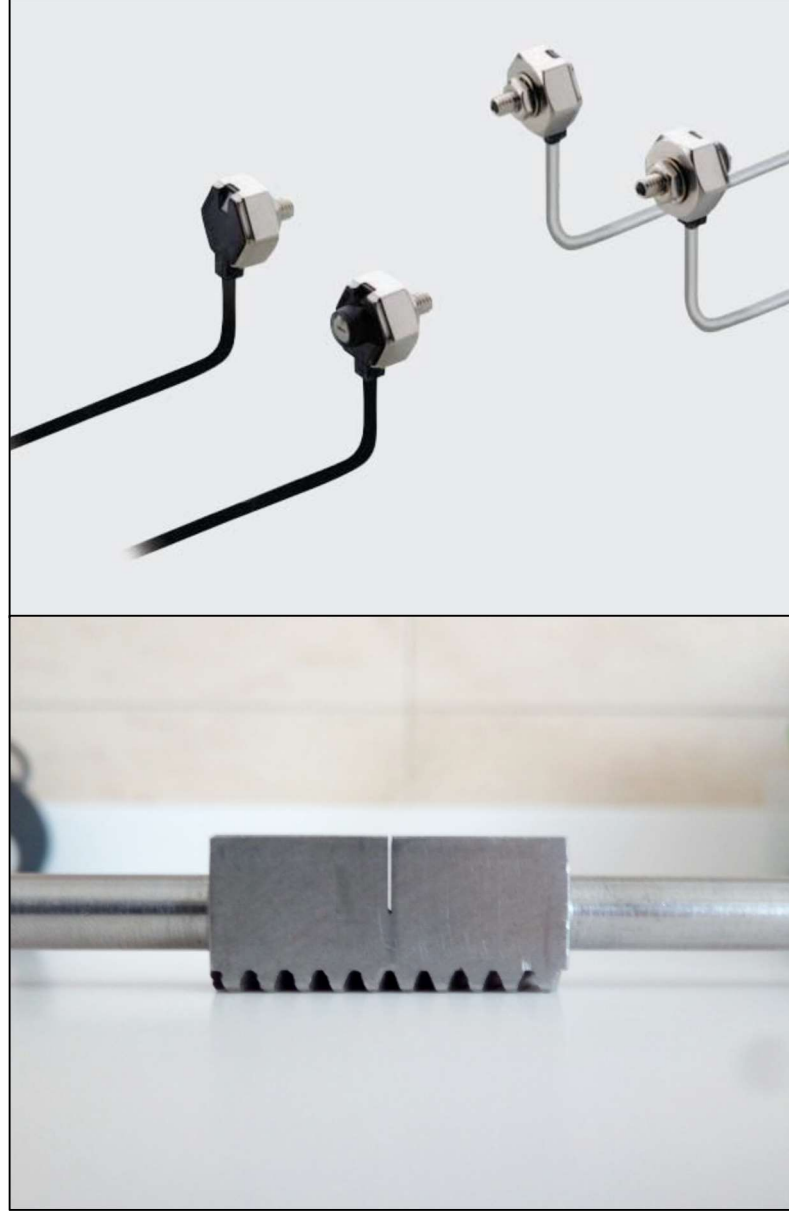
Tablo 2.1 Pinyon Ölçüsüne Göre Adım Mesafesi

Pinyon Çapı (mm)	Tam Tur Alınan Mesafe (mm)	Adım Sayısı	1 Adımdaki mesafe (μm)
30	94,2	2000	47,1

Cihazda kullanılan adım motorların hareket kabiliyetinin ölçülmesi amacıyla mil formu kazandırılmış kremayer dişliler üzerinde bir işlem daha gerçekleştirilmiştir. Bu işlem mil formu kazandırılmış kremayer dişlisinin merkezi 10 mm derinliğinde tel erezyon makinesinde 24 μm kalınlığında yarılmıştır.

Y ekseninde hareket eden, mil formu kazandırılmış kremayer dişlisi kızıl ötesi sensör seti arasına yerleştirilmiştir. Kızıl ötesi sensörler yapıları gereği biri okuyucu diğeri kızıl ötesi ışın demeti gönderen iki başlıktan oluşmaktadır. Kızıl ötesi ışın demeti, kızıl ötesi ışın okuyucu başlığına ulaştığında lojik voltaj üretmektedir. Bu yaklaşımla merkezinden 24 μm kalınlığında yarılan kremayer dişlisi kızıl ötesi sensör grubunun merkezine yerleştirilmiştir. Böylelikle, kremayer dişlisi Y ekseninde hareket ettikçe kızıl ötesi ışık demeti kızıl ötesi sensöre ulaşmakta ve sensör lojik voltaj üretmektedir. Üretilen bu lojik voltaj sistemi kontrol eden mikrodenetleyiciye iletilmektedir. Böylelikle adım motorların kremayer dişli setini Y ekseninde ne kadar hareket ettirdiği izlenebilmektedir. Şekil 2.8'da

kullanılan kızılötesi sensör ve 24 mikron genişliğinde yarılmış kremayer dişlisi gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Kızılötesi Sensör ve Kremayer Dişli

2.1.3 Kontrol Kartı

Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyararak, merkezi sinir sisteminden bilgi elde edilmesi amacıyla geliştirdiğimiz sistemde süreç akışı 5 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıdaki gibidir.

1. Bir masaüstü uygulaması aracılığı ile, deneklere uygulanacak test parametreleri belirlenir ve masaüstü yazılımı yardımıyla test parametreleri veri tabanına kaydedilir.
2. Test uygulanacak kişi ile ilgili cinsiyet ve yaş bilgileri masaüstü uygulaması aracılığı ile veri tabanına kaydedilir. Ardından deneğe uygulanacak test, listeden seçilerek sistem hazır hale getirilir.
3. Test protokollerine göre belirlenmiş olan ve deneklere uygulanacak olan test parametreleri, masaüstü yazılımı vasıtasıyla seri port (RS-232) üzerinden sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına gönderilir.
4. Gömülü sistem kartı, masaüstü yazılımının gönderdiği test parametrelerine göre programı yürütür ve masaüstü yazılımını bilgilendirir.
5. Masaüstü yazılımı, uygulanan test parametrelerine göre deneğe soru sorar ve denekten bilgisayar faresinin sağ veya sol tuşunu kullanarak cevap vermesini bekler. Denek cevap verdikten sonra test bir sonraki aşamaya geçer.

Sistemi kontrol eden gömülü sistem kartı üzerinde 2 farklı çalışma yapılmıştır. Yapılan ilk çalışmadan istenilen verim alınamamış ve bu nedenle ikinci çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan ilk çalışmada tek mikro denetleyici ile tüm sistemin kontrol edilmesi amaçlanmıştır, fakat başarılı olunamamıştır. O nedenle ikinci bir çalışma ihtiyacı duyulmuş ve çalışma başarılı bir şekilde sonuçlanmıştır. Yapılan ikinci çalışma, 3 mikrodenetleyici kullanılarak geliştirilmiştir.

2.1.4 Tek Mikrodenetleyici ile Yapılan Çalışma ve Karşılaşılan Sorunlar

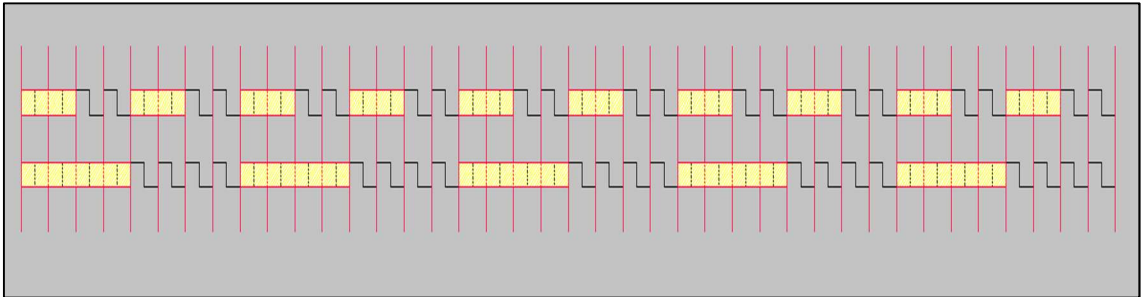
Masaüstü yazılımının, seri port üzerinden gönderdiği test parametrelerine göre, test parametrelerini okuyup, analiz edip ve deneklere uygulayan bir gömülü sistem kartına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda cihaz içerisinde bulunan adım motorları test parametrelerine göre sürmek amacıyla Microchip firmasının ürünü olan, üzerinde 2 tane seri iletişim portu, analog girişleri ve dijital çıkışları olan 18F46K22 kodlu mikrodenetleyici kullanılmasına karar verilmiştir. 16 MIPS (Milion Instruction Per Second) hızına sahip 18F46K22 mikrodenetleyicisi RISC [91] mimarisine sahiptir. Ayrıca 28 tane 10-bit çözünürlüklü analog girişe sahiptir.

Gömülü sistem kartında kullanılan 18F46K22 kodlu mikrodenetleyici ile ilgili detaylı bilgi [92] numaralı kaynakta mevcuttur.

```
for (i=0;i<disp;i++)
{
    PORTD.F1 = 1;
    PORTD.F2 = 1;
    Delay_ms(100);
    PORTD.F1 = 0;
    PORTD.F2 = 1;
    Delay_ms(100);
}
```

Şekil 2.9 Kare Dalga Sinyal Üretici

Adım motorların saat yönünde ve saat yönünün tersinde hareket ettirilebilmeleri için adım motorları kontrol eden, adım motor sürücüsüne, kare dalga sinyal uygulanması gerekmektedir. Uygulanan kare dalga, pozitif yükselen kenara geçtiğinde adım motor bir adım saat yönünde veya saat yönünün tersi yönünde hareket edebilmektedir. Adım motor sürücülerinin girişlerine yön ve hareket bilgileri lojik voltaj uygulanarak, adım motorlarının saat yönünde veya saat yönünün tersi istikametinde hareket etmeleri sağlanmaktadır.



Şekil 2.10 Kare Dalgaların Örtüşmesi

Adım motor sürücüsünü kare dalga sinyali ile besleyebilmek için mikrodenetleyicinin kare dalga sinyali üretmesi gerekmektedir. Bu nedenle mikrodenetleyicinin kare dalga üretebilmesi için bir for döngüsü içerisinde mikrodenetleyicinin herhangi bir dijital pini ilk olarak resetlenir. Ardından bir süre sonra ilgili dijital pin set edilir ve ardından tekrar bir süre sonra resetlenir. Bu işlem art arda tekrarlandığında mikrodenetleyicinin ilgili pininden kare dalga sinyali elde edilebilmektedir. For döngüsünün koşma sayısı ve bekleme süresi frekansı değiştirilerek ilgili kare dalgaının frekansı belirlenebilir.

	<i>1 second</i>												
Left Stepper	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	12 bit
Right Stepper	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	12 bit

Şekil 2.11 2 Hertz ve 3 Hertz Kare Dalganın Binary Olarak İfadesi

Uygulanan her bir kare dalga ile adım motor 1 adım artmaktadır. Uygulanan kare dalga sayısı 2000 olduğunda adım motor 360 derece dönerek bir tam turu tamamlamaktadır. Bu doğrultuda 18F46K22 mikrodnetleyicisinin B portunun 1 ve 2 numaralı pinleri sağ el işaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaran adım motorların sürülmesi amacıyla kare dalga üretmek için kullanılmıştır. Mikrodnetleyicinin B portunun 2 numaralı pininin lojik voltajı 0 olarak sabit tutularak 1 numaralı pinin lojik voltajı test parametrelerinin ihtiyacı doğrultusunda hesaplanan periyotlarda set edilir ve resetlenir. Bu sayede kare dalga oluşturulmaktadır. Bu oluşan kare dalga, adım motorunu saat yönünde hareket ettirmektedir. Adım motorlarını saat yönünün tersi yönünde hareket ettirmek için B portunun 2 numaralı pini set edilerek adım motorun saat yönünün tersi yönünde hareket etmesi sağlanmaktadır.

Bilindiği gibi birçok mikrodnetleyici, yapıları gereği aynı anda tek işlem yapabilmektedirler. Fakat bizim ihtiyacımız için mikrodnetleyicinin aynı anda birbirinden farklı 2 ayrı işlemi yapmaları gerekmektedir. Bu duruma şöyle bir örnek verebiliriz. Sadece dokunma testi için sağ el işaret parmak ucunda bulunan mekanoreseptörleri 1 saniyede 5 defa, sağ el orta parmak ucunda bulunan mekanoreseptörleri ise 10 defa uyarmak isteyelim. Protokol gereği uyarım, her iki parmağa da aynı anda başlayıp aynı anda sona ermesi gerekiyor. Fakat aynı anda tek bir işlem yapabilen mikrodnetleyici buna izin vermemektedir. Mikrodnetleyici ilk önce birinci parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarıp, ardından ikinci parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmaktadır. Fakat kare dalga bir for döngüsü içerisinde oluşturulmaktadır. Kare dalga oluşturmak amacıyla yazılan kod bloğu Şekil 2.9 de gösterilmektedir. Her iki kare dalga tek bir for döngüsü içerisinde oluşturulabilirse, her iki adım motorunun sürülme işlemi aynı anda başlatılıp aynı anda sonlandırılabilir. Bu yaklaşımla, işaret parmak ucunda bulunan

mekanoreseptörü uyarmak amacıyla üretilen kare dalga ve orta parmak ucunda bulunan mekanoreseptörü uyarmak amacıyla üretilen kare dalganın örtüşmesi sağlanarak 1 for döngüsü içerisinde Şekil 2.10 de gösterildiği gibi 2 farklı frekansa sahip kare dalga üretilmesi sağlanabilmektedir.

```
void FreqAp(int iter,int SCF, short LEFT[],
short RIGHT[ ])
{
    int f, t;
    for(t=0;t<iter;t++){
        for(f=0;f< SCF;f++){
            if(LEFT [f]==1) {
                PORTD.F1 = 1;
                PORTD.F2 = 0;
            }
            if(LEFT [f]==2) {
                PORTD.F1 = 0;
                PORTD.F2 = 0;
            }
            if(RIGHT [f]==1) {
                PORTD.F3 = 1;
                PORTD.F6 = 0;
            }
            if(RIGHT [f]==2) {
                PORTD.F3 = 0;
                PORTD.F6 = 0;
            }
        }
    }
}
```

Şekil 2.12 Örtüştürülen İki Kare Dalganın Tek Döngüde Koşturulması

Frekansları farklı olan 2 kare dalga sinyalinin örtüştürülmesi için, her 2 kare dalganın oluşturulması için kullanılan sayısal bilgidaki bit sayılarının eşit olmaları gerekmektedir. Bu nedenle birbirinden farklı 2 kare dalga frekanslarının oluşturulması için kullanılan bit sayılarının ortak katlarının en küçüğü (OKEK) bulunarak kare dalgalar örtüştürülebilmektedir. Daha sonra farklı frekanslara sahip 2 farklı kare dalga aynı miktardaki bit sayısı ile ifade edilir. Farklı iki kare dalganı örtüştürülmesi aşağıdaki kurala göre gerçekleştirilmiştir;

$$Yeni\ bit\ sayısı = \frac{EKOK(Frekans1, Frek\)}{(Frekans1\ veya\ Frekans2) \times 2} \quad (2,1)$$

- 1- Frekansları belirlenen kare dalga sinyallerinin üretilmesi için gerekli olan lojik bit adedi belirlenir. Lojik bit adedi frekansın 2 katıdır.

- 2- Ardından her bir kare dalga sinyalinin ihtiyaç duydukları bit adetlerinin ortak katların en küçüğü (EKOK) bulunur.
- 3- EKOK bulunduktan sonra kare dalga sinyallerini temsil eden lojik bitler, EKOK değerine genişletilir.
- 4- Her iki kare dalga sinyali için 2 farklı bit dizi oluşturulur ve frekansları temsil eden bit değerleri oluşturulan dizilere atanır.
- 5- EKOK sayısınca koşacak bir for döngüsü içerisinde ilgili diziler if koşulu ile kontrol edilerek her iki kare dalga sinyalinin oluşturulması sağlanır. Kare dalga sinyalinin oluşturulması için if koşulu içerisinde, mikrodenetleyicinin ilgili dijital pini set edilir.

Yukarıda sıraladığımız adımları bir örnekle açıklayalım. İşaret parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörü 1 saniyede 2 defa ve orta parmak ucunda bulunan mekanoreseptörü 1 saniyede 3 defa uyaracağımızı varsayalım. İşaret parmağı için gerekli olan lojik bit değeri **1010** ve orta parmak için gerekli olan bit değeri ise **101010** olmaktadır. Bu durumda işaret parmak için 4-bit veriye ve orta parmak için 6-bit veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Her iki kare dalga frekans değerlerini örtüştürebilmek için 4 ve 6-bit değerlerinin EKOK değeri olan 12 bite genişletmek gerekmektedir. **1010**-bit serisi 12-bit olacak şekilde **111000111000** olarak, **101010**-bit serisi ise yine 12-bit olacak şekilde **110011001100** olarak genişletilebilir. Böylelikle 12 defa koşan bir for döngüsü içerisinde if koşulu ile kontrol edilerek farklı frekanslara sahip 2 kare dalga sinyali aynı anda üretilebilmektedir. Bu durum Şekil 2.11 de gösterilmiştir. Örtüştürülen farklı frekanslara sahip 2 kare dalga tek for döngüsü içerisinde Şekil 2.12 deki gibi bir kod bloğu ile üretilebilmektedir.

Test sonuçlarına göre kurguladığımız metodoloji doğru bir şekilde çalışmaktadır. Ancak ihtiyaç duyduğumuz test parametrelerine (hız ve bellek bakımından) bu metodoloji ile erişilememiştir. Her iki parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlerin uyarım adetleri birbirinden farklı olabilmektedir. Örneğin işaret parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri 1 saniyede 39 defa orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri 1 saniyede 40 defa uyarmayı isteyelim. 39 Hz. frekans değeri için 78-bit veriye ve 40 Hz. frekans için 80-bit veriye ihtiyaç vardır. 78 ve 80-bit serilerini örtüştürebilmek için 78 ve 80 sayılarının EKOK değeri olan 3120 bite genişletilmesi gerekmektedir. Her iki kare dalga sinyali için 2

tane 3120-bit diziye ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat gömülü sistem kartında kullandığımız mikrodnetleyici 2 adet 3120 dizi barındırmak için yeterli alana sahip değildir.

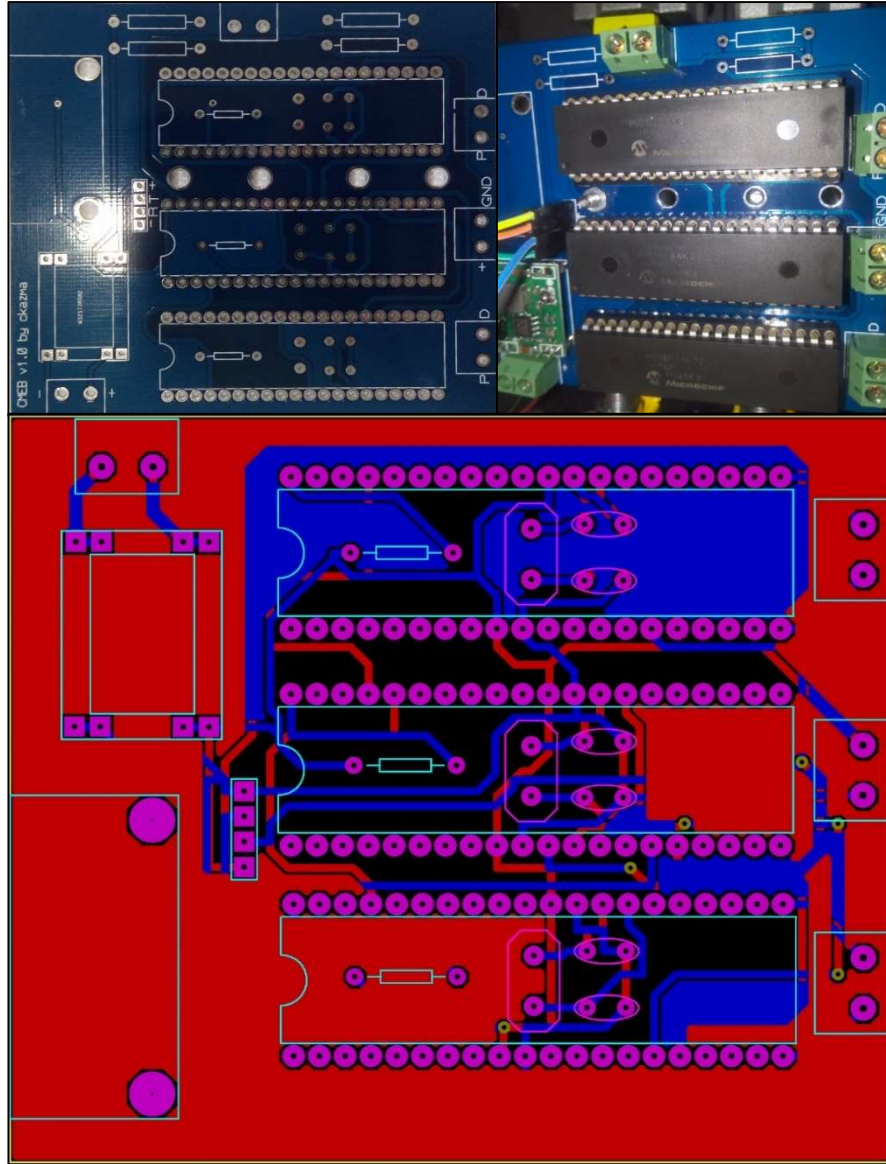
Geliştirmiş olduğumuz yöntem üzerinde çalışmalara devam edilmiştir. Bu çalışmalar esnasında karşılaşılan diğer bir problem ise kare dalga sinyalinin haritalandırıldığı bit dizilerinin barındırdığı verilerin bellekten getirilme hızıdır. EKOK değeri kadar dönen *for* döngüsü içerisinde kare dalga sinyallerinin lojik olarak 1 olduğu anlar *if* kontrolü ile mikrodnetleyicinin ilgili sayısal pini ardışıl olarak set ve reset edilerek kare dalga oluşturulmaktadır. Fakat *for* döngüsü içerisinde kare dalga sinyalinin haritalandırıldığı diziden verinin getirilip kontrolünün sağlanması için geçen süre 40 Hz. frekansa erişmeye yetmemektedir. Test esnasında erişebildiğimiz en yüksek frekans 17 Hz. olmuştur. 17 Hz. frekans geliştirmiş olduğumuz sistemde ihtiyaç duyduğumuz frekans değerinden oldukça uzaktır.

Tek mikrodnetleyici ile yapılan geliştirme çalışmaları esnasında karşılaştığımız bu iki ana problem nedeniyle üzerinde 3 mikrodnetleyici barındıran gömülü sistem kartı geliştirilmiştir.

2.1.4.1 Çoklu Mikrodnetleyici ile Yapılan Tasarım

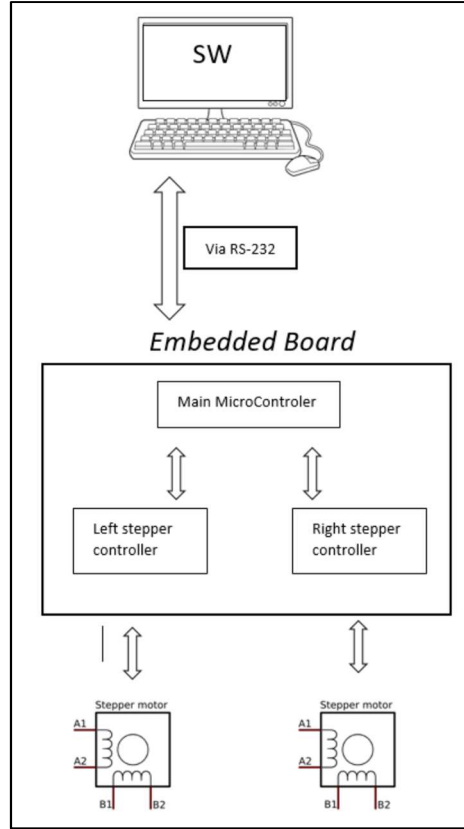
Masaüstü yazılımının seri port üzerinden gönderdiği test parametrelerine göre belirlenmiş komut setini alıp, analiz edip, gerekli hesaplamaları yaptıktan sonra adım motorları sürmek için 3 tane mikrodnetleyici içeren gömülü sistem kartı ile gereksinimleri karşılayan sistem elde edilmiştir.

Bu mikrodnetleyicilerin ilki masaüstü yazılımının gönderdiği komutu analiz edip işaret parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaracak adım motorunu sürecekte olan ikinci mikrodnetleyiciye göndermektedir. Yine aynı şekilde, ilk mikrodnetleyici orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaracak olan adım motorunu sürmek amacıyla, ilgili komut setini, masaüstü yazılımının gönderdiği komut seti içerisinde ayırarak, üçüncü mikrodnetleyiciye göndermektedir. 3 mikrodnetleyici içeren gömülü sistem kartının tasarımı Şekil 2.13 de gösterilmektedir.



Şekil 2.13 3 Mikrodenetleyici İçeren Gömülü Sistem Kart

İkinci ve üçüncü mikrodenetleyici ana mikrodenetleyicinin gönderdiği komut setini analiz edip, gerekli hesaplamaları yaptıktan sonra ana mikrodenetleyiciye “hazırım” komutu göndermektedirler. Ana mikrodenetleyici ikinci ve üçüncü mikrodenetleyicilerin gönderdikleri “hazırım” komutunu aldıktan sonra, ikinci ve üçüncü mikrodenetleyicilere “icra et” komutunu aynı anda göndererek masaüstü yazılımının gönderdiği komutların icra edilmesini sağlamaktadır. İkinci ve üçüncü mikrodenetleyiciler üzerlerine düşen işlemleri icra ettikten sonra ana mikrodenetleyiciye “görevi tamamladım” diye mesaj göndermektedirler. Süreç senkron bir şekilde ilerlemektedir. Ana mikrodenetleyicinin gönderdiği “icra et” komutu her iki mikrodenetleyiciye aynı anda gönderilmektedir.



Şekil 2.14 Gömülü Sistem Kartı Akış Şeması

Sistemi kontrol eden gömülü sistem kartı üzerinde 3 tane 18F46K22 kullanılmıştır. Kullanılan bu mikrodeneleyiciler ve devre elemanları ARES/ISIS programı kullanılarak tasarlanan elektronik kart üzerine lehimleyerek geliştirdiğimiz cihaza entegre edilmiştir. 3 mikrodeneleyici kullanarak geliştirdiğimiz gömülü sistem kartının akış diyagramı Şekil 2.14 da detaylı bir şekilde gösterilmektedir.

2.1.5 Sistemin Enerji Kaynağı

Sistem üzerinde bulunan adım motorlarının, adım motor sürücülerinin ve gömülü sistem kartının çalışması için elektrik enerjisine ihtiyacı vardır. Bu doğrultuda, sisteme enerji sağlanması için sistemde bir Mean Well firmasının ürünü olan LRS-75-24 kodlu güç kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynağın çıkış gerilimi 24 voltur. LRS-75-24 kodlu güç kaynağına ait detaylı bilgiye [93] numaralı kaynaktan ulaşılabilir. Sistemi kontrol eden gömülü sistem kartının ihtiyaç duyduğu 3.3V enerji 24 voltluk güç kaynağından bir regülatör (MP1484EN) kullanılarak sağlanmıştır. MP1484EN ile ilgili detaylı bilgiye [94] numaralı kaynaktan ulaşılabilir.

3.1 Genel Bilgiler

Doktora tezi kapsamında 2 tanesi masaüstü yazılım ve 2 tanesi ise gömülü sistem yazılımı olmak üzere 4 farklı yazılım geliştirilmiştir. Ayrıca masaüstü yazılımdan bağımsız test parametrelerinin gömülü sistem kartı içerisinde koşmasının amaçlandığı, LZ ve Huffman sıkıştırma algoritmalarının uygulandığı bir yazılım daha geliştirilmiştir. Bu başlık altında sırasıyla test uygulayıcılarının belirlediği test parametrelerini gömülü sistem kartına gönderen masaüstü yazılımlarından ve ardından da gömülü sistem yazılımlarından bahsedilmiştir. Son olarak da test parametrelerinin gömülü sistem kartı içerisinde saklanması amacıyla LZ ve Huffman sıkıştırma algoritmalarının kullanılarak geliştirilen gömülü sistem yazılımından bahsedilmiştir.

3.2 Masaüstü Yazılımları

Proje kapsamında farklı yöntemler ile çalışan 2 yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan ilki, testi oluşturan kişilerin statik olarak tüm test adım ve parametrelerini belirlediği bir yazılım, ikincisi ise kullanıcıların sadece titreşim, genlik ve başlama testleri için temel parametreleri belirlediği ve deneklerin verdiği cevaplar doğrultusunda test parametrelerinin belirlendiği ikinci masaüstü yazılımıdır.

3.2.1 Statik Olarak Belirlenen Test Parametreleri

Test parametreleri, geliştirmiş olduğumuz sistemi kullanacak olan kişi/kişiler tarafından belirlenebilmektedir. Belirlenen test parametreleri, seri port üzerinden, geliştirdiğimiz makineyi kontrol eden gömülü sistem kartına iletilmektedir. İletilen parametreler, gömülü sistem kartı tarafından yorumlanarak işletilmektedir. Test parametreleri 3 ayrı test türü için belirlenmektedir ve belirlenen test parametreleri daha sonra analiz edilmek üzere SQL veri tabanına kaydedilmektedir. Yazılım Visual Studio 2015 C# da geliştirilmiştir.

Geliştirilen yazılım ile test uygulayıcılar, deneklere uygulamak istedikleri test parametrelerini masaüstü yazılımı içerisinde bulunan bir ekran ile kolayca belirleyebilmektedirler. Bu test parametreleri;

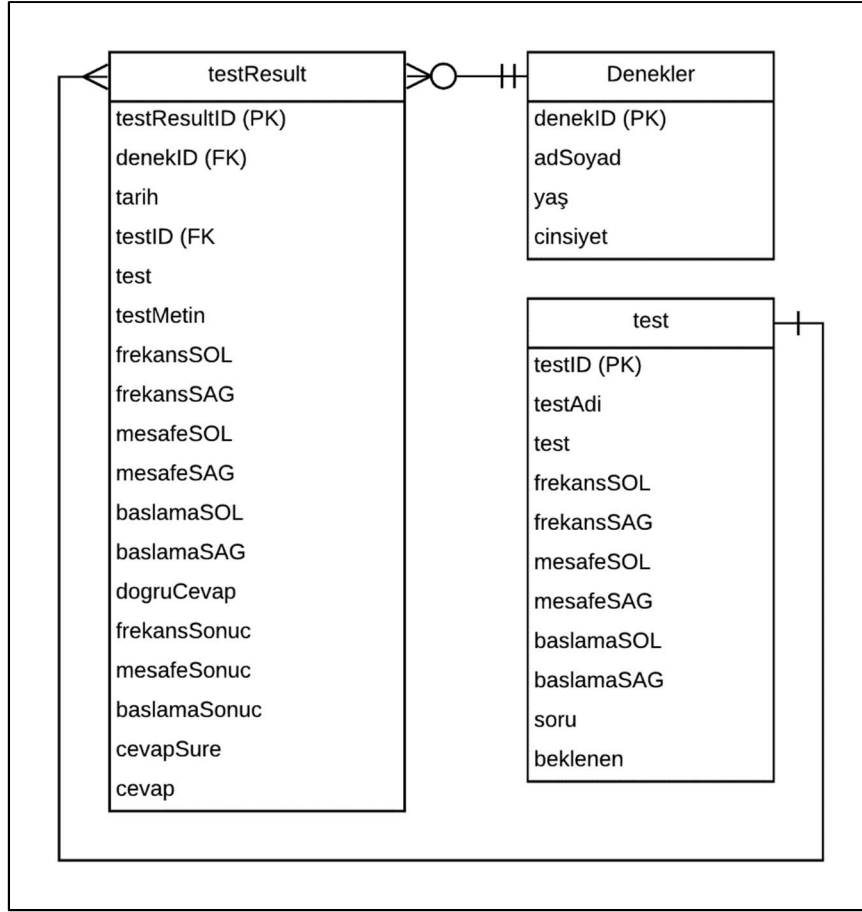
- 6- Frekans: Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlere 1 saniye içerisinde uygulanmak istenen dokunma sayısıdır. Bu parametre 1 ile 40 arasında seçilebilir.
- 7- Mesafe: Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler uyarılırken çubuğun yukarı doğru itileceği mesafedir. Bu parametre 94,2 μm ile 3768 μm arasında değişir. Artım çözünürlüğü 41,7 μm 'dir.
- 8- Süre: İşaret ya da orta parmağa uygulanmak istenen Frekans ve Mesafe parametrelerinin birbiri ardında başlama süresini belirler. Sağ parmak başlama süresi 0 sol parmak başlama süresi 120 olarak belirlediğimizi varsayalım. Bu durumda sağ parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlerin uyarımı için belirlenen test parametreleri uygulanmaya başladıktan 120 milisaniye sonra sol parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için belirlenen frekans ve mesafe parametreleri uygulanmaya başlanacaktır.
- 9- Katsayı: Uygulanacak testin süresini belirler. Bu parametrenin 1 olması durumunda frekans ve mesafe uyarımı 1000 ms boyunca devam eder. Bu parametrenin 2 olması durumunda ise uygulama süresi 2000 ms olacaktır.

Test parametrelerini belirleyen kişi/kişiler, belirledikleri test parametrelerine göre deneklerin vermesi gereken doğru cevapları ve soru türlerini de seçmektedirler. Bu doğrultuda, test uygulayıcıları Şekil 3.1 de görüldüğü gibi sol (işaret) parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için Frekans parametresi 29 Mesafe parametresi 3297 μm ve başlama zamanı için 0 seçilmiştir. Ayrıca sağ (orta) parmak için Frekans parametresi 12 Mesafe parametresi 3297 μm ve başlama zamanı 0 olarak belirlenmiştir. Anlaşılacağı gibi test parametrelerini oluşturan kişi, deneklerin Frekans ölçümü için oluşturulan ayrıştırmayı cevaplamasını beklemektedir. Bu durumda, testi oluşturan kişi, deneklere "Hangisi daha çok dokundu?" sorusunu yöneltmektedir. Doğru cevap ise "sol" olmalıdır. Parametrelerden de anlaşılacağı gibi sol parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler 1 saniyede 29 defa, sağ parmak uçlarında bulunan

mekanoreseptörler ise 1 saniyede 12 defa uyarılacaktır. “Hangisi daha çok dokundu?” sorusunun doğru cevabı ise “sol” olmalıdır.

Şekil 3.1 Test Parametre Tanımlama Ekranı

Test uygulayacak kişi, test parametrelerini masaüstü yazılımı aracılığı ile belirlemektedir. Test uygulayıcı, test parametrelerini belirledikten sonra “Ekle” butonuna basarak test parametrelerini oluşturmaktadır. “Ekle” butonuna basılmasının ardından masaüstü yazılımı, sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına gönderilecek komut setini oluşturmaktadır. Oluşturulan bu komut seti SQL veri tabanına daha sonra uygulanmak üzere kaydedilmektedir. Şekil 3.2’de ilişkisel veri tabanı modeline göre modellenmiş tablolar gösterilmektedir. Sol parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için frekans parametresi 29, mesafe parametresi 3297 μm ve başlama parametresi ise 0 olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda sol parmağa uygulanacak test parametreleri için “+B29EB3,297EB0EB1END” komut seti oluşturulmaktadır. Yine aynı şekilde sağ parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için belirlenen frekans parametresi 12 mesafe parametresi 3297 μm ve süre parametresi 0 olarak belirlenmiştir. Sağ parmak için sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına “B12EB3,297EB0EB1END” komut seti gönderilmektedir.

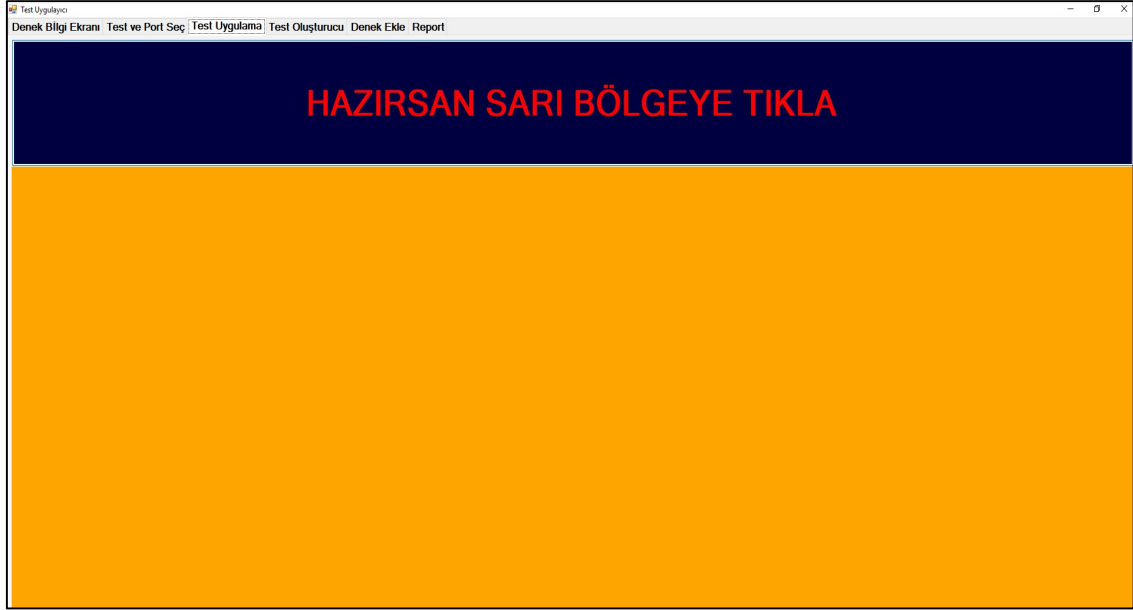


Şekil 3.2 İlişkisel Veri Tabanı Modeli Tablo Yapısı

Masaüstü yazılımı, sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına hem sağ hem de sol parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak için “+B29EB3,297EB0EB1END-B12EB3,297EB0EB1ENDCMD” komut setini göndermektedir. Gömülü sistem kartında bulunan ana mikrodenetleyici ilgili komut setini ayrıştırarak ilgili mikrodenetleyiciye iletmektedir.

İlişkisel veri tabanı mantığı ile 3’üncü normal formda tasarlanan veri tabanında, test uygulayıcılarının oluşturduğu test parametreleri, deneklerin bilgileri ve deneklerin testlere verdikleri cevaplar yer almaktadır. Veri tabanında *testResult* adında deneklerin testlere verdikleri cevapları tutan bir tablo bulunmaktadır. Bu tablo içerisinde deneklere sorulan sorular, test parametrelerini içeren komut seti, test parametreleri, denğin sorulan soruya verdiği cevap süresi ve test ile denek bilgisini ilişkilendiren ve deneklere ait bilgileri içeren *experimental_subject* tablosunda bulunan birincil anahtar, ikincil anahtar olarak bulunmaktadır. Ayrıca *tests* adında, test uygulayıcılarının oluşturdukları test parametrelerini, deneklere sorulacak soruları, beklenen doğru cevabı ve test adını barındıran bir tablo bulunmaktadır.

Diğer bir tabloda *demotests* adlı tablodur. Bu tabloda deneklerin doğru bir şekilde cevaplamalarını beklediğimiz sorular ve test parametrelerini içeren bilgi bulunmaktadır. *testResult* adında deneklerin verdikleri cevapları içeren tablo içerisinde bulunan veriler analiz edilerek deneklerin merkezi sinir sisteminden bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, geliştirilen yeni masaüstü uygulaması tamamen nesneye dayalı programlama yöntemi ile geliştirilmiş olup son kullanıcı olan test uygulayıcılar için işletilmesi oldukça kolaydır.



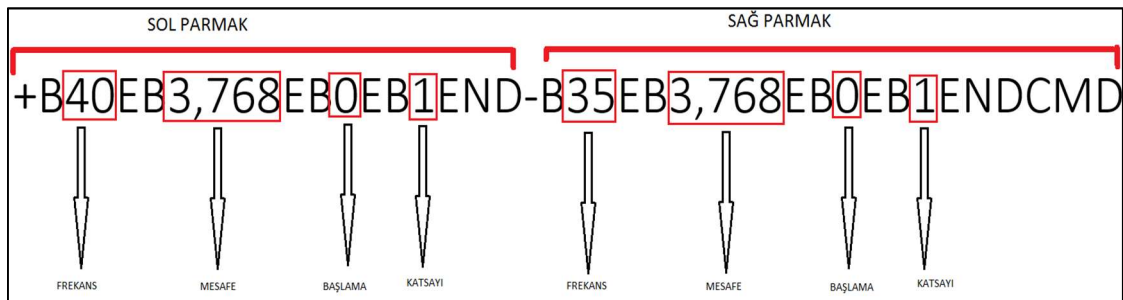
Şekil 3.3 Test Uygulama Ekranı

Test parametrelerini ve türlerini belirleyen test uygulayıcıları 3 ana başlık altında test türü belirleyebilmektedirler. Bunlardan birincisi frekans ayrımı testi, ikincisi genlik ayrımı testi ve üçüncüsü ise süre ayrımı testidir. Frekans ayrımı testinde, masaüstü yazılımının gömülü sistem kartına ilettiği parametreler doğrultusunda deneklere “Hangisi daha çok dokundu?” sorusu yöneltilmektedir. Mesafe testinde ise masaüstü yazılımı deneklere “Hangisi daha yukarı doğru itti?” sorusunu yöneltmekte ve süre testinde ise masaüstü yazılımı deneklere “Hangisi önce başladı?” sorusunu yöneltmektedir. Denekler masaüstü yazılımında bulunan ekranda, bilgisayar faresinin sağ veya sol tuşunu kullanarak ilgili testin sorusunu cevaplamaktadırlar.

3.2.1.1 Programın İşletimi

Sistematik olarak masaüstü yazılımının işleyişi aşağıdaki gibidir.

1. Testi uygulayacak kişi, deneklere uygulamak istediği test parametrelerini, soruları ve doğru cevapları belirler ve özgün bir test adı ile ilişkisel veri tabanına masaüstü yazılımı vasıtasıyla kaydeder.
2. Testi uygulamak istediği deneği, deneğe ait yaş, cinsiyet ve ad-soyad bilgileri ile ilişkisel veri tabanına yine masaüstü yazılımı vasıtasıyla kaydeder.
3. Denek Bilgi Ekranı sekmesinden daha önce veri tabanına eklediği kullanıcıyı, testi uyguladığı tarihi ve saati seçip, "Oluştur" butonuna basarak bir sonraki aşamaya geçer.
4. Bir sonraki aşamada "Test ve Port Seç" sekmesinden uygulanacak testin adı ve bilgisayar ile gömülü sistem kartının iletişim kuracağı port seçilir.
5. Denek kendini test için hazır hissettiğinde bilgisayar faresinin sağ veya sol tuşunu kullanarak Şekil 3.3 de görünen görseldeki sarı bölgeye tıklayarak test sürecini başlatır.
6. Test uygulayıcısının belirlendiği parametrelere göre, masaüstü yazılımı test parametrelerini gömülü sistem kartına gönderir. Parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler test parametrelerine göre uyarıldıktan sonra deneğe ilgili testle ilgili "Hanisi daha çok dokundu?", "Hangisi daha yukarı doğru itti?" ve "Hangisi önce başladı?" sorularından biri sorulur. Denek, bilgisayar faresini kullanarak Şekil 3.3 de bulunan sarı bölgeye tıklayıp, ilgili test sorusunu cevaplandırır.
7. Test süreci tamamlandıktan sonra bir sonraki denek için masaüstü yazılım hazır halde beklemektedir.



Şekil 3.4 Veri Formatı

Test süresince test uygulayıcının belirlediği sorular deneklere rastgele sorulmaktadır. Deneklere uygulanan test süreci tamamlandıktan sonra ihtiyaç halinde aynı deneklere aynı testler tekrar uygulanabilir. Deneklerin uygulanan test esnasında bir önceki aynı test parametrelerine verdikleri cevapları ezberlemelerini engellemek amacıyla test soruları rastgele seçilerek, deneklere uygulanmaktadır.

3.2.1.2 Test Parametreleri Veri Formatı

Masaüstü yazılımı, test parametrelerini, gömülü sistem kartına **”+B40EB3,768EB0EB1END-B35EB3,768EB0EB1ENDCMD”** formatında seri port (RS-232) üzerinden iletmektedir. Masaüstü yazılımının gönderdiği veri ilk olarak ana mikrogenetleyiciye ulaşmaktadır. Ardından ana mikrogenetleyici gerekli hesaplamaları yapıp protokol içerisinde bulunan **“-”** işaretinin sol tarafında kalan **“B40EB3,768EB0EB1END”** parametre setini işaret parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarma işlemini yürütecek olan sol mikrogenetleyiciye **“-”** işaretinin sağ tarafında kalan **“B35EB3,768EB0EB1END”** parametre setini ise sağ mikrogenetleyiciye göndermektedir. Veri içerisinde bulunan **“+”** ve **“CMD”** karakteri ise ana mikrogenetleyici için eklenmiş özel komutlardır. Bu komutlar ile ana mikrogenetleyici, masaüstü yazılımının gönderdiği komut setinin kendisi için gönderdiğini anlamaktadır. Masaüstü yazılımın gönderdiği verinin açıklaması Şekil 3.4 de gösterildiği gibidir.

3.2.2 Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri

Geliştirmiş olduğumuz ikinci nesil yazılım ile test parametreleri dinamik bir şekilde belirlenmektedir. Test oluşturucu, uygulamak istediği test türünü ve parametrelerini masaüstü yazılımı yardımı ile kolayca belirleyebilir. Test oluşturucu test türünü belirledikten sonra deneklere uygulamak istediği ilgili test türü parametresinin en yüksek veya en düşük değerini belirleyerek ilgili testi oluşturur. Test protokolüne göre, masaüstü yazılımı uygulanacak test parametrelerini belirlemekte ve sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına iletmektedir. Ayrıca test parametreleri, deneklerin verdikleri cevaplar doğrultusunda şekillenmektedir. Deneklerin verdikleri cevaplar doğrultusunda test parametreleri şekillendiğinden dolayı deneklere uygulanacak soru sayısı belli değildir.

DENEK			
Ad Soyad :	Ahmet Mehmet		
Yaş :	15		
Cinsiyet :	Erkek		
Test Adı :	Demo		
Katsayı :	1		
Parametre Frekans :	35	2,355	0
Parametre Mesafe :	3,768	20	0
Parametre Süre :	999	20	3,768
EKLE			

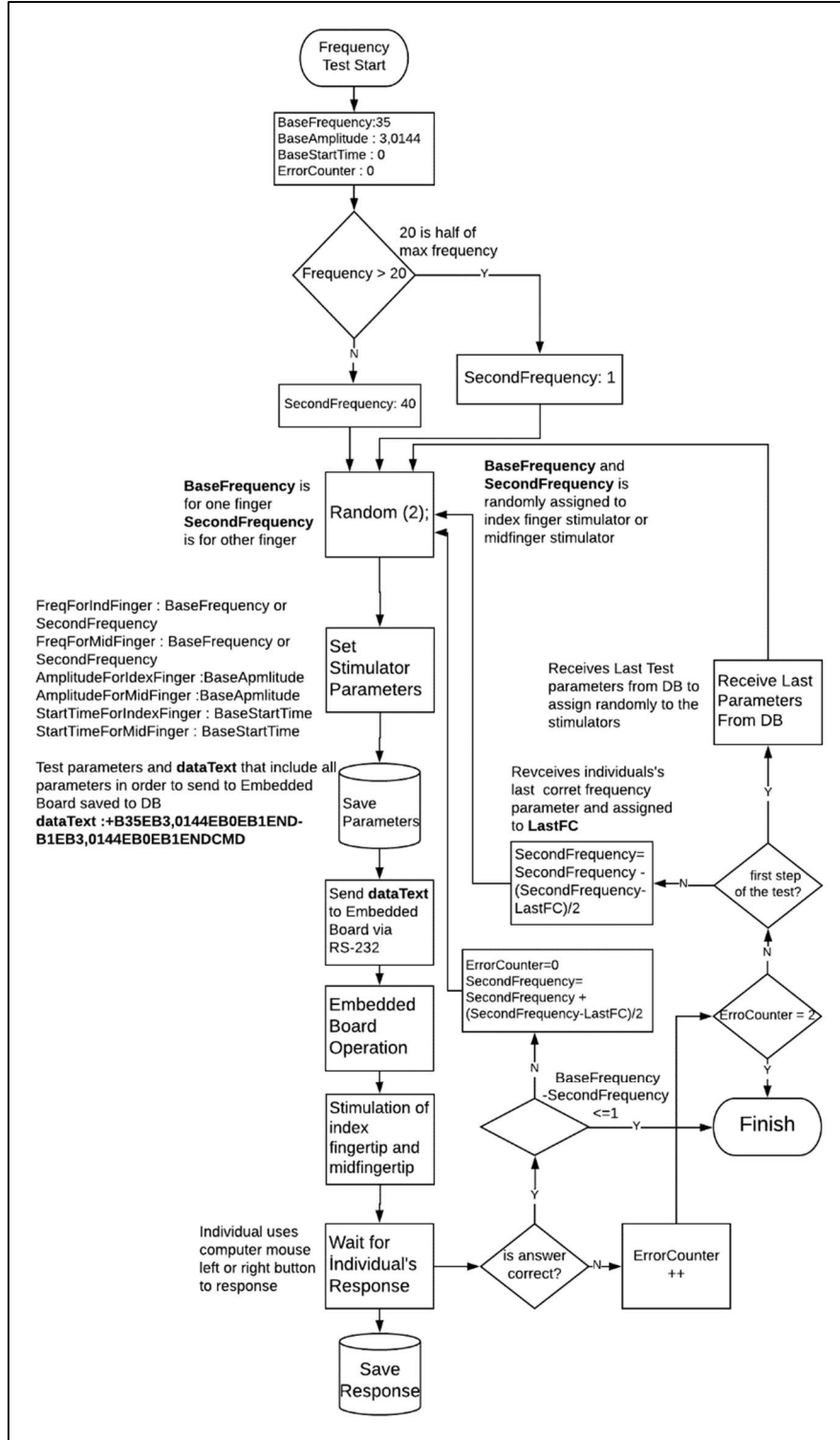
Şekil 3.5 Dinamik Test Parametre Belirleme Ekranı

Test uygulayıcısının üç test türü için belirlemesi gereken parametreler vardır. Bunlardan birincisi Frekans testi için belirlemesi gereken en yüksek veya en düşük frekans parametresidir. Bilindiği gibi geliştirilen sistemin en yüksek frekans parametresi 40 Hz.'dir. Dinamik olarak belirlenen test parametrelerinin ilk değerlerinin belirlendiği ekran Şekil 3.5 de gösterildiği gibidir. Test uygulayıcı, varsayılan olarak belirlediği frekans parametresine göre masaüstü yazılımının diğer parmağa uygulayacağı frekans parametresini kendi belirlemektedir. Eğer frekans parametresi 20'nin üzerinde ise (uygulanabilecek en yüksek frekans parametresinin yarısı) diğer parmağa uygulanacak frekans parametresi 1 olarak belirlenir. Dinamik olarak belirlenen test parametrelerinin belirlendiği programın akış diyagramı şekil 3.6 da gösterilmiştir. Akış diyagramındaki işlemler özetlenecek olursa:

- 1- Belirlenmiş, varsayılan frekans parametresi 20'den büyük mü?
- 2- Eğer 20'den büyükse diğer parmağa uygulanacak frekans değeri 1, değilse 40 olur. Şekil 3.5 de görüldüğü gibi frekans parametresinin 35 olduğunu varsayalım. Bu durumda diğer parmağa uygulanacak frekans parametresi 1

olarak belirlenir. Frekans testi için uygulanacak mesafe şekil 3.5 de görüldüğü gibi 2355 μm , süre parametresi ise 0 olarak belirlenir. Her bir test aşamasında süre ve mesafe parametreleri sabit tutularak sadece frekans parametresi deneklerin verdikleri cevaplara göre yeniden belirlenir. Frekans parametreleri rastgele olarak sağ ve sol parmaklara atanır.

- 3- Deneklerin 35 ve 1 frekans parametrelerine verdikleri cevap doğru ise 35 değeri sabit tutularak 1 değeri 35 değerine yaklaştırılır. Bu artım 35 ve 1 değerinin ortalaması olan 18 olarak belirlenir. Bu durumda testin bir sonraki aşamasında denek doğru cevap verdiği için parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörler rastgele olarak biri 35 diğeri 18 kez uyarılır. Eğer denek yanlış cevap verdiyse 1 ve 35 parametreleri tekrarlanır.
- 4- Birinci soruya doğru cevap veren deneklere uygulanan frekans parametreleri ikinci soru için 18 ve 35 olarak belirlenir. Fakat ikinci soruya yanlış cevap veren denekler için frekans parametresi, 35 frekans parametresi sabit tutularak 18 olan frekans parametresi 35 frekans parametresinden uzaklaştırılır. 1 ve 18 frekans parametrelerinin yaklaşık ortalaması olan 9 olarak belirlenir. 3'üncü aşamada deneklere 2'inci soruyu yanlış cevapladıkları için 3'üncü soru kolaylaştırılır.
- 5- Testin bir sonraki aşaması olan mesafe testine geçmesi için deneklerin sorulara ya 2 kez üst üste yanlış cevap vermesi gerekir ya da parametrelerin bölünemeyecek kadar birbirine yaklaşması gerekir. Şekil 3.5 de ki gibi 35 parametresi belirlendiğinde ve denekler doğru bir şekilde frekans sorularını cevaplandığında son sorunun frekans parametreleri 35 ve 34 olacaktır.
- 6- Denekler sorulara doğru cevap verdikçe test uygulayıcısının belirlediği frekans parametresi sabit kalarak diğer parametre test uygulayıcısının belirlediği parametreye yaklaştırılır. Denekler yanlış cevap vermesi durumunda test uygulayıcısının belirlediği frekans parametresi sabit tutularak diğer parametre test uygulayıcısının belirlediği parametreden uzaklaştırılır.



Şekil 3.6 Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametrelerinin Belirlendiği Test Akış Diyagramı

Frekans testi tamamlandıktan sonra bir sonraki aşama olan Mesafe testine geçilmektedir. Mesafe testinde ise benzer bir süreç işletilmektedir. Süreç aşağıdaki gibi işletilmektedir.

- 1- Test uygulayıcının Şekil 3.5 de gösterildiği gibi 3768 μm varsayılan parametre belirlediğini var sayalım. Şekil 3.5 de gösterilen 20 statik frekans, 0 ise statik süre parametreleridir.
- 2- Süreç, frekans testinde olduğu gibi ilerlemektedir. Öncelikle varsayılan olarak belirlenen mesafe parametresinin asgari değere mi yoksa azami değere mi daha yakın olduğu tespit edilir.
- 3- Şekilde 3.5'deki gibi azami değere daha yakınsa diğer parmağa uygulanacak mesafe parametresi en küçük değer olan 47,1 μm olarak atanır.
- 4- Eğer testin ilk aşamasında denek doğru cevap verirse, testin ikinci aşamasında 47,1 μm değeri 47,1 μm ve 3768 μm değerinin yaklaşık ortalaması olan 1907 μm değeri olarak mesafe belirlenir.
- 5- Denek ilk soruya doğru cevap verdikten sonra eğer kullanıcı bir sonraki soruya yanlış cevap verirse yeni mesafe parametresi 1907 μm ile 47,1 μm değerlerinin ortalama değeri olan 977 μm olarak belirlenir.
- 6- Deneklerin sorulan sorulara verdikleri cevaplar doğru olduğunda parametreler birbirine yaklaşmaktadır. Yanlış cevap verdiklerinde ise test parametreleri birbirinden uzaklaşmaktadır.
- 7- Denekler sorulara 2 kez art arda yanlış cevap verdiklerinde veya parametreler bölünemeyecek kadar birbirine yaklaştığında test sonlanarak bir sonraki aşamaya geçilmektedir.

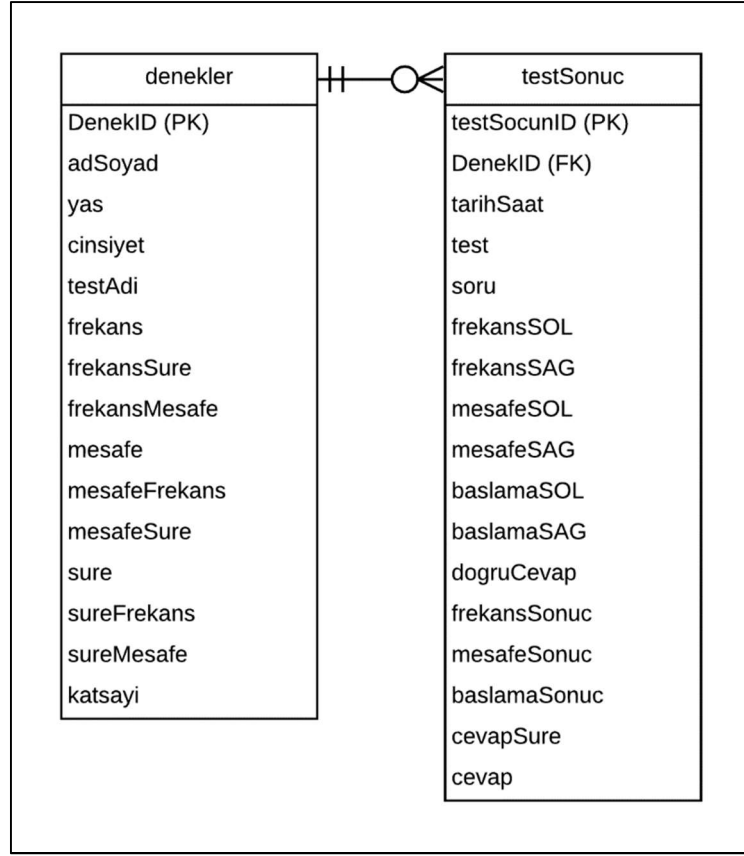
Mesafe testi tamamlandıktan sonra bir sonraki aşama olan süre testine geçilmektedir. Süre testinde de aynı süreç işletilerek test tamamlanmaktadır. Süreç aşağıdaki gibi işlemektedir.

- 1- Test uygulayıcı süre ile ilgili test parametresini belirler.
- 2- Süre ile ilgili test parametresini belirledikten sonra varsayılan mesafe ve frekans parametresini belirler. Örnek olarak, Şekil 3.5 de görüldüğü gibi kullanıcı varsayılan süre parametresi 999 frekans parametresi 20 ve mesafe parametresi 3768 μm olarak belirlenir.
- 3- Testin birinci aşamasında masaüstü yazılım, belirlenen süre parametresine en uzak parametreyi diğer parmağa uygulanacak parametre olarak belirler. Şekil 3.5 de görüldüğü gibi bir parmağa 999 ms seçilirken diğer parmağa uygulanacak süre 1 ms olarak belirlenir. Yani bir parmakta bulunan

mekanoreseptörler uyarılmaya başladıktan 999 ms sonra diğer parmakta bulunan mekanoreseptörler uyarılmaktadır.

- 4- Masaüstü yazılımı, belirlenen parametreleri içeren veriyi, sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına iletir.
- 5- Denegin ilk soruya doğru cevap vermesi durumunda süre parametresi olan 999 sabit tutularak 1 ms parametresi 999 ms parametresine yaklaştırılır. Parametre, 1 ms ile 999 ms değerlerinin ortalaması olan 500 ms olarak belirlenir.
- 6- Denek, 2 inci teste doğru cevap verirse 500 ms ve 999 ms olan parametreler, 999 sabit tutularak 499 değeri yaklaşık olarak 749 ms olarak belirlenerek 999 ms 'ye ye yaklaştırılır. Şayet denek 500 ms ve 999 ms parametrelerini içeren teste yanlış cevap verirse bu kez 999 ms parametresi sabit tutularak 1 ms ile 500 ms arasında olan 250 ms olarak belirlenir. Yani, denekler sorulara doğru cevap verdikçe ikinci parametre, test uygulayıcının test oluştururken belirlediği parametreye yaklaşmaktadır. Denekler test parametrelerine yanlış cevap verdikçe cevaplaması daha kolay olan parametreler seçilmekte ve test parametrelerinin birbirine olan fark artırılmaktadır.
- 7- Test, deneklerin sorulara üst üste 2 defa yanlış cevap verince ya da test parametresi bölünemeyecek kadar birbirine yaklaştığında son bulmaktadır.

Masaüstü yazılımının ürettiği veriler ilişkisel veri tabanı mantığına göre tasarlanmış veri tabanına kaydedilmektedir. Veri tabanında deneklerin yaş, cinsiyet, ad-soyad gibi denek bilgileri ve deneklere uygulanacak, test uygulayıcıların belirlediği test parametreleri ve test adının olduğu *Denekler* adında bir tablo bulunmaktadır. Ayrıca deneklere uygulanacak olan ve masaüstü yazılımının belirlediği test parametrelerini içeren, test parametrelerine göre doğru cevabı içeren ve deneklerin verdikleri cevapları içeren *TestveSonucs* adında diğer bir tablo bulunmaktadır. Dinamik olarak belirlenen test parametrelerinin tutulduğu ilişkisel veri tabanı tablo yapısı Şekil 3.7 de gösterildiği gibidir. Ayrıca, geliştirilen masaüstü uygulaması nesne tabanlı programlama yöntemi ile geliştirilmiş olup son kullanıcı olan test uygulayıcılar için işletilmesi oldukça kolaydır.



Şekil 3.7 Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri İçin Geliştirilen Veri Tabanı Modeli

Test parametreleri deneklerin verdikleri cevaplara göre şekillenmektedir. Geliştirilen bu yöntem ile sadece deneklerin cevap verdikleri soru sayılarına dahi incelenerek bile deneklerin merkezi sınır sistemi üzerinde bilgi edinilmesi mümkündür.

3.2.2.1 Programın İşletilmesi

Geliştirdiğimiz yeni masaüstü uygulamasının işletilmesi oldukça kolaydır. Test uygulayıcılarının, bilgisayar okur yazarı olmaları, geliştirdiğimiz yeni masaüstü uygulamasını kullanabilmeleri için yeterlidir. Test uygulayıcılarının izlemesi gereken aşamalar aşağıda ki gibidir.

- 1- Test uygulayıcı/oluşturucu masaüstü uygulamasının ikinci sekmesi olan “Denek Ekle” ekranına geçerek denekler ile ilgili bilgileri ve test parametrelerini ilgili alanlara girerek ilişkisel veri tabanına kaydeder.
- 2- Test uygulayıcı/oluşturucu birinci sekme olan “Denek Bilgi Ekranı” na geçerek ilk adımda sisteme kaydettiği kullanıcıyı Ad Soyad aşağıya açılır

listeden seçer. Aynı ekranda masaüstü yazılımının ürettiği parametreleri sistemi kontrol eden gömülü sistem kartına ileteceği port seçilip "OLUŞTUR" butonuna basar.

- 3- "OLUŞTUR" butonuna basıldıktan sonra masaüstü yazılımı otomatik olarak üçüncü sekme olan "TEST EKRANI" sekmesine geçer.
- 4- Test uygulanan denek, hazır olduğunda şekil 3.8 de görünen ekran görüntüsündeki sarı alana bilgisayar faresinin sağ veya sol tuşunu kullanarak tıklar. Bu aşamadan sonra masaüstü yazılımı test uygulayıcının/oluşturucunun belirlediği parametrelere göre, geliştirilen algoritmayı işleterek, test parametrelerini, geliştirilen cihazı kontrol eden gömülü sistem kartına iletir ve böylelikle test süreci başlatılır.



Şekil 3.8 Dinamik Test Parametrelerinin Oluşturulduğu Denek Test Uygulama ve Cevap Ekranı

3.2.2.2 Test Parametresi Veri Formatı

Masaüstü yazılımının göndereceği veri formatında herhangi bir değişikliğe gidilmemiştir. Bölüm 2.1.1.1’de anlatıldığı gibi süreç işletilmiştir. Sorunsuz bir şekilde çalışan gömülü sistem kartına ve veri formatına müdahale ihtiyacı duyulmamıştır. Yeni bir algoritma ile geliştirilen yeni masaüstü uygulaması bir önceki masaüstü yazılımı ile aynı veri üretilmiş ve sorunsuz bir şekilde sistemin sürekliliği sağlanmıştır. Masaüstü yazılımının, sistemi kontrol eden gömülü sistem

kartına göndereceği veri, test esnasında oluşmaktadır ve ilişkisel veri tabanına kaydedilmektedir.

Veri formatı ile ilgili detaylı bilgi bölüm 2.1.1.1’de detaylı bir şekilde örneklendirilerek açıklanmıştır.

3.3 Gömülü Sistem Yazılımları

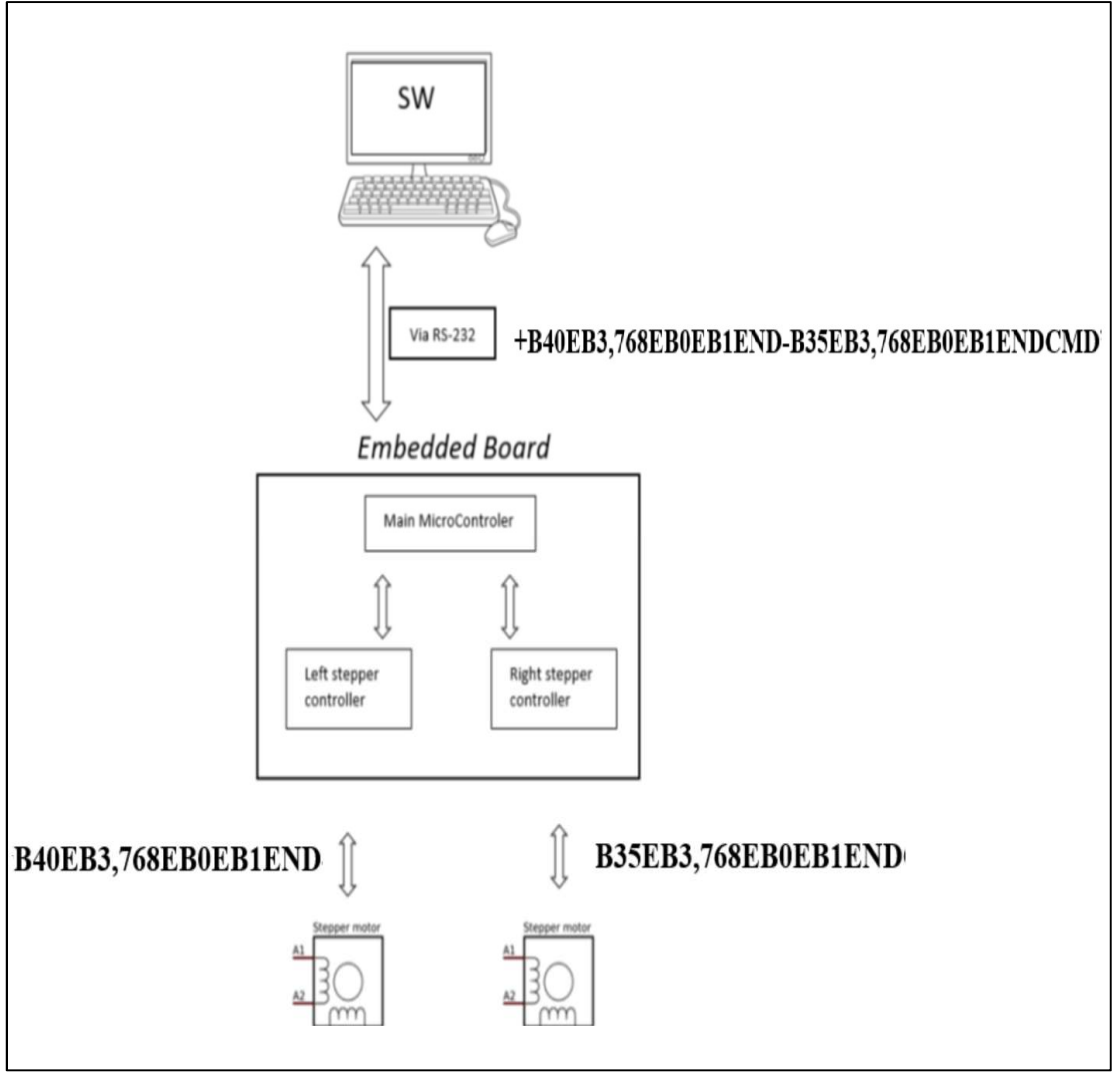
Geliştirmiş olduğumuz gömülü sistem kartı üzerinde 3 tane mikrodnetleyici (PIC 18F46K22) bulunmaktadır. Gömülü sistem kartı, masaüstü yazılımının seri port (RS-232) üzerinden gönderdiği veriyi okuyup analiz edip gerekli hesaplamaları yaptıktan sonra parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarmak amacıyla adım motorları sürmektedir. Bu doğrultuda, geliştirmiş olduğumuz gömülü sistem kartı üzerinde bulunan PIC 18F46K22 mikrodnetleyici Mikroelektronika firmasının derleyicisi olan MicroC platformunda C dili kullanılarak programlanmıştır.

Gömülü sistem kartında bulunan 3 mikrodnetleyici için 2 farklı kod geliştirilmiştir. Gömülü sistem kartı üzerinde bulunan mikrodnetleyicilerden biri olan ve ana mikrodnetleyici diye adlandırdığımız mikrodnetleyici için C dilinde geliştirilmiş bir yazılım bulunmaktadır. Ayrıca ana mikrodnetleyicinin kontrol ettiği, sağ ve sol mikrodnetleyici diye adlandırdığımız 2 mikrodnetleyici için yine C dilinde geliştirilmiş ikinci bir yazılım bulunmaktadır. Gömülü sistem kartı için toplamda 2 farklı geliştirme yapılmıştır. İcra ettikleri işlemler birbirleri ile aynı olduğu için sağ ve sol mikrodnetleyici için geliştirilen kodlar aynıdır.

3.3.1 Ana Mikrodnetleyici Yazılımı

Ana mikrodnetleyici, masaüstü yazılımının gönderdiği veriyi analiz edip, gerekli hesaplamaları yaptıktan sonra ilgili mikrodnetleyiciye yapması gerek işlemleri bildirmektedir.

Masaüstü yazılımının gönderdiği veri, parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri test uygulayıcılarının hazırladığı test parametrelerine göre uyarmaktadır. Bu doğrultuda, test uygulayıcısının belirlediği parametreler doğrultusunda bir veri protokolü belirlenmiştir. Özel olarak belirlediğimiz bu veri protokolü ile gömülü sistem kartı, test uygulayıcılarının belirlediği test parametreleri doğrultusunda gerekli işlemleri icra etmektedir.



Şekil 3.9 Gömülü Kart Veri Akışı

Masaüstü yazılımı özel formatta gönderdiği veriyi seri port (RS-232) üzerinden ana mikrodnetleyiciye göndermektedir. Bu doğrultuda, ana mikrodnetleyici üzerinde koşan RS-232'yi dinleyen bir kod bloğu bulunmaktadır. Seri port iletişimi için 18F46K22 içerisinde bulunan RS-232 kesme protokolü kullanılmıştır. Kesme protokolü ile, mikrodnetleyici *main* bloğu içerisinde koşarken, seri port üzerinden bir veri mikrodnetleyiciye iletildiğinde *main* bloğu içerisinde yapılmakta olan işlem kesilip, seri port üzerinden gelen veri okunmaktadır. Test uygulayıcılarının belirlediği test parametrelerine göre masaüstü yazılımı geliştirdiğimiz makineyi kontrol etmek için geliştirdiğimiz gömülü sistem kartına "+B40EB3,768EB0EB1END-B35EB3,768EB0EB1ENDCMD" formatında bir veri göndermektedir. RS-232 üzerinden gönderilen bu veri seti içerisinde işaret ve orta parmağa uygulanacak olan testin parametreleri bulunmaktadır. Veri içerisinde

bulunan ve son üç karakter olan “CMD” karakter dizisi, gönderilen komutun ana mikrodenetleyici için olduğunu söylemektedir.

Ana mikro denetleyici bu veriyi aldıktan sonra “+” işaretini hariç tutarak “-” işaretine kadar olan kısmı IndexF adında başka bir karakter dizisine yazar. Daha sonra geri kalan karakter dizisini de yine “-” işaretini hariç tutarak “CMD” karakter dizisine kadar alıp MidF adında başka bir karakter dizisine yazar. Dolayısı ile “+B40EB3,768EB0EB1END-B35EB3,768EB0EB1ENDCMD” karakter dizisinin içerisinde “B40EB3,768EB0EB1END” karakter dizisini alıp IndexF adlı işaret parmağa uygulanacak test parametrelerini içeren karakter dizisine atar. Yine aynı şekilde “B35EB3,768EB0EB1END” karakter dizisini alıp MidF adlı orta parmağa uygulanacak test parametrelerini içeren karakter dizisine atar. Böylelikle hem işaret parmağa uygulanacak test parametreleri hem de orta parmağa uygulanacak test parametreleri ilgili mikrodenetleyiciye iletmek üzere hazır hale getirilmektedir. Sistemdeki veri akışı Şekil 3.9 da gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.

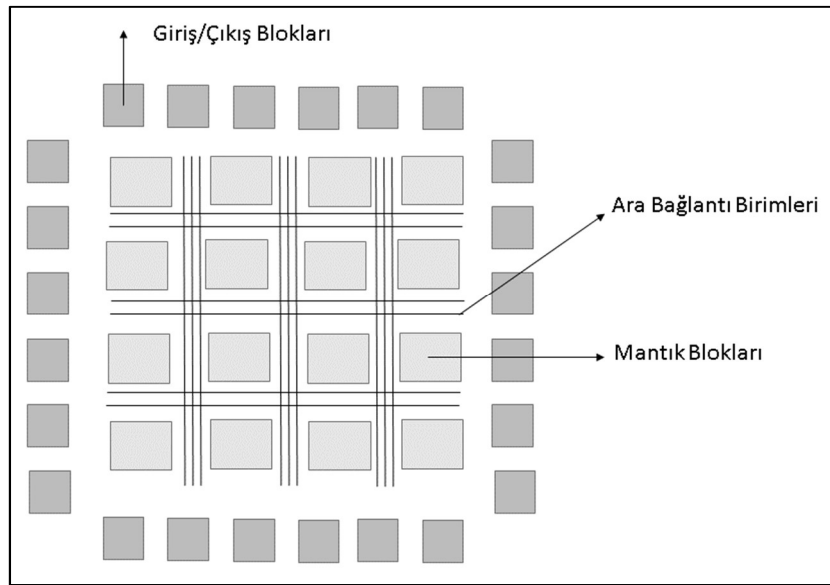
Ana mikrodenetleyici, IndexF ve MidF karakter dizilerine aktardığı, işaret ve orta parmağı test protokollerine göre uyaracak parametreleri RS-232 üzerinden işaret ve orta parmağa uygulanacak test protokollerini icra edecek olan mikrodenetleyicilere iletmektedir. İşaret ve orta parmağa uygulanacak test parametrelerini icra edecek olan mikrodenetleyiciler, ana mikrodenetleyicinin gönderdiği karakter dizisini alıp, gerekli hesaplamaları yapıp ana mikrodenetleyiciye “ready” komutu göndererek ana mikrodenetleyiciden gelecek olan “start” komutunu beklemektedirler. Ana mikrodenetleyici her iki mikrodenetleyiciden “ready” işaretini aldıktan sonra, her iki mikrodenetleyiciye aynı anda “start” komutunu göndermektedir. Böylelikle ana mikrodenetleyicinin görevi tamamlanmaktadır.

3.3.2 FPGA Prototip Tasarımı

Bu bölümde FPGA (Field Programable Gate Arrays)’in ne olduğu, hangi durumlarda tercih edilmesi gerektiği, gerçekleştirilen prototip tasarımının detayları, kullanılan geliştirme kartı, sentez araçları ve tasarımın performans metrikleri verilmiştir.

3.3.2.1 FGPA Nedir?

Alanda Programlanabilir Kapı Dizileri (FPGA) içerisinde binlerce küçük programlanabilir bellek barındıran bir çiptir. Bu küçük bellek alanlarına (Lookup Table, LUT) gerçekleştirilmesi istenen devredeki mantık kapılarının doğruluk tablosu değerleri (Truth Table) yazılır. FPGA'in içerisinde LUT'ların haricinde saklayıcılar, PLL (Phase Locked Loop) ve LUT'ların arasında birbirlerine nasıl bağlanacağını ayarlanabildiği ara bağlantı birimleri bulunmaktadır. Şekil 3.10'da bir FPGA'in basit iç görünümü verilmektedir. Programlanabilir mantık blokları ve ara bağlantı birimleri, tasarıma göre konfigüre edilerek giriş çıkışlara bağlanmaktadır.



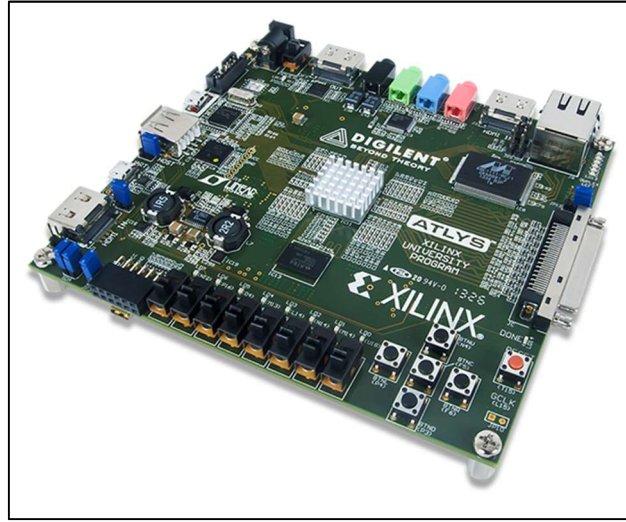
Şekil 3.10 FPGA İç Yapısı

Donanım tasarımında, geliştirilmek istenen donanımı ifade etmek için yüksek seviyeli diller bulunmaktadır. Bir tasarım tamamen şematik çizimler ile gerçekleştirilebilir. Ancak tasarımın boyutu arttıkça, tasarım yapmak ve tasarımda hata giderilmesi süreci çok artmaktadır. Bu nedenlerden ötürü yüksek seviyeli diller ile tasarım yapmak oldukça faydalıdır. Endüstride yaygın olarak kullanılan 3 dil bulunmaktadır. Bunlar Verilog, VHDL ve System Verilog olarak sıralanabilir. Bu dillerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. VHDL, Verilog'a göre daha yüksek seviyede soyutlama yaparken, daha düşük seviyede hakimiyet istendiği durumlarda Verilog tercih edilmektedir. System Verilog içerisinde barındırdığı yeni özellikler ile test süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. System Verilog'un en büyük dezavantajı çoğu sentez yazılımı giriş dili olarak

genellikle Verilog ve VHDL kabul etmesidir. Bu çalışmada Verilog donanım tasarım dili kullanılmıştır.

3.3.2.2 Geliştirme Ortamı

Tez kapsamında geliştirilen sistem için Digilent firmasının Atlys isimli geliştirme kartı kullanılmıştır [95]. Geliştirme kartının görseli Şekil 3.11’de verilmektedir.

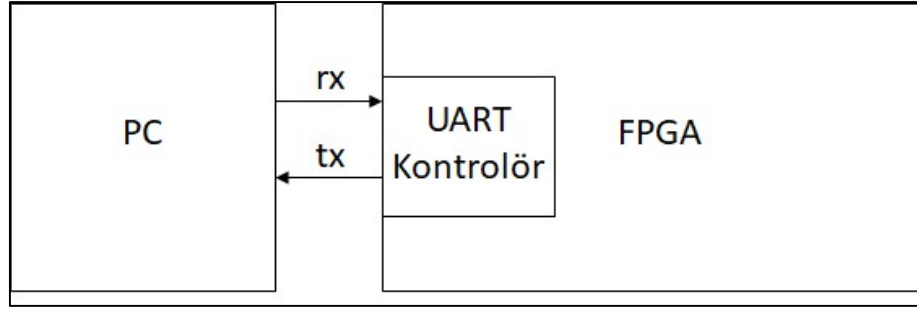


Şekil 3.11 Digilent Atlys FPGA Geliştirme Kartı

Geliştirme kartının üzerinde Xilinx firmasının bir ürünü olan Spartan 6 FPGA’i bulunmaktadır. Barındırdığı GPIO pinleri ve UART çipi ile prototip sistem koşturulmaktadır. Haberleşme ve prototip sistem hakkında bilgiler alt başlıklarda verilmektedir.

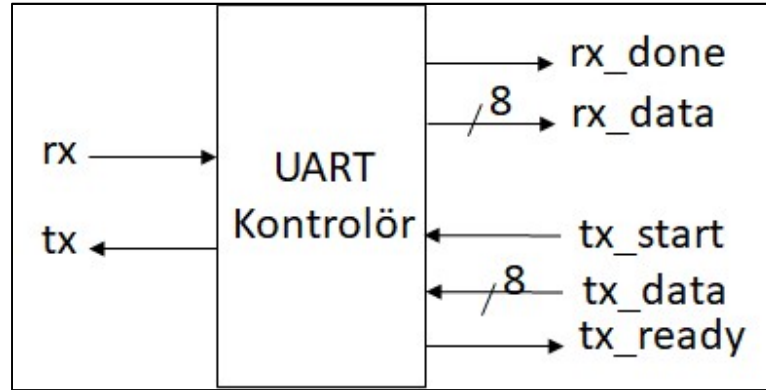
3.3.2.3 Haberleşme Sistemi

Prototip sistemin bilgisayar üzerinden komut alması istenmektedir. Komutların oluşturacağı bantgenişliği ihtiyacı oldukça düşüktür. Bu yüzden hem gerçeklemesi kolay hem de sistemin ihtiyaçlarına cevap verebilecek olan seri port arayüzü haberleşmek için tercih edilmiştir. Ethernet vb. arayüzler projenin gereksinimlerini karşılayabilir ancak kaplayacağı alan ve geliştirme maliyeti nedeniyle tercih edilmemiştir. Karmaşık arayüzleri barındıran FPGA tasarımları da literatürde bulunmaktadır [96]. Şekil 3.12’de UART kontrolör modülünün sistemdeki konumu gösterilmektedir.



Şekil 3.12 UART Kontrolör Modülü

UART kontrolör tasarımında hedef cihaz ile iletişim kuracağı rx ve tx sinyalleri bulunmaktadır. Kullanıcının bu modülü kullanabilmesi için ise alım yapmak için rx_done ve rx_data sinyalleri kullanılmaktadır. Rx_done sinyali rx_data sinyalindeki verinin geçerli olduğunu gösterir. Aktarım için ise modül aktarım yapmaya hazır ise tx_ready sinyali aktif olur. Gönderimde tx_start sinyali aktif edildiğinde tx_data sinyalindeki verilerin hedef cihaza aktarımı başlatılmaktadır. Kontrolör modülünün giriş çıkış sinyalleri Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13 UART Kontrolör Modülü

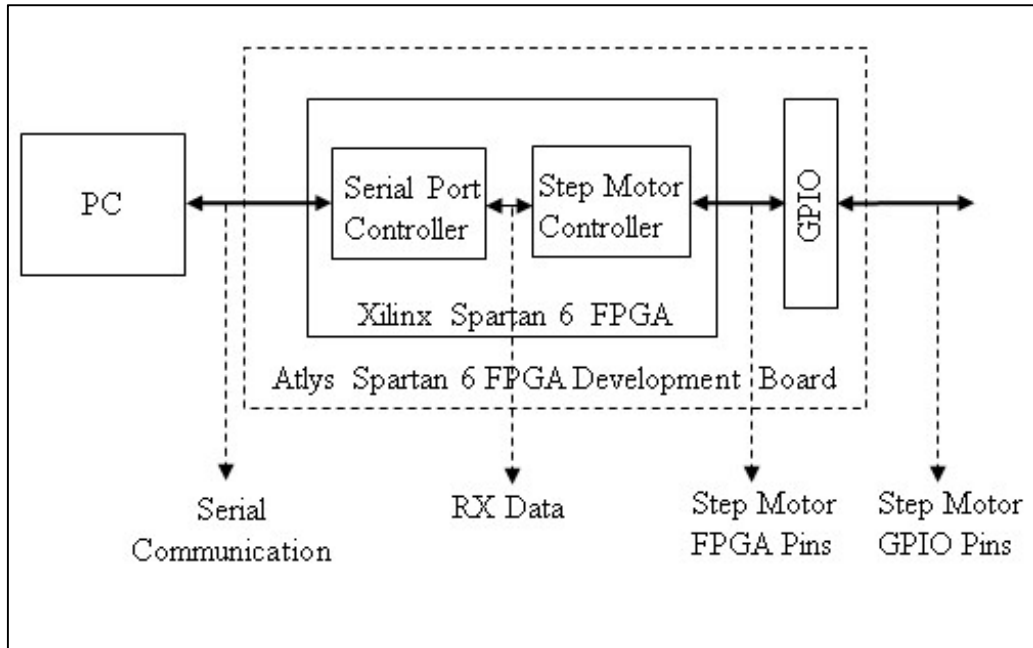
Aktarım için 115200 baud rate seçilmiştir. Bilgisayar tarafında geliştirilen bir C# uygulaması ile paket alım/aktarım işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.3.2.4 Prototip Tasarım

Dokunsal uyarım cihazı kontrol kartının mikrodnetleyiciler ile tasarlanması mümkündür. Mikroişlemci gibi platformlar üzerinde çok hızlı geliştirme yapmak mümkündür. Ancak mikroişlemci tabanlı çözümlerin, her ne kadar geliştirme zamanından kazandırsalar da yüksek güç tüketimi ve gereksiz alan kaplaması gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Geliştirilen sistem açısında bakıldığında birden çok mikrodnetleyici kullanımı sistemdeki güç tüketiminin ve donanım

maliyetlerinin artmasına neden olacaktır. Ayrıca mikrodenetleyici tabanlı çözümlerle zamanlama hassasiyeti işlemcinin performansına fazlasıyla bağlıdır. Düşük zamanlama hassasiyeti iki şekilde görülmektedir. İlk problem iki mikrodenetleyici arasında sistemin başlaması için kullanılan protokolün gecikmesidir. İkinci problem ise mikrodenetleyici FPGA'lere göre oldukça düşük frekanslarda koştuklarıdır. Düşük frekansta koştukları için her bir saat çevrimi (clock) arasındaki süre uzundur. Dolayısıyla zamanlama hassasiyeti daha düşüktür.

Bu sorunları aşmak için uygulamaya özel bir çip (ASIC) geliştirilebilir. Ancak çip tasarımı süreci oldukça karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu bağlamda FPGA hem mikroişlemci hem de ASIC tabanlı çözümlerin avantajlarını göreceli olarak sunabilen bir ara çözümdür. Bütün bu sebepler nedeniyle, dokunsal uyarım cihazının FPGA üzerinde de geliştirilmesi uygun görülmüştür. FPGA'nın yeniden programlanabilir yapısından dolayı ASIC kadar zorlu bir geliştirme süreci yoktur. Aynı zamanda paralelliği de beraberinde getirdiği için tercih edilmiştir.

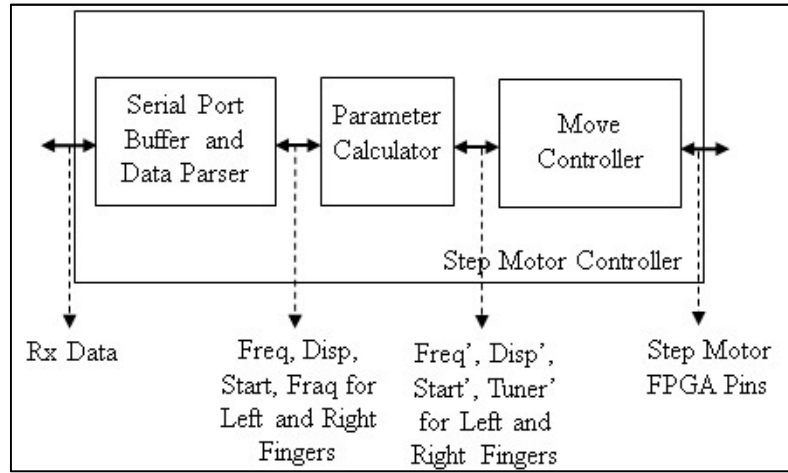


Şekil 3.14 Prototip Tasarımı Blok Diyagramı

Mayne ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [97], Altera Cyclone II cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada seçilen FPGA'in üzerine NIOS II işlemcisi kurulmuştur. RTL tasarım yapılmadığı için, aslında bir işlemci tabanlı tasarımdan farkı yoktur. Diğer bir çalışmada [98], veri seri port üzerinden alınarak FPGA'in içerisinde bulunan blok belleklere yazılmaktadır. Tetik üretme modülü ile, istenen sinyal güç

verici (transducer) dizisine aktarılmaktadır. Dokunsal uyarım çalışmasını ultrason ile yapan bir çalışmada [99], daha önceden kaydedilmiş faz ve genlik verileri sistem çalışırken FPGA'e aktarılmaktadır. Ultrason güç vericileri bilgisayardan gönderilen komutlara göre sürülmektedirler. Bu çalışmalar dokunsal uyarım uygulamalarının dezavantajlarının FPGA kullanılarak ortadan kaldırıldığını göstermektedir.

FPGA prototip tasarımı için Digilent firmasının Atlys isimli geliştirme kartı kullanılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil 3.14'de verilmektedir. Sistem bilgisayar üzerinde seçilen parametrelerin seri port üzerinden FPGA'e gönderilmesi ile başlamaktadır. FPGA üzerindeki seri port kontrolör tasarımı, kendisine gönderilen paketi yakalamaktadır. Paket çözüldükten sonra, step motorları kontrol eden modüle ilgili sinyalleri göndermektedir. Üretilen sinyaller FPGA'e bağlı olan adım motor kontrol devresine uygulanmaktadır.

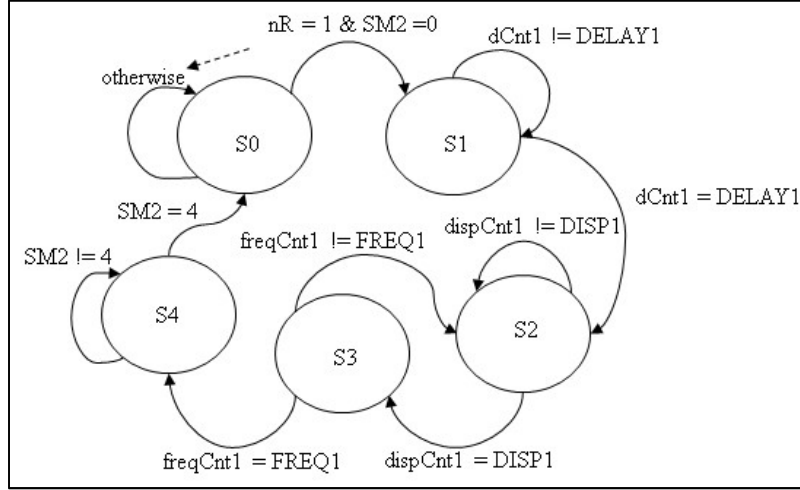


Şekil 3.15 Adım Kontrolör Modülü İç Yapısı

Her bir uyarım için, 8 adet floating point sayı bilgisayardan FPGA'e aktarılmaktadır. Bu düşük hızlarda aktarım ihtiyacı, seri port tasarımı ile karşılanabilmektedir. Ayrıca bu arayüzü geliştirmek, Ethernet ve PCIe gibi karmaşık arayüzleri geliştirmeye göre oldukça kolaydır. Bu nedenlerden dolayı, seri port alım ve gönderim tasarımları 9600 ve 115200 baud hızlarını destekleyecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Seri port üzerinden veri alındıkça, veri adım kontrolör modülüne iletilmektedir. Adım kontrolör modülünün iç yapısı Şekil 3.15'de gösterildiği gibidir.

Adım motor kontrolör tasarımı 3 alt modülün bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Bunlar seri port tampon veri ayıklayıcı, parametre hesaplayıcı ve hareket kontrolör modülleridir. Step motor kontrolör modülü bu üç modülden oluşmaktadır.

Seri tampon ve veri parçalayıcı modülleri 8 bitlik RX_DATA sinyalini tamponlamaktadır. Yeni bir veri ulaştığında, çözme işlemlerini gerçekleştirmektedir. Aktarım protokolüne göre 8 bitlik sayı ortaya çıkmaktadır. Tüm 8 sayı hazır olduğunda modül, 32 bitlik 8 sayıyı çıktı vermektedir. Çıktının gerçekleştiğini belirtmek için numberEnable sinyali kullanılmıştır.

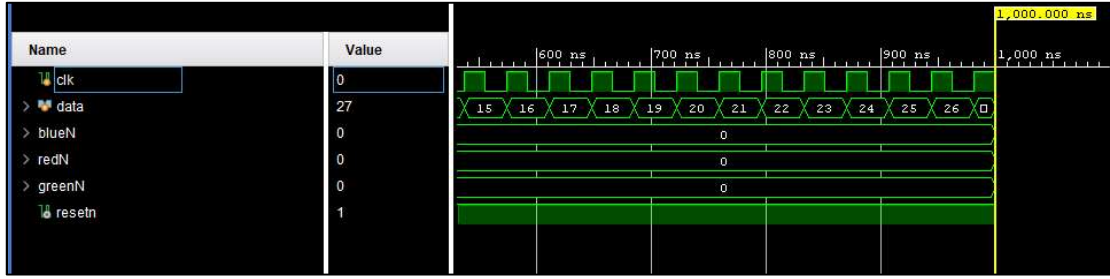


Şekil 3.16 Hareket Kontrolü Durum Makinesi Yapısı

Parametre hesaplama modülü, seri port tamponlama ve veri parçalama modüllerinin ürettiği 8 sayıyı almaktadır. Parametre hesaplama modülünü tasarlamak için referans alınan C kodunda floating point işlemi yapıldığı görülmüştür. Floating point işlemlerin tasarımı oldukça karmaşık olduğu için Xilinx ISE aracında sunulan floating point IP'leri kullanılmıştır. Ancak floating point ünitelerinin bir dezavantajı gecikmelerinin oluşudur. Seçilen IP'lerin gecikmeleri 5 ile 10 cycle arasındadır. Bu yüzden algoritmadaki işlemlerin gerçekleştirilme zamanlamalarını sıraya koymak gerekmektedir. Bu sıraya koyma işlemi el ile yapılabilir. Ancak algoritma boyutu arttığında bu işlemi elle yapmak çok zorlaşmaktadır. Bunun için algoritmayı daha yüksek seviyeli bir dil ile ifade edip, bu dilden doğrudan donanım üreten çeşitli araçlar kullanmak gerekmektedir. MAFURES [100] isimli HLS (High Level Synthesis) aracı bu sıralama işlemini otomatik gerçekleştirmede yardımcı olmuştur. Bu araç giriş olarak C kodu almakta ve RTL çıktısı vermektedir.

Üçüncü modül olan hareket kontrol modülü, motorları sürmektedir. İşaret ve orta parmaklar için kullanılan motorların sürülebilmesi için eş zamanlı çalışan iki durum

makinesi tasarlanmıştır. Şekil 3.16'da gösterilen durum makinesi 5 aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 3.17 ISIM Arayüzü Test Ortamı

Başlangıç durumu olan 0. durumda, dışarıdan alınacak 8 sayının hazır olması ve diğer durum makinesinin de 0. durumda olduğu kontrolü yapılmaktadır. Her iki koşul doğru olduğunda 1. duruma atlamaktadır. 1. durumda *delay* girişine göre sistem beklemektedir. Delay gecikmesi sayacı (dCnt), beklenmesi gereken süreyi ölçmek için kullanılmaktadır. Beklenmesi gereken süre dolduğunda, sistem 2. duruma atlamaktadır. 2. durumda adım motorlara "tuner" zamanı kadar {0,1} ve {0,0} değerleri uygulanmaktadır. Kullanılan dispCnt değişkeni ile tuner zamanı kadar beklenildiğinden emin olunur. Bu değişken DISP parametresine eşit olması ile sistem 3. duruma geçmektedir. 3. durumda ise adım motora {1,0} ve {1,1} değerleri uygulanmaktadır. 2. adımda olduğu gibi dispCnt değişkeni ile süre kontrolü yapılmaktadır. Durum 3'ün farkı, her dispCnt değeri DISP girişine eşit olduğunda, freqCnt yazmacının arttırılmasıdır. Eğer freqCnt registerı henüz FREQ'e eşit değilse, 2 durumuna geri döner, aksi takdirde 4 durumuna atlar. Durum 4, diğer durum makinesiyle senkronizasyon amacıyla kullanılır. Diğer durum makinesinde 4. duruma ulaştıktan sonra durum, 0 durumuna döner ve yeni bir işlem gerçekleştirilebilir.

3.3.2.5 Tasarımın Doğrulanması

Tasarımın doğrulanması için bir test ortamı kurulmuştur. Test ortamında hedef C kodundan giriş ve çıkış vektörleri üretilmiştir. Vektörler, ilgili algoritmaya girişler verilip, algoritmanın koşturulduktan sonra ürettiği çıktılar alınarak vektörler elde edilmiştir. Xilinx ISE aracının içerisinde bulunan ISIM isimli simülasyon aracı ile test gerçekleştirilmiştir. Verilog dili ile yazılan testbench'te önceden oluşturulmuş vektörler dosyalardan okunarak test edilen modüle uygulanmaktadır. Test edilen

modül çıktı vermesi ile, beklenen değerler çıktı vektör dosyasından okunarak karşılaştırılmıştır. ISIM arayüzü ile test işlemi esnasında alınmış ekran görüntüsü Şekil 3.17’de gösterilmektedir.

3.3.2.6 Sonuçlar

FPGA üzerinde geliştirilen sistem, Xilinx Spartan 6 hedeflenerek sentezlenmiş ve iki farklı sentez hedefi verilmiştir. Bunlar dengeli ve zaman optimize edilmiş sentezlerdir. Tablo 3.1, tüm sistemin alan ve frekans sonuçlarını vermektedir.

Tablo 3.1 FPGA Prototip Tasarım Sentez Sonuçları

	Slices	Slice Flip Flops	4 Input LUTs	Frekans (MHz.)
Dengeli Sentez	816	571	1508	68.75
Zaman Hedefli Sentez	825	726	1505	75.54

FPGA’da yapılması gereken bu çalışmanın ana kısmı, hareket kontrol modülüdür. Bu nedenle, hareket kontrol cihazı modülünün özellikleri ayrı olarak değerlendirilmelidir. Tablo 3.2, hareket denetleyicisi modülünün alan kullanımını ve frekansını göstermektedir.

Tablo 3.2 Hareket Kontrolör Modülü Sentez Sonuçları

	Slices	Slice Flip Flops	4 Input LUTs	Frekans (MHz.)
Dengeli Sentez	763	528	1400	68.75
Zaman Hedefli Sentez	773	679	1400	75.54

Sentez sonuçları, kontrol modülünün sentezlenen sistemin alanının çoğunu oluşturduğunu göstermektedir. Alan kullanımı çok düşük olduğundan tasarım

Spartan 6 FPGA'lara sığabilir. Bu da FPGA üzerinde geliştirilen tasarımların düşük maliyetle yapılabileceğini göstermektedir.

3.4 İşaret ve Orta Parmak Uyarımı İçin Mikrodenetleyici Yazılımı

Geliştirmiş olduğumuz cihazı kontrol etmek amacıyla geliştirdiğimiz gömülü sistem kartı üzerinde bulunan 3 mikrodenetleyiciden 2 tanesi işaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri test protokollerine göre uyarı adım motorları sürmektedir. Masaüstü yazılımının gönderdiği ve test parametrelerini içeren veri, ana mikrodenetleyiciye ulaştıktan sonra, ana mikrodenetleyici ilgili veriyi işaret ve orta parmak için olan verileri ayrıştırarak işaret ve orta parmağı kontrol edecek olan mikrodenetleyicilere RS-232 üzerinden iletmektedir. Ana mikrodenetleyiciye ait kodlar ekte bulunan *Ana Mikrodenetleyici Kodları* başlığı altında verilmiştir.

İşaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörlerin uyarımlarının 1 saniye içerisinde tamamlanmaları gerekmektedir. Mikrodenetleyiciler test parametrelerini içeren karakter dizisini seri port üzerinden aldıktan sonra ilk olarak frekans, mesafe ve başlama süreleri ile ilgili gerekli hesaplamaları yapmaktadırlar.

Test protokolü gereği, işaret parmağına ve orta parmağa uygulanacak frekans, mesafe ve başlama süresi parametreleri farklılık gösterebilirler. Örneğin işaret parmağı 3000 µm mesafede 25 defa uyarılıyorken orta parmak 2500 µm mesafede 30 defa uyarılabilir. Bu işlemlerin tamamının 1 saniye içerisinde gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu nedenle işaret ve orta parmakta bulunan mekanoreseptörleri uyarmak amacıyla adım motorları süren adım motor sürücülerine uygulanacak olan kare dalga da farklılık gösterecektir.

Ana mikrodenetleyici, masaüstü yazılımının gönderdiği test parametrelerini içeren karakter serisini ayrıştırıp işaret ve orta parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyarma işlemini gerçekleştiren karakter dizilerini ilgili mikrodenetleyiciye gönderdikten sonra uygulaması gereken parametrelere göre hesaplamalar yapmaktadır. Bu hesaplamaların sonucu, uygulaması gereken frekans, mesafe ve başlama süresi 1 saniye içerisinde gerçekleştirebilmek için adım motorları süren adım motor sürücülerine uygulaması gereken kare dalganın genliğini, frekansını ve kare dalgayı uygulamaya başlaması gereken süreyi

içermektedir. Hesaplamaların ardından mikrodenetleyici, kendisine parametreleri gönderen ana mikrodenetleyiciye “ready” yani hazırım komutu göndererek ana mikrodenetleyiciden “start” komutu beklemektedir. Ana mikrodenetleyiciden “start” komutunu aldıktan sonra ilgili mikrodenetleyici hesaplamalar sonucu oluşturduğu kare dalgayı ilgili adım motor sürücüsüne uygulamaktadır. Sağ-Sol mikrodenetleyiciler diye adlandırdığımız mikrodenetleyicilere ait kodlar ekte *sağ-Sol Kontrol Eden Mikrodenetleyici Kodları* başlığı altında verilmiştir.

3.5 LZ ve Huffman Sıkıştırma Algoritmaları

Bütün bir sistemi kontrol edebilmek için Microchip firmasının PIC ailesinden olan PIC18F46K22 isimli mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu mikrodenetleyicinin seçilmesinin nedeni iki adet seri iletişim portu (RS-232) ve 1024 Byte EEPROM bulundurmasıdır.

Test oluşturucular tarafından geliştirilen test parametreleri, mikrodenetleyicinin elektrik ile silinebilen-programlanılabilen hafıza birimi olan *EEPROM*'a yazılması amaçlanmıştır. Test oluşturucular, uygulamak istedikleri test parametrelerini görsel bir program ile hazırlayabilmeleri ve bu test parametrelerini mikrodenetleyicinin *EEPROM*'una yazarak testi denekler üzerinde uygulayabilmeleri amaçlanmıştır. Bu nedenle, test oluşturucularının kolayca kullanabilecekleri bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde test oluşturucular, deneklere uygulayabilecekleri testi kolayca hazırlayabilmektedirler.

Şekil 3.18 de bir test bulunmaktadır. Bu testte deneğin işaret ve orta parmaklarına 6 adet (adım) titreşim testi uygulanmaktadır. Birinci adımda hem işaret hem de orta parmakların dokunma hissi 1 saniyede 200 er defa uyarılmaktadır. Her iki parmağa uygulanan titreşimin artışı doğrusal olacaktır. İşaret ve orta parmaklara uygulanan dokunsal uyarı testi arasındaki tek fark, titreşim uygulanma başlangıç ve bitişi süreleridir. İşaret parmağına uygulanan titreşim 0'ıncı milisaniyede başlayıp 1000 inci milisaniyede sonlanmaktadır. Yani frekansı 200 Hz. olan bir titreşim uygulanmaktadır. Bu da işaret parmak ucunda bulunan mekanoreseptörlerin 1000 milisaniyede 200 defa uyarıldığı anlamına gelmektedir. Bu uyarma işlemi zamanın 0'ıncı milisaniye anında başlayıp 1000 inci milisaniye anında durması demektir. Aynı şekilde orta parmakta bulunan mekanoreseptörler de 1 saniyede 200 defa uyarılmaktadır. Fakat uyarılma işlemi zamanın 100'üncü milisaniyesinde

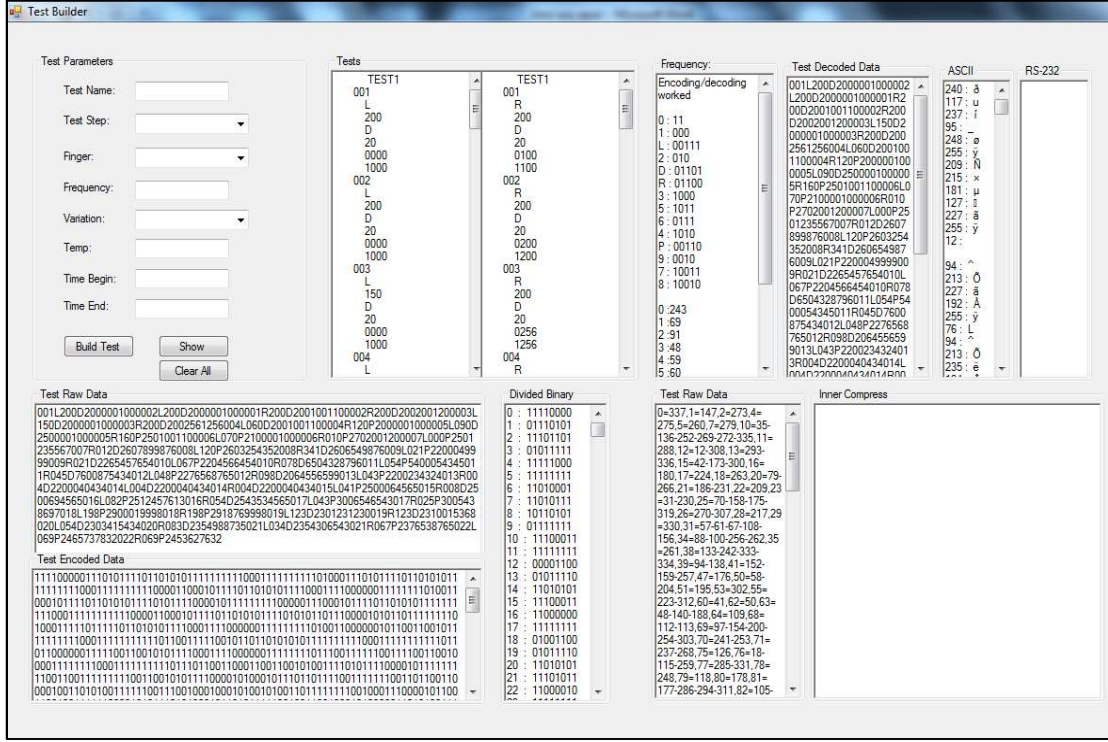
başlamakta ve 1100'üncü milisaniyesinde son bulmaktadır. Yani işaret parmağına uygulanan titreşim, orta parmağa uygulanan titreşimin 100'üncü milisaniyesinde başlamaktadır. Uygulanan bu ilk testten sonra deneğe " *tireşim önce hangi parmağa uygulanmıştır*" sorusu sorulmakta ve deneğin verdiği cevap kaydedilmektedir. Şekil 3.18 e dikkat edilirse, testin ikinci aşamasında deneğe uygulanan titreşimin başlama ve bitiş süreleri dışında fark yoktur. İkinci aşamada bu sefer işaret ve orta parmaklara uygulanan titreşim süre farkı 200 milisaniyeye çıkarılmıştır.

Test	Test
Step: 1	Step: 1
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 200	Frequency: 200
Variation: Linear	Variation: Linear
Temperature: 20	Temperature: 20
Time Begin: 0	Time Begin: 100
Time End: 1000	Time End: 1100
Step: 2	Step: 2
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 200	Frequency: 200
Variation: Linear	Variation: Linear
Temperature: 20	Temperature: 20
Time Begin: 0	Time Begin: 200
Time End: 1000	Time End: 1200
Step: 3	Step: 3
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 150	Frequency: 200
Variation: Linear	Variation: Linear
Temperature: 20	Temperature: 20
Time Begin: 0	Time Begin: 256
Time End: 1000	Time End: 1256
Step: 4	Step: 4
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 60	Frequency: 120
Variation: Linear	Variation: Parabl
Temperature: 20	Temperature: 20
Time Begin: 100	Time Begin: 0
Time End: 1100	Time End: 1000
Step: 5	Step: 5
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 90	Frequency: 160
Variation: Linear	Variation: Parabl
Temperature: 25	Temperature: 20
Time Begin: 0	Time Begin: 100
Time End: 1000	Time End: 1100
Step: 6	Step: 6
Finger: Left	Finger: Right
Frequency: 70	Frequency: 10
Variation: Parabl	Variation: Parabl
Temperature: 21	Temperature: 27
Time Begin: 0	Time Begin: 200
Time End: 1000	Time End: 1200

Şekil 3.18 Örnek test

Yukarıda oluşturulan test, bütün bir sistemi kontrol eden mikrodnetleyicinin program hafızasına yazılarak kullanıldığında, yeni bir test oluşturulmak istenirse eğer, mikrodnetleyicinin yeniden programlanması gerekmektedir. Yeniden programlama işlemi ise alanında uzmanlık gerektiren bir iştir. Fakat, test

oluşturucular tarafından oluşturulan testler, mikrodenetleyicinin *EEPROM*una kaydedilebilirse, bütün bir mikrodenetleyiciyi baştan aşağıya programlamak yerine, bir yazılım aracılığı ile kolayca *EEPROM*a testler kaydedilebilmektedir. Mikrodenetleyicide koşan program da *EEPROM* içerisine kaydedilen verileri yorumlayıp, test oluşturucular tarafından geliştirilen testleri uygulayabilir.



Şekil 3.19 Huffman ve LZ sıkıştırma Algoritmalarının Uygulandığı Yazılımın Ekran Görüntüsü

Test oluşturucular, denekler üzerinde uygulayacakları testleri bir masaüstü yazılımı ile oluşturmaktadırlar. Şekil 3.18’de gösterilen bu masaüstü yazılım, test oluşturucuların sorduğu sorular ile test oluşturmaktadır. Bu sorular ise şöyledir; uygulanacak testin hangi adımı oluşturuluyor, o adım hangi parmağa uygulanacak, uygulanacak titreşimin frekansı nedir, uygulanacak frekansın artış türü nedir, parmağa titreşim hangi zamanda uygulanmaya başlayacak ve hangi zamanda sonlandırılacaktır.

Testleri mikrodenetleyicinin EEPROM’unda kaydedebilmek amacıyla, oluşturulacak testin adım numarası için 3 Baytlık yer ayrılmıştır. Bu sayede test oluşturucular 999 basamaklı test oluşturabilir. Diğer test parametrelerine bakacak olursak, parmak seçimi için 1 Byte, uygulanacak titreşim frekansı için 3 Byte, frekansın artış türünün

seçimi için 1 Byte, titreşim başlangıç zamanı için 4 Byte ve bitiş zamanını belirtmek için yine 4 Byte gerekmektedir.

```
001L200D2000001000002L200D2000001000001R200D2001001100002R200D200200120000
3L150D2000001000003R200D2002561256004L060D2001001100004R120P2000001000005L
090D2500001000005R160P2501001100006L070P2100001000006R010P2702001200007L00
0P2501235567007R012D2607899876008L120P2603254352008R341D2606549876009L021P
2200049999009R021D2265457654010L067P2204566454010R078D6504328796011L054P54
00054345011R045D7600875434012L048P2276568765012R098D2064556599013L043P2200
234324013R004D2200040434014L004D2200040434014R004D2200040434015L041P250006
4565015R008D2500694565016L082P2512457613016R054D2543534565017L043P30065465
43017R025P3005438697018L198P2900019998018R198P2918769998019L123D2301231230
019R123D2310015368020L054D2303415434020R083D2354988735021L034D235430654302
1R067P2376538765022L069P2465737832022R069P2453627632
```

Şekil 3.20 Test Parametrelerinin Metin Hali

Şekil 3.18 den de anlaşılacağı gibi sadece 1 basamaklı test oluşturmak için EEPROM da 18 Baytlık bellek alanına ihtiyaç vardır. Hem işaret hem de orta parmak için oluşturulacak bir basamaklı test için $18 \times 2 = 36$ Bayt EEPROM bellek alanına ihtiyaç duyulmaktadır. 1024 Byte kapasiteli bir EEPROM için en fazla $1024/36 = 28,44$ yani 28 basamaklı bir test oluşturulabilir.

Mikrodenetleyicinin EEPROM hafızasına daha fazla veri yazılması amacıyla birçok yol denenmiştir. Denenen ve başarılı olunan yöntemler sayesinde oluşturulan testler EEPROM da daha az yer tutmakta ve bu sayede mikrodenetleyiciye daha fazla test gömülebilmektedir.

Test oluşturucuların test geliştirebilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, test oluşturuculara çeşitli sorular sorarak test oluşturmakta, bu testi veri tabanına kaydetmekte ve sıkıştırıp mikrodenetleyicinin EEPROM hafızasına gömmektedir.

Demonstrasyon amaçlı 22 adımdan oluşan bir test oluşturulmuştur. Bu sayede mikrodenetleyicinin ihtiyaç duyduğu EEPROM hafızasının ne kadar olduğu, uygulanması planlanan sıkıştırma algoritmalarının ne kadar etkili oldukları tespit edilebilmekte ve en iyi performanslı sıkıştırma algoritmaları belirlenebilmektedir. Oluşturulan 22 basamaklı test hem işaret hem de orta parmak için oluşturulmuştur. Bu nedenle $22 \times 2 \times 18 = 792$ Byte EEPROM hafızasına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil

3.19 da Huffman ve LZ sıkıştırma algoritmalarını uygulayan masaüstü yazılımının ekran görüntüsü bulunmaktadır.

Oluşturulan bu test üzerinde Huffman Kodlama, LZ Sıkıştırma Algoritması ve Delta Sıkıştırma Algoritması uygulanmıştır. Bu çalışma sonucu, Delta Sıkıştırma algoritmasının sadece sayılardan oluşan bir veri setini sıkıştırmak için kullanılabileceği anlaşılmıştır. Delta Sıkıştırma algoritması ile sıkıştırma sonrası veri boyutunda azalma garanti edilememektedir.

Tablo 3.3 LZ-Huffman Sıkıştırma Sonuçları

Karakter Sayısı	LZ	Huffman
792	366	334
504	240	200
350	182	134
324	160	117
288	143	100
252	123	81
216	103	63
180	90	52
144	78	40
108	65	28
90	58	22
72	51	16
70	50	16
36	39	8
18	35	4

Oluşturulan 22 basamaklı testin metin karşılığı Şekil 3.20 de gösterilmiştir. Yani 22 adet test parametreleri art arda eklenmiştir. 792 karakterden oluşan bu karakter dizisine, LZ ve Huffman sıkıştırma algoritmaları uygulanmıştır. Uygulanan LZ ve Huffman sıkıştırma algoritmalarının sonuçları Tablo 3.3 de gösterilmiştir. Tablo 3.3'den de anlaşılacağı gibi karakter dizisinin karmaşıklığı azaldıkça Huffman sıkıştırma algoritmasının performansı daha da artmaktadır.

4.1 Genel Bilgi

Yapılan çalışma kapsamında 2 farklı yöntemle 2 farklı test çalışması yapılmıştır. Yapılan bu iki test çalışmasından ilki yorgunluk testidir. Diğeri ise Kocaeli Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk ve Ergen Psikiyatri Bölümü’nde yapılmıştır.

Yapılan ilk test olan yorgunluk testi, “Statik Olarak Belirlenen Test Parametreleri” başlığı altında anlatılan yazılım ile gerçekleştirilmiştir. “Statik Olarak Belirlenen Test Parametreleri” başlığı altında anlatılan yazılımda, test parametrelerini belirleyen test oluşturucular, deneklere uygulamak istedikleri test türüne göre frekans, mesafe ve başlama süresini her bir soru için belirlemektedirler.

Yapılan ikinci test ise “Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri” başlığı altında detaylı bir şekilde anlatılan yazılım kullanılarak yapılmıştır. Testi oluşturan kişi frekans, mesafe ve başlama süresi ile ilgili taban parametrelerini belirlemektedir. Yazılım, deneklerin verdikleri cevaplar doğrultusunda test parametrelerini yeniden belirlemektedir. Sistemde tanımlanan soru sayısı deneklerin verdikleri cevaplar doğrultusunda değişmektedir.

Tablo 4.1 Yorgunluk Testi Test Sonuçları

	Frekans Puanı	Genlik Puanı	Başlama Zamanı Puanı
Değişim Yüzdesi	75%	83,33%	66,67%
Puanı azalan kişi sayısı	18/24	20/24	16/24

4.2 Yorgunluk Testi

Uygulanan test türünde deneklerin cevaplayacağı soru sayısı bellidir. Uyguladığımız yorgunluk testinde deneklere 24 sorudan oluşan bir test uygulanmıştır. Katılımcılar 24 kişiden oluşmaktadır ve tamamı erkektir. Ayrıca teste katılan kişilerin yaş aralığı 22-62'dir. Katılımcılar hem mavi yaka hem de beyaz yaka çalışanlarıdır. Test, mavi ve beyaz yaka çalışanlarına bir günde 2 defa uygulanmıştır. Testler, mesaiye başlamadan hemen önce ve mesaiyi tamamlandıktan sonra uygulanmıştır. Test sonuçları Tablo 4.1 de gösterildiği gibidir.

24 denek üzerinde yapılan bu çalışma iş yorgunluğunun merkezi sinir sistemi üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığını ölçümlemeye çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre frekans testinde 24 denekten 18'inin test sonunda elde ettiği puan azalmıştır. Yine aynı şekilde genlik testinde 24 denekten 20 sinin gün sonunda elde ettiği puanda azalma olmuştur. Başlama süresi testinde ise 24 denegin 16'sında gün sonu testinde elde ettiği puanda azalma oluşmuştur. Bu sonuçlara göre, mavi ve beyaz yaka çalışanlarının gün sonunda nöral aktivitelerinin işe başlamadan önceye göre biraz azaldığı gözlemlenmektedir.

4.2.1 Puan Hesaplama Yöntemi

Test türlerine göre, işaret ve orta parmağa frekans, mesafe ve başlangıç süresi ile ilgili 3 ana parametre değiştirilerek test uygulanmaktadır.

İşaret ve orta parmaklara uygulanan frekans farkı 1 ise ve denek doğru cevap veriyse ve yine aynı şekilde frekans farkı 39 ve denek doğru cevap veriyse iki cevabın ağırlığı aynı değildir. İki parmak arasındaki frekans farkı ne kadar az ise ve denek doğru cevap veriyse o sorudan aldığı puan daha fazla olmalıdır. Aynı şekilde genlik testinde işaret ve orta parmağa uygulanan parametreler birbirine ne kadar yakın ise parametrelerin zorluğu da o derece artmaktadır. Birbirine en yakın genlik parametreleri en yüksek puanı almalıdır. Süre testinde de aynı şartlar geçerlidir. İşaret ve orta parmağa uygulanacak olan başlangıç süresi testi birbirine ne kadar yakınsa sorunun zorluk derecesi de o derece artacaktır. Dolayısı ile süreler birbirine yaklaştıkça deneklerin doğru cevap verdikleri her soruya aldıkları puan da artacaktır.

Bu doğrultuda Mesafe, Süre ve Frekans için verilecek muhtemel cevaplara karşın bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu hesaplama yöntemine göre, deneklerin verdikleri cevaplar kayıt altına alındıktan sonra, geliştirmiş olduğumuz bu hesaplama yöntemine göre gerekli hesaplamalar yapılmakta ve deneklerin puanları hesaplanmaktadır.

Frekans için işaret ve orta parmağa uygulanan frekanslar ne kadar yüksekse ve aralarındaki fark ne kadar az ise verilen puan o derece fazla olmalıdır. Mesela, işaret parmağa uygulanan frekans 39 ve orta parmağa uygulanan frekans 40 ise ve denek bu soruyu doğru cevaplarsa, deneğin bu test parametrelerinden elde ettiği puan 100 olacaktır (cihazın uygulayabildiği en yüksek frekans 40). Bununla beraber işaret parmağa uygulanan frekans 1 ve orta parmağa uygulanan frekans 40 ise bu durumda denek bu sorudan en düşük puanı almaktadır (0,064102564 puan). Bu durumda formül aşağıdaki gibidir.

$$A_f = \frac{100}{ABS(i_f - m_f)} * [(if (i_f > m_f; i_f; m_f))/40] \quad (4,1)$$

A_f frekans test sonucu puanını, i_f işaret parmağına uygulanan frekansı ve m_f orta parmağa uygulanan frekansı göstermektedir.

Mesafe testi için ise işaret ve orta parmaklara uygulanan mesafe hassasiyeti 47,1 µm'dir. İşaret ve orta parmaklara uygulanan mesafe birbirine ne kadar yakınsa verilecek puan o kadar yüksek olmalıdır. Mesela, işaret parmağa 47,1 µm ve orta parmağa da 94,2 (47,1 * 2 = 94,2) µm ile dokunulduğunda ve denek doğru cevap verdiğinde 100 tam puan almalıdır. Aynı zamanda işaret parmağa 3,7209 mm ve orta parmağa 3768 (37209+47,1) µm ile dokunulduğunda ve denek doğru cevap verdiğinde yine 100 tam puan almaktadır. Bu durumda formül aşağıdaki gibidir.

$$A_a = \frac{100}{ABS(i_a - m_a)} * 0,0471 \quad (4,2)$$

A_a mesafe test sonucu puanını, i_a işaret parmağına uygulanan genliği ve m_a orta parmağa uygulanan genliği göstermektedir.

Süre testi için işaret ve orta parmaklara uygulanan dokunma uyarısı aralarındaki fark ne kadar az ise verilen puan o kadar çok olmalıdır. Süre en az 1 ms olabilmektedir. İşaret parmaktaki reseptörler uyarıldıktan 1 ms sonra orta parmak

uyarılır ve denek doğru cevap verirse 100 tam puan almaktadır. Bu durumda formül aşağıdaki gibidir.

$$A_t = \frac{100}{ABS(i_t - m_t)} \quad (4,3)$$

A_t başlama süre test sonucunu, i_t işaret parmağa uygulanan testin başlangıç süresini ve m_t orta parmağa uygulanan testin başlangıç süresini göstermektedir.

4.3 Ergen ve Çocuk Hastalara Uygulanan Test

Ergen ve çocuk hastalara uygulanan test “Dinamik Olarak Belirlenen Test Parametreleri” başlığı altında detaylı bir şekilde anlatılan yazılım kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım ile deneklerin cevaplayacakları soru sayısı, deneklerin sorulara verdikleri cevaplar doğrultusunda belirlenmektedir. Denekler, kendilerine uygulanan test parametrelerini doğru cevaplandırırlarında, deneklere uygulanan test parametrelerinin zorluk seviyeleri artmaktadır. Deneklerin 2 defa üst üste hatalı cevap vermeleri durumunda ya da deneklere uygulanan test parametrelerinin zorluk seviyesi en yüksek seviyeye ulaştığında test sonlandırılmaktadır.

Test çalışmasına toplamda 51 denek katılmıştır. Bu deneklerin 32’si erkek çocuk 19’u ise kız çocuğudur. Çalışmamıza katılan deneklerin yaş aralığı 6 ile 17 arasında değişmektedir. Deneklerin tamamı aydınlatılmış onam formu ile bilgilendirilmiştir ve ailelerinin rızası alınmıştır. Ayrıca test uygulayabilmemiz için Yıldız Teknik Üniversitesi Etik Kurulu’ndan onay alınmıştır.

Test çalışması yapılan deneklerin tamamı Kocaeli Üniversitesi Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığı Ana Bilim Dalı’na tedavi amaçlı başvuru yapan hastalardan seçilmiştir. Test çalışmasına katılan tüm denekler dikkat bozukluğu teşhisi konulmuş hastalardır. Yaş ve cinsiyet parametrelerinin dikkat bozukluğunda etkin olup olmadıklarının araştırılması için testler uygulanmıştır.

4.3.1 Test Sonuçları

Nicel değişkenlerin normal dağılıma uygun olup olmadığı Kolmogorov-Smirnov [101] testi ile incelendi. Normal dağılım gösteren değişkenler bakımından gruplar bağımsız iki örneklem t testi (2-tailed t test) [102] ile, normal dağılım göstermeyen

değişkenler bakımından ise Mann Whitney U Testi [102] ile karşılaştırıldı. Tekrarlı ölçümler arasında fark olup olmadığının belirlenmesi için ise Friedman tekrarlı ölçümler ANOVA testi uygulandı [103]. Nicel değişkenler arasında ilişki olup olmadığının incelenmesi için ise normal dağılım varsayımı altında Pearson ya da Spearman korelasyon analizi [104] uygulandı. Normal dağılan nicel değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ortalama $\pm$ standart sapma, normal dağılmayan nicel değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ise medyan (25-75 persantil) şeklinde gösterildi. Nitel değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri ise frekans (n) şeklinde ifade edildi. $p<0.05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Yaş ve cinsiyetin dikkat eksikliği ve hiperkativite bozukluğunda etken olup olmadığını belirlemek için yapılan testler sonucunda tablo 4.2 de görüldüğü gibi yaş ve cinsiyetin etkili olmadığı anlaşılmıştır ($p=0.457$). Çalışmaya dahil edilen katılımcılar yaş bakımından homojendir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2 Cinsiyete Göre Yaş Değişkeninin Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları

DEĞİŞKEN	CİNSİYET		p
	Erkek (n=32)	Kız (n=19)	
Yaş	9.88 $\pm$ 3.10	10.74 $\pm$ 3.78	0.457

Katılımcılara sorulan toplam “hangi parmağa daha çok dokunuldu”, “hangisi daha önce başladı”, “hangisi daha yukarı itti” sorularının sayısı cinsiyetlere göre incelendiğinde kadın ve erkekler arasında toplam “hangi parmağa daha çok dokunuldu” soru sayısı bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu görülmüştür ($p=0.007$). Hangi parmağa daha çok dokunulduğu erkeklere daha fazla sorulmuştur. Dolayısıyla erkekler hangi parmağa dokunulduğuna dair kızlardan daha başarılıdır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3 Total Soruların Cinsiyetlere Göre Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları

DEĞİŞKEN	CİNSİYET		U	t	sd	p
	Erkek (n=32) Q2(Q1-Q3)	Kız (n=19) Q2(Q1-Q3)				
Hangi parmağa daha çok dokunuldu (toplam soru)	7 (5-8)	6 (3-7)	166.50	-	-	0.007
Hangisi daha önce başladı (toplam soru)	4 (2-9.75)	6 (2-9)	290.50	-	-	0.789
Hangisi daha yukarı itti (toplam soru)	7 (5-9)	7 (5-9)	265.00	-	-	0.441
Toplam soru	20.66±6.03	17.95±5.74	-	1.599	39.479	0.118

U : Mann Whitney U test istatistiği, t: t test istatistiği, sd: serbestlik derecesi

Erkekler, kadınlar ve tüm bireyler üzerinden korelasyon analizi uygulandığında yaş ile toplam soru sayısı ve doğru cevap sayısı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığı bulunmuştur ($p>0.05$) (Tablo 4.4).

Tablo 4.4 Yaş ve Toplam Soru Sayısı Arasındaki Korelasyon Analizi

DEĞİŞKEN	YAŞ		
	TOPLAM (n=51)	Erkek (n=32)	Kız (n=19)
Hangi parmağa daha çok dokunuldu (toplam soru)	0.090 ^{ns}	0.219 ^{ns}	0.006 ^{ns}
Hangisi daha önce başladı (toplam soru)	0.012 ^{ns}	0.150 ^{ns}	-0.144 ^{ns}
Hangisi daha yukarı itti (toplam soru)	0.035 ^{ns}	0.089 ^{ns}	0.065 ^{ns}
Toplam soru	0.083 ^{ns}	0.270 ^{ns}	-0.077 ^{ns}
Hangi parmağa daha çok dokunuldu (doğru sayısı)	0.091 ^{ns}	0.260 ^{ns}	-0.045 ^{ns}
Hangisi daha önce başladı (doğru sayısı)	-0.056 ^{ns}	0.141 ^{ns}	-0.426 ^{ns}
Hangisi daha yukarı itti (doğru sayısı)	-0.015 ^{ns}	0.053 ^{ns}	-0.046 ^{ns}

^{ns}: $p>0.05$ (ns=non-significant)

Tablo 4.5 incelendiğinde, “Hangi parmağa daha çok dokunuldu” sorusuna verilen doğru cevap sayısının cinsiyete göre anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği görülmektedir. Erkekler bu soruya kadınlardan anlamlı düzeyde daha fazla doğru cevap vermiştir ($p=0.009$). Ancak “hangisi daha önce başladı” ve “hangisi daha yukarı itti” soruları cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık göstermemiştir ($p>0.05$).

Tablo 4.5 Doğru Cevap Sayısının Cinsiyetlere Göre Tanımlayıcı İstatistikleri ve Karşılaştırma Sonuçları

DEĞİŞKEN	CİNSİYET		t (sd)	U	p
	Erkek (n=32)	Kız (n=19)			
Hangi parmağa daha çok dokunuldu (doğru cevap)	4.13±2.04	2.58±1.77	2.739 (49)	-	0.009
Hangisi daha önce başladı (doğru cevap)	1 (0-6)	3 (0-5)	-	303	0.984
Hangisi daha yukarı itti (doğru cevap)	4 (3-7)	4 (3-6)	-	265.5	0.446

5.1 Genel Bilgi

Bu başlık altında, geliştirmiş olduğumuz sistem ile ilgili sonuçlar ve tartışma konuları yer almaktadır.

5.2 Sonuç

Mevcut sistemin test edilebilmesi için iki farklı test yürütülmüştür. yürütülen bu testlerden ikincisi Kocaeli Üniversitesi Çocuk Psikiyatr Bölümü'nde yürütülmüş ve tedavi amaçlı hastaneye başvuru yapan denekler üzerinde yapılmıştır. Yapılan bu çalışma, sağlıklı (sağlıklı olduğu düşünülen) denekler üzerinde de uygulanabilir. Oluşturulacak olan bu kontrol grubu ile, Kocaeli Üniversitesi'nde yürütülen test çalışmalarının sonuçları kıyaslanabilir.

Geliştirmiş olduğumuz sistemi test edebilmemiz için uyguladığımız ikinci test türü de yorgunluk testidir. Test günde 2 defa 24 beyaz ve mavi yaka çalışana uygulanmış ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Uygulanan bu test sürecine olan katılımın artırılması ile test sonuçlarının değerinin artırılması sağlanabilir.

Tamamlanmış ve anlamlı sonuç elde edilmiş olan 2 farklı test türünün yanında, test türü ve çeşitliliği artırılması amacıyla çalışmalar yürütülmektedir. Şu anda Çapa Tıp Fakültesi Geriatri Bölümü'nde test çalışmaları halen devam etmektedir. Ayrıca Kocaeli Üniversitesi Endokrinoloji Bölüm ve Nöroloji Bölümü ile birlikte ortak bir test çalışması planlanmaktadır. Yürütülen ve yürütülmesi planlanan test çalışmaları tamamlandıktan sonra sonuçları paylaşılacaktır.

5.3 Öneriler

Geliştirmiş olduğumuz sistem üzerinde bulunan gömülü sistem kartı üzerinde 3 farklı mikrodenetleyici kullanılmıştır. 3 farklı mikrodenetleyici yerine Raspberry [105] serisi veya Gumstix [106] serisi, içine işletim sistemi dahi kurulabilen gömülü sistemler de kullanılabilir. Ayrıca, tüm sistemi kontrol edebilmek amacıyla paralel işlem yeteneği olan mikrodenetleyici ile de kullanılabilir. Fakat burada ortaya çıkan

probleme karşı izlemiş olduğumuz yaklaşım sistemi kurgularken karşılaştığımız problemi çözerek literatüre farklı bir yöntem kazandırılması amaçlanmıştır.

5.4 Gelecek Çalışmalar

Her sistemde olduğu gibi, doktora tezi kapsamında geliştirdiğimiz sistemin daha da iyileştirilmeye ihtiyacı vardır. Bu başlık altında geliştirmeye açık olan yönler açıklanmıştır.

5.4.1 Mekanik Bileşenler

Sistemde kullanılan adım motorlara doğrusal hareket yeteneği kazandırılması amacıyla kullanılan pinyon ve kremayer dişli setinin çok daha gelişmiş makinelerde çok daha hassas bir şekilde üretilmesi sağlanabilir. Bu doğrultuda, tel erozyon ve 5 eksen CNC tezgâhları kullanılarak çok daha hassas ve kaliteli dişli seti üretilebilir. Ayrıca, üretilen pinyon ve kremayer dişli seti, taşlama makinelerinde detaylandırılarak çok daha kaliteli ürünler elde edilebilir.

Sistemin iyileştirilmesi amacıyla kullanılması planlanan doğrusal servo motor ve doğrusal motorun konum bilgisinin tespit edilmesi için ihtiyaç duyulan ilgili sensör grubunun çalışması için gerekli enerji ihtiyacı tespit edilmelidir. Ayrıca, bir sonraki başlık altında detaylı bir şekilde anlatılmış olan ısıtma ve soğutma sistemi için de enerji ihtiyacı doğmaktadır. Enerji ihtiyacı tespit edildikten sonra, enerji ihtiyacına göre enerji kaynağı seçilmelidir. Sistemde kullanılması planlanan tüm araçlar temin edilip, test çalışmaları tamamlandıktan sonra yeni bir mekanik tasarıma ihtiyaç duyulacaktır. Dolayısı ile yeni bir tasarım çalışması yapıp, cihazda kullanılacak tüm bileşenlerin üzerinde toparlanacağı yeni bir şasenin üretilmesi gerekmektedir. AutoCAD teknik çizim programı kullanılarak, şase çizimi gerçekleştirildikten sonra fiber lazer makinelerde hassas bir şekilde üretilebilir.

Yaptığımız bu çalışmada piyasada bulunabilecek en uygun cihazlar seçilerek üretilmiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda performans, uygunluk, maliyet, taşınabilirlik parametreleri göz önünde bulundurularak yeni ürünler ile cihaz yeniden geliştirilmesi hedeflenmektedir.

5.4.2 Yeni bir özellik: Isıtma ve Soğutma

İncelenen birçok makalede, test uygulanmadan önce deneklerin test uygulanacağı uzuvları acı eşiği seviyesine kadar ısıtıldığından veya soğutulduğundan bahsedilmektedir. Yapılan bir çalışmada ısıtma ve soğutma sonrası test uygulanmış ve bu doğrultuda test sonuçları değerlendirilmiştir [54].

Cortical Metrics firması tarafından üretilen CM serisi cihazlarda bulunmayan ısıtma ve soğutma özelliklerinin ürettiğimiz cihaza kazandırılması amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda peltier diye adlandırılan bir komponent üzerinde test çalışmaları yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Doktora sonrası yapılacak çalışmada peltier kullanılarak cihazın yeniden geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma tamamlandığında, parmak uçlarında bulunan mekanoreseptörleri uyaran uyarıcılar her test aşamasında farklı sıcaklıklara ayarlanarak test uygulanabilecektir. Kazandırılacak bu özellikle uygulanan test parametreleri daha anlamlı hale gelecek ve sonuçları zenginleştirecektir.

5.4.3 Bulut Bilişim İle Veri Analizi

Geliştirmiş olduğumuz sistemde test sorularını kullanıcılara sunan ve test sorularına göre deneklere uygulanacak olan test parametrelerini cihaza gönderen bir masaüstü yazılımı bulunmaktadır. Bu masaüstü yazılımı deneklere uygulanan test parametrelerini ve deneklerin verdikleri cevapları SQL Express 2015 de tasarlanmış ilişkisel veri tabanına kaydetmektedir. Kaydedilen veriler daha sonra analiz edilerek test sonuçları yorumlanmaktadır.

Test esnasında deneklerin sorulara verdikleri cevaplar ve test parametreleri anlık olarak Microsoft firmasının bulut çözümü olan Azure'a iletilerek saklanması ve anlık olarak iletilen veri üzerinde analiz yapılması amaçlanmaktadır. Test sırasında elde edilen veriler anlık olarak işlenerek son kullanıcılara sunulması amaçlanmaktadır. Ayrıca, Microsoft Azure üzerinde koşan veri analizi algoritmaları işletilerek her bir deneğe uygulanan test sonrası oluşan verinin analizinin yapılması amaçlanmaktadır. Microsoft Azure veri analizi ile ilgili detaylı bilgiyi [107] numaralı kaynaktan edinebilirsiniz.

5.4.4 EEG Cihazı ile Test Uygulama

Emotive firmasının ürettiği EEG cihazı beyin sinyallerini bluetooth üzerinden bir masaüstü uygulaması aracılığı ile veri tabanına kaydedilebilmektedir. Detaylı bilgiyi [108] numaralı kaynakta bulunan web adresinden edinebilirsiniz. Gelecek EEG cihazının geliştirmiş olduğumuz cihaz ile birlikte kullanılması düşünülmektedir.

Geliştirmiş olduğumuz sistem ile entegre bir şekilde çalışacak olan EEG cihazı aracılığıyla, teste katılan deneklerin merkezi sinir sisteminden elde edeceğimiz elektrik sinyalleri deneklerin dokunsal teste verdikleri cevaplara eklenecektir. Böylelikle çok daha zengin verilerle analiz yapılarak çok daha doğru bir test sonucu elde edilmesi amaçlanmaktadır.

```

1.      int cnt = -1;
2.      char read[1024];
3.      char isleftready[10];
4.      char isrightready[10];
5.      int ind = -1;
6.      int ind2 = -1;
7.      int where = 0;
8.      int where2 = 0;
9.      char txt[30];
10.     char left[300];
11.     char right[300];
12.     int f1=0;
13.     int f2=0;

14.     void interrupt()
15.     {
16.     if( PIR1.RC1IF )
17.     {
18.     ind = ind + 1;
19.     read[ind] = UART1_Read();
20.     if(read[ind-2]=='M' && read[ind-1]=='D' && read[ind-3]=='C')
21.     {
22.     read[ind] = '\0';
23.     where = ind;
24.     ind = -1;
25.     }
26.     PIR1.RC1IF = 0;
27.     }
28.     if( PIR3.RC2IF )
29.     {
30.     ind2 = ind2 + 1;
31.     isrightready[ind2] = UART2_Read();
32.     if(isrightready[ind2]=='y' && isrightready[ind2-1]=='d' &&
33.     isrightready[ind2-2]=='a'
34.     && isrightready[ind2-3]=='e'&& isrightready[ind2-4]=='r')
35.     {
36.     PORTA=12;
37.     delay_ms(1000);
38.     PORTA=0;
39.     ind2 = -1;
40.     }
41.     PIR3.RC2IF=0;
42.     }
43.     void interrupt_init()
44.     {
45.     INTCON.GIE = 1;
46.     INTCON.PEIE = 1;
47.     PIE1.RC1IE = 1;
48.     PIE1.TX1IE = 0;

```

```

49.     PIE3.RC2IE = 1;
50.     PIE3.TX2IE = 0;
51.     }
52.     void main() {

53.         int i=0;
54.         int Bcnt=0;
55.         int Bpos=0;
56.         int Ecnt=0;
57.         int Epos=0;
58.         int kon=1;
59.         int cnt=0;
60.         int y=0;
61.         int indd=0;
62.         long double tuner,t1;
63.         double durat=0;
64.         int pos, pos2;

65.         ANSELD = 0;
66.         ANSELA = 0;
67.         ANSELC = 0;
68.         TRISA = 0;
69.         TRISB=255;
70.         PORTB=0;
71.         PORTA=0;

72.         TRISD=0;
73.         PORTD=0;

74.         UART1_Init(9600);
75.         UART2_Init(9600);
76.         interrupt_init();
77.         while(1)
78.         {
79.             if(read[where-1] == 'D' && read[where-2] == 'M' && read[where-3] == 'C')
80.             {
81.                 read[where-1]='S';
82.                 for(i=0;i<where-3;i++)
83.                 {
84.                     if(read[i]=='-')
85.                     {
86.                         pos=i;
87.                     }
88.                     if(read[i]=='+')
89.                     {
90.                         pos2=i+1;
91.                     }
92.                 }
93.                 for(i=pos2;i<pos;i++)
94.                 {
95.                     left[i-pos2]=read[i];
96.                     left[i+1]='\0';
97.                 }

98.                 for(i=pos;i<where-4;i++)
99.                 {
100.                     right[i-pos]=read[i+1];
101.                     right[i-1]='\0';
102.                 }

```

```
103.     UART1_Write_Text(left);
104.     UART1_Write(13);
105.     UART1_Write(10);

106.     UART2_Write_Text(right);
107.     UART2_Write(13);
108.     UART2_Write(10);
109.     delay_ms(100);
110.     delay_ms(100);
111. }
112. }
113. }
```

Sağ-Sol Kontrol Eden Mikrodenetleyici Kodları

```

1.      int cnt = -1;
2.      char read[1024];
3.      int ind = -1;
4.      int where = 0;
5.      char txt[30];
6.      char freq[30];
7.      char disp[30];
8.      char start[30];
9.      char fraq[30];
10.     int Ifreq=0;
11.     double Idisp=0;
12.     double Mdisp=0;
13.     double Ifraq=0;
14.     int Mldisp=0;
15.     int Istart=0;

16.     void interrupt()
17.     {
18.     if( PIR1.RC1IF )
19.     {
20.     ind = ind + 1;
21.     read[ind] = UART1_Read();
22.     if(read[ind-2]=='N' && read[ind-1]=='D' && read[ind-3]=='E')
23.     {
24.     read[ind] = '\0';
25.     where = ind;
26.     ind = -1;
27.     }
28.     PIR1.RC1IF = 0;
29.     }
30.     }
31.     void interrupt_init()
32.     {
33.     INTCON.GIE = 1;
34.     INTCON.PEIE = 1;
35.     PIE1.RC1IE = 1;
36.     PIE1.TX1IE = 0;
37.     PIE3.RC2IE = 1;
38.     PIE3.TX2IE = 0;
39.     }

40.     void move(int freq, int disp, int delay, int tuner)
41.     {
42.     int l,i,d;
43.     for(d=0;d<delay;d++)
44.     delay_ms(1);
45.     for(l=0;l<freq;l++)
46.     {
47.     for (i=0;i<disp;i++)
48.     {
49.     PORTD.F1 = 1;

```

```

50.     PORTD.F2 = 0;
51.     for(d=0;d<tuner;d++)
52.     Delay_us(1);
53.     PORTD.F1 = 0;
54.     PORTD.F2 = 0;
55.     for(d=0;d<tuner;d++)
56.     Delay_us(1);
57.     }

58.     for (i=0;i<disp;i++)
59.     {
60.     PORTD.F1 = 1;
61.     PORTD.F2 = 1;
62.     for(d=0;d<tuner;d++)
63.     Delay_us(1);
64.     PORTD.F1 = 0;
65.     PORTD.F2 = 1;
66.     for(d=0;d<tuner;d++)
67.     Delay_us(1);
68.     }

69.     }
70.     }
71.     void Init_Osc()
72.     {

73.     OSCCON.IRCF0=1;//Internal Oscillator Frequency Select bits, 16MHz
74.     OSCCON.IRCF1=1;
75.     OSCCON.IRCF2=1;
76.     OSCTUNE.PLLEN=1; // PLL Enable
77.     }
78.     void main() {

79.     int i=0;
80.     int Bcnt=0;
81.     int Bpos=0;
82.     int Ecnt=0;
83.     int Epos=0;
84.     int kon=1;
85.     int cnt=0;
86.     int y=0;
87.     int indd=0;
88.     long double tuner,t1;
89.     double durat=0;

90.     ANSEL = 0;
91.     ANSELA = 0;
92.     ANSEL = 0;
93.     TRISA = 255;
94.     TRISB=255;
95.     PORTB=0;

96.     TRISD=0;
97.     PORTD=0;

98.     UART1_Init(9600);
99.     interrupt_init();
100.    while(1)
101.    {

```

```

102.         if(read[where-1] == 'D' && read[where-2] == 'N' && read[where-3] == 'E')
103.         {

104.             for(i=0;i<where;i++)
105.             {
106.                 if(read[i]=='B')
107.                 {
108.                     Bcnt++;
109.                     Bpos=i;
110.                 }
111.                 if(read[i]=='E')
112.                 {
113.                     Ecnt++;
114.                     Epos=i;
115.                 }
116.                 if(Bcnt==Ecnt && Bcnt==kon && Ecnt==kon)
117.                 {
118.                     cnt=cnt+1;
119.                     for(y=Bpos+1;y<Epos;y++)
120.                     {
121.                         if(cnt==1)
122.                         {
123.                             freq[indd]=read[y];
124.                             indd++;
125.                         }
126.                         if(cnt==2)
127.                         {
128.                             disp[indd]=read[y];
129.                             indd++;
130.                         }
131.                         if(cnt==3)
132.                         {
133.                             start[indd]=read[y];
134.                             indd++;
135.                         }
136.                         if(cnt==4)
137.                         {
138.                             fraq[indd]=read[y];
139.                             indd++;
140.                         }
141.                     }
142.                     if(cnt==1)
143.                     {
144.                         freq[indd]='\0';
145.                     }
146.                     if(cnt==2)
147.                     {
148.                         disp[indd]='\0';
149.                     }
150.                     if(cnt==3)
151.                     {
152.                         start[indd]='\0';
153.                     }
154.                     if(cnt==4)
155.                     {
156.                         fraq[indd]='\0';
157.                     }
158.                     indd=0;
159.                     kon++;

```

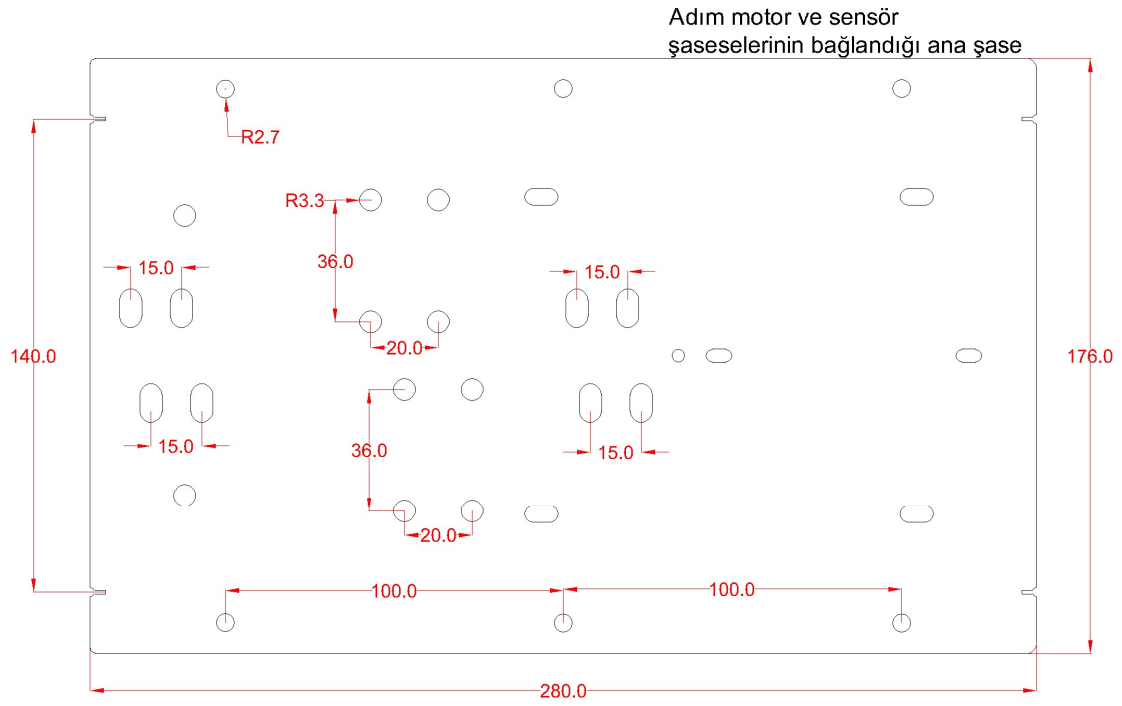
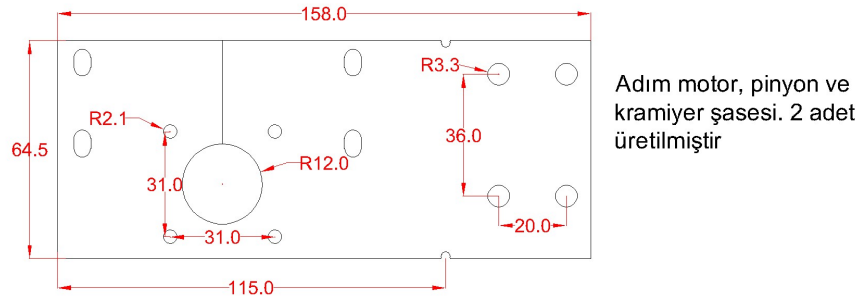
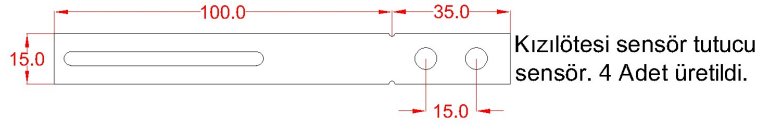
```

160.     }
161.     }
162.     Ifreq=atoi(freq);
163.     Idisp=atof(dis);
164.     Ifraq=atof(fraq);
165.     durat=1000000/Ifreq;
166.     Ifraq=Ifraq+0.000001;
167.     Idisp=Idisp+0.000001;
168.     Mdisp=Idisp/0.0471;
169.     Mldisp=Mdisp;
170.     durat=durat/Mldisp;
171.     durat=durat/4;
172.     Istart=atoi(start);
173.     FloatToStr(durat, txt);
174.     UART1_Write_Text(txt);
175.     UART1_Write_Text(" ");
176.     IntToStr(Mldisp, txt);
177.     UART1_Write_Text(txt);
178.     UART1_Write_Text(" ");
179.     IntToStr(Istart, txt);
180.     UART1_Write_Text(txt);
181.     cnt=0;
182.     indd=0;

183.     Istart=Istart/10;
184.     UART1_Write_Text("ready");
185.     t1=Mldisp*2*Ifreq*4;
186.     tuner=Ifraq*1000000;
187.     tuner=tuner/t1;
188.     tuner=durat/5;
189.     IntToStr(tuner, txt);
190.     UART1_Write_Text(txt);

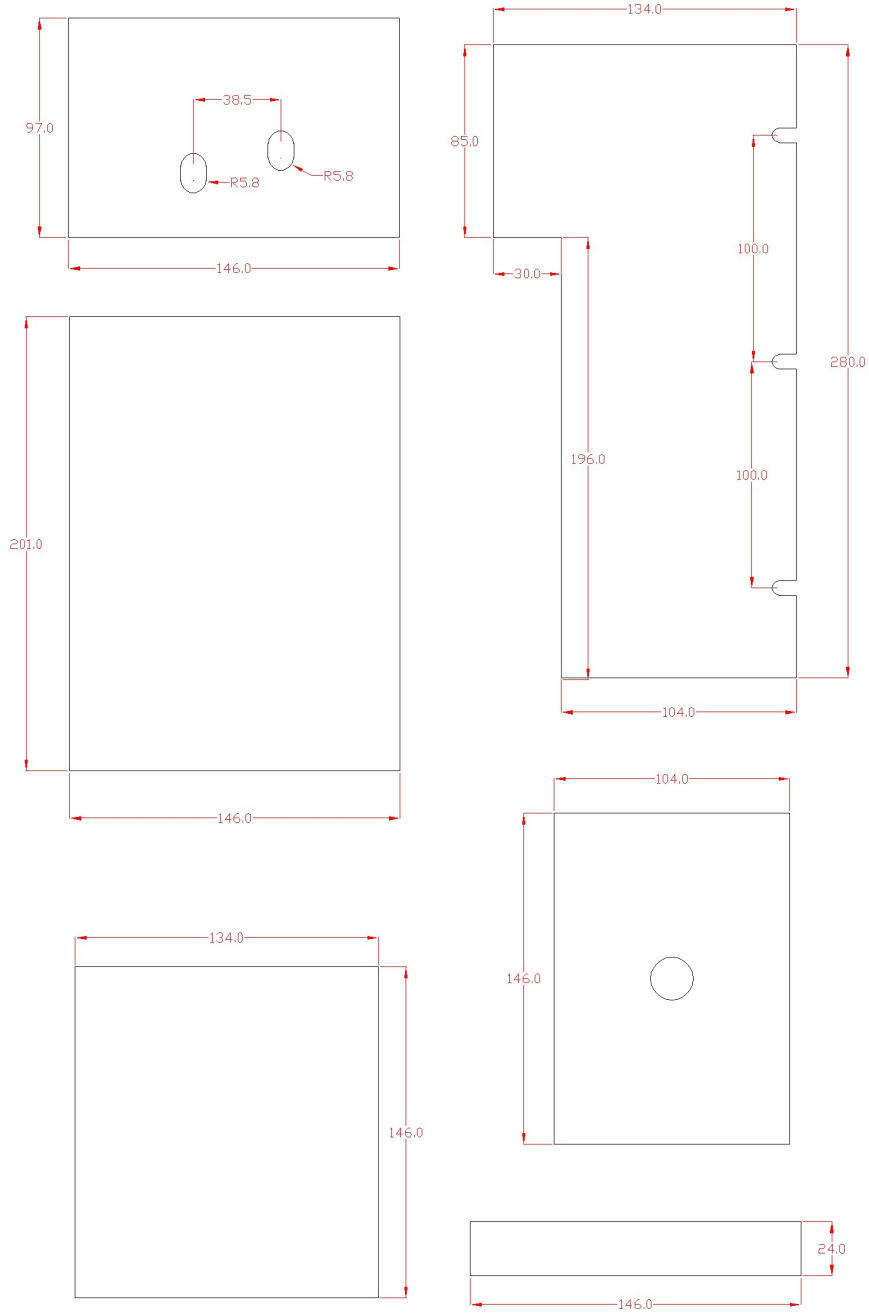
191.     while(porta.F2==0);
192.     move(Ifreq,Mdisp,Istart,tuner);
193.     where = 0;
194.     }
195.     }
196.     }

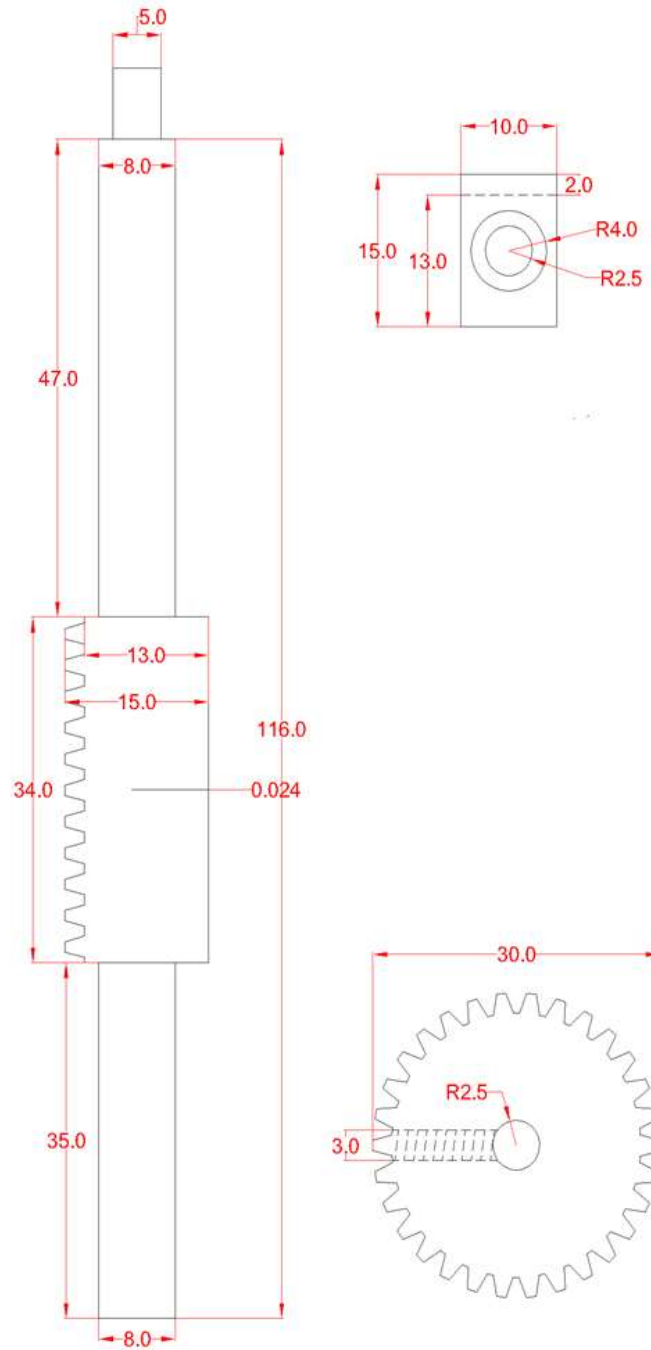
```



D

Üst Kapak Teknik Çizim





- [1] A. C. Guyton and J. E. Hall, "Textbook of Medical Physiology," in *Organization of the Nervous System, Basic Functions of Synapses, and Neurotransmitters*, Elsevier, 2006, pp. 543-557.
- [2] A. C. Guyton and J. E. Hall, "Text Book of Medical Physiology," in *Somatic Sensations: I. General Organization, the Tactile and Position Senses*, Elsevier, 2006, pp. 571-582.
- [3] A. C. Guyton and J. E. Hall, "Text Book of Medical Physiology," in *Sensory Receptors, Neuronal Circuits for Processing Information*, Elsevier, 2006, pp. 559-570.
- [4] E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessell, S. A. Siegelbaum and A. J. Hudspeth, "Principles of Neural Science," McGraw-Hill, 2013, pp. 8-9.
- [5] A. J. Nelson, W. R. Staines, S. J. Graham and W. E. McIlroy, "Activation In SII And SII; The Influence Of Vibrotactile Amplitude During Passive And Task Relevant Stimulation," *Cognitive Brain Research*, pp. 174-184, 2004.
- [6] Y. Hao, B. Manor, J. Liu, K. Zhang, Y. Chai, L. Lipsitz, C.-K. Peng, V. Novak, X. Wang, J. Zhang and J. Fang, "Novel MRI-Compatible Tactile Stimulator for Cortical Mapping of Foot Sole Pressure Stimuli with fMRI," *Magnetic Resonance in Medicine*, pp. 1194-1199, 2013.
- [7] Y. Yu, Yang Jiajia and J. Wu, "Development and Evaluation of a MRI-Compatible Tactile Orientation Stimulator," in *International Conference on Complex Medical Engineering*, Harbin, China, 2011.
- [8] J. Duenas, D. Chapuis, C. Pfeiffed, R. Martuzzi, S. Lonta, O. Blanke and R. Gassert, "Neuroscience Robotics to Investigate Multisensory Integration and Bodily Awareness," in *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011.
- [9] S. T. Francis, E. F. Kelly, R. Bowtell, W. J. Dunseath, S. E. Folger and F. McGlone, "fMRI of the Responses to Vibratory Stimulation of Digit Tips," *Neuro Image*, vol. 11, no. 3, pp. 188-202, 2000.
- [10] R. Ackerly, H. Eusra, C. Andrew, J. Wessberg, H. Olausson and F. McGlone, "An fMRI Study on Cortical Responses During Active Self-Touch and Passive Touch From Others," *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 6, 2012.

- [11] E. Disbrow, T. Roberts and L. Krubitzer, "Somatotopic Organization of Cortical Fields in the Lateral Sulcus of Homo Sapiens: Evidence for SII and PV," *The Journal of Comparative Neurology*, vol. 418, no. 1, 2000.
- [12] J. Ruben, J. Schwiemann, M. Deuchert, R. Meyer, T. Krause, G. Curio, K. Villringer, R. Kurth and A. Villringer, "Somatotopic Organization Of Human Secondary Somatosensory," *Cereb Cortex*, pp. 463-473, 2001.
- [13] R. Ackerley, M. Borich, C. M. Oddo and S. Ionta, "Insights and Perspectives on Sensory-Motor Integration and Rehabilitation," *Multisensory Research*, pp. 607-633, 2016.
- [14] J. M. R. Avilés, M. F. Muñoz, D. Leinböhl, M. Sebastián and S. B. Jiménez, "A New Device to Present Textured Stimuli to Touch with Simultaneous EEG Recording," *Behavior Research Methods*, pp. 547-555, 2010.
- [15] P. J. Broser and C. Braun, "Hydraulic Driven Fast and Precise Nonmagnetic Tactile Stimulator for Neurophysiological and MEG Measurements," *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*, vol. 59, no. 10, pp. 2852-2858, 2012.
- [16] H.-S. Kim, M.-H. Choi and S.-C. Chung, "Development of a Puff- and Suction-Type Pressure Stimulator For Human Tactile Studies," *Behav Research*, pp. 703-710, 2017.
- [17] H.-S. Kim, H.-W. Yeon, M.-H. Choi, J.-H. Kim, J.-S. Choi, J.-Y. Park, J.-H. Jun, J.-H. Yi, G.-R. Tack and S.-C. Chung, "Development of a Tactile Stimulator with Simultaneous Visual and Auditory Stimulation Using E-Prime Software," *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, vol. 16, no. 5, pp. 481-487, 2013.
- [18] D. G. Seo and Y.-H. Cho, "Resonating Tactile Stimulators Based on Piezoelectric Polymer Films," *Journal of Mechanical Science and Technology*, pp. 631-636, 2018.
- [19] A.-C. Zappe, T. Maucher, K. Meier and C. Scheiber, "Evaluation of a Pneumatically Driven Tactile Stimulator Device for Vision Substitution During fMRI Studies," *Magnetic Resonance in Medicine*, pp. 828-834, 2004.
- [20] I. Riquelma, S. M. Hatem and P. Montoya, "Abnormal Pressure Pain, Touch Sensitivity, Proprioception, and Manual Dexterity in Children with Autism Spectrum Disorders," *Neural Plasticity*, 2015.
- [21] H. Cao, X. Xu, Y. Zhao, D. Long and M. Zhang, "Altered Brain Activation and Connectivity in Early Parkinson Disease Tactile Perception," *American Journal of Neuroradiology*, pp. 1969-1974, 2011.

- [22] R. H. Nguyen, C. Gillen, J. C. Garbutt, A. K. Polevio, J. K. Holden, E. M. Francisco and M. Tommerdahl, "Centrally-mediated sensory information processing," *Brain Research* 1498, pp. 53-62, 2013.
- [23] R. H. Nguyen, S. Ford, A. H. Calhoun, J. K. Holden, R. H. Gracely and M. Tommerdahl, "Neurosensory assessments of migraine," *Brain Research* 1498, pp. 50-58, 2013.
- [24] M. Tommerdahl, R. G. Dennis, E. N. Francisco, J. K. Holden, R. Nguyen and O. V. Favorov, "Neurosensory Assessments of Concussion," *Military Medicine*, vol. 181, pp. 45-50, 2016.
- [25] A. J. Velson, A. Premji, N. Rai, T. Hoque, M. Tommerdahl and R. Chen, "Dopamine Alters Tactile Perception in Parkinson's Disease," *Le Journal Canadien Des Sciences Neurologiques*, vol. 39, pp. 52-57, 2012.
- [26] M. Tommerdahl, V. Tannan, J. K. Holden and G. T. Batanek, "Absence of stimulus-driven synchronization effects on sensory perception in autism: Evidence for local underconnectivity?," *Behavioral and Brain Functions*, 2008.
- [27] B. Güçlü, C. Tandır, E. Çanayaz, B. Güner, H. İ. Toz, Ö. Ş. Üneri and M. Tommerdahl, "Tactile processing in children and adolescents with obsessive–compulsive disorder," *Somatosensory & Motor Research*, 2015.
- [28] S. Khan, K. Michmizos, M. Tomer Dahl, S. Ganesan, M. G. Kitzbichler, M. Zetino, K.-L. A. Garel, M. R. Herbert, M. S. Hamalainen and T. Kenet, "Somatosensory cortex functional connectivity abnormalities in autism show opposite trends, depending on direction and spatial scale," *Brain*, pp. 1394-1409, 2015.
- [29] D. A. King, P. A. Hume and M. Tommerdahl, "Use of the Brain-Gauge Somatosensory Assessment for Monitoring Recovery from Concussion: A Case Study," *Journal of Physiotherapy Research*, vol. 2, 2018.
- [30] D. Powell, "Exploratory Analysis of the effects of University Rugby on Brain Health monitored via a Somatosensory Device," University of Cumbria, Carlisle, 2018.
- [31] N. A. J. Puts, A. D. Harris, D. Crocetti, C. Nettles, H. S. Singer, M. Tommerdahl, R. A. E. Edden and S. H. Mostofsky, "Reduced GABAergic inhibition and abnormal sensory symptoms in children with Tourette syndrome," *the American Physiological Society*, pp. 808-817, 2015.
- [32] N. A. Puts, E. L. Wodka, A. D. Harris, D. Crocetti, M. Tommerdahl, S. H. Mostofsky and R. A. Edden, "Reduced GABA and Altered Somatosensory Function in Children with Autism Spectrum Disorder," *Autism Research*, 2016.

- [33] N. A. J. Puts, A. D. Harris, M. Mikkelsen, M. Tommerdahl, R. A. E. Edden and S. H. Moskofsky, "Altered tactile sensitivity in children with attention-deficit hyperactivity disorder," *Sensory Processing*, pp. 2568-2578, 2017.
- [34] K. L. Collins, D. L. McKean, K. Huff, M. Tommerdahl, O. V. Favorov, R. S. Waters and J. W. Tsao, "Hand-to-Face Remapping But No Differences in Temporal Discrimination Observed on the Intact Hand Following Unilateral Upper Limb Amputation," *Frontiers in Neurology*, vol. 8, 2017.
- [35] W. Pawluk, R. Dennis and M. Tommerdahl, "Tracking the effects of pulsed electromagnetic with a history of traumatic brain injury (TBI) with the Brain Gauge.," *Cortical Metrics*, vol. 1, 2017.
- [36] E. Francisco, J. Holden and M. Tommerdahl, "Assessing Traumatic Brain Injury via Cortical Metrics," *Cortical Metrics*.
- [37] S. E. Folger, V. Tannan, Z. Zhang, J. K. Holden and M. Tommerdahl, "Effects of the N-methyl-D-Aspartate receptor antagonist dextromethorphan on vibrotactile adaptation," *BMC Neuroscience*, 2008.
- [38] E. M. Francisco, J. K. Holden, R. H. Nguyen, O. V. Favorov and M. Tommerdahl, "Percept of the duration of a vibrotactile stimulus is altered by changing its amplitude," *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2015.
- [39] E. Francisco, J. Holden, Z. Zhang, O. Favorov and M. Tommerdahl, "Rate dependency of vibrotactile stimulus modulation," *Brain Research*, pp. 76-83, 2011.
- [40] E. Francisco, V. Tannan, Z. Zhang, J. Holden and M. Tommerdahl, "Vibrotactile amplitude discrimination capacity parallels magnitude changes in somatosensory cortex and follows Weber's Law," *Experimental Brain Research*, 2008.
- [41] Z. Zhang, E. M. Francisco, J. K. Holden, R. G. Dennis and M. Tommerdahl, "Somatosensory Information Processing in the Aging Population," *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 3, 2011.
- [42] Y. Maeda, N. Kettner, J. Holden, J. Lee, J. Kim, S. Cina, C. Malatesta, J. Gerber, C. McManus, J. Im, A. Libby, P. Mezzacappa, L. R. Morse, K. Park, J. Audette, M. Tommerdahl and V. Napadow, "Functional deficits in carpal tunnel syndrome reflect reorganization of primary somatosensory cortex," *Brain*, pp. 1741-1752, 2014.
- [43] M. B. Nebel, S. Folger, M. Tommerdahl, M. Hollins, F. McGlone and G. Essick, "Temporomandibular Disorder Modifies Cortical Response to Tactile Stimulation," *American Pain Society*, vol. 11, pp. 1083-1094, 2010.
- [44] R. H. Nguyen, B. Kirsch, R. Yu, S. Shim, P. Mangum, J. K. Holden, E. M. Francisco and M. Tommerdahl, "An Undergraduate Laboratory Exercise to Study

Sensory Inhibition," *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education (JUNE)*, pp. A169-A173, 2013.

- [45] R. H. Nguyen, T. M. Forshey, J. K. Holden, E. M. Francisco, B. Kirsch, O. Favorov and M. Tommerdahl, "Vibrotactile discriminative capacity is impacted in a digit-specific manner with concurrent unattended hand stimulation," *Exp. Brain Res.*, 2014.
- [46] N. A. J. Puts, E. L. Wodka, M. Tommerdahl, S. H. Hostofsky and R. A. E. Edden, "Impaired tactile processing in children with autism spectrum disorder," *Neurophysiol*, pp. 1803-1811, 2014.
- [47] N. A. Puts, R. A. Edden, E. L. Wodka, S. H. Mostofsky and M. Tommerdahl, "A vibrotactile behavioral battery for investigating somatosensory processing in children and adults," *Journal of Neuroscience Methods*, pp. 39-47, 2013.
- [48] S. Lowe, A. Tommerdahl, R. Lensch, E. Francisco, J. Holden and M. Tommerdahl, "An Undergraduate Laboratory Exercise that Demonstrates the Difference Between Peripherally and Centrally Mediated Measures," *The Journal of Undergraduate Neuroscience Education (JUNE)*, pp. A24-A28, 2016.
- [49] V. Tannan, R. Dennis and M. Tommerdahl, "A novel device for delivering two-site vibrotactile stimuli to the skin," *Jurnal of Neuroscience Methods*, pp. 78-81, 2005.
- [50] V. Tannan, J. K. Holden, Z. Zhang, G. T. Baranek and M. A. Tommerdahl, "Perceptual Metrics of Individuals With Autism Provide Evidence for Disinhibition," *Autism Research*, pp. 223-230, 2008.
- [51] V. Tannan, B. L. Whitsel and M. A. Tommerdahl, "Vibrotactile adaptation enhances spatial localization," *Brain Research*, pp. 109-116, 2006.
- [52] Z. Zhang, D. A. Zolnoun, E. M. Francisco, J. K. Holden, R. G. Dennis and M. Tommerdahl, "Altered Central Sensitization in Subgroups of Women With Vulvodynia," *Clinical Pain*, 2011.
- [53] Z. Zhang, V. Tannan, J. K. Holden, R. G. Dennis and M. Tommerdahl, "A quantitative method for determining spatial discriminative capacity," *BioMedical Engineering OnLine*, 2008.
- [54] B. I. Whitsel, O. V. Favorov, Y. Li, J. Lee, P. M. Quibrera and M. Tommerdahl, "Nociceptive Afferent Activity Alters the SI RA Neuron Response to Mechanical Skin Stimulation," *Oxford University Press*, pp. 2900-2915, 2010.
- [55] M. Tomer dahl, K. D. Hester, E. R. Felix, M. Hollins, O. V. Favorov, P. M. Quibrera and B. L. Whitsel, "Human vibrotactile frequency discriminative capacity after adaptation to 25 Hz or 200 Hz stimulation," *Brain Research*, 2005.

- [56] E. L. Wodka, N. A. J. Puts, E. M. Mahone, R. A. Edden, M. Tommerdahl and S. H. Mostofsky, "The Role of Attention in Somatosensory Processing: A Multi-trait, Multi-method Analysis," *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2016.
- [57] C. V. Turco, M. B. Locke, J. El-Sayes, M. Tommerdahl and A. J. Nelson, "Exploring Behavioral Correlates of Afferent Inhibition," *Brain Science*, 2018.
- [58] M. Tommerdahl, V. Tannan, C. J. Cascio, G. T. Baranek and B. L. Whitsel, "Vibrotactile adaptation fails to enhance spatial localization in adults with autism," *Brain Research*, vol. 123, p. 116, 2007.
- [59] E. M. Francisco, J. K. Holden, R. H. Nguyen, O. V. Favorov and M. A. Tommerdahl, "Neurosensory Assessments of Concussion," Chapel Hill, 2012.
- [60] N. Rai, A. Premji, M. Tommerdahl and A. J. Nelson, "Continuous theta-burst rTMS over primary somatosensory cortex modulates tactile perception on the hand," *Clinical Neurophysiology*, pp. 1226-1233, 2012.
- [61] V. Tannan, S. Simons, R. G. Dennis and M. Tommerdahl, "Effects of adaptation on the capacity to differentiate simultaneously delivered dual-site vibrotactile stimuli," *Brain Research*, pp. 164-170, 2007.
- [62] M. Tommerdahl, O. L. Favorov and B. L. Whitsel, "Effects of high-frequency skin stimulation on SI cortex: Mechanisms and functional implications," *Somatosensory and Motor Research*, pp. 151-169, 2005.
- [63] M. Tommerdahl, S. B. Simons, J. S. Chiu, O. Favorov and B. Whitsel, "Response of SI cortex to ipsilateral, contralateral and bilateral flutter stimulation in the cat," *BMC Neuroscience*, 2005.
- [64] B. L. Whitsel, E. F. Kelly, M. Quibrera, M. Tommerdahl, Y. Li, O. L. Favorov, M. Xu and B. C. Metz, "Time-dependence of SI RA neuron response to cutaneous flutter stimulation," *Somatosensory & Motor Research*, pp. 45-69, 2003.
- [65] M. Hollins, A. K. Goble, B. L. Whitsel and M. Tommerdahl, "Time Course and Action Spectrum of Vibrotactile Adaptation," *Somatosensory and Motor Research*, vol. 7, pp. 205-221, 1990.
- [66] S. L. Wolfe, "Mechanoreception," Salem Press Encyclopedia of Health, 2016. [Online]. Available: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=93872094&lang=tr&site=eds-live>. [Accessed 2 March 2019].
- [67] M. Tommerdahl, "Commentary on: Absence of Stimulus-driven Synchronization Effects on Sensory Perception in Autism: Evidence for Local Under-Connectivity," *Journal of Neurology & Neuromedicine*, pp. 24-27, 2016.

- [68] T. Tavassoli, K. Bellesheim, M. Tommerdahl, J. M. Holden, A. Kolevzon and J. D. Buxbaum, "Altered Tactile Processing in Children with Autism Spectrum Disorder," *Autism Research*, pp. 616-620, 2016.
- [69] C. J. Vierck, B. L. Whitsel, O. V. Favorov, A. W. Brown and M. Tommerdahl, "Role of primary somatosensory cortex in the coding of pain," *Pain*, pp. 334-344, 2013.
- [70] R. H. Nguyen, J. K. Holden, E. M. Francisco, S. Ford, A. H. Calhoun, O. V. Favorov and M. Tommerdahl, "Neurosensory Assessments of Migraine," in *Biomedical Engineering*, Chapel Hill, 2012.
- [71] O. Kursun, B. Erdogan Sakar, M. E. Isenkul, C. O. Sakar, F. Gurgen, S. Delil, H. Apaydin, M. Tommerdahl and O. V. Favorov, "Analysis of Effects of Parkinson's Disease on the Somatosensory System via CM-4 Tactile Stimulator," in *International Conference on Applied Informatics for Health and Life Sciences*, Istanbul, 2013.
- [72] O. V. Favorov, E. Francisco, L. Zai and M. Tommerdahl, "Quantification of Mild Traumatic Brain Injury via Cortical Metrics: Analytical Methods," in *MHSRS-16-308*, 2017.
- [73] M. Tommerdahl, R. G. Dennis, E. M. Francisco, J. K. Holden, R. Nguyen and O. V. Favorov, "Neurosensory Assessments of Concussion," 2012.
- [74] J. K. Holden, R. H. Nguyen, E. M. Francisco, Z. Zhang, R. G. Dennis and M. Tommerdahl, "A novel device for the study of somatosensory information processing," *Journal of Neuroscience Methods*, pp. 215-220, 2012.
- [75] M. Tommerdahl, B. L. Whitsel, O. V. Favorov, C. B. Metz and B. L. O'quinn, "Responses of Contralateral SI and SII in Cat to Same-Site Cutaneous Flutter Versus Vibration," *The American Physiological Society*, pp. 1982-1992, 1999.
- [76] A. C. Guyton and H. E. John, *Tıbbi Fizyoloji*, 12 ed., Elsevier, 2007.
- [77] O. V. Favorov, B. L. Whitsel, J. S. Chiu and M. Tommerdahl, "Activation of cat SII cortex by flutter stimulation of contralateral vs. ipsilateral forepaws," *Brain Research*, 2005.
- [78] C. B. Jones, T. Lulic, A. Z. Bailey, T. N. Mackenzie, Y. Q. Mi, M. Tommerdahl and A. J. Nelson, "Metaplasticity in human primary somatosensory cortex: effects on physiology and tactile perception," *Neurophysiology of Tactile Perception: A Tribute to Steven Hsiao*, pp. 2681-2691, 2016.
- [79] S. L. Juliano, B. L. Whitsel, M. Tommerdahl and S. S. Cheema, "Determinants of Patchy Metabolic Labeling in the Somatosensory Cortex of Cats: A Possible Role for Intrinsic Inhibitory Circuitry," *The Journal of Neuroscience*, 1989.

- [80] S. L. Juliano, R. A. Code, M. Tommerdahl and D. E. Eslin, "Development of Metabolic Activity Patterns in the Somatosensory Cortex of Cats," *Journal of Neurophysiology*, pp. 2117-2127, 1993.
- [81] A. Kohn, C. Metz, M. Quibrera, M. A. Tommerdahl and B. L. Whitsel, "Functional Neocortical Microcircuitry Demonstrated with Intrinsic Signal Optical Imaging in Vitro," *Neuroscience*, vol. 95, pp. 51-62, 2000.
- [82] J. Lee, Y.-E. Han, O. Favorov, T. mark, B. Whitsel and C. J. Lee, "Fluoride Induces a Volume Reduction in CA1 Hippocampal Slices Via MAP Kinase Pathway Through Volume Regulated Anion Channels," *Experimental Neurobiology*, pp. 72-78, 2016.
- [83] J. Mitchell, "Linear Motion Devices: What Is A Voice-Coil Actuator?," *Laser Focus World*, vol. 54, no. 7, pp. 41-43, 2018.
- [84] G. Ö. M. B. T. Baykal, Autocad 2016: İki Boyutlu Tasarı-Giriş ve Orta Düzey, İstanbul: Abaküs, 2016.
- [85] H. Tatar and İ. Çömlek, Catia, İstanbul: Pusula Yayıncılık, 2013.
- [86] J. Losaw, "I Have a 3D Printer.. Now What?," *Inventors' Digest*, vol. 31, no. 3, pp. 22-25, 2015.
- [87] M. Salihmuhsin, S. Baba, A. S. Yılmaz, M. Sekkeli and A. Dizibuyuk, "A Transistor Based Fast Driving Circuit for Bipolar Step Motor Driving," *Turkish Journal of Science & Technology*, vol. 9, pp. 63-66, 2014.
- [88] "MotionKing Motor," MotionKing Motor Industry Co., Ltd. , [Online]. Available: http://www.svaltera.ua/catalogs/knowledge-base/brands/motionking/HB_Stepper_Motor_E.pdf. [Accessed 4 Mart 2019].
- [89] C. Goldsberry, "Plasma, Laser and Waterjet Cutting - What's new.," *Penton's Welding Magazine*, vol. 80, no. 8, pp. 16-19, 2007.
- [90] "CW-Motor," Motors and Drivers, [Online]. Available: <http://www.cw-motor.com/index.php?m=content&c=index&f=show&catid=214&l=3&id=336>. [Accessed 4 Mart 2019].
- [91] R. S. Piepho and W. S. Wu, "A Comparison of RISC Architectures," *IEEE Micro*, pp. 51-62, 1989.
- [92] "Microchip," Mikrodenetleyici , [Online]. Available: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F46K22>. [Accessed 4 Mart 2019].

- [93] "Mouser," [Online]. Available: www.mouser.com/ds/2/260/LRS-75-SPEC-806318.pdf. [Accessed 4 Mart 2019].
- [94] "Mouser," [Online]. Available: www.mouser.com/ds/2/277/MP1484-1186021.pdf. [Accessed 4 Mart 2019].
- [95] Digilentinc, "Digilent," digilentinc, 20 February 2019. [Online]. Available: <https://reference.digilentinc.com/reference/programmable-logic/atlys/start>. [Accessed 20 February 2019].
- [96] V. Levent, "FPGA based hardware platform for video processing, Master's thesis," Yildiz Technical University. YOK Thesis No:406560, 2015.
- [97] A. T. G. S. A. A. R. Mayne, "Towards a slime Mould-FPGA interface," *Springer Biomedical Engineering Letters*, vol. 5, pp. 51-77.
- [98] N. E. G. Korres, "Haptogram: Ultrasonic Point-Cloud Tactile Stimulation," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 7758-7769.
- [99] M. T. T. I. H. S. T. Hoshi, "Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound," *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 3, pp. 155-165.
- [100] A. E. G. e. al., "Using high-level synthesis for rapid design of video processing pipes," in *2016 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Yerevan, Armenia, 2016.
- [101] H. Gamgam and B. Altunkaynak, *SPSS Uygulamalı Parametrik Olmayan Yöntemler*, Seçkin Yayıncılık, 2017.
- [102] N. A. Erilli, *İstatistik-2*, Seçkin, 2015.
- [103] C. J. Hanley, M. Tommerdahl and D. J. McGonigle, "Stimulating somatosensory psychophysics: a double-blind, sham-controlled study of the neurobiological mechanisms of tDCS," *Frontiers in System Neuroscience*, 2015.
- [104] A. M. Bakır and C. Aydın, *İstatistik*, Nobel Akademik Yayıncılık, 2015.
- [105] "Raspberry," Elektronik, [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/>. [Accessed 12 Mart 2019].
- [106] "Gumstix," Elektroink, [Online]. Available: <https://www.gumstix.com/>. [Accessed 12 Mart 2019].
- [107] "Microsoft Azure," Software, [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/tr-tr/services/stream-analytics/>. [Accessed 12 Mart 2019].

- [108] "Emotive," Sensör, [Online]. Available: <https://www.emotiv.com/>. [Accessed 12 Mart 2019].

İletişim Bilgisi: coskun.kazma@gmail.com

Makale

1.

Bildiri

2. C. Kazma, N. Aydın “A Microcontroller Based System for Measuring the Central Neural System Response” 2017, IEEE ICPCSI.
3. C. Kazma, M. Çardak “Duyusal Tepkilerin Merkezi Sinir Sistemi Üzerindeki Ölçümü İçin Yeni Bir Sistem” 2018, 16. Ulusal Sinirbilim Kongresi-0106.
4. C. Kazma, V. E. Levent, N. Aydın “Design and implementation of Tactile Stimulator”, 2019, IEEE AHS 2019.
5. C. Kazma, V. E. Levent, N. Aydın “Duyusal Tepkilerin Merkezi Sinir Sistemi Üzerindeki Ölçümü İçin Yeni Bir Sistem” 2019, UBMK.

Proje

6. 2014-04-01-DOP02 nolu “Nöropatik Ağrı Tanı ve Tedavisinde Kullanılacak Kortikal Ölçev Sisteminin Donanım Olarak Gerçeklenmesi”.