

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKET BOZUKLUKLARININ TANI VE TAKİBİ İÇİN
KOLAY TAŞINIR ALTERNATİF BİR YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

Berk SAĞLAM

Biyofizik Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA

2017

T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKET BOZUKLUKLARININ TANI VE TAKİBİ İÇİN
KOLAY TAŞINIR ALTERNATİF BİR YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

Berk SAĞLAM

Biyofizik Programı
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Nuhan PURALI

ANKARA

2017

**HAREKET BOZUKLUKLARININ TANI VE TAKİBİ İÇİN KOLAY TAŞINIR ALTERNATİF BİR
YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

Araştırma Görevlisi Berk SAĞLAM

Bu çalışma 09.01.2017 tarihinde jürimiz tarafından "Biyofizik Programı" nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı (Tez Danışmanı): *Prof. Dr. Nuhan PURALI*

Hacettepe Üniversitesi

(imza)

Üye:

Doç. Dr. Süha YAĞCIOĞLU

Hacettepe Üniversitesi

(imza)

Üye:

Doç. Dr. Barkın İLHAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi

(imza)

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun bulunmuş ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu kararıyla onaylanmıştır.

(imza)

Diclehan Orhan
Prof. Dr. Diclehan Orhan

Enstitü Müdürü

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

8 Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirirse bile, teziniz arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir)

o Tezimin/Raporumuntarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir)

o Tezimin/Raporumun.....tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.

o Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi

09 /01/2017

Berk Sağlam

ETİK BEYAN

Bu çalışmadaki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, yararlandığım kaynaklara bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında zgn olduğunu, Prof. Dr. Nuhan Puralı danışmanlığında tarafımdan üretildiğini ve Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Yönergesine göre yazıldığını beyan ederim.



(İmza)

Araş. Gör. Berk Sağlam

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında yardım ve desteklerini benden esirgemeyen aşağıda belirteceğim kişilere minnetlerimi sunarak teşekkür ediyorum.

Öncelikle, maddi manevi desteklerini hiç eksik etmeyen annem, Prof. Dr. Semran Sağlam'a ve babam, Prof. Dr. Necdet Sağlam'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmamın eksiksiz her adımında bana verdiği destek, yardım ve sabrı için, tez danışmanım Prof. Dr. Nuhan Puralı'ya minnetlerimi sunar ve teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmamda, çok önemli kısımlardan olan nöropati hasta grubu oluşturmamda desteğini esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet Deniz Belen'e, istatistiksel analizleri ileri düzeye taşımamı sağlayan Doç. Dr. Barkın İlhan'a ve kayıtlar alınmasında hep yardımcı olan tekniserimiz Gülser Bayram'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmamda yardımlarını benden hiç esirgemeyen, aynı bölümde bulunmaktan onur duyduğum Doç. Dr. Babür Şahinoğlu'na, Doç. Dr. A. Ruhi Soylu'ya, Doç. Dr. Süha Yağcıoğlu'na, Dr. Nurhan Erbil'e, Araş. Gör. Bora Ergin'e ve Araş. Gör. Çağrı Çoşkun'a teşekkürler ederim.

Hacettepe Biyofizik bölümünde varlıkları ile bana destek olan Günay Şahinkaya'ya, Harun Ekici'ye ve Cemal Çağlar'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak da, tez çalışmamdaki şema tasarımlarında bana yardım eden Mert Aslan'a ve hayatıma her an renk katmaya devam eden tüm sevgili dostlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

Sağlam, B., Hareket Bozukluklarının Tanı ve Takibi için Kolay Taşınır Alternatif Bir Yöntem Geliştirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Programı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2017.

Hareket sistemi insanlarda yer değiştirme ve karmaşık hareketleri sentezleme kabiliyetini sağlayan önemli bir unsundur. Bu nedenle nicel ve nitel takibi insan sağlığı için hayati düzeyde önemlidir. Günümüzde bu amaca yönelik olup halen kullanılmakta olan yöntemlerin tamamı, sabit yerleşimli, pahalı olmaları ve kullanım zorluğu taşınmaları gibi ciddi kısıtlamalara sahiptir. Bu tez çalışmasında, prototipi üretilmiş olan bir ivmeölçer kullanarak, hareket sistemini değerlendirmesini yapabilecek, kolay uygulanabilir, taşınır ve ucuz bir nicel tanı takip yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan ve birimimizde (İlhan ve Puralı 2010) tasarlanıp prototipi üretilmiş olan, cihaz temel olarak bir ivme ölçme sistemidir. Cihaz çok amaçlı, çok kanallıdır ve medikal amaçları kolaylıkla yerine getirecek şekilde küçültülmüştür. Ayrı ayrı parmaklara ve tüm ekstremitelere uygulanabilir özelliktedir. Cihaz, sensörler, merkez işlemci, USB bağlantısı ve bilgisayar ara yüzü olmak üzere 4 ana kısımdan oluşur. Bu çalışmada, geliştirdiğimiz cihaz ve yöntemin etkinliği periferik nöropati hasta grubu üzerinde ilk olarak test edilmiştir. Anatomik ve fonksiyonel bilgiler göz önüne alınarak geliştirilmiş bir dizi el hareketi protokolü uygulanmış, ivme cevapları test ve kontrol grubundan kayıt edilmiştir. Bu kayıtlar, sağlıklı gönüllülerden alınanlarla ve hastaların ameliyat sonrası kayıtları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlere göre, özellikle Protokol 2 için hasta ve kontrol grupları arasında istatistiksel düzeyde anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma öncü bir çalışmadır ve periferik nöropati hastalarında, hasta ve sağlıklı birey arasındaki farkı teşhis etmede başarılı olmuştur. Kısıtlı sayıda hasta ile yapılan çalışmaya rağmen anlamlı ölçüde farklar gözlenmiştir. Takip eden dönemde, cihazın çalışma aralığı ve çözünürlüğü geliştirilip daha mükemmel bir cihaz oluşturulduktan sonra, diğer hareket bozukluğu hastalık gruplarına da uygulanacaktır.

Anahtar Kelimeler: İvmeölçer, Periferik nöropati.

ABSTRACT

Saglam, B., Developing an Easy Portable Alternative Method for Diagnosis and Prosecution of Movement Disorders, Hacettepe University Faculty of Medicine, Biophysics Master Thesis, Ankara, 2017. The motor system is an important element that provides the ability to synthesize relocation and synthesis of various complex movements in humans. Therefore, it is essential, for the human health, to monitor its development both quantitatively and qualitatively. The conventional methods serving the purpose, are bound by limitations such as immobility, cost of the devices and difficulty in evaluation of the results. In the present thesis work, the primary aim was to develop an intuitive, portable and cost-effective method capable of assessing the motor system quantitatively by using a prototype accelerometer device. The device, used in the study, has been designed and prototyped in our unit (Ilhan and Puralı 2010). It is essentially, a miniature three dimensional acceleration measurement system. It has up to 6 channels, and has been downsized to easily fulfil its medical use. Its sensors can be attached to individual fingers and all extremities easily. The device is consisted of 4 main components: sensors, central processor, USB connection module and computer interface. In the present study, the effectiveness of the device was firstly tested on a peripheral neuropathy patient group. The acceleration responses in response to hand gesture protocols designed based on established anatomical and functional information, were recorded. The recordings were compared to those recorded in the control group and post-operation records of the patients. Analyses indicated that there is a statistically significant difference between the patient and control groups, especially when Protocol 2 responses were compared. This is a ground-breaking study. The results indicated that the novel method is capable identifying the differences between the patients and the healthy individuals in peripheral neuropathy cases though the number of patients was limited. The next steps will be improving the operation range and resolution power of the device, and using it on the other movement disorders and disease groups.

Key Words: Accelerometer, Peripheral neuropathy

İÇİNDEKİLER

ONAY SAYFASI	iii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI	iv
ETİK BEYAN SAYFASI	v
TEŞEKKÜR	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER	xi
TABLolar	xiv
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
3. GEREÇ VE YÖNTEM	6
3.1. Araştırmada Kullanılan Cihaz Bilgileri	7
3.2. Uygulama Prensipleri ve Tanı Algoritmaları	8
3.2.1. Hastanın veya Sağlıklı Gönüllünün Kayda Hazırlanması	9
3.2.2. Protokol 1-P1, Referans Kaydı	10
3.2.3. Protokol 2-P2, Dijital Abdüksiyon ve Addüksiyon Hareketi	10
3.2.4. Protokol 3-P3, Beş Parmak Fleksiyon ve Ekstansiyon Hareketi	11
3.2.5. Protokol 4-P4, Fiske Hareketi	11
3.3. İvme Kayıtlarının Analizi	14
3.3.1. Protokol 2-P2 Kayıt Verilerinin Konvansiyonel Yöntemler Kullanarak Analizi	14
3.3.2. P2 Verilerinin Gelişmiş Yöntemler Kullanarak Analizi	22
4. SONUÇLAR	
4.1. Protokol 2, Konvansiyonel Yöntemler ile Elde Edilen Sonuçlar	41
4.1.1. P2, Yüzük ve İşaret Parmak Farkı için Elde Edilen Sonuçlar	41

4.1.2. P2, Baş ve Serçe Parmak Farkı için Elde Edilen Sonuçlar	43
4.2. Protokol 2, Gelişmiş Yöntemler ile Elde Edilen Sonuçlar	46
4.2.1. P2, Yüzük ve İşaret Parmak Farkı için İleri Düzey Yöntemlerle Elde Edilen Sonuçlar	46
4.2.2. P2, Baş ve Serçe Parmak Farkı için İleri Düzey Yöntemlerle Elde Edilen Sonuçlar	48
5. TARTIŞMA	50
6. KAYNAKLAR	54
7. EKLER	
EK-1: Tez Çalışması ile ilgili Etik Kurul İzinleri	
8. ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER

Şekil	Sayfa
2.1 Hareket sisteminin şematik gösterimi	2
2.2 Sadeleştirilmiş hareket sistemi modeli	3
3.1 İvme ölçüm cihazı baskı devre şeması	7
3.2 Cihazın 5 Sensörü, merkez işlemcisi ve USB bağlantısı	8
3.3 Cihazın şematik olarak gösterimi	8
3.4 Elin kayda hazırlanması	9
3.5 Protokol 2, P2	10
3.6 Protokol 3, P3	11
3.7 Protokol 4, P4	12
3.8 Servikal pleksus dallanması	13
3.9 Protokol 2 için beş parmak kaydı	15
3.10 Cihazın sensörlerinden biri	16
3.11 P2 analizindeki fark sinyali ve filtrelenmiş hali	17
3.12 Abdüksiyon sinyallerinin tespiti için yapılan analiz	18
3.13 Karşılaştırma analizi için kaydedilen abdüksiyon sinyaline bir örnek	19
3.14 Baş ve serçe parmak fark sinyali ve filtrelenmiş hali	20
3.15 Baş ve serçe parmak farkı abdüksiyon sinyali tespit analizi	21
3.16 Abdüksiyon sinyaline bir örnek	22
3.17 Kontrol ve hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	23
3.18 Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	24
3.19 Ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	25
3.20 Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	26

3.21	Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	27
3.22	Ameliyat sonrası ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	28
3.23	Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	29
3.24	Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	30
3.25	Ameliyat sonrası ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	31
3.26	Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	32
3.27	Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	33
3.28	Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları	34
3.29	Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	35
3.30	Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	36
3.31	Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası	37
3.32	Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	38
3.33	Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	39

3.34	Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması	40
4.1	P2(x) için abdüksiyon sinyali ortalama analizi	41
4.2	Sağlıklı bireylerden alınan kayıtların ortalaması ile her bir hastaya ait kayıtların üst üste bindirilmiş hali	42
4.3	Sağlıklı gönüllülerde Baskın el analizi	43
4.4	Baş parmak-serçe parmak abdüksiyon fark sinyali ortalama analizi	44
4.5	Kontrol grubu ortalaması ile her bir hastaya ait ivme kayıtlarının karşılaştırılması	45
4.6	Sağlıklı gönüllülerde baskın el analizi (Baş ve serçe parmak farkı için)	46
5.1	P2 ivme kaydından kümülatif toplam ile bulunan parmak hareket hızları ve aynı işlem tekrarı ile bulunan parmak yolu	51

TABLÖLAR

Tablo	Sayfa
3.1 Araştırmaya kabul kriterleri	6
3.2 Parmak hareketleri ve ilgili sınırlar	14



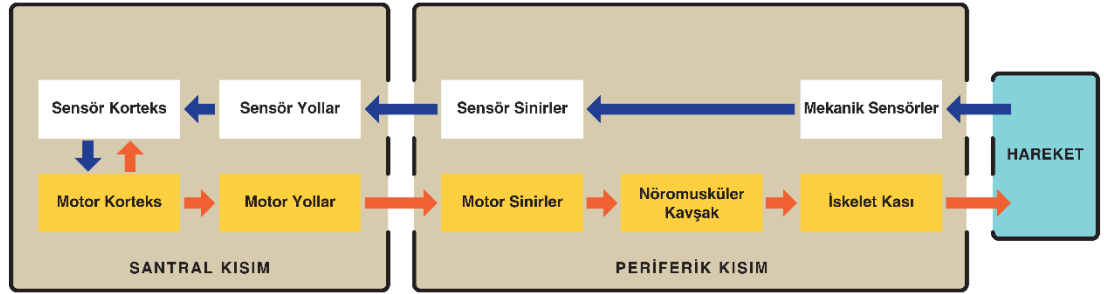
1. GİRİŞ

Hareket sistemi insanda, yer değiştirme kabiliyetini ve üç boyutlu uzayda karmaşık hareketlerin tasarlanıp sentezlemesini sağlayan yegâne sistemdir (1). Bu nedenle, hareket sisteminin nitel ve nicel yöntemlerle takibi, sağlıklı bireylerde hareket sisteminin gelişiminin ve patolojik durumlarda ilgili hastalığın durumunun değerlendirilmesi için büyük öneme sahiptir. Bu tez çalışmasında, prototipi birimizde üretilmiş olan bir cihaz kullanılarak, hareket sisteminin işlevinin, nicel olarak değerlendirilmesine imkân sağlayacak, kolay uygulanabilir, taşınabilir ve ucuz bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Hareket sistemini ilgilendiren hastalıklar takip edilirken, hastalığın ilerlemesi veya gerilemesinin ölçümlerle belirlenebilmesi, tedavinin akılcı olarak planlaması için çok önemlidir. Bu işlemlerin takibini bir ölçüde olsa yapabilen, halen kullanılmakta olan bazı sistemler vardır. Ancak, bizim geliştirdiğimiz sistemle kıyaslandığında hepsinin kendine özel bazı kısıtlamaları veya eksiklikleri olduğu görülmektedir. Örneğin; mevcut yöntemlerin büyük çoğunluğu sadece nitel sonuçlar verirler ki bunların yorumlanması belli ölçüde objektiflikten uzaktır ve yorum işleminin kendisi de ek bir uzmanlık gerektirir. Ayrıca mevcut yöntemlerin hepsi ciddi ölçüde maliyetlidir. Bir kısmı ise yerleşik bir düzende uygulama gerektiren “taşınmaz” vasıfıdır. Bu projede, hareket sistemi fonksiyonel durumunun nicel değerlendirilmesine imkân sağlayacak küçük, taşınabilir, rakiplerine göre daha az karmaşık ve ucuz, ticari değeri olma potansiyeline sahip bir ivmeölçer cihaz ve değerlendirme yöntemi geliştirilmesi ve bu şekilde mevcut tanı ve takip yöntemlerine göre kolay uygulanabilir bir alternatifin kazandırılması amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasında kendi imkânlarımızla geliştirdiğimiz bu özellikte olan böyle bir cihazın klinik etkinliği periferik nöropati hastalarında, sağlıklı gönüllülere karşı, denenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Vücudumuzdaki kas ve iskelet sistemini kontrol eden hareket sistemi, insanın hareket kabiliyetini sağlayan yegâne unsurunu teşkil eder. Hareket sistemi motor korteksten başlayıp kaslarda sonlanan, merkezi ve periferik çok unsurlu bir sistemden oluşmuştur (1). Ayrıca, kontrol ve koordinasyon ile ilgili olmak üzere, kas içiciklerinden ve eklem kapsüllerinden kalkan afferent algı yolağı da hareket sistemi içinde düşünülebilir. (Şekil 2.1)



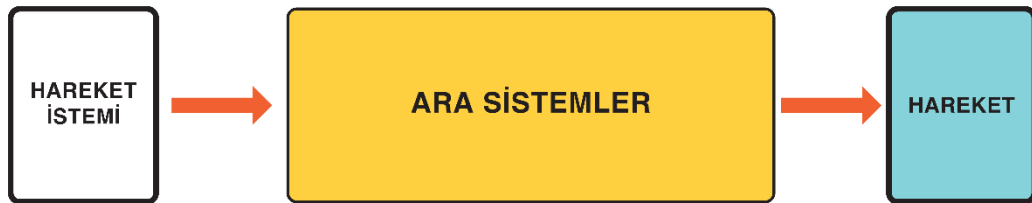
Şekil 2.1. Hareket sisteminin şematik gösterimi.

Hareket sistemi merkezden perifere doğru, gidiş yönünde 5 temel farklı kısımdan oluşmuştur (Bkz. Şekil 2.1). Bu kısımlar, ince yapı, anatomik yerleşim ve gerçekleştirdikleri fonksiyon açısından birbirlerinden belirgin farklar gösterirler. Sağlıklı bir gelişim esnasında tüm bu sistemlerin düzgün ve eşzamanlı bir şekilde gelişmesi gerekir. Eğer herhangi birinde bir aksama gerçekleşirse, hareket sisteminin bütününe gelişimi aksayacaktır. Erişkinlerde ise bu kısımlardan herhangi birindeki fonksiyon kaybı, hareket sisteminde patolojik sonuçlara neden olacaktır. Bu yüzden hareket sisteminin fonksiyonel durumunun ölçümü, sistemin;

- i. gelişiminin belirlenmesi,
- ii. varsa patolojik durumların saptanması ve sürecin değerlendirilmesi açısından çok önemlidir.

Günümüzde hareket sisteminin nitel ve bir ölçüde nicel değerlendirilmesine imkan sağlayacak manyetik rezonans (MRI), elektromiyografi (EMG) ve kızılötesi (NIR) temelli bazı yöntemler mevcuttur. Ancak, periferik nöropatiler açısından klasik yöntemler değerlendirildiğinde, bazı önemli eksiklik veya kısıtlıkları göze çarpmaktadır. Örneğin; MRI cihazları çok pahalıdır ve tanı keskinlikleri sınırlıdır (2). NIR cihazları kısmen daha ucuzdurlar ancak periferik nöropati vakalarında tanı keskinlikleri ve yaygın kullanımları sınırlıdır (3). EMG temelli yöntemler halen en yaygın olarak kullanılan tetkik yöntemidir (4). Nispeten ucuz bir yatırımla elde edilebilir ancak sabit yerleşimli olup sadece belli merkezlerde ve özel eğitilmiş personel tarafından kullanılıp yorumlanabilir. Ayrıca bazı EMG yöntemlerinde deriye veya kas içine iğne elektrotlar yerleştirilmesi gerektiğinden, bu yöntemler invazif olarak değerlendirilir. İnvazif yöntemler hasta açısından tahammülü invazif olmayan yöntemlere göre daha zordur. Her şeye rağmen bu tekniklerin tanısal değerleri de sorgulanabilir (5). Görüldüğü gibi, günlük biyomedikal uygulamalar için invazif olmayan, çok emek ve maddi yatırım gerektirmeyen, kolay uygulanabilir, taşınabilir, nicel sonuçlar verme kapasitesine sahip bir yöntem ihtiyacı vardır.

Hareket sistemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle cihaz tasarlamadan önce sistemin akılcı bir kabullenme üzerinden basite indirgenmesi gerekir. Eğer hareket istemi başlangıç sinyali, kas hareketi ise sonuç olarak kabul edilip, sistemin kalanı kara kutu şeklinde tanımlanırsa ciddi ölçüde sadeleştirilmiş bir hareket sistemi modeli elde ederiz. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. Sadeleştirilmiş hareket sistemi modeli.

Sadeleştirilmiş modelin tek çıktısı hareket olduğundan değerlendirilecek parametre de hareketle ilgili olmak zorundadır. İstemi (I) bağımsız değişken, hareketi (H) de bağımlı değişken olarak kabul edersek, bu model, Formül 2.1'deki şekilde ifade edilebilir.

$$f(\dot{I}) = H \quad (2.1)$$

İstemli olarak hareket ettirilen bir ekstremitayı düşündüğümüzde, hareketin genliği, hızı ve ivmesi en belli başlı ölçülebilir parametrelerdir. Genlik kolay ölçülebilir bir parametre olmasına rağmen uzuv boyutları ile ilişkili olarak ciddi oranda değişkenlik gösterir ve gelişme ile artması veya patolojik durumlarda dereceli değişimi neredeyse yok gibidir. Buna karşın hız ve bunun zamana göre türevi olan ivme ölçümleri birçok bakımdan çok daha anlamlıdır. Hız ölçmek için kamera esaslı yöntemler kullanılmaktadır, ancak bunların her uzva uygulanması kolay değildir ve örnekleme aralığı da fakirdir (6). İvme ise bu amaca en uygun parametre olmasına rağmen göz ardı edilmiştir. Bunun en temel nedeni ise eski tip ivme ölçme cihazlarının çok büyük boyutları ve fazla kütleleri yüzünden uzuvlara yerleştirilmesinin imkânsız olmasıdır. Günümüzde mikro elektronik teknolojisindeki baş döndürücü gelişmeler sonucunda mikro boyutlara sahip, ağırlığı çok düşük, çalıştığında az enerji tüketen, güvenilir, çalışma aralığı geniş, çözünürlüğü çok üstün ivmeölçerler üretilmiştir.

Bu yongalar, halen askeri amaçlı seyir kontrol devrelerinde sıkça kullanılmaktadır. İşleme prensibi, paralel tarak şeklinde birbirinin içine geçen iki yarı iletkenin oluşturduğu kapasiteyi takip ederek, mekanik deformasyon nedeniyle oluşan kapasite değişimini tespit etmek ve bu yolla ivmenin nicel ölçümünü yapmak şeklindedir. Bu yongalar hareket esnasında oluşan ivmeyi takip etmek için önemli bir fırsat yaratmaktadır. Yongalar çok küçük olup az akım çektiklerinden her uzva yerleştirilebilecek boyutta ivmeölçer devreleri tasarlanıp üretilir. Bu amaca uygun 5 noktadan 3 eksenli ivme kaydı yapmaya imkân sağlayacak bir cihaz prototipi tarafımızdan tasarlanıp üretilmiş ve kullanıma hazır haldedir.

Bu çalışmada üretilen cihazın etkinliğinin tuzak nöropatisi hastaları grubunda test edilmesi planlanmıştır. Tuzak nöropatisi diye tanımlanan, sistemik veya bölgesel

bir stres sonucunda el ve parmak hareketlerinin zayıflaması ve ağrılı bir hale gelmesi şeklinde seyreden bir hastalık grubudur (7).

Tuzak nöropatilerinin tanı ve takibinde kullanılan mevcut yöntemler oldukça sübjektif değerlendirmelere dayanmaktadır. Yaptığımız araştırmaya göre, ameliyat kararının verilmesinde bazı cerrahlar sadece kendi klinik muayenelerini temel almakta, ek bir laboratuvar tetkikine gerek duymamaktadır. Bir diğer grup cerrah ise kendi klinik muayenelerine ek olarak sıklıkla elektromiyografi ve bazı vakalarda ise radyografi veya MRI tetkikleri istemektedirler. Bunun dışında tüm klinisyen grubu cerrahi veya medikal tedavi gören hastaların takibinde klinik muayene dışında herhangi bir laboratuvar tetkiki istememektedir. Görüldüğü üzere bu durum hastalar hakkında cerrahi karar alınmasında ve hastaların tedavi süreci takibinde oldukça sübjektif bir değerlendirme yapıldığını ortaya koymaktadır.

Projede önerilen yöntem, kolay uygulanabilir ve hemen anında değerlendirebilir sayısal nitelikte bir sonuç veren yepyeni bir yaklaşım tanımlamaktadır. Hastaların tedavisini objektif ölçütlerle belirlenebilmesi için yöntemin sayısal sonuç vermesi, çok önemli bir gelişmedir. Ayrıca hastaların takibinde farklı zaman noktalarında yapılacak ölçümlerin objektif olarak karşılaştırılabilmesi, uygulanan tedaviden hastanın ne ölçüde faydalandığını, kuşkuya yer bırakmayacak şekilde objektif olarak ortaya koyacağı açıktır. Mevcut hali ile uygulanan tanı ve takip yöntemlerinin böyle vasıflar yoktur. Bazı hekimler nöropatilerin yarattığı fonksiyon kaybını belirlemek için hastalara EMG tetkiki uygulamaktadır. Ancak EMG hekimin kendi başına uygulayıp yorumlayabileceği bir yöntem değildir. Uzmanlaşmış bir hekim ve ayrı laboratuvar gerektirir. Bunların dışında EMG yorumu mutlak olmayan bir tetkiktir. Aynı EMG ölçümünü iki farklı klinik nörofizyolog tarafından farklı yorumlayıp değerlendirebilir. EMG yalnızca, sinir iletinin bası nedeniyle ciddi oranda azaldığı vakalarda kesin tanı koydurabilir. Zaten bu hastalarda diğer klinik bulgular çok açık hale gelmiş durumdadır. Bu nedenle bazı hekimler, EMG tetkikine ihtiyaç duymadan kendi klinik muayene sonucunu esas alarak tedavi ve takip yapmayı tercih eder. Ancak projedeki yöntem, bu konuda bir yenilik getirme potansiyeline, hekimlere kritik kararlar verirken objektif veriler sunma kapasitesine sahiptir. Proje önerilen yenilikçi yöntemin etkinliğinin belirlenmesi için tasarlanmıştır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, hareket bozukluklarını ölçüp değerlendirmek için ivme kayıtlarının kullanıldığı ilk çalışmadır. Bu nedenle yöntemin etkinliğini belirlemek amacıyla hareket bozuklukları arasından, uygulama kolaylığı nedeniyle ilk olarak “periferik nöropati” hastalık grubu seçilmiştir (8). Bu amaca uygun olarak gönüllü hasta grubu Hacettepe ve Numune hastanelerine başvuran periferik nöropati hastalarından oluşturulmuştur. Grubun oluşturulmasında yerel ve ulusal otoritelerden yasa ve yönetmelikler uyarınca etik kurul onayları alınmıştır. Hacettepe Hastanesi’ne ve Numune Hastanesi’ne her yıl ortalama 30 civarında periferik nöropati hastası başvurur. Periferik nöropatisi olan bu hastalardan fizik muayene ve bazı durumlarda elektromiyografi tetkiki talep edilmektedir. Durumu ağırlaşan ve şikâyetleri artan hastalar cerrahi yöntemle tedavi edilmekte ve takipleri çoğunlukla fizik muayene ve nadiren laboratuvar tetkiki (EMG) ile gerçekleştirilmektedir. Biz çalışmamızda bu hastanelere başvuran henüz ameliyat olmamış periferik nöropati hastalarını deney grubu olarak kullandık. Davet ve ilan yöntemi ile çalışmaya dâhil ettiğimiz 35 sağlıklı bireyden elde edilen veriler kontrol grubu olarak kullanıldı. Hasta gönüllüler seçilirken Tablo 3.1’de belirtilen bilimsel kriterlere uyuldu ve sağlıklı gönüllüler seçilirken proje çalışanları ile çıkar çatışması olmaması sağlandı.

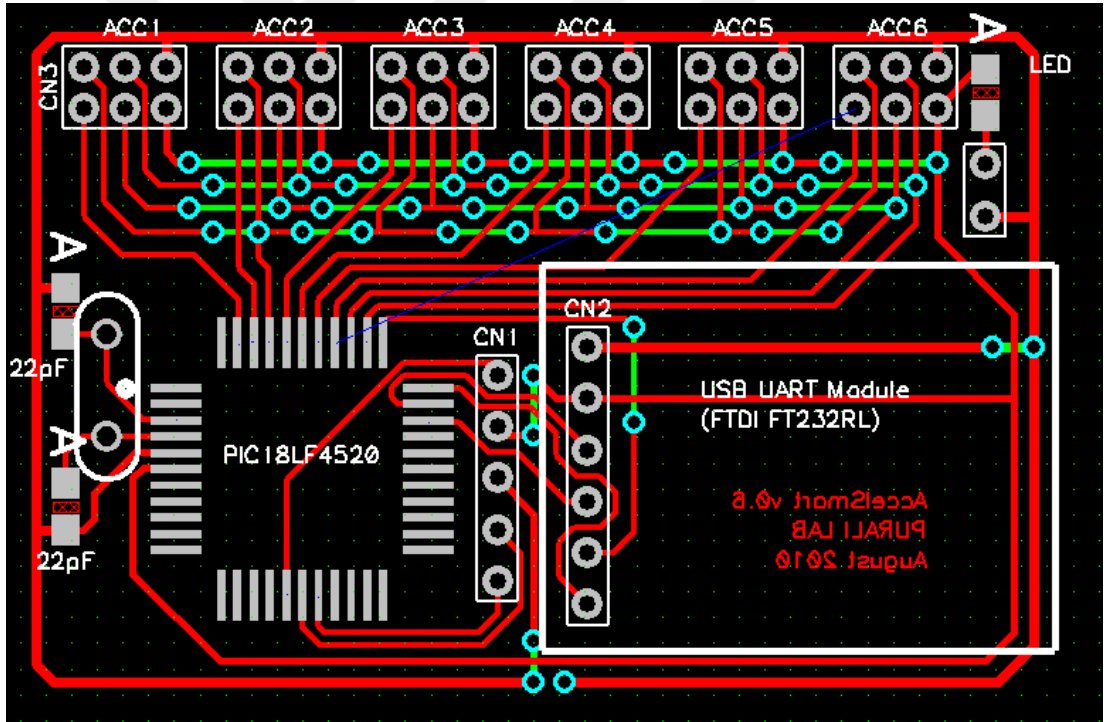
Gönüllü Hasta Kabul Kriterleri
1-Hastanın erişkin yaş aralığında olması
2-Hastanın araştırmaya katılmaya gönüllü olması
3-Hastanın ön teşhisinin periferik nöropatiyi içermesi
4-Hastanın uzuvlarının eksik olmaması ve yapılacak ölçüme uygun olması

Tablo 3.1. Araştırmaya kabul kriterleri

3.1. Araştırmada Kullanılan Cihaz Bilgileri

Projede kullanılan cihaz çok amaçlı, çok kanallı ve medikal amaçlı küçültülmüş bir ivme ölçme sistemidir. Ayrı ayrı el parmaklarına ve tüm ekstremitelere uygulanabilir.

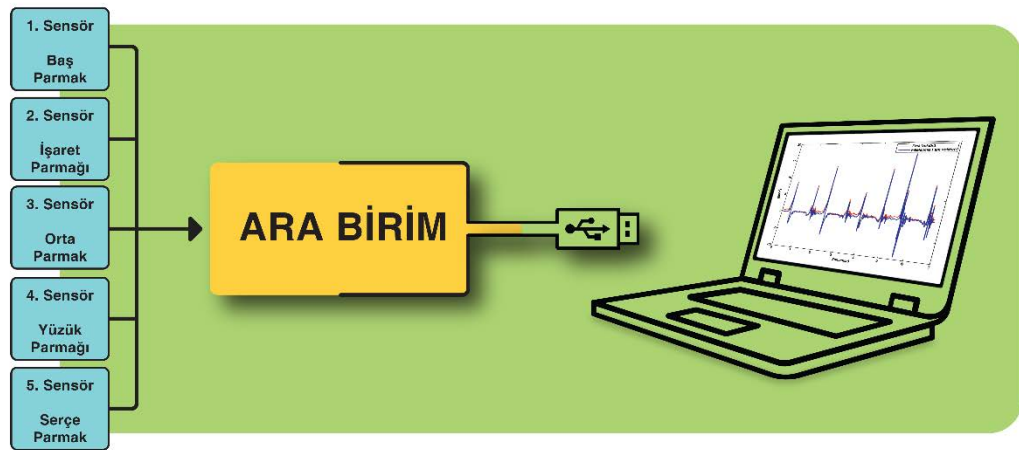
Cihaz; Accel SPI sensörler (9), Microchip mikro denetleyici (10) (Şekil 3.1) ve Uart Board USB seri dönüştürücü modülü (11) ve bilgisayar arayüzü olmak üzere 4 ana kısımdan oluşur. İşlemci USB bağlantısından gelen $\pm 3,3V$ DC ile çalışır. Sensörlerden yani ivmeölçerlerden 5 parmak için 5 adet bulunmaktadır (Şekil 3.2) İvme kayıt işleminin kontrolü ve takibi için bilgisayar üzerinde kayıt grafik kullanıcı arabirimi yazılımı kullanılır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 İvme ölçüm cihazı baskı devre şeması



Şekil 3.2. Cihazın 5 sensörü, merkez işlemcisi ve USB bağlantısı



Şekil 3.3. Cihazın Şematik olarak gösterimi

3.2. Uygulama Prensipleri ve Tanı Algoritmaları

Bu çalışmada, ölçülen parametrelerin güvenilir olması ve potansiyel tanı niteliği taşıması nedeniyle, rastgele ölçümler yerine hareket sisteminin bütünü hakkında bilgi verebilecek, yeterli ölçüde tanınmış, bilimsel yönleri araştırılıp belirlenmiş hareket modelleri kullanarak elde edilecek ölçümlere ağırlık verilmiştir. Yaptığımız ön denemelerde, periferik nöropati hastalığında, parmak hareketlerinin

hastalığın ciddiyeti ile ilişkili olarak tespit edilebilir ölçüde değiştiği saptanmıştır. Bu nedenle çalışmamız bazı temel parmak hareketleri ve bunların bazı kombinasyonlarını esas alan farklı kayıt/analiz paradigmalarını içeren, aşağıda detaylı olarak tanımlanmış olan, tanı protokolleri tasarlanıp geliştirilmiştir.

3.2.1 Hastanın veya Sağlıklı Gönüllünün Kayda Hazırlanması



Şekil 3.4. Elin kayda hazırlanması

Kişi, rahat bir sandalyeye oturtulur. Kayıt yapılacak eli masanın üzerine, el ayası masaya gelecek şekilde yerleştirilir. Hastanın ve masanın üzerinde el hareketlerini kısıtlayacak hiçbir nesne olmamasına dikkat edilir. Her bir parmak ucuna 1 adet sensör, medikal bant aracılığı ile yerleştirilir. Bu haldeyken el parmakları açık ve düz konumda, el ayası masa üzerinde olacak şekilde sabittir (Şekil 3.4). Cihazın açma kapama düğmesine basıldığında sensörlerden gelen ivme bilgisi bilgisayar ekranında canlı olarak akmaya başlar. El ve parmakların hareketsiz olduğundan sensörler bu konumda sadece statik ivme bilgisi toplar ve gösterir. Beklenti dikey eksene karşılık gelen Z ekseninde $1g$ sabit ivme olması, diğer iki yatar ekseninde ise ivme olmamasıdır. Z eksenine ait bilgi her kanalda mavi renkli kayda karşılık

gelmektedir. Sensörlerin her biri, Z eksenine için 1g ve diğer iki eksen için 0g civarında olacak konumda ayarlanıp sabitlenir. Bu konuma ulaşıldığında ideal kayıt şartları elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra hastanın, detayları aşağıda anlatılmış olan, bazı temel diagnostik hareketler yapması istenir. Bu işlemler esnasında kayıt alan kişi, kayıtları ekrandan canlı olarak görecektir. İstenilen anda ekrandaki kayıt düğmesine tıklanarak veri kaydı başlatılabilir. Aynı düğmeye tekrar tıklamak, kayıt işlemini sonlandırır.

3.2.2. Protokol 1-P1, Referans Kaydı

Kayıt alınacak kişiden, eli ideal pozisyonda, masadan bir miktar havaya kaldırılmış şekilde, en az 10 saniye hiçbir istemli hareket yapmadan durması istenir. Bu pozisyondayken kayıt alınır. Kontrol dışı tremor gibi istemsiz hareketler olabilir bunlar daha sonra değerlendirilip gerekirse giderilebilir.

3.2.3. Protokol 2-P2, Dijital Abdüksiyon ve Addüksiyon Hareketi



Şekil 3.5. Protokol 2, P2

Kişi elini masa düzleminden, sürtünme olmayacak kadar bir miktar havaya kaldırır. Parmaklarını X-Y düzleminde açıp kapama hareketini yapar. Hareket yapılırken, interfalangial parmak eklemlerinde hiç dönüş olmaksızın, parmaklar bütün çubuk halinde elin orta ekseninden uzaklaşıp yaklaşacaktır (Şekil 3.5). Parmakların elin orta ekseninden uzaklaşması abdüksiyon, yaklaşması ise addüksiyon hareketidir.

Bu karşılıklı hareket çifti, sürekli bir şekilde, istenilen hız ve güçte 6 kez yapılır. Hareketler sırasında kayıt alınır. Protokol bitiminde, el masa üzerine başlangıç pozisyonuna geri döndürülür ve sıradaki protokol için dinlendirilir.

3.2.4. Protokol 3-P3, Beş Parmak Fleksiyon ve Ekstansiyon Hareketi

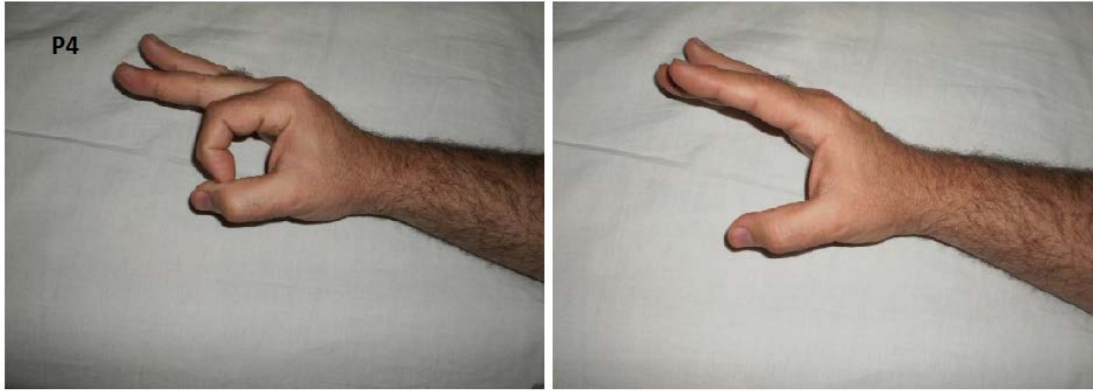


Şekil 3.6. Protokol 3, P3

Kişi, elini başlangıç pozisyonundan, masaya paralel olacak şekilde 10 cm yukarı kaldırır. Parmaklarını yumruk şeklinde tam sıkar ve tam açar (Şekil 3.6). Bu hareket çiftinde sıkma işlemi parmakların fleksiyon, açma işlemi ise ekstansiyon hareketidir. Hareket çifti 6 kez tekrarlanırken kayıt alınır. Hareket serisi bitince el yeniden masa üzerindeki başlangıç pozisyonuna geri döner.

3.2.5 Protokol 4-P4, Fiske Hareketi

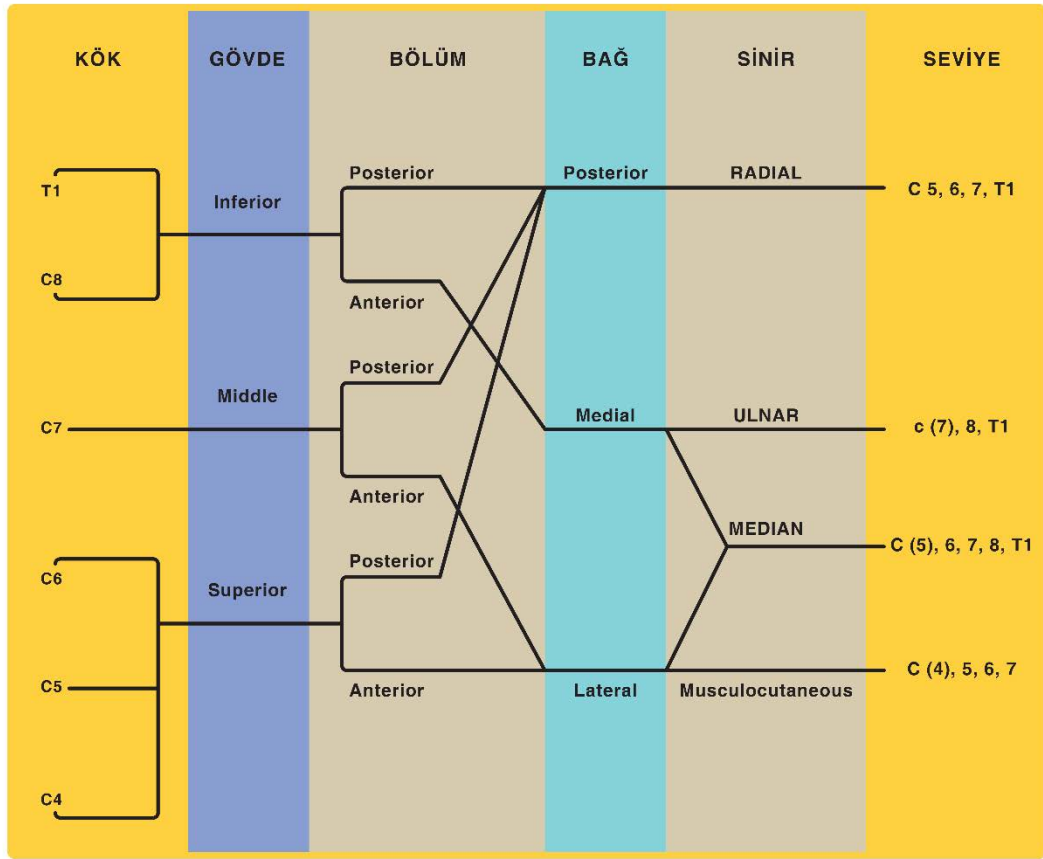
Bu hareket baş parmak ile diğer parmakların koordineli bir enerji depolama ve salıverme hareketidir. İşaret parmak kısmi fleksiyon pozisyonuna, baş parmak üstte olacak şekilde, getirilir. Baş parmak istemli olarak sabitlenirken işaret parmak ekstansiyona zorlanır. Yeterince güç biriktiğinde baş parmak istemli olarak gevşetilerek işaret parmak üzerinde biriken enerjinin etkisiyle hızla ekstansiyona getirilir (Şekil3.7). Bu hareket orta ve yüzük parmak için de tekrarlanır.



Şekil 3.7. Protokol 4, P4

Tüm protokoller, karşılaştırmalı bilgi edinebilmek amacıyla her iki ele de uygulandı. Çalışmada 8 hastadan kayıt alındı. Bu hastalardan 6 tanesinin hem ameliyat öncesi hem de ameliyattan 15gün veya 1 ay sonrasında alınmış kayıtlar bulunmaktadır. Kalan 2 tanesinin ise sadece ameliyat öncesi kayıtları mevcuttur.

Proje kapsamında 35 sağlıklı gönüllüden kontrol grubu yaratabilmek amacıyla kayıt alındı. Gönüllü isimleri anonim hale getirilerek analiz edildi. Sağlıklı gönüllü seçimi yapılırken, erişkin olmasına, hareket sistemi ile ilişkili herhangi bir hastalığa sahip olmamasına ve çalışma grubu ile çıkar çatışması içinde olmamasına dikkat edildi.



Şekil 3.8. Servikal pleksus dallanması

Tanımlanan bu protokoller uygulanarak el hareket kabiliyetini sağlayan kasların ve bu kaslara motor inervasyonu sağlayan merkezi yapıların, periferik sinirlerin, aksiler pleksusu oluşturan köklerin ve ilgili spinal seviyelerin durumu hakkında ayrıca teşhis yapmak mümkündür (Şekil 3.8). Özetle, vücudumuzda bulunan yaklaşık 600 kasın 60 tanesi (iki el için) parmak hareketlerinden sorumludur. Bununla beraber motor korteksin önemli bir bölümü parmak hareketlerini sağlamak için özelleşmiştir. Herhangi bir sistemik tutulumun gerçekleştiği kas ve periferik hastalıklarında parmak hareketlerinde zayıflama, azalma veya kayıp gözlemlenmektedir. Örneğin; P2 protokolü *dorsal interosseous* (4 kas), *palmar interosseous* (3 kas), *abductor pollicis brevis*, *adductor pollicis* ve *digiti minimi* gibi küçük kas gruplarını ilgilendiren özelleşmiş hareketlere ait ivmeyi ölçer. Parmakların abdüksiyon ve addüksiyon hareketi başlıca *ulnar* sinirin inervasyon yaptığı kaslarla

sağlanırken, parmakların fleksiyonunda *median* sinir ve ekstansiyonda ise *radial* sinir görev alır. Parmak hareketleri ve bu hareketlerde rol alan sinirler Tablo 3.2’de detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Özelleşmiş parmak hareketleri ile ilişkili sinirler				
Parmak Sırası	Fleksiyon	Ekstansiyon	Addüksiyon	Abdüksiyon
1. Parmak (Baş Parmak)	Medianus	Radialis	Ulnaris	Medianus
2. Parmak (İşaret Parmağı)	Medianus	Radialis	Ulnaris	Ulnaris
3. Parmak (Orta Parmak)	Medianus	Radialis	Ulnaris	Ulnaris
4. Parmak (Yüzük Parmağı)	Medianus	Radialis	Ulnaris	Ulnaris
5. Parmak (Serçe Parmak)	Ulnaris-medianus	Radialis	Ulnaris	Ulnaris

Tablo 3.2. Parmak hareketleri ve ilgili sinirler.

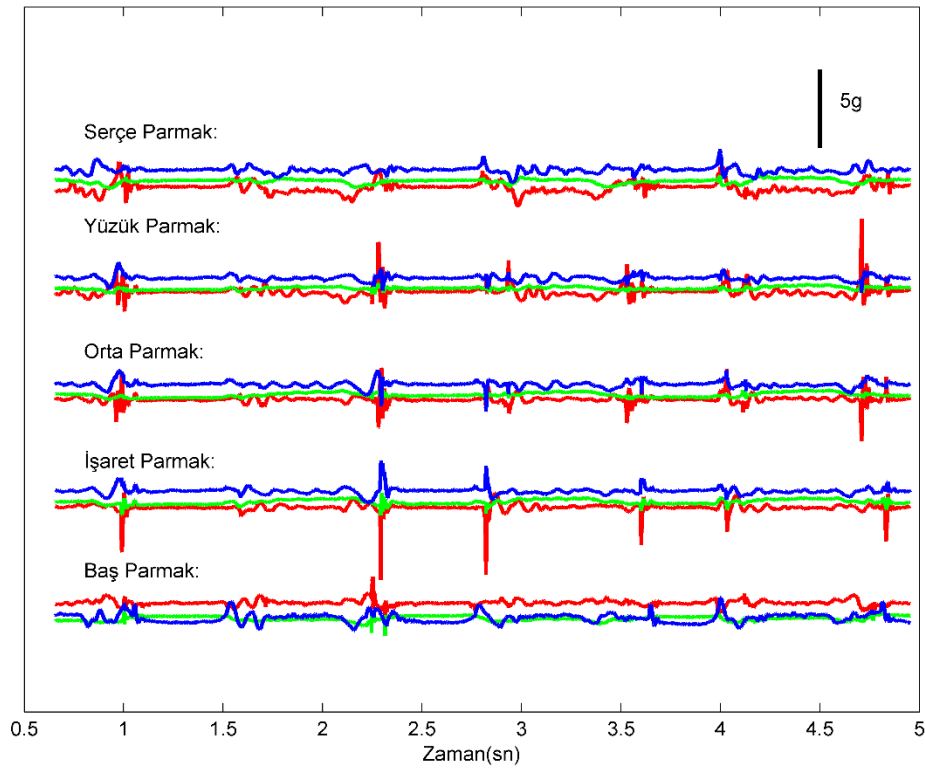
3.3. İvme Kayıtlarının Analizi

Protokoller uygulanırken alınan ivme kayıtları, MATLAB yazılım ortamında, üretilen algoritmalarla analiz edildi. Hastalardan alınan kayıtlar incelenirken öncelikle hastaların ameliyat olacakları ele ait kayıtlar analiz edildi. Karşılaştırma için, sağlıklı gönüllülerden elde edilen baskın el kayıtları kullanıldı. Ayrıca hastalık durumundaki değişimi belirlemek için, hem ameliyat öncesi hem de ameliyat sonrasında hasta kayıtları karşılaştırıldı. Ameliyat sonrası kayıtları hastaların iyileşme durumlarına göre, ameliyattan 15-30 gün sonrasında alındı.

3.3.1 Protokol 2-P2 Kayıt Verilerinin Konvansiyonel Yöntemler Kullanarak Analizi

Protokol 2 kayıtları analiz edilirken; toplam 6 hastanın ameliyat öncesi ve sonrası yapılan kayıtları, 2 hastanın sadece ameliyat öncesi ve 35 sağlıklı gönüllünün kontrol ortamında yapılan kayıtları incelenip analiz edildi. Yapılan ön değerlendirmede P2 kayıtlarından elde edilen sinyalin orta parmakta küçük genlikli olduğu tespit edildi. Buna karşılık işaret ile yüzük parmağında özellikle *X* ekseninde

belirgin bir ivme sinyali gözlemlendi. Aynı durumun özellikle baş ve bir miktar serçe parmak içinde geçerli olduğunu tespit edildi. Ayrıca abduksiyon sinyalinde addüksiyona oranla daha büyük bir ivme genliği elde edildi. Bu durumda P2 deney protokolüne ait kayıtlar analiz edilirken birbirine antagonist yönlerde hareket eden işaret ve yüzük parmakları arasındaki fark sinyali ve baş ile serçe parmak arasındaki fark sinyali değerlendirildi. (Şekil3.9).



Şekil 3.9. Protokol 2 için beş parmak kaydı

Kayıt analizinde ilk olarak, büyük genliği nedeniyle işaret ve yüzük parmaklarına ait ivme sinyallerinin abduksiyon bileşenine odaklanıldı. Analizler yapılırken her bir kayıt için tekrarlanan işlemler sırayla aşağıdaki bölümlerde verildiği gibidir.

3.3.1.1. Protokol 2, Yüzük ve İşaret Parmak için Fark Analizi

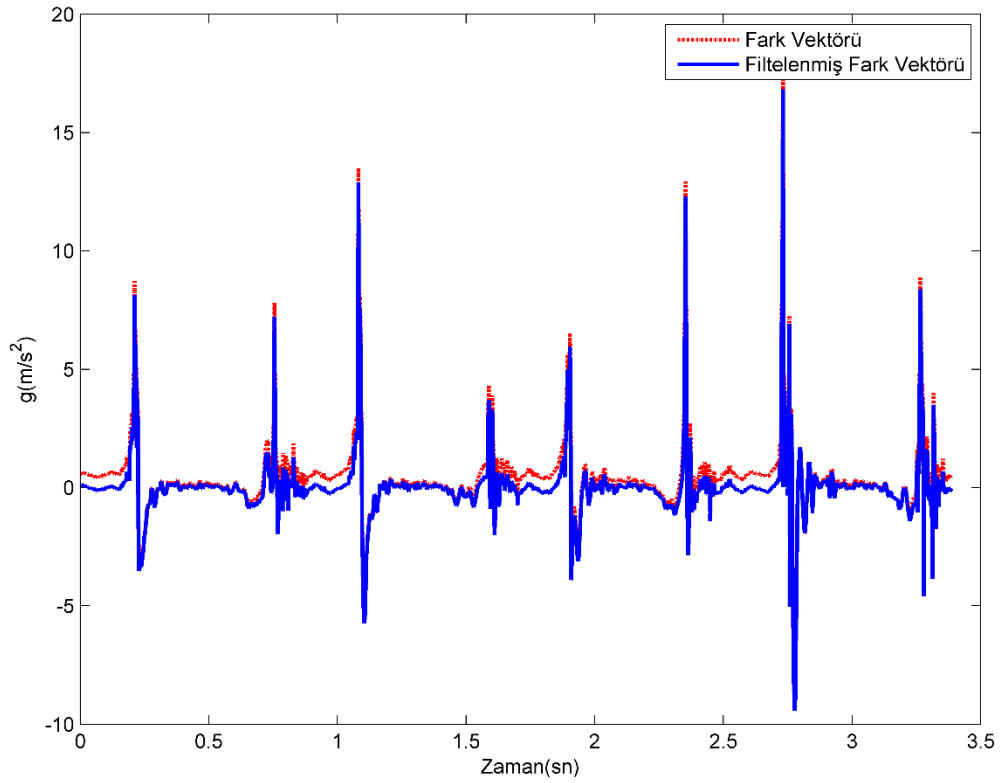
Sol el abduksiyon hareketi sırasında ivme kaydında oluşan sinyali tespit edebilmek amacıyla, 15 kanallı kayıtlarda işaret parmağı X düzlemine denk gelen

kayıttan, yüzük parmağının X eksen i vme kaydı çıkarıldı. Sol abdüksiyon hareketi sırasında işaret parmağının X düzlemindeki hareketi, yukarıda anlatılan kayda hazırlanma sırasında sensörlerin bağlanma şekli sebebiyle, pozitif ivme, yüzük parmağınunki ise negatif ivme üretir. (Şekil 3.10). Bu iki parmağa ait ivme sinyallerinden elde edilen bu fark sinyali, daha belirgin ve büyük genlikli olduğundan üzerinde işlem yapılabilmesi daha kolaydır. Benzer bir işlem sağ el için yüzük parmağına ait X düzlemindeki ivme kaydından işaret parmağınunki çıkarılarak yapıldı.



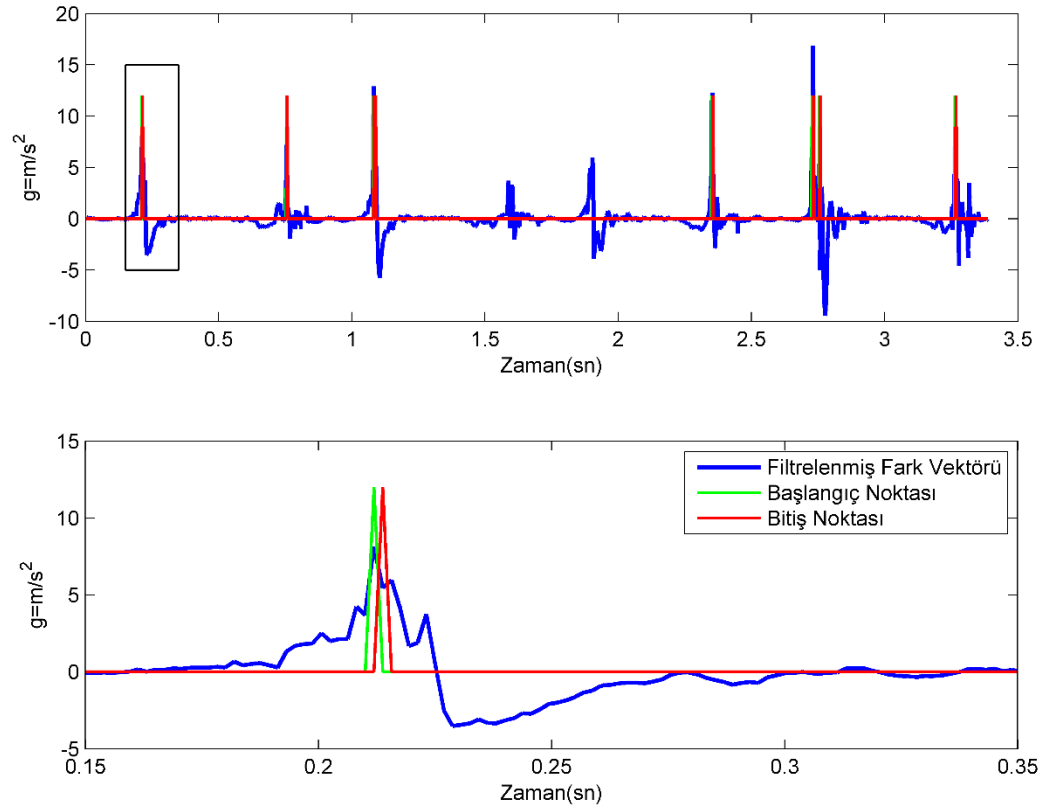
Şekil 3.10. Cihazın sensörlerinden biri

Fark sinyali, daha sonraki işleme alınmadan önce, 1/130 1.derece Yüksek geçiren *Butterworth* filtre ile filtrelenerek DC komponentinden arındırıldı. (Şekil 3.11).



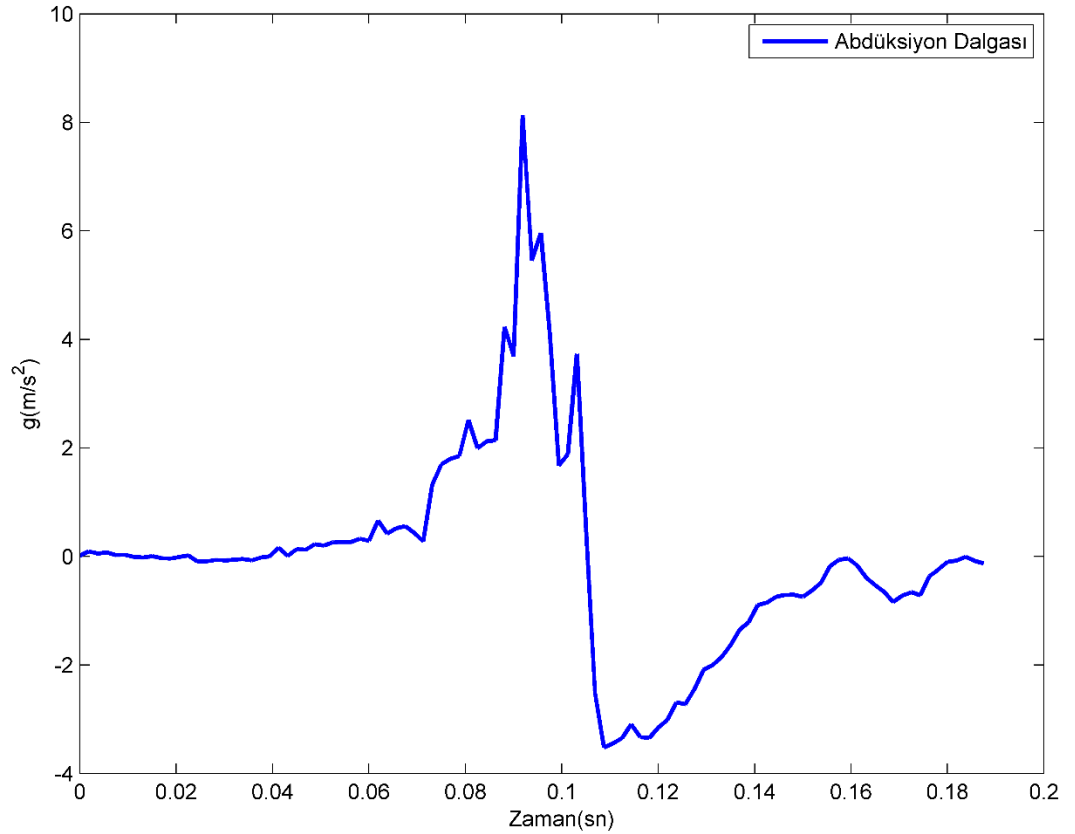
Şekil 3.11. P2 analizindeki fark sinyali ve filtelenmiş hali

Bir sonraki aşamada filtelenmiş sinyalin türevi alınarak, abdüksiyon hareketi ivme sinyallerinin başlangıç ve bitiş noktaları tespit edildi (Şekil 3.12). Daha sonra bu noktaların arasında kalan dalga şeklinin tepe noktası tespit edildi. Bir kayıttaki aynı hareketten ardışık altı tekrar bulunmaktadır. Her bir sinyalin tepe noktası tespit edildikten sonra bu noktadan eşit uzaklıktaki iki nokta arasındaki kısım eşit boyutlarda kesilir. Bu sayede kayıt içinde rastgele gelen tekrarlar tepe noktaları referans alınarak paketler haline getirildi.



Şekil 3.12. Abdüksiyon sinyallerinin tespiti için yapılan analiz

Ardışık altı abdüksiyona cevap olarak elde edilen ivme kayıtlarından maksimum, ortalama ve en belirgin olanları belirlenip üzerinde ölçümler yapıldı ve istatistiksel açıdan analiz edildi (Şekil 3.13).

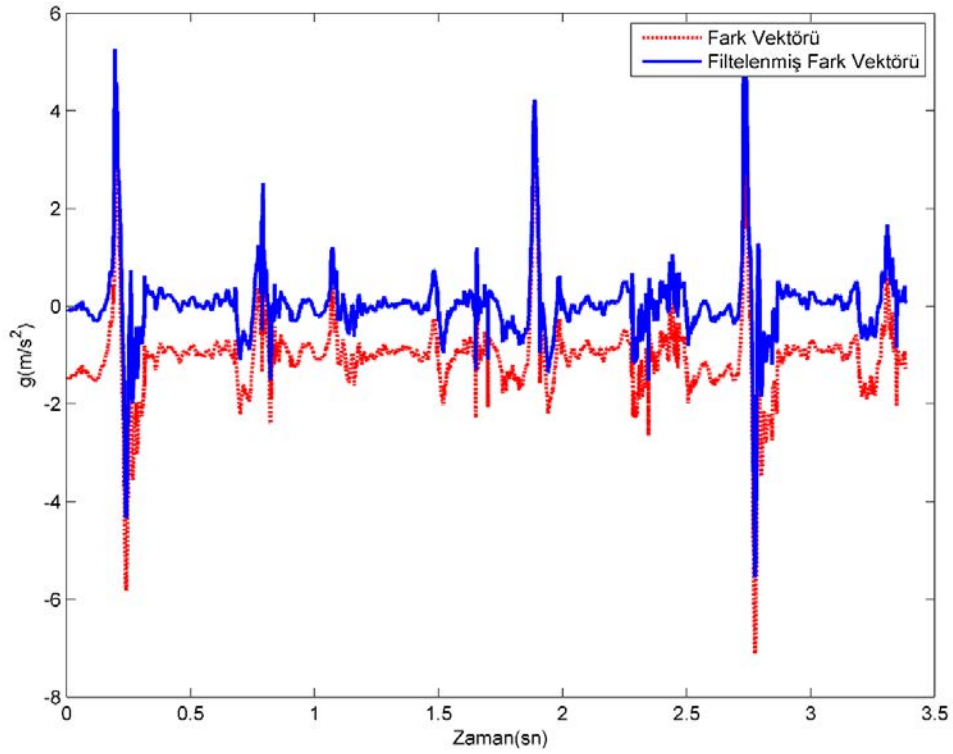


Şekil 3.13. Karşılaştırma analizi için kaydedilen abdüksiyon sinyallerine bir örnek

Sinyaller, ameliyat öncesi hasta, ameliyat sonrası hasta ve sağlıklı gönüllü olmak üzere 3 grup halinde değerlendirildi ve ortalamaları alınarak karşılaştırmalı incelemeler yapıldı. Bu kapsamda 35 sağlıklı gönüllüden ve toplam 8 hastadan elde edilen kayıtlar değerlendirildi.

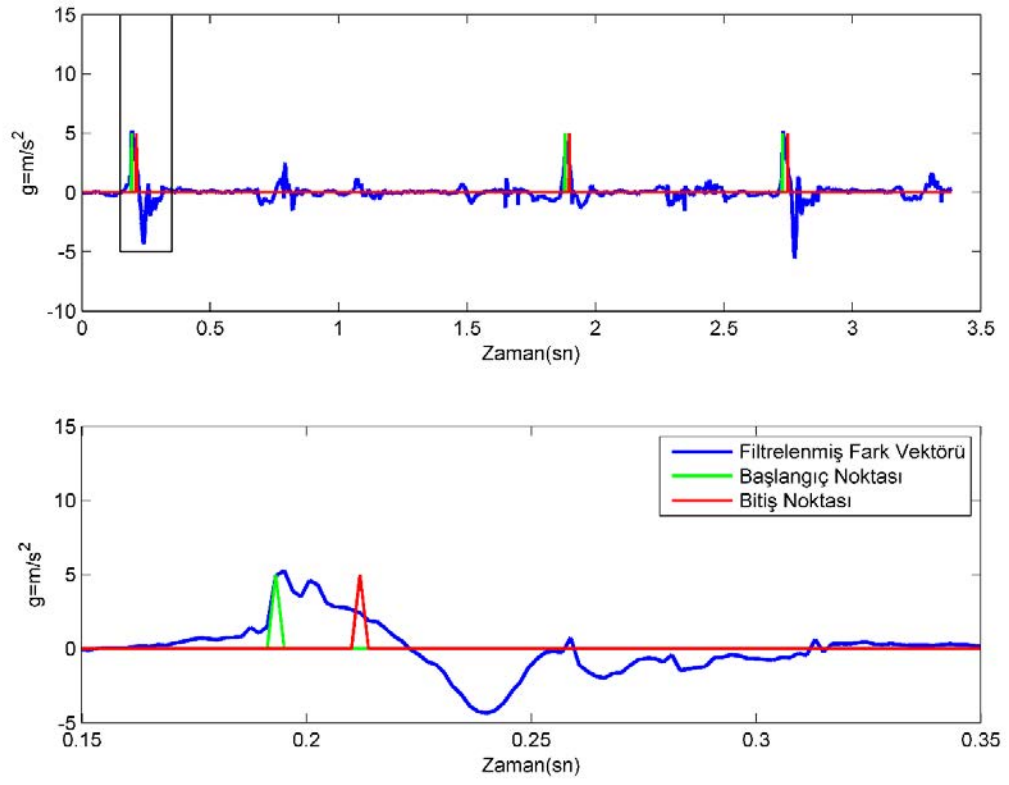
Protokol 2, Baş ve Serçe Parmak için Fark Analizi

Yüzük ve işaret parmağı için yapılan fark analizi, aynı sırada ve aynı şekilde başparmak ve serçe parmak için de yapıldı. Öncelikle fark sinyalini elde edebilmek amacıyla, sol el için, başparmağın X düzlemindeki ivme kaydından serçe parmağın X ivme kaydı çıkarıldı. Elde edilen fark sinyaline 1/130 1. Derece Yüksek geçiren “*Butterworth*” filtre uygulandı ve DC komponentinden arındırıldı (Şekil 3.14).

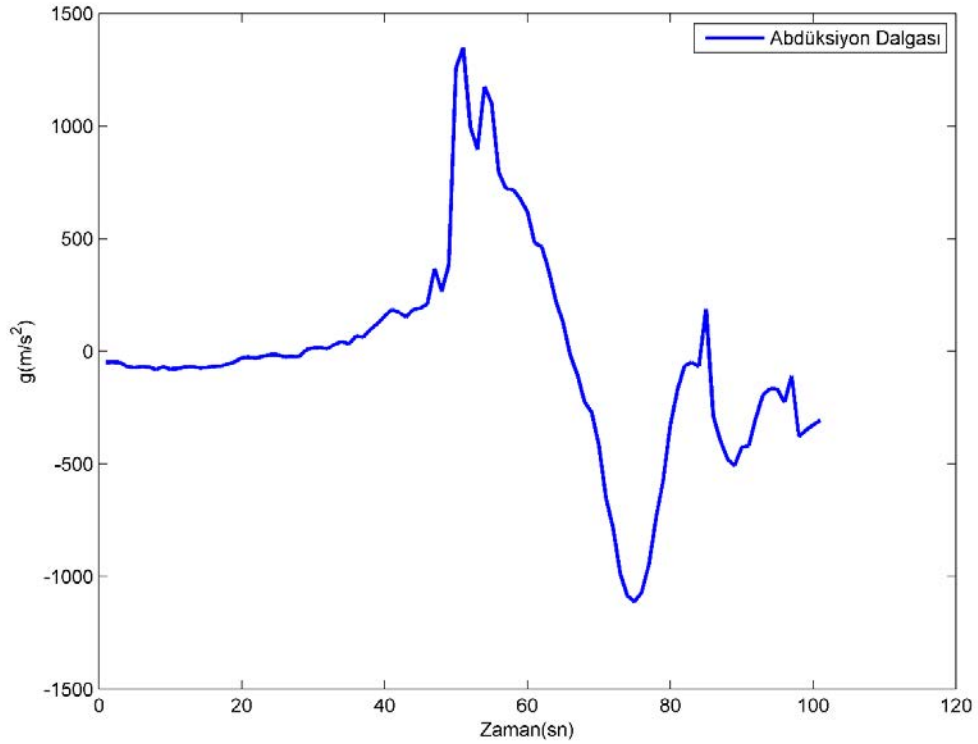


Şekil 3.14. Baş ve serçe parmak fark sinyali ve filtrelenmiş hali

Sonraki aşamada, filtre edilmiş fark sinyalinin türevi alınarak, baş ve serçe parmak abdüksiyon hareketi ivme sinyallerinin başlangıç-bitiş noktaları bulundu. Bu noktalar kullanılarak, abdüksiyon tepe noktası tespit edildi. Referans olarak tepe noktaları alınarak abdüksiyon sinyal paketleri elde edildi (Şekil 3.15). Ardışık altı abdüksiyona cevap olarak oluşan ivme kayıtlarından maksimum ve en belirgin olanları belirlenerek üzerinde ölçümler yapıldı ve analiz edildi (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Abdüksiyon sinyali tespit analizi



Şekil 3.16 Abdüksiyon sinyaline bir örnek

3.3.2 P2 Verilerinin Gelişmiş Yöntemler Kullanarak Analizi

Protokol 2 için konvansiyonel yöntemlerle yapılan analizde elde edilen sinyaller üzerinde gelişmiş bazı yöntemler kullanılarak analiz edildi.

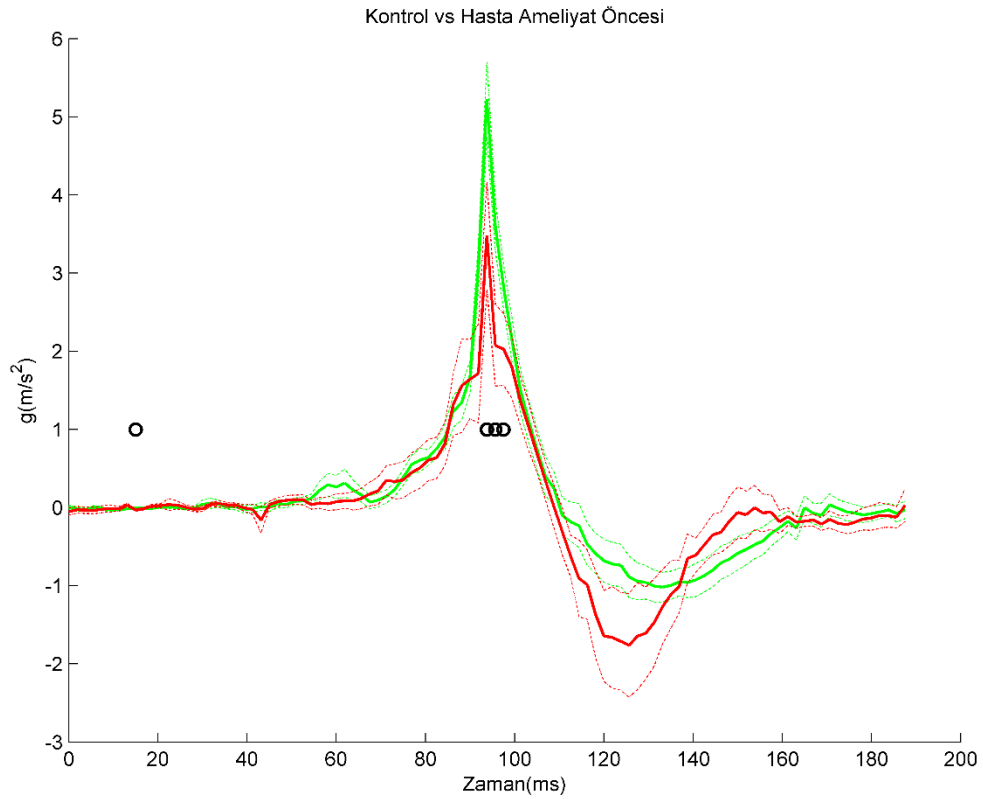
3.3.2.1 Protokol 2, Yüzük ve İşaret Parmak Farkı İleri Düzey Analizi

Analizlere başlanmadan önce, kontrol grubu ve ameliyat öncesi hasta grubu için taban çizgisine oturtma, “Baseline Correction”, yapıldı. Kontrol grubundan rastgele 1 bireye ait sinyal seçilip gruptan çıkarılıp kalan sinyallerin ortalaması alındı ve kaydedildi. Bu işlem 1000 kere tekrarlandı. Kaydedilen 1000 değerın ortalaması alınarak, kontrol grubu için ileri düzey ortalama elde edildi. Aynı işlem hasta grubuna da uygulanarak ortalama elde edildi.

1000 değerın standart sapmaları hesaplanarak, kontrol grubu ve hasta grubu için alternatif standart sapma değerleri bulundu. Kontrol grubu ve hasta grubu arasındaki farkı, daha güvenilir düzeyde hesaplayabilmek amacıyla, ortalama ve

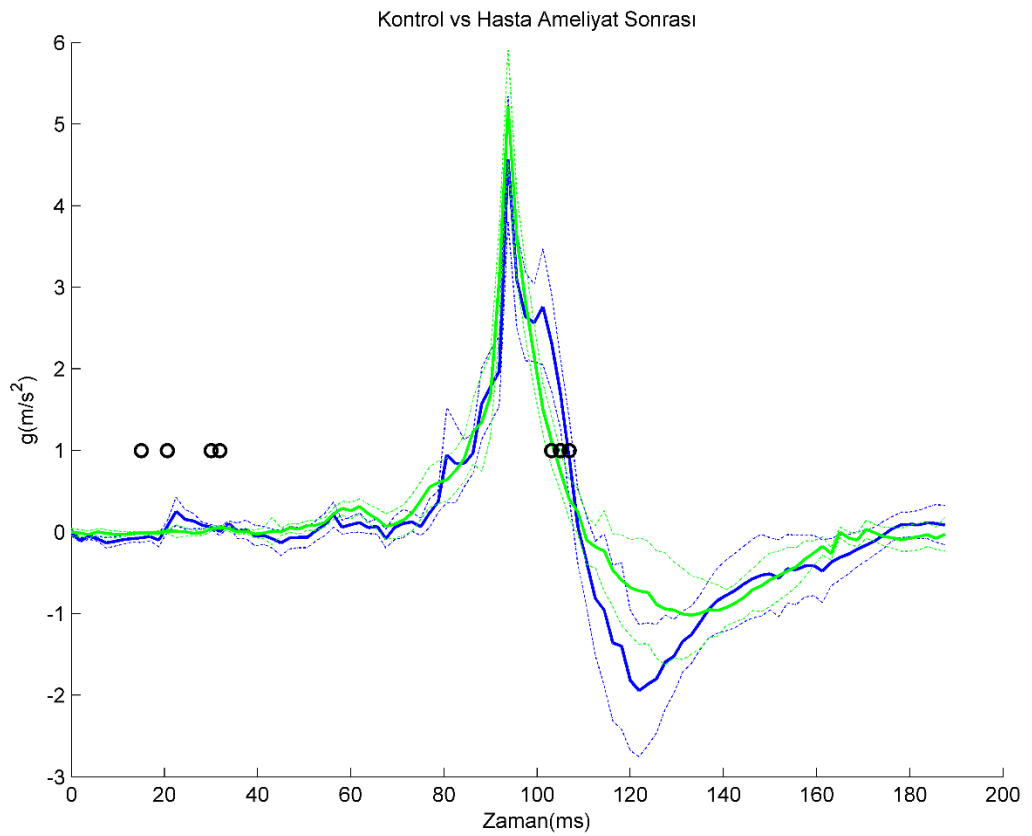
standart sapma işlemlerinde kullanılan 1000 kez rastgele bir sinyalin gruptan çıkarılmasına dayanan analiz işlemi, bu kez iki grup için aynı anda yapıldı.

Elde edilen gelişmiş fark sinyalinde istatistiksel anlamlılığı gösterebilmek amacıyla, p değeri analiz edildi. Bu analizde, p değerinin 0.05'den küçük ve eşit olduğu noktalar ile 0.95'den büyük ve eşit olduğu noktalar belirlendi. Belirlenen p noktaları ile ileri düzey ortalama ve standart sapma sinyalleri aynı şekil üzerinde incelenerek, sinyalin hangi zaman aralıklarında anlamlı farklılıklar oluşturduğu incelendi (Şekil 3.17).

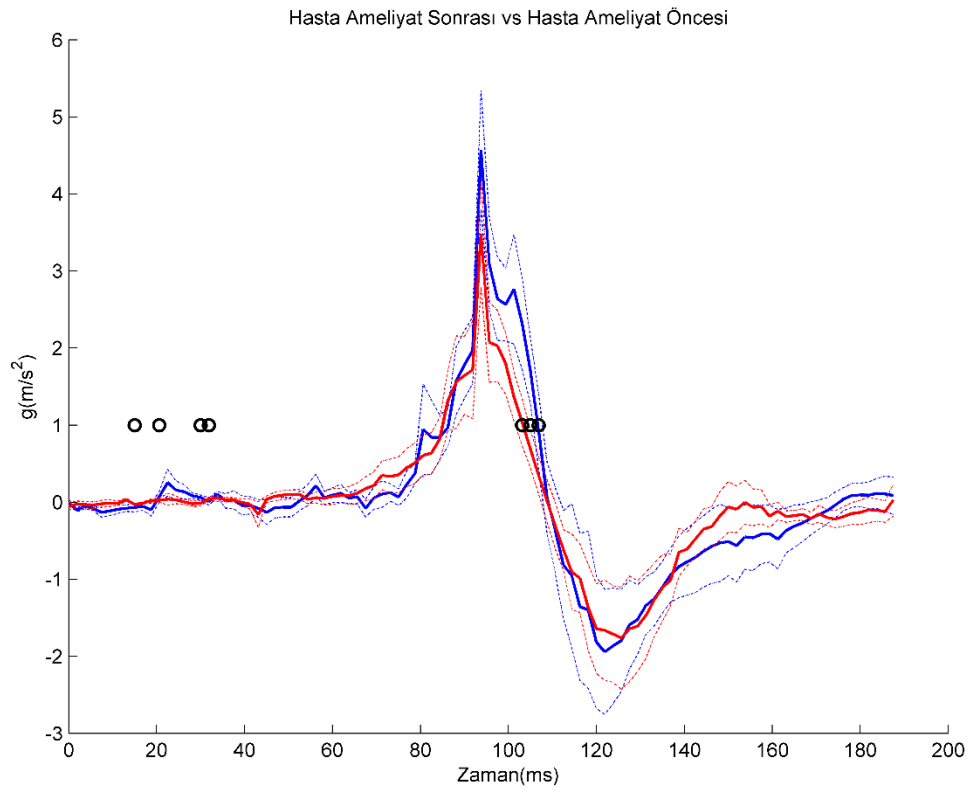


Şekil 3.17. Kontrol ve hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Yeşil çizgi kontrol grubu ileri düzey ortalamasını, kırmızı çizgi hasta grubu ortalamasını, kısa çizgi noktalar ortalama $\pm$ standart sapmaları gösterirken, siyah noktalar ise kontrol ve hasta grubu arasındaki farkın anlamlı olduğu noktaları göstermektedir.

Yukarıdaki sıralanan işlemler tekrarlanarak, kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark (Şekil 3.18) ve ameliyat sonrası ile öncesi hasta grubu arasındaki fark (Şekil 3.19) için ileri düzey ortalamalar ve standart sapmalar hesaplandı ve anlamlı farklılıklar analizi yapıldı.

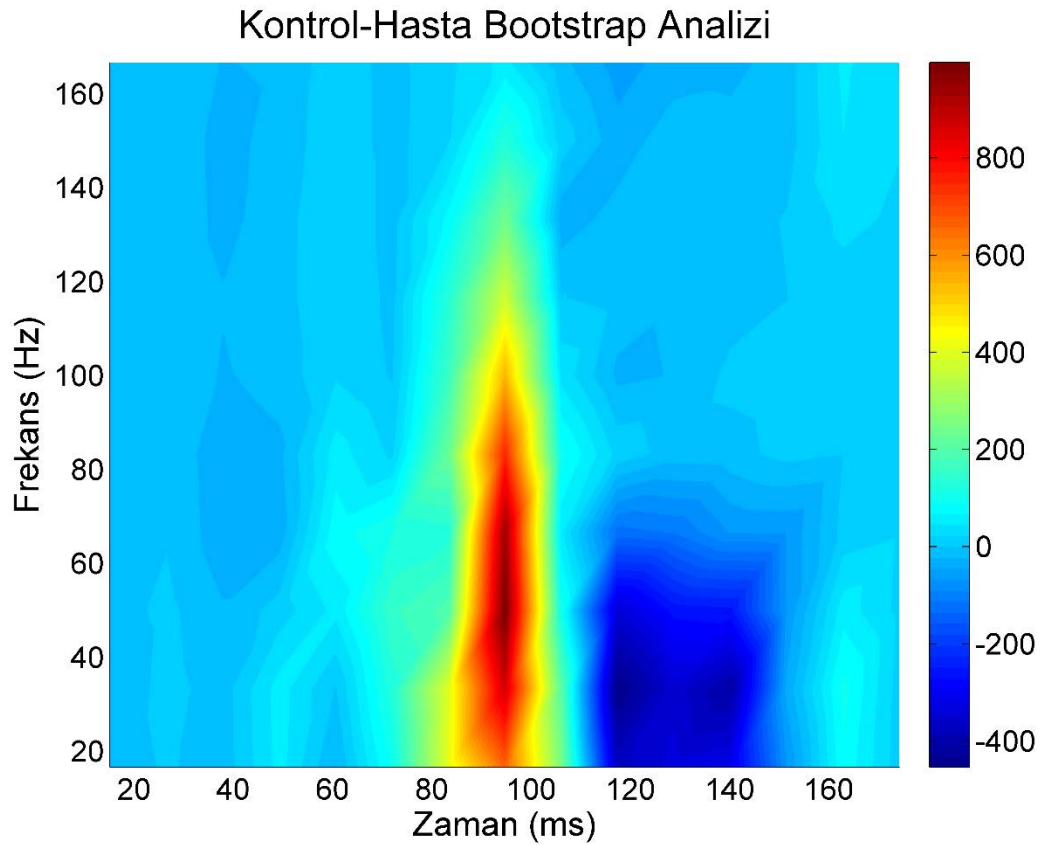


Şekil 3.18. Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Yeşil çizgi kontrol grubu ileri düzey ortalamasını, mavi çizgi ameliyat sonrası hasta grubu ortalamasını göstermektedir.



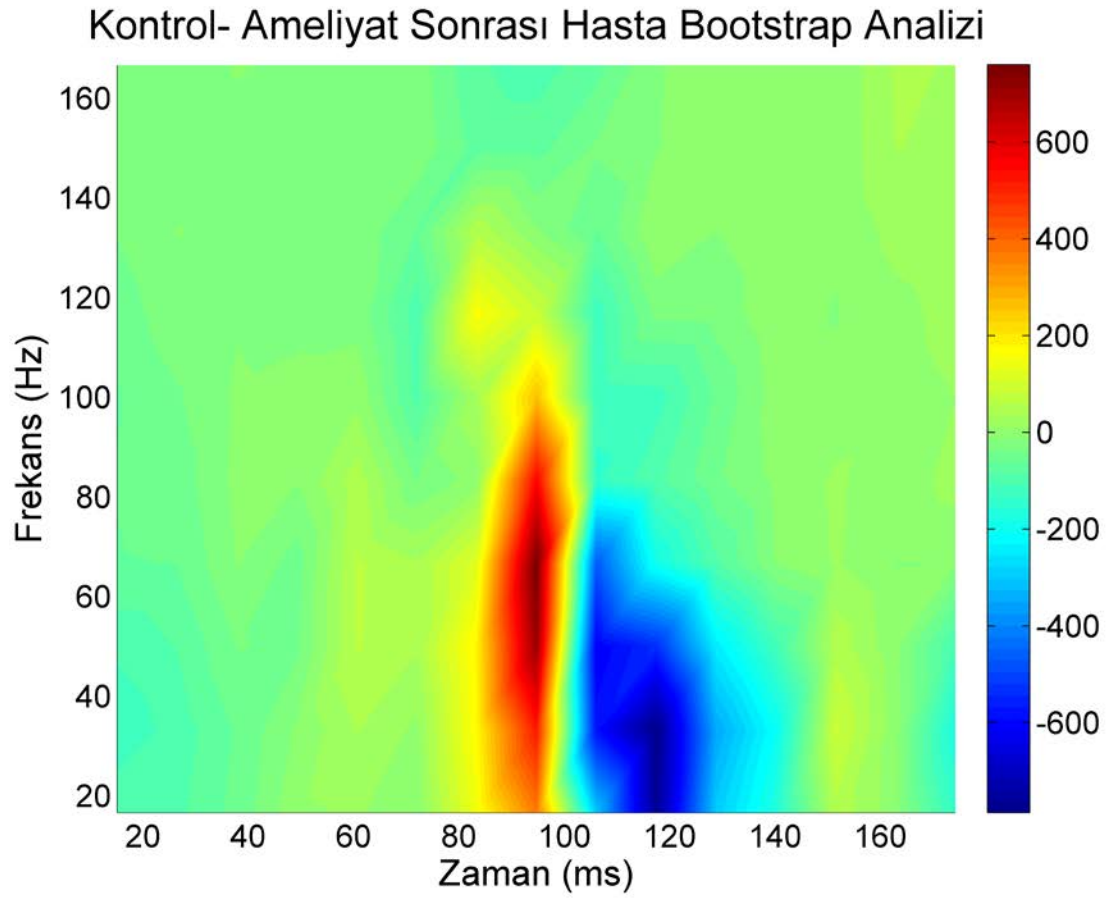
Şekil 3.19. Ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası hasta grubu için ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Kırmızı çizgi ameliyat öncesi, mavi çizgi ameliyat sonrası hasta grubu ortalamasını göstermektedir.

Elde edilen ortalama sinyalleri kullanılarak, “Bootstrapping” analizi yapıldı. Bu analizde 100.000 kez yerleştirme yöntemi ile yeniden örnekleme kullanılarak, kontrol grubu ile hasta grubu arasındaki farkın renk ölçeğinde, frekans-zaman dağılım haritalanması yapıldı (Şekil 3.20).



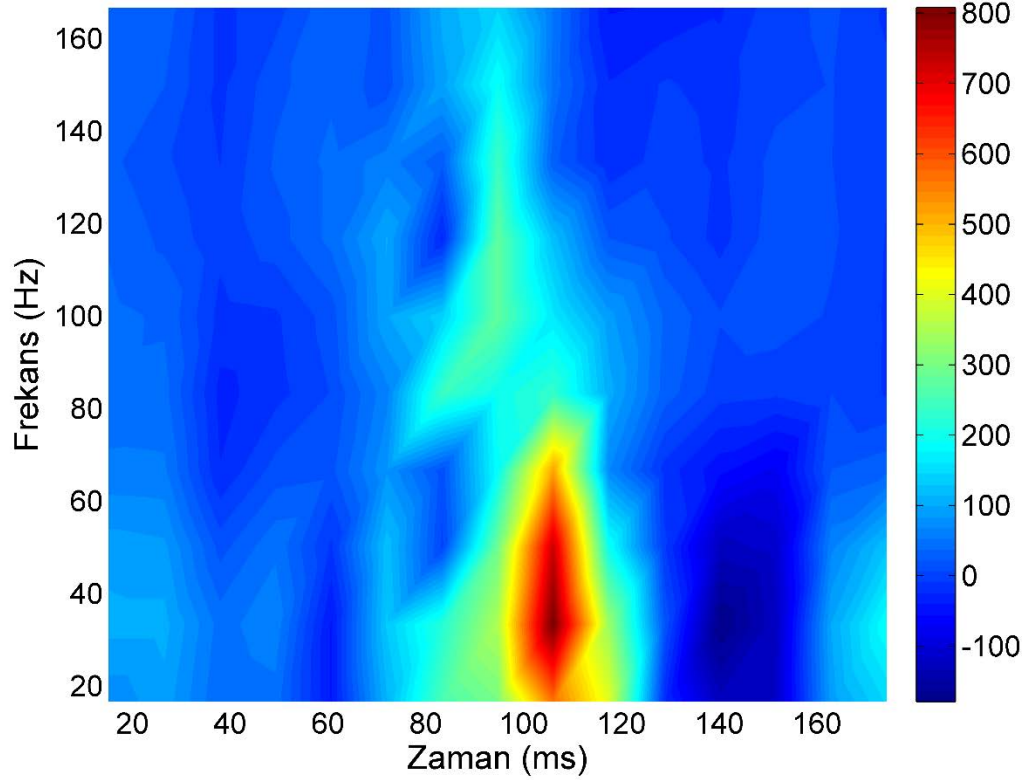
Şekil 3.20 Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası. Kırmızı bölgeler anlamlı farkın olduğu alanları ifade etmektedir.

Benzer işlem, kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark (Şekil 3.21) ve hasta ameliyat sonrası ile öncesi arasındaki fark (Şekil 3.22) için tekrarlandı ve frekans-zaman dağılım haritalanmaları oluşturuldu. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 oluşturulurken, anlamlılık analizinin yapılabilmesi için “Bootstrapping” analizi 1000 kez tekrarlandı.



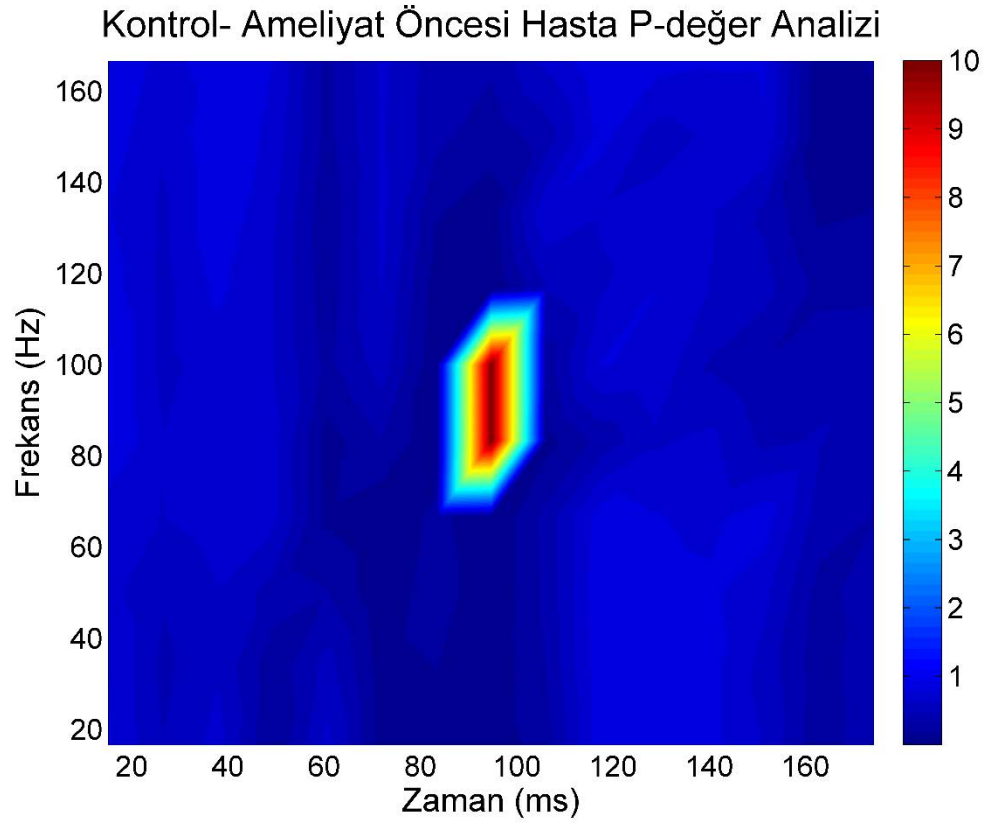
Şekil 3.21 Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası

Ameliyat Sonrası - Ameliyat Öncesi Hasta Bootstrap Analizi



Şekil 3.22 Ameliyat sonrası ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası

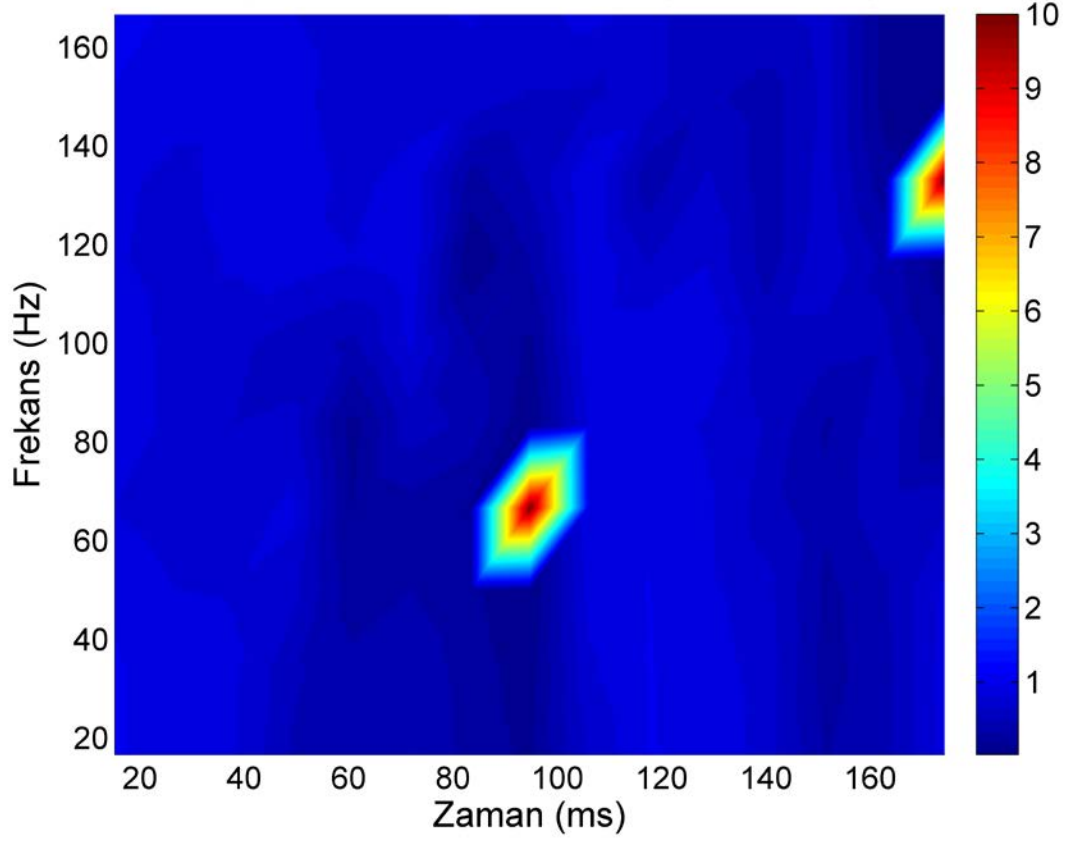
Ortaya çıkan dağılım haritasında p değer analizi yapıldı. Frekans-zaman analizinde karşılaştırma sayısı 15 frekans dilimi ve 15 zaman dilimi çarpımı olan 225 alındı. Anlamlılık seviyesi olan α ise 0,05 kabul edildi ve $\alpha/225$ 'den elde edilen $p=0,00023$ değeri bu analiz için “Bonferonni düzeltmesi” olarak uygulandı. $p<0.00023$ anlamlı farkı gösterdiği bilinerek, p değerleri tespit edildi ve bu değerler için renk ölçeğine sahip haritalanma yapıldı. Sinyalin hangi zaman ve frekans aralıklarında anlamlı farklara sahip olduğu incelendi (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması. Kırmızı bölgeler istatistiksel olarak anlamlı farkların olduğu zaman ve frekans değerlerini göstermektedir.

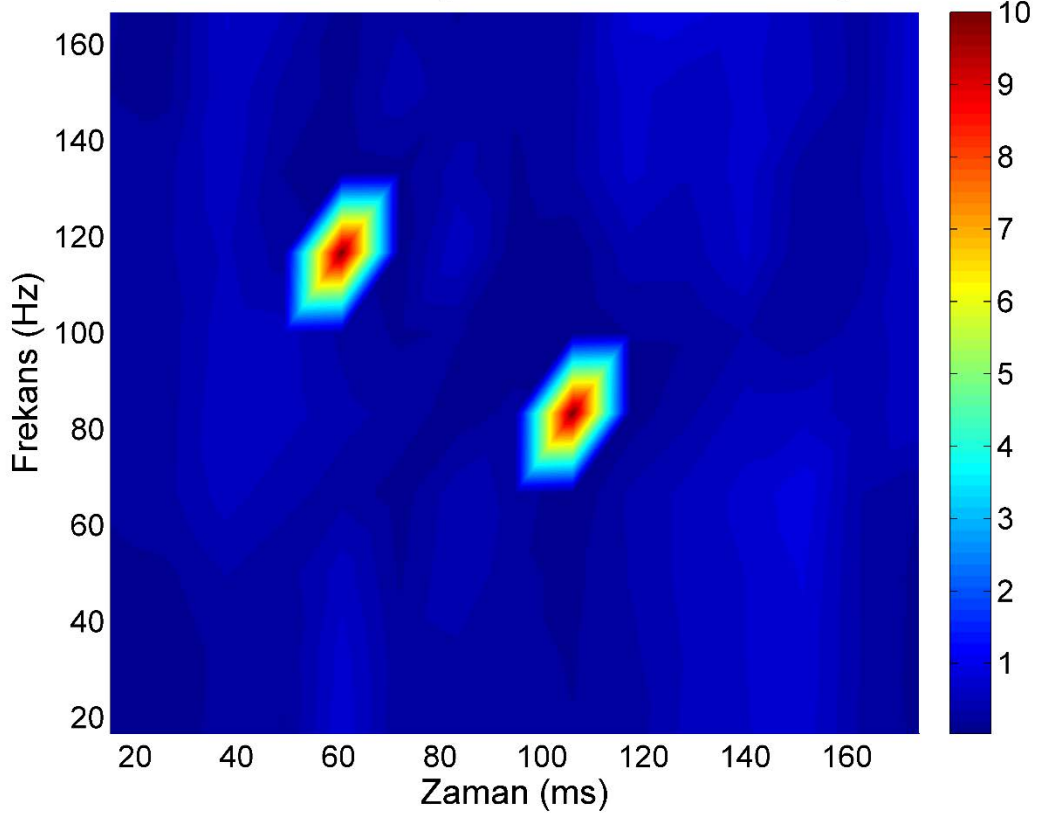
“Bonferonni” düzeltmesi kullanılarak yapılan p değer analizi, kontrol ile ameliyat sonrası hasta grubu farkı (Şekil 3.24) ve ameliyat sonrası ile ameliyat öncesi hasta grubu farkı (Şekil 3.25) için tekrarlandı. Bu gruplar için yapılan p-değeri analizinde, farkın anlamlılığını ölçebilmek amacıyla $p=0.023$ alındı.

Kontrol- Ameliyat Sonrası Hasta P-değer Analizi (Bonferroni)



Şekil 3.24. Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması.

Ameliyat Sonrası - Ameliyat Öncesi Hasta P-değer Analizi



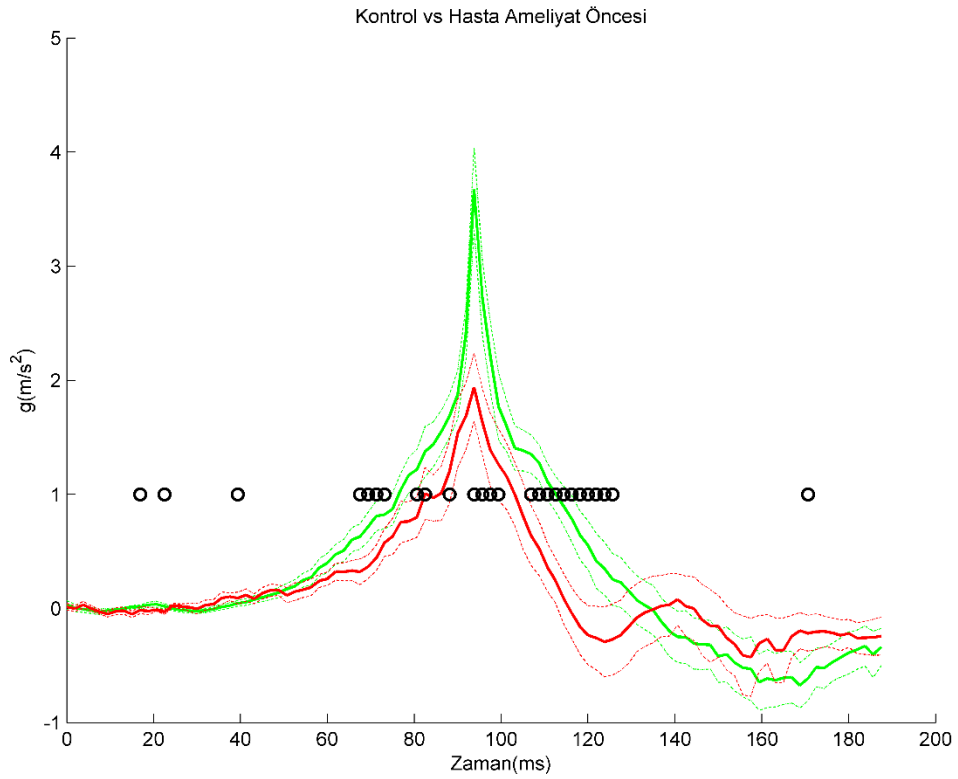
Şekil 3.25. Ameliyat sonrası ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması.

Protokol 2, Baş ve Serçe Parmak Farkı İleri Düzey Analizi

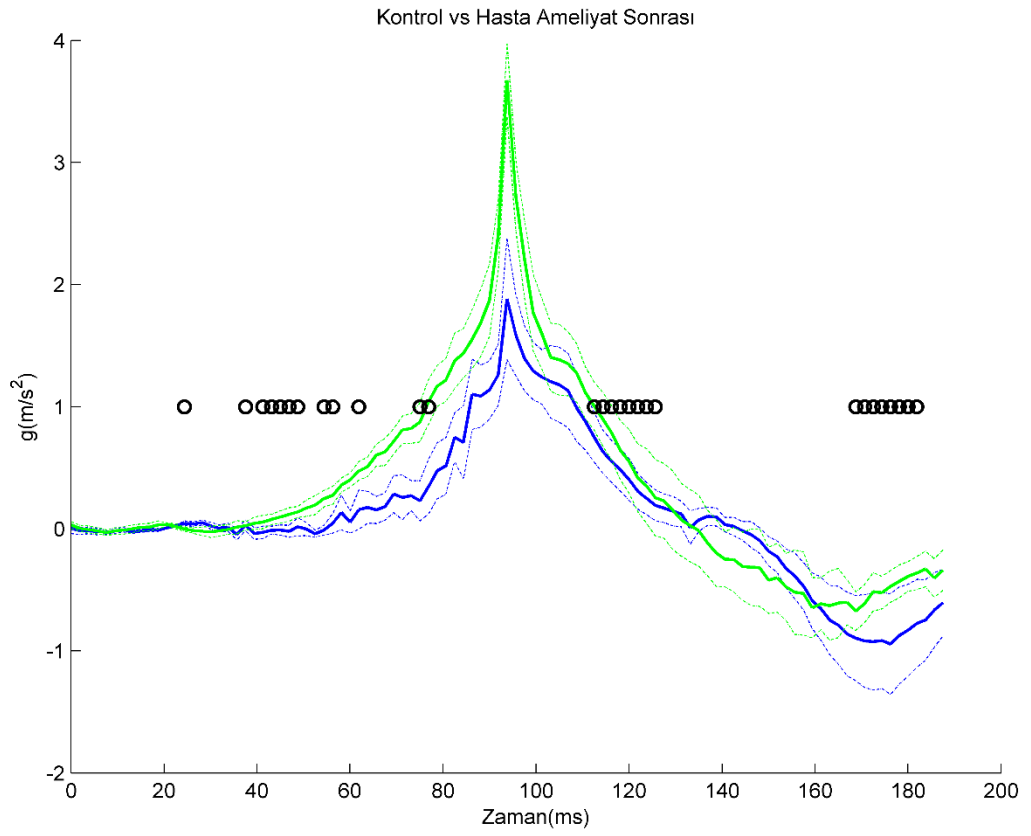
Protokol 2, yüzük ve işaret parmak farkına uygulanan gelişmiş yöntemler ile yapılan analizler, baş ve serçe parmak farkı için de aynı sırada ve aynı şekilde yapıldı. Öncelikle, kontrol grubu, ameliyat öncesi ve sonrası hasta gruplarına “Baseline Correction” yapılarak, her bir gruba ait sinyaller taban çizgisine oturtuldu.

Grupların her biri için, gruptan rastgele 1 bireye ait sinyal çıkarılarak ortalamalar alındı ve bu işlem 1000 kere tekrarlanarak ileri düzey ortalamalar elde edildi. Aynı yöntemle 3 gruba ait alternatif standart sapmalar hesaplandı. Gruplar arasındaki fark sinyalini ileri düzeyde hesaplayabilmek amacıyla, 1000 kez tekrarlı yapılan analiz yöntemi gruplar arası fark için uygulandı. Elde edilen fark sinyallerinde istatistiksel anlamlılığı hesaplayabilmek amacıyla p değeri analizi yapıldı.

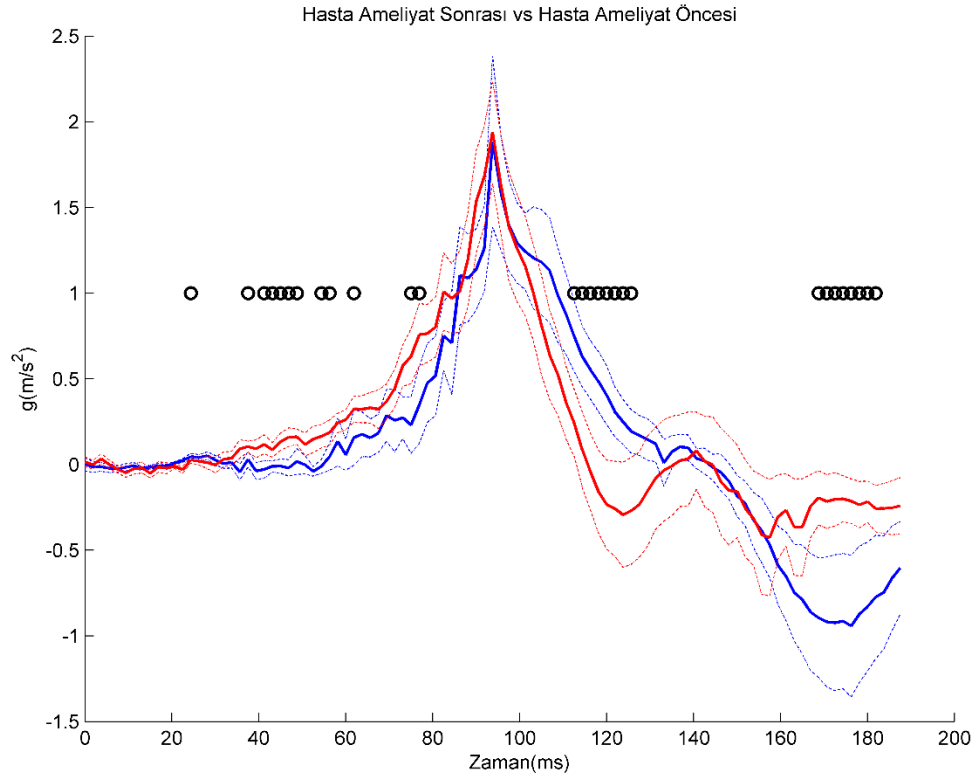
Bu analizlerle tespit edilen anlamlı p değerlerinin olduğu noktalar, ileri düzey ortalamalar ve standart sapmalar Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'e konuldu. Kontrol grubu ve ameliyat öncesi hasta grubu karşılaştırması için Şekil 3.26, kontrol grubu ve ameliyat sonrası hasta grubu için Şekil 3.27, ameliyat sonrası ve öncesi hasta gruplarını karşılaştırmak amacıyla da Şekil 3.28 oluşturuldu ve incelendi.



Şekil 3.26. Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Yeşil çizgi kontrol grubu ileri düzey ortalamasını, kırmızı çizgi hasta grubu ortalamasını ve siyah noktalar ise anlamlı farkın olduğu yerleri göstermektedir.

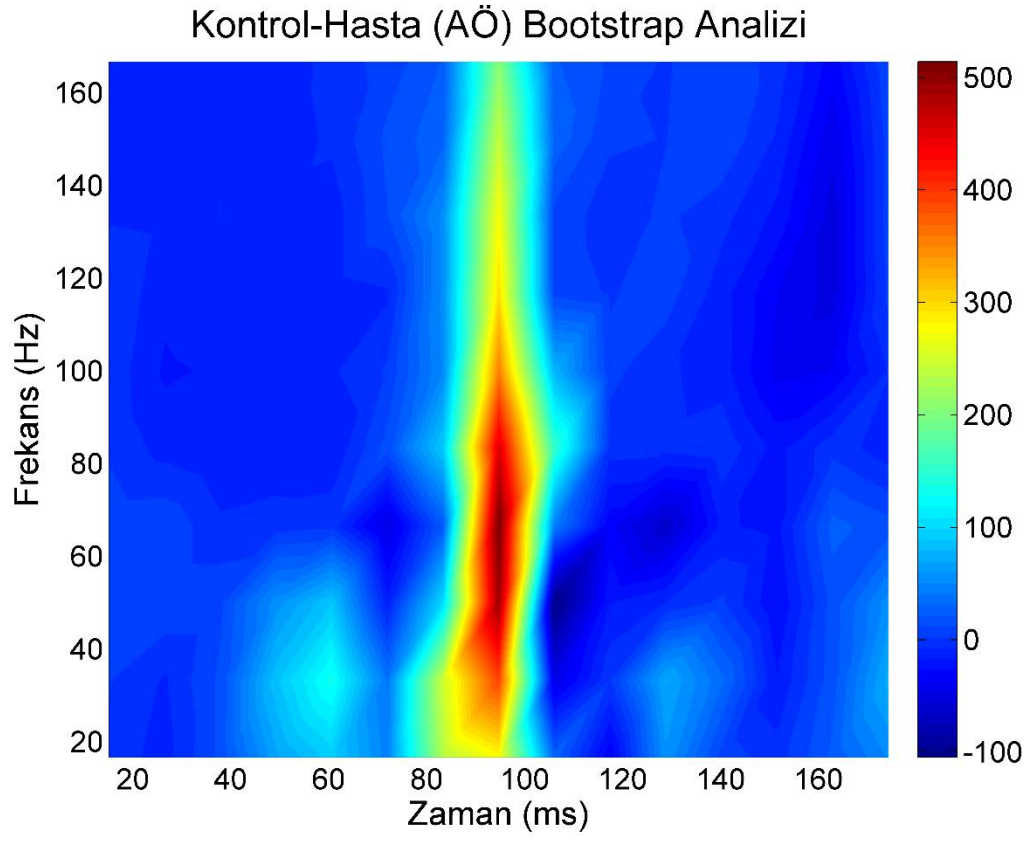


Şekil 3.27. Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Yeşil çizgi kontrol grubu ileri düzey ortalamasını, mavi çizgi ameliyat sonrası hasta grubu ortalamasını ve siyah noktalar ise anlamlı farkın olduğu yerleri göstermektedir.

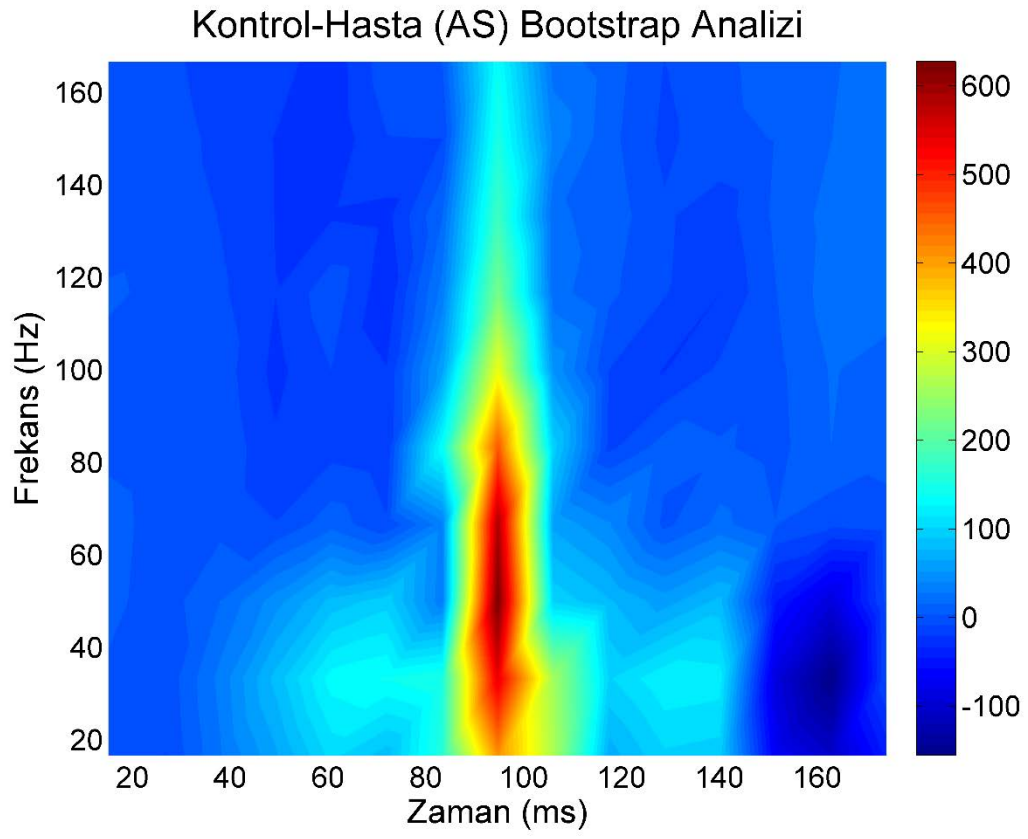


Şekil 3.28. Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu için gelişmiş ortalamalar ve anlamlı farkın olduğu zaman noktaları. Mavi çizgi ameliyat sonrası hasta grubunun ileri düzey ortalamasını, kırmızı çizgi ameliyat öncesi hasta grubu ortalamasını ve siyah noktalar ise anlamlı farkın olduğu yerleri göstermektedir.

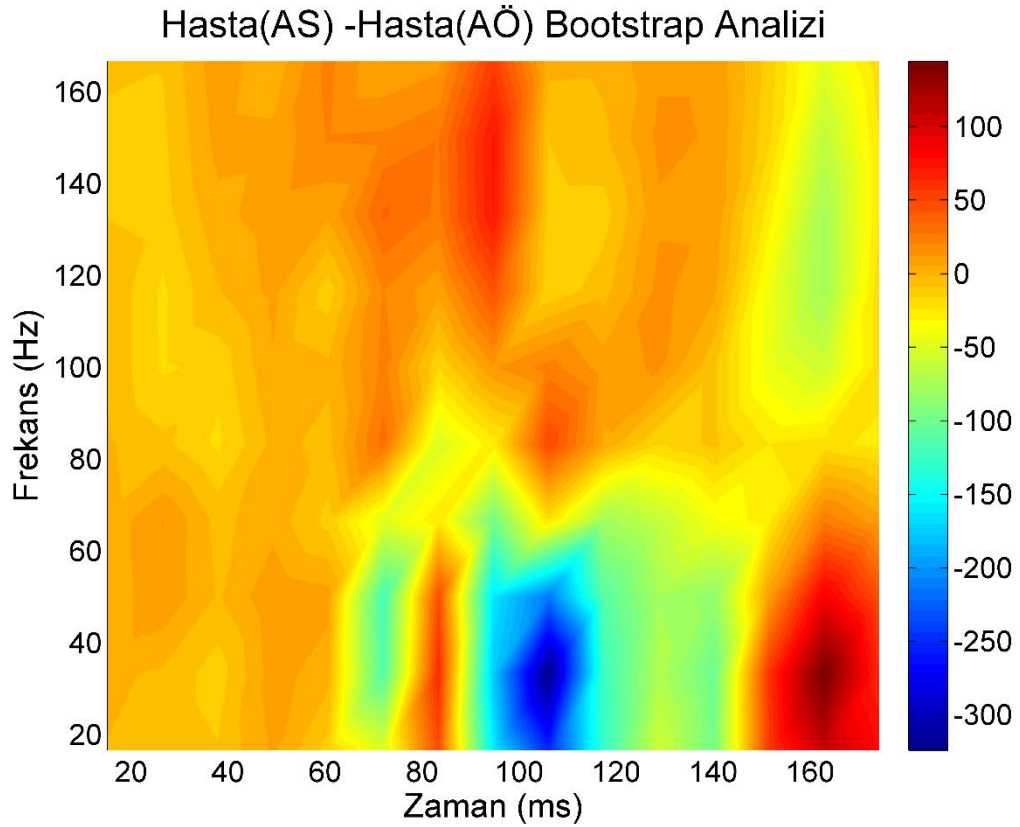
Elde edilen ileri düzey ortalama sinyallerine, yüzük ve işaret parmak analizinde olduğu gibi “Bootstrapping” analizi yapıldı. Analiz aşamasında, kontrol ile ameliyat öncesi hasta grubu farkı ve kontrol ile ameliyat sonrası hasta grubu farkı için tekrar sayısı 10.000 alınırken, ameliyat sonrası ve öncesi arası fark için, anlamlı sonuçlar elde edebilmek amacıyla 100 alındı. Belirtilen tekrar sayılarında gerçekleştirilen yerleştirme ile yeniden örnekleme kullanılarak gruplar arası fark renk ölçeğinde, frekans-zaman dağılım haritalanması yapıldı. Kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu arasında fark analizi Şekil 3.29’da, kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubununki Şekil 3.30’da ve ameliyat sonrası ile öncesi hasta grubu farkı ise Şekil 3.31’de gösterilmektedir.



Şekil 3.29. Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası.

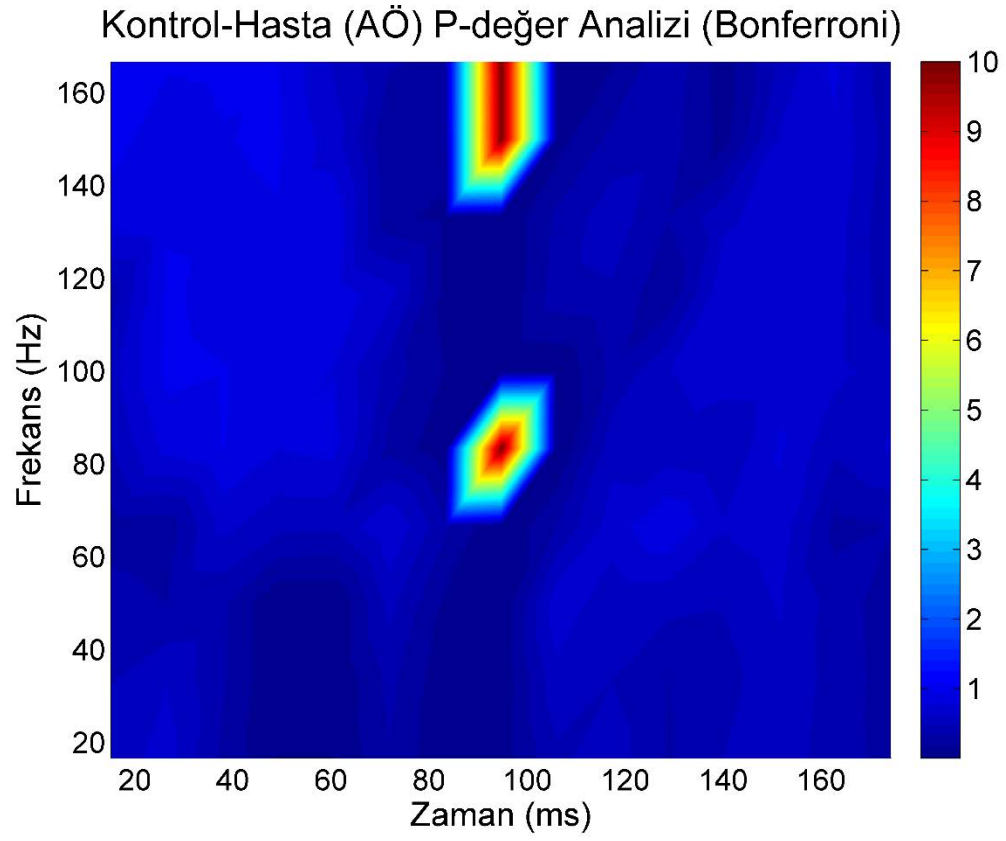


Şekil 3.30. Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası.

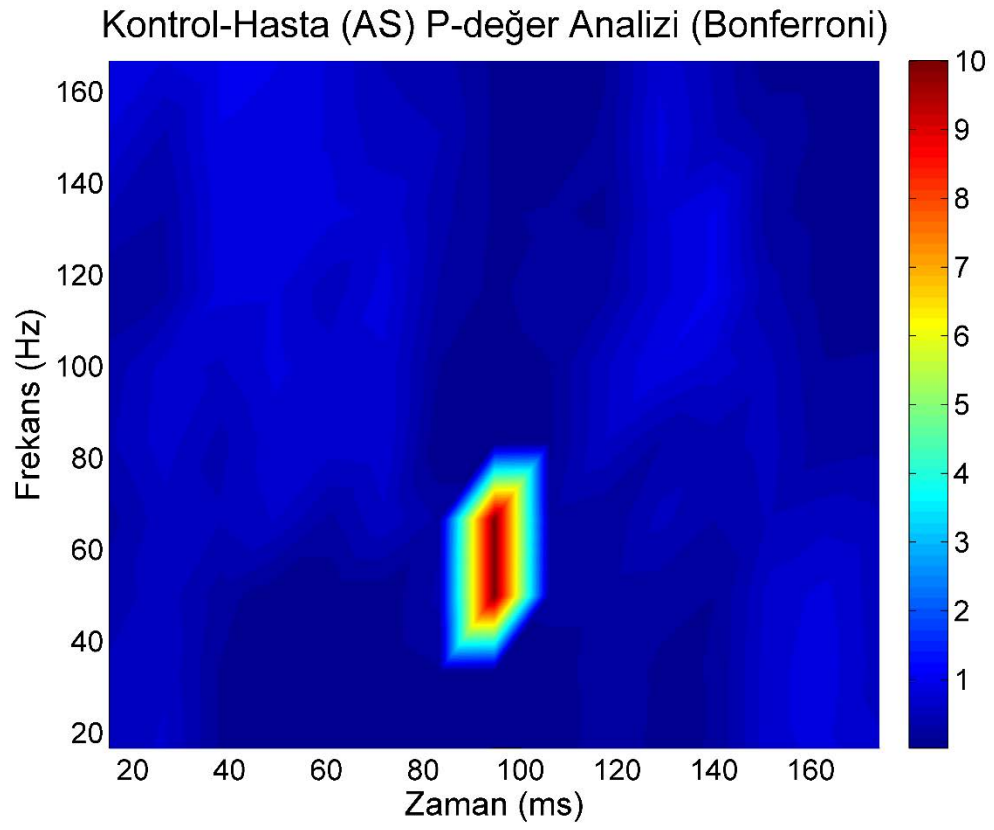


Şekil 3.31. Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu arasındaki fark için Bootstrap frekans-zaman analizi haritası.

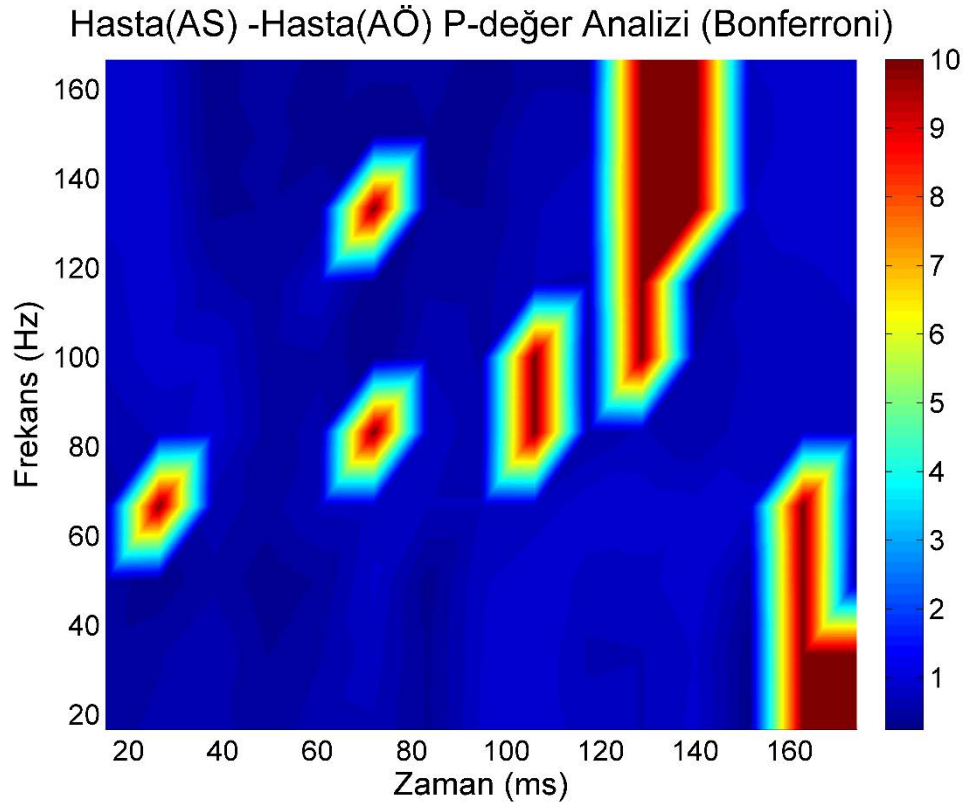
Gruplar arasındaki fark için elde edilen dağılım haritasında p değeri hesaplandı. Kontrol ile ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark ve kontrol ile ameliyat sonrası arasındaki fark analizinde sistemin hesaplama çözünürlüğü için $p=0,0023$ alındı. Ameliyat sonrası ve öncesi arasındaki fark da anlamlılık analizi yapabilmek amacıyla $p=0,23$ alındı. Elde edilen p değer haritalanmaları, kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu farkı için Şekil 3.32’de, kontrol ile ameliyat sonrası hasta grubu farkı için Şekil 3.33’de gösterildi. Ameliyat sonrası ile öncesi hasta grupları arasındaki fark ise Şekil 3.34’de gösterilip incelendi.



Şekil 3.32. Kontrol ve ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması. Kırmızı bölgeler istatistiksel olarak anlamlı farkların olduğu zaman ve frekans değerlerini göstermektedir.



Şekil 3.33. Kontrol ve ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması. Kırmızı bölgeler istatistiksel olarak anlamlı farkların olduğu zaman ve frekans değerlerini göstermektedir.



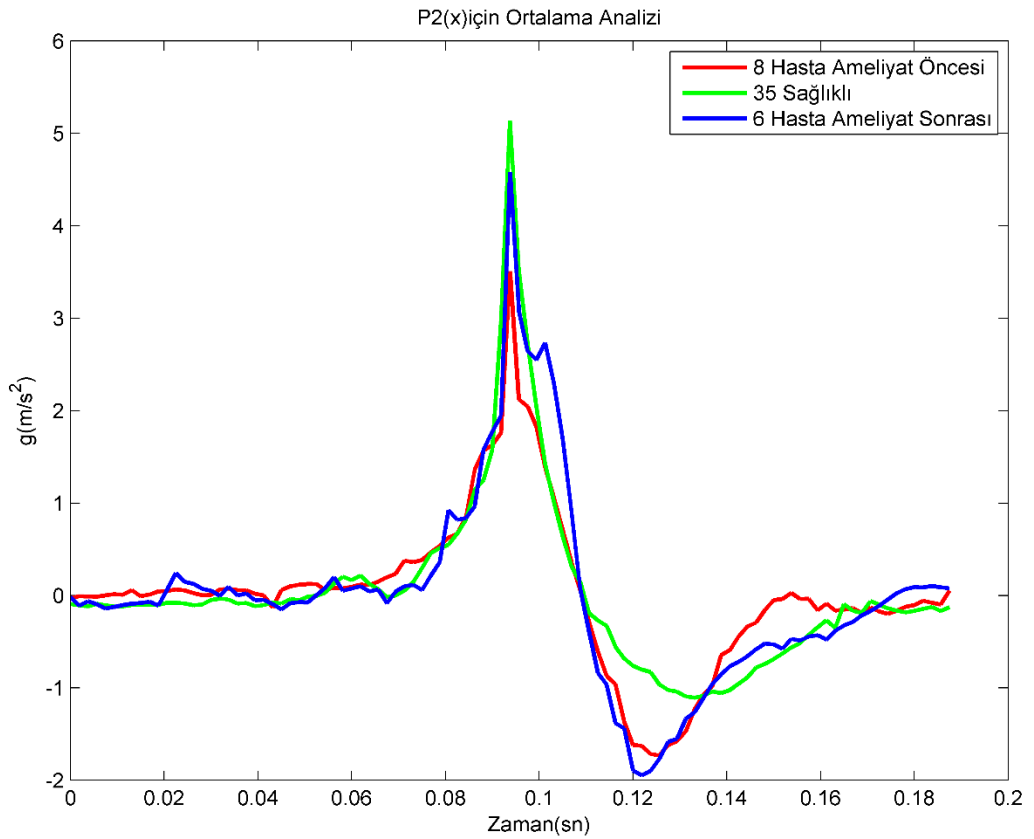
Şekil 3.34. Ameliyat sonrası ve öncesi hasta grubu arasındaki fark için p-değer analizi haritalaması.

4. SONUÇLAR

4.1. Protokol 2, Konvansiyonel Yöntemler ile Elde Edilen Sonuçlar

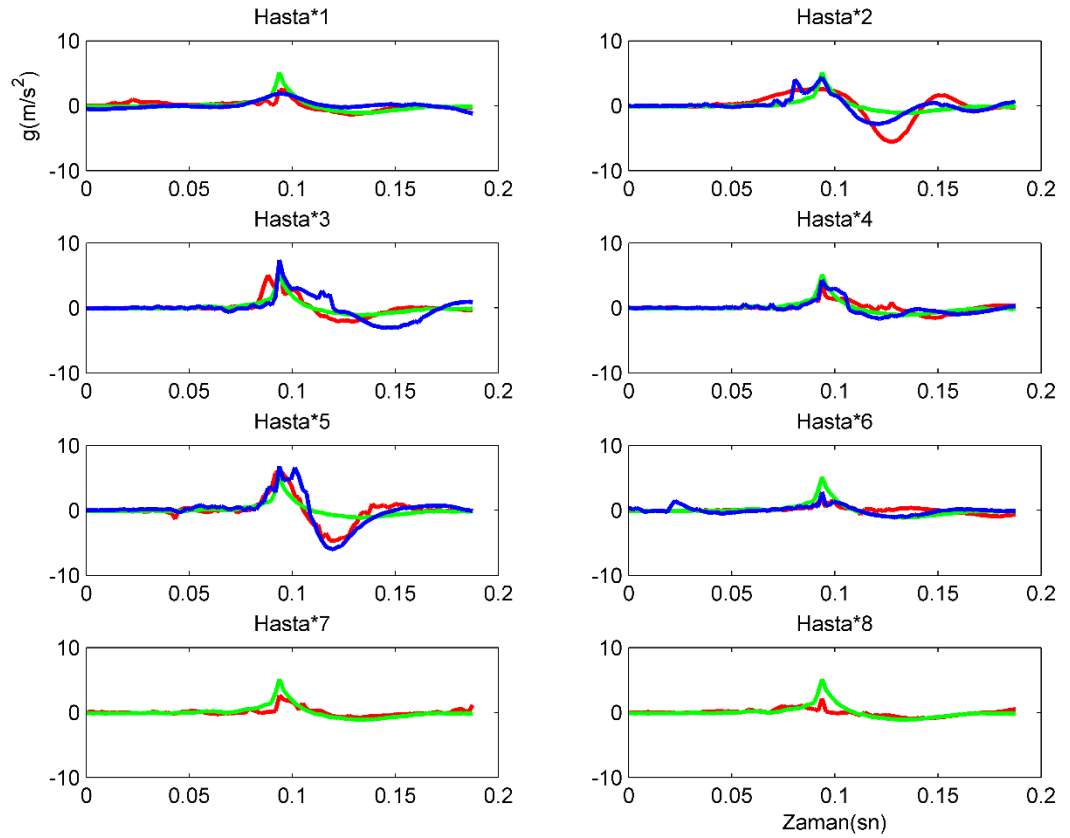
4.1.1. P2, Yüzük ve İşaret Parmak Farkı için Elde Edilen Sonuçlar

Protokol 2 uygulanarak abdüksiyon hareketi sırasında çıkan ivme cevapları analiz edildiğinde maksimum ivme değeri sağlıklı gönüllü grubunda $5,14 \pm 0,94$ g olarak saptandı ($n=35$). Ameliyat öncesi hasta kayıtlarında $3,51 \pm 0,83$ g ($n=8$). Gruplar karşılaştırıldığında kontrol grubu ortalamasının, hasta grubu ortalamasının anlamlı olarak ($p=0,0398$), büyük olduğu belirlendi (Şekil 4.1). Hasta grubundan ameliyat sonrası elde edilen kayıtlar incelendiğinde, P2 protokolüne cevap olarak çıkan maksimum ivme genliğinin $4,58 \pm 1,04$ g olduğu ve bunun da anlamlı olarak ($p=0,0113$) ameliyat öncesi dönemde yapılan kayıtlardan daha büyük olduğu tespit edildi.



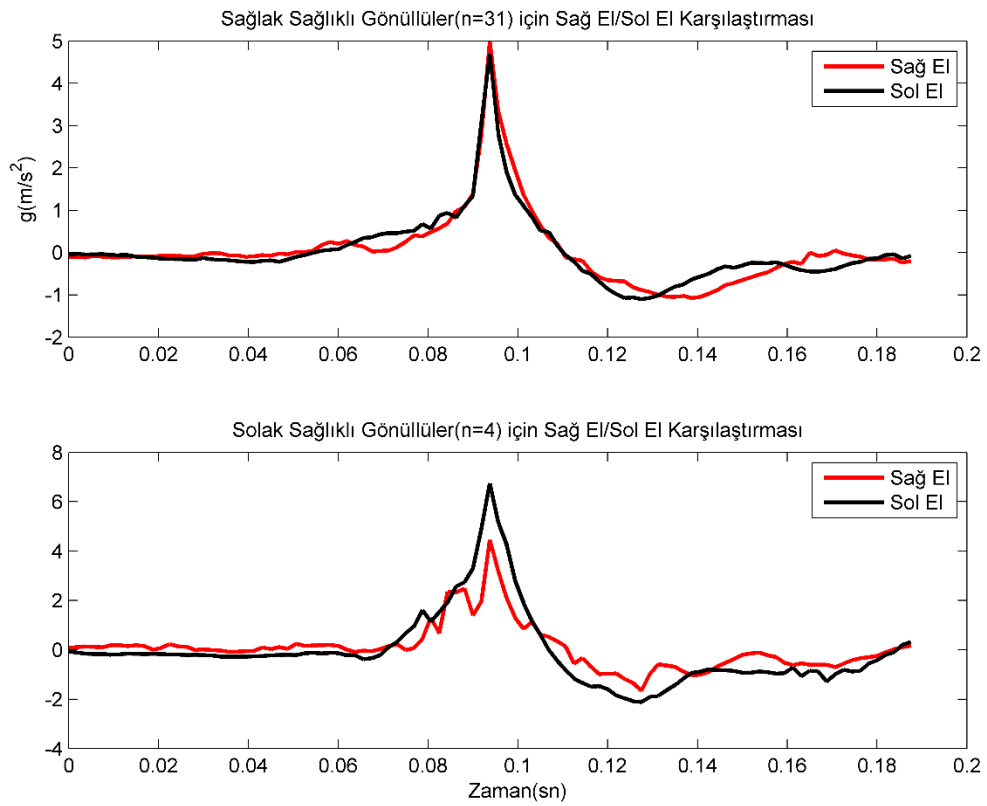
Şekil 4.1. P2(x) için abdüksiyon sinyali ortalama analizi

Çalışmada karşılaşılan en büyük sıkıntı yeterli sayıda hasta takip edilebilmesi konusuydu. Nöropati hastası bulmak zaten kısıtlıydı ayrıca hastalar genelde ameliyat sonrası randevularına gelmediklerinde deney grubu sayısı ciddi ölçüde küçüldü. Tüm çabalara rağmen kayıt işlemi için ancak 8 hasta bulunabildi ve bunlardan ancak 6 tanesinin ameliyat sonrası kayıtları alınabildi. Bu sayı yetersizliği istatistiksel değerlendirmemizi kısıtlamaktaydı. Bu nedenle Şekil 4.2’de tüm hastaların bireysel kayıtları kontrol grubuna kıyasla gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 8 hastanın 6’sı için ameliyat öncesi dönemde alınan kaydın, genel ortalama dan daha düşük genlikli olduğu gözlemlendi. Ayrıca ameliyat edilen 6 hastanın 1 tanesi hariç diğer tümünde belli ölçüde bir genlik artışı saptanmıştır.



Şekil 4.2. Sağlıklı bireylerden alınan kayıtların ortalaması ile her bir hastaya ait kayıtların üst üste bindirilmiş hali. Kırmızı ve mavi çizgiler; ameliyat öncesi hasta kaydı ve ameliyat sonrası hasta kaydıken, yeşil çizgi ise 35 sağlıklı denekten alınan ortalama kayıttır.

Protokol 2 ile oluşturulan abdüksiyon hareketinin ürettiği ivme cevapları kontrol grubundaki sağlak ve solak sağlıklı bireyler gruplandırılarak karşılaştırıldı. 35 Sağlıklı gönüllüden 31'i sağlak olan gönüllülerin oluşturduğu grupta sağ el ve sol el abdüksiyon ortalamaları incelendiğinde sağ el ortalamasının sol ele göre büyük genlikte olduğu tespit edildi. Aynı karşılaştırma analizi 4 kişilik sol elini kullanan sağlıklı gönüllü grubunda yapıldığında, sol el ortalamasının sağ el ortalamasının çok üstünde olduğu görülmüştür. (Şekil 4.3)

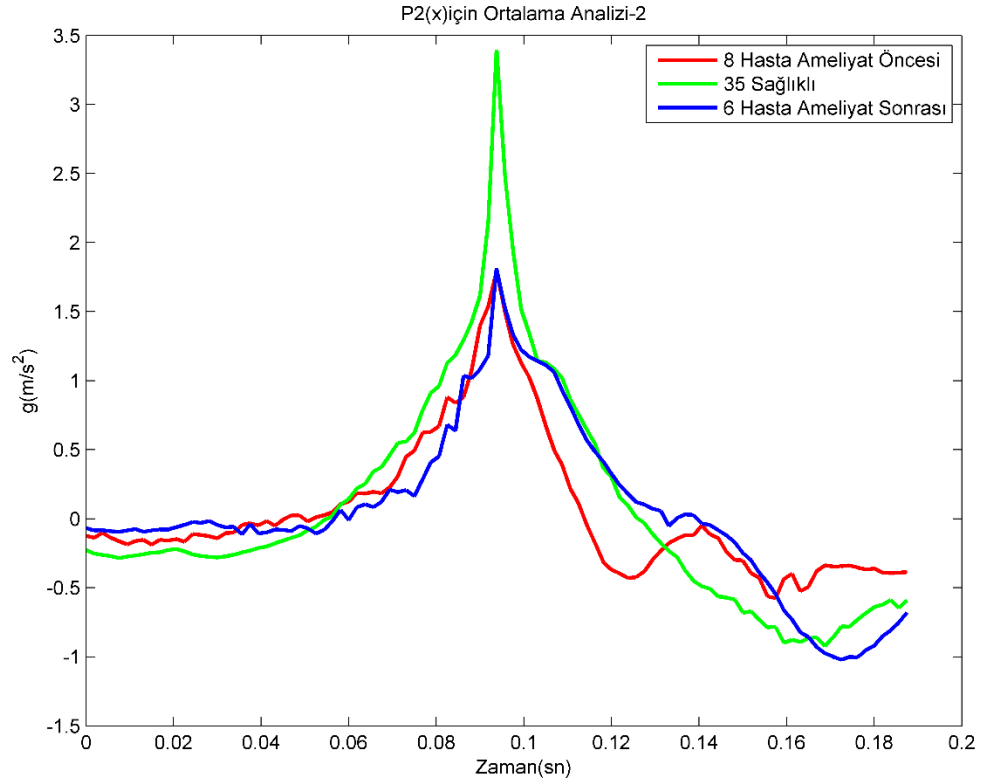


Şekil 4.3. Sağlıklı gönüllülerde Baskın el analizi

4.1.2 P2, Baş ve Serçe Parmak Farkı için Elde Edilen Sonuçlar

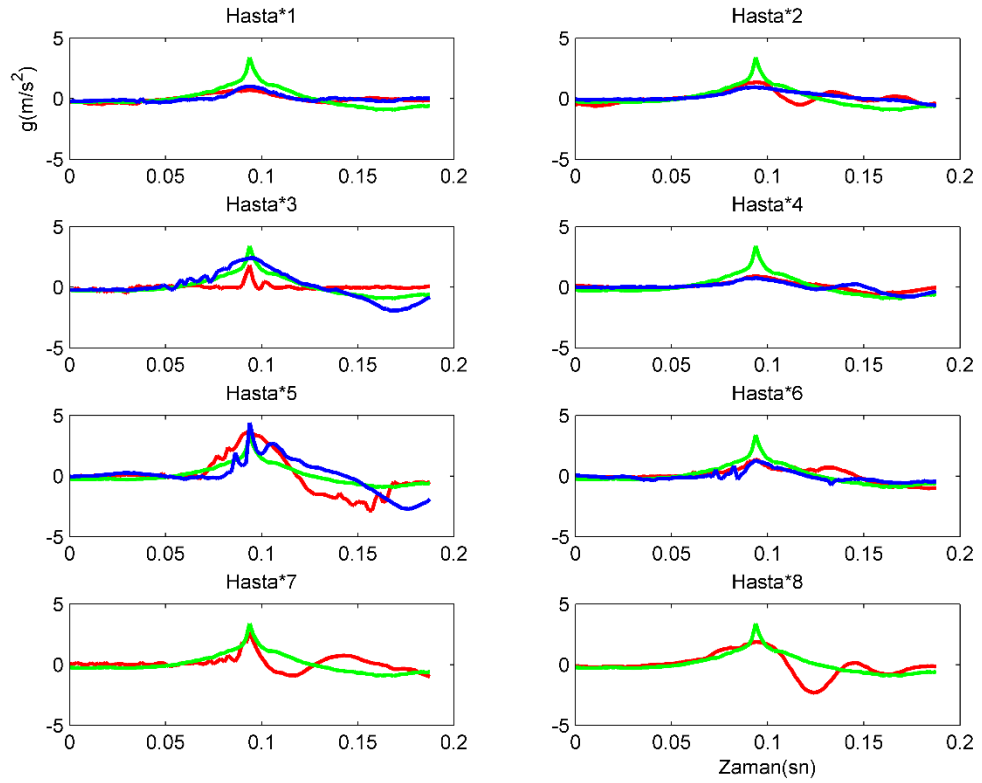
Protokol 2 ile elde edilen abdüksiyon hareketi ivme cevapları analiz edildiğinde maksimum ivme değeri kontrol grubu için $3,39 \pm 0,81$ g ameliyat öncesi hasta grubu için $1,79 \pm 0,51$ g ve ameliyat sonrası hasta grubu için de $1,81 \pm 0,60$ olarak

elde edildi. Kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu karşılaştırıldığında, kontrol grubu ortalamasının, hasta grubu ortalamasından ($p=0,2287$) büyük olduğu tespit edildi. Ameliyat sonrası hasta grubu ortalaması ise ameliyat öncesi grup ortalamasından aynı şekilde ($p=0,9177$) daha büyük olduğu belirlendi (Şekil 4.4).



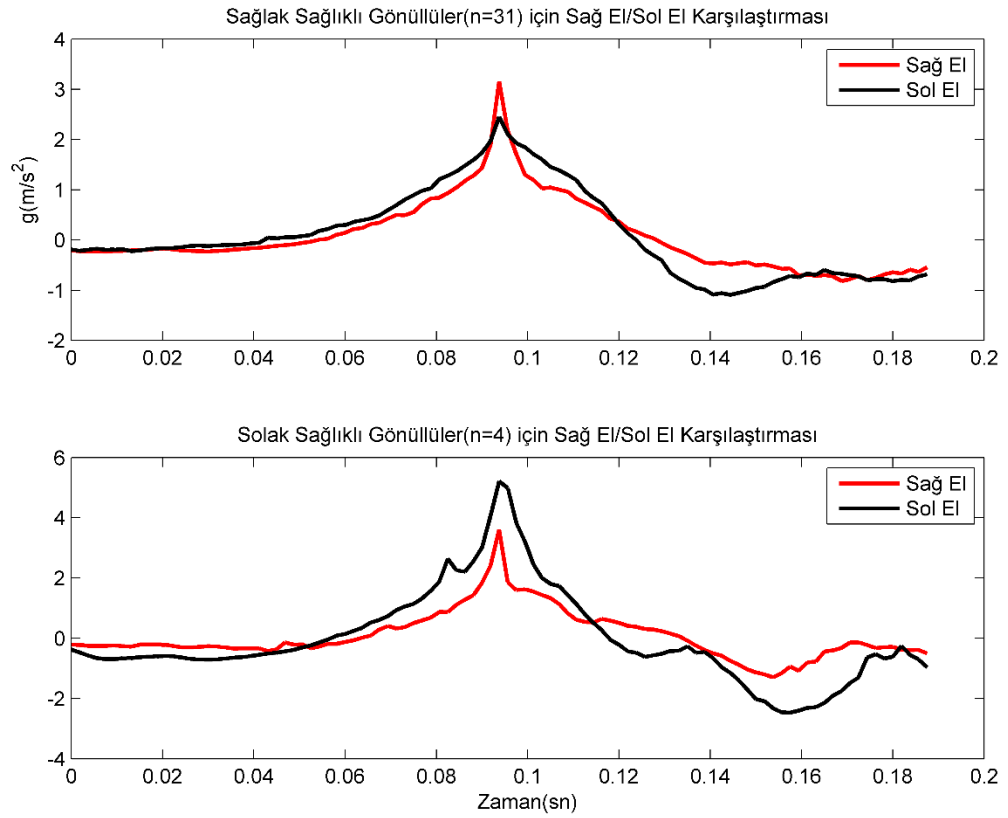
Şekil 4.4 Baş parmak-serçe parmak abdüksiyon fark sinyali ortalama analizi

Şekil 4.5’de tüm hastaların bireysel kayıtları kontrol grubu ile kıyaslandı. 8 hastadan 7 tanesi için ameliyat öncesi ivme kaydı, kontrol grubu ivme kaydından daha düşük genlikli olduğu bulundu. 6 hastanın 3 tanesi içinde ameliyat sonrası kayıtlarda genlik artışı gözlemlendi.



Şekil 4.5 Kontrol grubu ortalaması ile her bir hastaya ait ivme kayıtlarının karşılaştırılması. Yeşil çizgi kontrol grubunu, kırmızı ve mavi çizgiler ise sırasıyla ameliyat öncesi ve sonrası hasta kayıtlarına aittir.

Yüzük ve işaret parmağı abdüksiyon ivme kayıt analizlerinde yapıldığı gibi, baş parmak ve serçe parmak analizinde de sağlak ve solak sağlıklı bireyler gruplandırıldı. Bu gruplar karşılaştırıldığında 35 sağlıklı bireyden 31'i sağlak olan grupta sağ el ortalamasının sol el ortalamasına göre daha büyük genlikte olduğu tespit edildi. Aynı karşılaştırma sol elini kullanan bireylerin oluşturduğu 4 kişilik grupta yapıldığında, sol el ortalamasının sağ el ortalamasının oldukça üstünde olduğu gözlemlendi (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Sağlıklı gönüllülerde baskın el analizi (Baş ve serçe parmak farkı için)

4.2. Protokol 2, Gelişmiş Yöntemler ile Elde Edilen Sonuçlar

4.2.1 P2, Yüzük ve İşaret Parmak Farkı için İleri Düzey Yöntemlerle Elde Edilen Sonuçlar

Analiz kısmında belirtilen gelişmiş yöntemlerle yapılan analizler ile kontrol grubu ile hasta grubu arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlılığı incelendi ve aşağıda belirtilen sonuçlar bulundu.

Sırasıyla Şekil 3.17, 3.18 ve 3.19'da; kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubunun, kontrol ile ameliyat sonrası hasta grubunun ve ameliyat öncesi ve sonrası hasta grubunun abdüksiyon tepe noktalarının arasındaki fark kolay bir şekilde anlaşılmaktadır. Buna ek olarak, Şekil 3.17'de tepe noktalarının olduğu bölgede, 3 siyah nokta bulunması bu bölgede iki sinyal arasında anlamlı şekilde fark olduğunu

gösterir. Şekil 3.18 ve 3.19’da ise, abdüksiyon hareketinin ivme kaydının gevşediği bölgede anlamlı fark vardır.

Şekil 3.20’de Bootstrapping yöntemi ile elde edilen frekans-zaman grafiği incelendiğinde, koyu kırmızı renkli kısımlar, kontrol grubundan hasta grubunun anlamlı ölçüde farklı olduğu yerleri göstermektedir. Bu yüzden abdüksiyon sinyali tepe noktalarına denk gelen zaman aralığının koyu kırmızı ölçekte gösteriliyor oluşu, 30Hz ile 90 Hz frekans aralığında, kontrol ve hasta grubu arasındaki farkın bu bölgede en farklı olduğunu ifade etmektedir. Şekil 3.21’de de abdüksiyon sinyali tepe noktasına kırmızı bölge denk gelmektedir ve bu durum kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki farkın bu bölgede en belirgin olduğunu göstermektedir. Fakat bu bölgedeki kırmızı alan yoğunluğu Şekil 3.20’ye göre nispeten daha düşüktür ve daha düşük anlamlı farkı ifade etmektedir. Şekil 3.22’de ise aynı şekilde, tepe noktası hizasına yakın bölgede kırmızı yani istatistiksel olarak anlamlı farklılık tespit edildi. Bu yüzden ameliyat sonrası ve öncesi hasta grupları arasındaki farkın en belirgin olduğu bölge, 100-120ms ve 30-60Hz arasındaki abdüksiyon hareketi ivme kaydındaki gevşeme bölgesidir.

Şekil 3.23’de ise Şekil 3.20’deki kontrol ve hasta grupları arasındaki farkın, anlamlılığını ifade eden p değeri cinsinden, Bonferroni düzeltmesi ile elde edilmiş analiz haritasıdır. Şekle bakıldığında, sadece abdüksiyon tepe noktalarına denk gelen bölümün kırmızı olduğu görülmektedir. Şekildeki kırmızı bölgeler, istatistiksel anlamlılığa sahip değerlerin bulunduğu bölgeleri göstermektedir. Bu değerlendirmeye göre, kontrol ve hasta grupları arasındaki farkın istatistiksel olarak en büyük olduğu kısımlar abdüksiyon sinyali tepe noktaları etrafındadır. Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de ise anlamlı farkın olduğu bölgeler, Şekil 3.23’den nispeten küçük alan kaplamakla olmakla beraber aynı şekilde tepe noktalarına karşılık gelen bölgede bulunmaktadır.

4.2.2 P2, Baş ve Serçe Parmak Farkı için İleri Düzey Yöntemlerle Elde Edilen Sonuçlar

Yüzük ve işaret parmak farkında da yapıldığı gibi, baş ve serçe parmak için gelişmiş yöntemlerle yapılan analizler ile gruplar arasındaki farkın istatistiksel anlamlılığı incelendi ve aşağıda belirtilmiş sonuçlar bulundu.

Şekil 3.26'da kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki fark belirgin bir şekilde görülmektedir. Abdüksiyon hareketi ivme sinyalinin tepe noktasının bulunduğu bölgedeki siyah noktalar bu bölgede anlamlı farkın olduğunu göstermektedir. Ayrıca tepe noktasının öncesindeki ve sonrasındaki bölgelerde bulunan siyah noktalar, abdüksiyon hareketi ivme kaydının kasılıp gevşediği bölümlerde de anlamlı farkın bulunduğunu ifade etmektedir. Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de sırasıyla, kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki fark ve ameliyat sonrası ile öncesi arasındaki fark gösterilmiştir. Bu iki grup kıyaslaması için de abdüksiyon hareketi ivme kaydının gevşediği bölgede anlamlı fark vardır.

Bootstrapping yöntemi ile elde edilen frekans-zaman haritalanmalarına bakıldığında, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da sırasıyla, kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu arasındaki farkın ve kontrol ile ameliyat sonrası hasta grubu arasındaki farkın hangi zaman ve frekans aralıklarında anlamlı olduğunu göstermektedir. İki şekilde de, abdüksiyon hareketi ivme kaydının tepe noktasına denk gelen 80-100ms bölgesi kırmızı ile ifade edilmektedir. Bu durum iki şekil içinde 40Hz-80Hz frekans aralığında, abdüksiyon hareketi ivme sinyali tepe noktası bölgesinde anlamlı farkın olduğunu belirtmektedir. Şekil 3.31 ise ameliyat sonrası ve öncesi hasta grupları arasındaki farkın anlamlılığını göstermektedir. Şekil 3.29 ve Şekil 3.30 ile kıyaslandığında, abdüksiyon hareketi ivme sinyali tepe noktasını ifade eden bölgede, Şekil 3.31'da aynı seviyede anlamlılığı gösteren bölge yoktur.

Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'de, sırasıyla kontrol grubu ile ameliyat öncesi hasta grubu farkının ve kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu farkının anlamlılığı p değeri cinsinden elde edilmiş analiz haritasıdır. Her iki şekilde de abdüksiyon hareketi ivme sinyali tepe noktası zaman aralığında görülmekte olan kırmızı bölgeler, bu gruplar arasındaki farkların bu bölgede anlamlı olduğunu göstermektedir. Kontrol ile ameliyat öncesi hasta grubu için abdüksiyon hareketi ivme sinyali tepe noktasının

anlamlı olduğu frekans 80Hz bölgesi ve 140-160Hz bölgesidir. Kontrol grubu ile ameliyat sonrası hasta grubu için abdüksiyon hareketi ivme sinyalinin tepe noktasının anlamlı olduğu frekans ise 50Hz-70Hz frekans aralığıdır. Şekil 3.34 ise ameliyat sonrası ve öncesi hasta grupları arasındaki farkın p-değer cinsinden elde edilmiş frekans-zaman haritalanmasını göstermektedir. Şekil 3.34 düşük tekrar sayısında $p=0,23$ değeri üzerinden üretilmiştir.



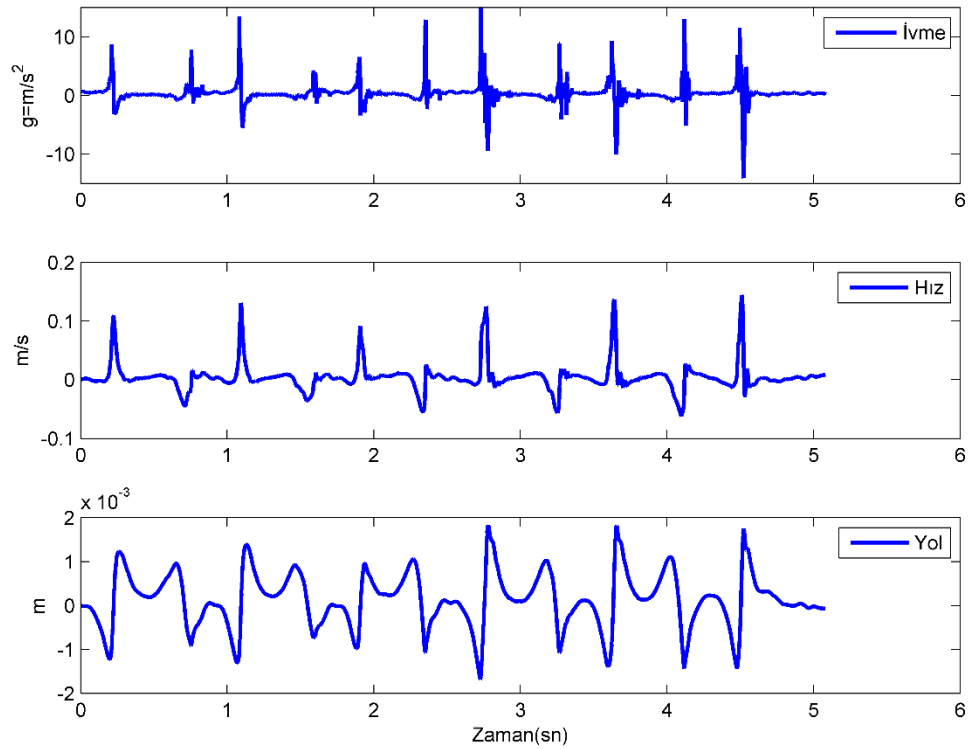
5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı hareket bozukluklarının tanı ve takibinde alternatif bir yöntem geliştirilmesidir. Bu amaçla birimimizde tasarlanıp (12) prototipleri üretilen bir ivme ölçme sistemi, periferik nöropati hastalarında ilk defa test edilmiştir. Çalışmada, hastalar ilgili kasların anatomik ve fonksiyonel bilgileri göz önüne alarak geliştirdiğimiz bir el hareketi protokolü yaptırılmış ve oluşan ivme cevapları kayıt edilmiştir. Elde edilen kayıtlar, sağlıklı gönüllülerden elde edilenlerle ve hastalardan ameliyat sonrası alınan ikinci kayıtlarla karşılaştırılmıştır.

El parmaklarının motor inervasyonu spinal C5- T1 seviyeleri segmentinden çıkan üç farklı sinir Nervus radialis, ulnaris ve medianus tarafından gerçekleştirilir (Şekil 3.8). Bizim çalışmamızda deney grubunda yer alan periferik nöropati hastalarının tamamı karpal tünel sendromu tanısı almış olan hastalardır. Bilindiği üzere median sinir sıkışması, gözlenen patolojinin temelini teşkil etmektedir. Bu bakış açısıyla tüm parmakların fleksiyonu ve başparmağın abdüksiyon hareketi öne çıkar (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6). Biz tanı algoritmaları geliştirirken bu bilgiyi referans aldık. P2 hareketi parmakların abdüksiyon ve addüksiyonundan oluşur. Başparmak dışında tüm parmaklar ulnar sinirce inerve olurlar. Biz tüm parmaklardan kayıt yaptığımız için tüm parmak hareketlerini ayrırcı şekilde değerlendirme imkânına sahiptik. Ayrıca P3 tanı algoritması parmakların fleksiyon hareketini içermesi nedeniyle yine aynı amaçla kullanıma potansiyeline sahiptir. Fiske hareketinden oluşmuş P4 tanı hareketi ise daha çok radial sinir fonksiyonuyla ilişkilendirilmiştir (Şekil 3.7).

Deneylerde kullanılan kayıt cihazı ± 16 g menzili ile fiske hareketi dışında tüm hareketleri kayıpsız ölçme kapasitesine sahiptir. Ancak, fiske hareketi bazı hastalarda ve gönüllülerde bu sınırların üstüne taşan miktarlarda ivme ürettiğinden kapasitesi sınırlı olarak değerlendirildi ve P4 hareketi bu nedenle değerlendirme kapsamı dışında bırakıldı. Diğer tanı hareketleri cihazın sınırlarından daha düşük ivme cevapları çıkarttıklarından bunlara ait kayıtlar güvenli bulunup analiz edildi. Cihazla ilgili bir diğer sınırlama cihazın örnekleme hızı ile ilgiliydi. Kullanılan ivmeölçerler aslında uygun örnekleme yapacak kapasitede bir çıktıya sahiptir. Ancak, seri kapı (port) aktarıcı toplamda 8000 nokta/saniye hızında veri aktarabilmektedir. Bu aktarım hızı

beş parmaktan gelen 15 kanala paylaştırılınca örnekleme hızı her bir kanal için 1600/3 nokta/saniye mertebesiyle sınırlanmaktadır. Bu durumda ivme sinyalinin hızla yön değiştirdiği tepe noktaları kayıtlarda ancak az sayıda nokta ile sayısallaştırılabilmektedir. Bu iki temel kısıt dışında cihaz güvenilir ivme kayıtları sağlamıştır. Bu güvenilirliğin bir göstergesi olarak Şekil 5.1’de gösterildiği üzere ilgili ivme kaydının kümülatif toplamı alınarak parmak hareketlerinin hızları ve bu işlemin tekrarlanması ile parmakların kat ettikleri yerin hesaplanması dahi mümkün olmuştur. Bu bilgiler ışığında bu çalışmada kullanılan yöntemin yeterli ve güvenilir olduğu düşünülmüştür.



Şekil 5.1. P2 ivme kaydından kümülatif toplam ile bulunan parmak hareket hızları ve aynı işlem tekrarı ile bulunan parmak yolu.

P2 hareketine cevap olarak elde edilen sinyaller analiz edilirken ardışık kayıtlardan her bir kayıt pik değeri referans alınarak yerleştirilmiştir. Bu yaklaşımın amacı tamamen denek inisiyatifiyle tetiklenen sinyallerin başlangıcını belirlemekte

karşılaşılan sıkıntıyı ortadan kaldırmaktır. Bu harekete cevap olarak çıkan sinyal analiz edilirken daha büyük genlikli olması nedeniyle abdüksiyon hareketi öncelikli olarak değerlendirilmiştir. Ters yönde hareket eden iki parmak çifti 1.ve 5. Parmak ve 2. ve 4. Parmak sinyalleri farkı alınarak sinyal daha da güçlendirilmiştir. Bu sinyaller analiz edildiğinde kontrol grubunda baskın elde çıkan ivme cevabı tepe değerinin, çekinik elde kayıt edilenden anlamlı ölçüde büyük genlikli olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bize baskın el hareketlerinin beklendiği üzere daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Bu durum her iki parmak çifti için de geçerlidir. Hasta grubuna ait ivme kayıtları kontrol grubunda elde edilenlerle karşılaştırıldığında sinyalin tepe değerinin açık şekilde küçük genlikli olduğu görülmektedir. Bu durum bize periferik nöropati hastalarında parmakların ivmelenmesinin ciddi ölçüde azaldığını göstermektedir. Hasta kayıtlarının analizinde gözlenen bir diğer önemli bulgu ise ivme cevaplarının tepe değerinin tedavi amaçlı operasyon işleminden sonra hastaların büyük kısmında, kısmen de olsa artmasıdır. Ancak, bu gelişme kısmi düzeyde olup kontrol grubundan elde edilenlerden daha düşük seviyelerdedir. Dolayısıyla operasyonun kısa dönemdeki tedavi edici etkisinin kısıtlı olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ancak, uzun dönemli takipler sonunda tam iyileşmenin olup olmayacağına karar verilebilir.

Bu grup analizden elde edilen bir diğer sonuç ise 1. ve 5. parmak grubu ile 2. ve 4. parmak gruplarının karşılaştırılmasıdır. Şekil 3.17’de gösterildiği üzere 2. ve 4. parmak grubundan elde edilen sinyal kontrol grubuyla kıyaslandığında; tepe değerini takip eden bazı noktalar için anlamlı düzeyde farklılıklar tespit edilmiştir. Aynı uygulama 1. ve 5. parmak grubu için yapıldığında benzer zaman noktalarının anlamlı derecede kontrol değerlerinden farklı olduğu ayrıca sinyalin diğer kısımlarındaki çok sayıda zaman noktası için de farklılıkların tespit edildiği görülmektedir (Şekil 3.26). Aslında 2. ve 4. parmakların daha kuvvetli sinyal üretmeleri ve patolojik durumlarda farkın bu grupta daha çok fark yaratması önerilebilir. Ancak, parmakların abdüksiyon hareketini başparmakta median sinir diğer parmaklarda ise unlar sinirden çıkan lifler sağlamaktadır. Çalışmamızda kullanılan hasta grubu ise median sinir basısı nedeniyle periferik nöropati gelişmiş hasta grubudur. Bu nedenle sinyal büyüklüğünün yarattığı beklentinin aksine başparmağın yer aldığı 1. ve 5. parmak grubunda farkın daha geniş kapsamlı olması aslında fonksiyonel anatomik gerekçelere daha uygundur. Ayrıca, parmaklara ait sinyaller tek tek incelendiğinde başparmağın sinyalinin küçük parmağın

sinyalinden daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 3.9). Bu durumda median sinir basısı nedeniyle gelişen patolojide en çok başparmağın etkilenmesini beklemek yerindedir. Zaten mevcut bulgular da bu yöndedir. Mevcut tanı protokolleri arasında periferik nöropatiler için en uygun olanı P2 hareketidir. P3 hareketinin bir komponenti de median sinir tarafından sağlanmaktadır. Her ne kadar, el parmaklarının fleksiyonunu median sinir sağlasa da, dallanma darlığın daha proksimalinde olduğundan etki daha az belirgin olabilir. Buna karşın P2 hareketi en distaldeki kaslar tarafından üretildiği için etkilenmesi daha şiddetli olacaktır. Bizim verilerimiz, parmakların abdüksiyon hareketinin fleksiyon hareketine oranla daha çok etkilendiğini göstermektedir. Bu bulgu beklenti ile uyumludur.

Bu öncü çalışma periferik nöropati hastalarında bizim geliştirdiğimiz ivme ölçme yönteminin hasta ve sağlıklı bireyleri teşhis etmede başarılı olduğunu göstermektedir. Deneylerde karşılaşılan en önemli sıkıntı hasta takibinde yaşanmaktadır. Ancak kısıtlı sayıda hasta ile yapılan deneylerde bile anlamlı ölçüde farklar hesaplanmıştır. Bu durum dikkate alınması gereken, aslında ümit verici bir işaret olarak yorumlanabilir. Önümüzdeki dönemde; cihazımızın çalışma aralığı genişletilecek; çözünürlüğü, sensör ve eksen sayısı

rasyonel bir yaklaşımla azaltılarak, geliştirilecektir. Bu sistem sadece periferik nöropati değil diğer hareket bozukluklarına da uygulanarak yöntemin uygulanabilirlik spektrumu belirlenip genişletilecektir.

6. KAYNAKLAR

- 1 Kandel, E.R. (2013). Principles of neural science (5th bs.). New York: McGraw-Hill.
- 2 Kwee, R.M., Chhabra, A., Wang, K.C., Marker, D.R., Carrino, J.A. (2014) Accuracy of MRI in diagnosing peripheral nerve disease: a systematic review of the literature. *AJR Am J Roentgenol*, 203 (6), 1303-1309.
- 3 Fantini, S., Chen, D.K., Martin, J.M., Sassaroli, A., Bergethon, P.R. (2009) Near-infrared signals associated with electrical stimulation of peripheral nerves. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 7174.
- 4 Campbell, W.W. (2008) Evaluation and management of peripheral nerve injury. *Clinical Neurophysiology*, 119 (9), 1951-1965.
- 5 Koo, Y.S., Cho, C.S., Kim, B.J. (2012) Pitfalls in Using Electrophysiological Studies to Diagnose Neuromuscular Disorders. *J Clin Neurol*, 8 (1), 1-14.
- 6 Fernando, M., Crowther, R., Lazzarini, P., Sangla, K., Cunningham, M., Buttner, P. ve diğeri. (2013) Biomechanical characteristics of peripheral diabetic neuropathy: A systematic review and meta-analysis of findings from the gait cycle, muscle activity and dynamic barefoot plantar pressure. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 28 (8), 831-845.
- 7 Tapadia, M., Mozaffar, T., Gupta, R. (2010) Compressive neuropathies of the upper extremity: update on pathophysiology, classification, and electrodiagnostic findings. *J Hand Surg Am*, 35 (4), 668-677.
- 8 Statistics, C.N.C.f.H. (2016). International Classification of Diseases, Tenth Revision, Clinical Modification 26.05.2016, 2016, Ağ Sitesi: <http://www.cdc.gov/nchs/icd/icd10cm.htm#icd2016>
- 9 MikroElektronika. Accel SPI Board, Ağ Sitesi: <https://shop.mikroe.com/add-on-boards/sensors/accel-spi>
- 10 Microchip. PIC-Enhanced Flash Microcontrollers.
- 11 MikroElektronika. on-board USB to serial UART interface device.
- 12 ENSTİTÜSÜ, T.P. Patent Araştırma, Ağ Sitesi: <http://online.tpe.gov.tr/EPATENT/servlet/PreSearchRequestManager>

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	<i>"Hareket Bozukluklarının Tanı ve Takibi için Kolay Taşınabilir Alternatif Bir Yöntem Geliştirilmesi"</i>
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	

DEĞERLENDİRİLEN DİĞER BELGELER	Belge Adı		Açıklama
	SİGORTA	☒	Sigorta teklifi
	ARAŞTIRMA BÜTÇESİ	☒	
	BİYOLOJİK MATERYEL TRANSFER FORMU	☐	
	İLAN	☐	
	YILLIK BİLDİRİM	☐	
	SONUÇ RAPORU	☐	
	GÜVENLİLİK BİLDİRİMLERİ	☐	
	DİĞER:	☐	
KARAR BİLGİLERİ	Karar No: 2015 / 06 – 24 (KA-15001) Toplantı Tarihi: 30.06.2015 (İlk değerlendirme tarihi: 21.05.2015)		
	Üniversitemiz Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof.Dr. Nuhan PURALI'nın sorumlu araştırmacısı olduğu, yüksek lisans öğrencisi Berk SAĞLAM'ın uzmanlık tezi olan, Yrd.Doç.Dr. Akın ÜZÜMCÜGİL, Prof.Dr. Ahmet Deniz BELEN, Yrd.Doç.Dr. Barkın İLHAN ve Sağlık Teknikeri Gülsev BAYRAM ile birlikte çalışacakları <i>"Hareket Bozukluklarının Tanı ve Takibi için Kolay Taşınabilir Alternatif Bir Yöntem Geliştirilmesi"</i> başlıklı proje öneri dosyası ile ilgili belge ve dokümanlar; araştırmanın/çalışmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş olup, süresi dolan sigorta teklifinin güncellenmesi, başvuru formu ve bütçede bulunan sorumlu araştırmacıya ait eksik imzaların tamamlanması şartıyla tıbbi etik ve bilimsel açıdan uygun bulunmuştur. İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik kapsamında yer alan araştırmalar/çalışmalar için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınması gerekmektedir.		

KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

ETİK KURULUN ÇALIŞMA ESASI		İlaç ve Biyolojik Ürünlerin Klinik Araştırmaları Hakkında Yönetmelik, İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu						
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:		Prof. Dr. F. Alev TÜRKER						
Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet	Araştırma ile ilişkisi		Katılım*		İmza
Prof. Dr. F. Alev Türker Başkan	İç Hst. Onkoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Zafer Çehrelî, Başkan Yardımcısı	Pedodonti	Hacettepe Ü. Dişhek. F.	E	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Mutlu Hayran, Raportör	Epidemiyoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	E	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Fatma Gümrük	Çocuk Sağl. ve Hst. Hematoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	K	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	İZİNLİ
Prof. Dr. Murat Yurdakök	Çocuk Sağl. ve Hst. Neonatoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	E	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Türkan Eldem	Far. Biyoteknoloji	Hacettepe Ü. Ezc. F.	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Nilgün Sayınalp	İç Hst. Hematoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Ayşe Küçükdeveci	Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon	Ankara Ü. Tıp F.	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Nuket Örnek Buken	Tıp Tarihi ve Etik	Hacettepe Ü. Tıp F.	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Mehmet Uğur	Biyofizik	Ankara Ü. Tıp F.	E	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Prof. Dr. Ümit Yaşar	Farmakoloji	Hacettepe Ü. Tıp F.	E	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	İZİNLİ
Doç. Dr. Erdem Karabulut	Biyoistatistik	Hacettepe Ü. Tıp F.	E	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	İZİNLİ
Av. Meltem Onurlu	Hukuk	Hacettepe Ü. Hukuk Müşavirliği	K	E ☐	H ☒	E ☒	H ☐	
Av. Ç. Ziya Akçağlayan	Hukuk	Emekli (sivil üye)	E	E ☐	H ☒	E ☐	H ☒	İZİNLİ

* :Toplantıda Bulunma

Etik Kurul Başkanının

Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. F. Alev TÜRKER

İmzası:

Not: Etik Kurul Başkanı'nın her sayfada imzası yer almalıdır.

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU KARAR FORMU

ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	"Hareket Bozukluklarının Tanı ve Takibi için Kolay Taşınabilir Alternatif Bir Yöntem Geliştirilmesi"
VARSA ARAŞTIRMANIN PROTOKOL KODU	

ETİK KURUL BİLGİLERİ	ETİK KURULUN ADI	Hacettepe Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu
	AÇIK ADRESİ:	Hacettepe Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu 06100 Altındağ / ANKARA
	TELEFON	+90 (312) 305 1082
	FAKS	+90 (212) 310 0580
	E-POSTA	kliniketik@hacettepe.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ

KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof. Dr. Nuhan Puralı			
KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Biyofizik			
KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı			
VARSA İDARİ SORUMLU UNVANI/ADI/SOYADI	Yoktur			
DESTEKLEYİCİ	TÜBİTAK			
PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TÜBİTAK vb. gibi kaynaklardan destek alanlar için)	Prof. Dr. Nuhan Puralı			
DESTEKLEYİCİNİN YASAL TEMSİLCİSİ	Yoktur			
ARAŞTIRMANIN FAZİ VE TÜRÜ	FAZ 1	☐		
	FAZ 2	☐		
	FAZ 3	☐		
	FAZ 4	☐		
	Gözlemsel ilaç çalışması	☐		
	Tıbbi cihaz klinik araştırması	☒		
	İn vitro tıbbi tanı cihazları ile yapılan performans değerlendirme çalışmaları	☐		
	İlaç dışı klinik araştırma	☐		
	Diğer ise belirtiniz: Mikro ivme ölçerleri kullanarak 3 boyutlu ivmeyi ölçecek 5 kanallı çok küçük boyutlu taşınabilir cihaz			
ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☐	ÇOK MERKEZLİ ☒	ULUSAL ☒	ULUSLARARASI ☐

DEĞERLENDİRİLEN BELGELER	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili		
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ	19/10/2014	01	Türkçe ☒	İngilizce ☐	Diğer ☐
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU	19/11/2014	01	Türkçe ☒	İngilizce ☐	Diğer ☐
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe ☐	İngilizce ☐	Diğer ☐
	ARAŞTIRMA BROŞÜRÜ			Türkçe ☐	İngilizce ☐	Diğer ☐

Etik Kurul Başkanının
Unvanı/Adı/Soyadı: Prof. Dr. F. Alev TÜRKER
İmzası:



Not: Etik Kurul Başkanı'nın her sayfada imzası yer almalıdır.

8. ÖZGEÇMİŞ

I- Bireysel Bilgiler

Berk SAĞLAM

Afyonkarahisar 01.05.1990

T.C.

Hacettepe Üniversitesi Sıhhiye Kampüsü, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı

0506 929 4307

II- Eğitim

2013- Hacettepe Üniversitesi Biyofizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans

2008-2013 Bilkent Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü

2004-2008 Hacı Ömer Tarman Anadolu Lisesi

III- Mesleki Deneyim

2013- Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı
Araştırma Görevlisi