

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZ VE KOL TRANSPLANTASYON VE TRAVMA HASTALARINDA  
FONKSİYONEL GELİŞİMİN  
DOĞRUSAL OLMAYAN METODLARLA ANALİZİ**

**Çağdaş TOPÇU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2016**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZ VE KOL TRANSPLANTASYON VE TRAVMA HASTALARINDA  
FONKSİYONEL GELİŞİMİN  
DOĞRUSAL OLMAYAN METODLARLA ANALİZİ**

**Çağdaş TOPÇU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 113E182  
nolu proje ile desteklenmiştir.)**

**2016**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZ VE KOL TRANSPLANTASYON VE TRAVMA HASTALARINDA  
FONKSİYONEL GELİŞİMİN  
DOĞRUSAL OLMAYAN METODLARLA ANALİZİ**

**Çağdaş TOPÇU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .../.../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK

Prof. Dr. Hilmi UYSAL

Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

## ÖZET

### YÜZ VE KOL TRANSPLANTASYON VE TRAVMA HASTALARINDA FONKSİYONEL GELİŞİMİN DOĞRUSAL OLMAYAN METODLARLA ANALİZİ

Çağdaş TOPÇU

**Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**  
**Danışman: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK**  
**Mart 2016, 39 sayfa**

Karmaşıklık ölçütüyle yüz ve kol nakil ve replantasyon hastalarının fonksiyonel gelişimi incelenmiştir. Yüz ve kol nakil ve kol replantasyon hastalarıyla sağlıklı bireylerden elektromiyografi (EMG) verisi fonksiyonel elektriksel uyarım stratejikeri ve rehabilitasyon mekanizmalarının anlaşılması için toplanmıştır. Nakil ve replantasyon hastalarının fonksiyonel hareketlerinin ve fasial duygusal ifadelerinin geliştirilmesi için bilişsel nörorehabilitasyon yöntemleri kullanılmıştır. Rehabilitasyon süreci yüzey EMG işaretinin bulanık entropisiyle incelenmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bilişsel rehabilitasyon sonrasında hastalardaki fonksiyonel ve motor gelişim tatmin edicidir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Tam yüz nakli, Kol nakli, Kol replantasyon, Fonksiyonel elektriksel uyarım, Bilişsel nörorehabilitasyon, Bulanık Entropi, Doğrusal olmayan, Yüzey EMG

**JÜRİ:** Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK (Danışman)  
Prof. Dr. Hilmi UYSAL  
Doç. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

## ABSTRACT

### ASSESSING FUNCTIONAL RECOVERY OF FACE AND ARM TRANSPLANTATION AND TRAUMA PATIENTS WITH NONLINEAR METHODS

Çağdaş TOPÇU

**MSc Thesis in Electrical and Electronics Engineering**  
**Supervisor: Associate Professor Dr. Ömer Halil ÇOLAK**  
**March 2016, 39 pages**

We assessed functional recovery of face and arm transplantation and arm replantation patients with measures of complexity. We collected surface electromyography (EMG) data from full face and arm transplantation, arm replantation patients and healthy individuals for determining strategy of functional electrical stimulation (FES) and for understanding mechanisms of rehabilitation. Cognitive neurorehabilitation methods used to improve functional movements and facial expressions of the transplantation and replantation patients. Rehabilitation processes was investigated with Fuzzy entropy (FuzzyEn) of surface EMG signals and compared with results of healthy individuals. In the patients, the functional and motor recovery after cognitive rehabilitation are satisfactory.

**KEYWORDS:** Full face transplantation, Arm transplantation, Arm replantation, Functional electrical stimulation, Cognitive neurorehabilitation, Fuzzy Entropy, Nonlinear, Surface EMG

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Ömer Halil ÇOLAK (Supervisor)  
M.D. Prof. Dr. Hilmi UYSAL  
Assoc. Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

## ÖNSÖZ

Bildiğimiz tedavi yöntemlerinin kökten değişmesini sağlayabilecek yüz ve kol nakil çalışmalarının tanığı olmanın heyecanıyla bu çalışmalarda gözlemlediklerimin bir kısmını tezimde yayınlamayı uygun buldum.

Bu çalışmada her türlü yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK ve hocam Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT'a teşekkür ederim. Benim için çok farklı bir alan olan klinik nörofizyolojiye dair düşünebilmemi sağlayan Prof. Dr. Hilmi Uysal hocama ve inanılması güç olan öncesinde bilim kurgusal metinlerde görebileceğimiz yüz ve kol nakilleri gerçekleştiren Doç. Dr. Özlenen Özkan ve Prof. Dr. Ömer Özkan hocalarıma ve çalışma ekiplerine teşekkür ederim.

Çalışma süresince sorular sorarak ve görüşlerini benimle paylaşarak fikirlerin temel sebeplerini incelememi sağlayan öğrencilerime, arkadaşlarıma ve aile dostlarıma teşekkür ederim.

Çocukluğumdan beri bilim insanı olmamı destekleyen bana farklı düşünebilmeyi öğreten annem Ayşe TOPÇU ve babam Adnan TOPÇU'ya minnet ve şükranlarımı sunuyorum.

## İÇİNDEKİLER

|  |      |
|--|------|
| ÖZET.....  | i    |
| ABSTRACT.....  | ii   |
| ÖNSÖZ .....  | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                      | iv   |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....                   | v    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                  | vi   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                | viii |
| 1. GİRİŞ .....   | 1    |
| 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI .....        | 2    |
| 2.1. Elektromyografi .....                             | 2    |
| 2.2. Yüze EMG İşaretinin Analizi .....                 | 3    |
| 2.3. Fonksiyonel Elektriksel Uyarım .....              | 4    |
| 2.4. Yüz ve Kol Nakli .....                            | 4    |
| 3. MATERYAL VE METOT .....                             | 5    |
| 3.1. Yüze EMG İşaretinin Kaydı .....                   | 5    |
| 3.2. Önleme .....                                      | 8    |
| 3.3. Bilişsel Nörorehabilitasyon .....                 | 9    |
| 3.4. Fraktal Boyutu .....                              | 14   |
| 3.5. Entropi .....                                     | 15   |
| 3.6. Yaklaşık Entropi (ApEn) .....                     | 15   |
| 3.7. Örnek Entropi (SampEn) .....                      | 16   |
| 3.8. Bulanık Entropi (FuzzyEn) .....                   | 16   |
| 3.9. Dalgacık Entropi (WE) .....                       | 16   |
| 3.10. Dalgacık Paket Entropi (WPE) .....               | 17   |
| 3.11. Kol ve Yüz Nakil ve Replantasyon Hastaları ..... | 18   |
| 4. BULGULAR .....                                      | 20   |
| 4.1. Tam Yüz Nakil Bulguları .....                     | 20   |
| 4.1.1. Temel yüz hareketleri .....                     | 20   |
| 4.1.2. Duygusal yüz ifadeleri .....                    | 20   |
| 4.1.2.1. Kızgın duygusal yüz ifadesi .....             | 20   |
| 4.1.2.2. Korku duygusal yüz ifadesi .....              | 22   |
| 4.1.2.3. Mutluluk duygusal yüz ifadesi .....           | 23   |
| 4.1.2.4. Nefret/iğrenme duygusal yüz ifadesi .....     | 24   |
| 4.1.2.5. Şaşırma duygusal yüz ifadesi .....            | 25   |
| 4.1.2.6. Üzgün duygusal yüz ifadesi .....              | 26   |
| 4.2. Kol Replantasyon ve Nakil Bulguları .....         | 28   |
| 6. SONUÇ VE TARTIŞMA .....                             | 32   |
| 7. KAYNAKLAR .....                                     | 34   |
| 8. EKLER .....   | 39   |
| Ek 1: Geliştirilen MATLAB Kodları .....                | 39   |
| ÖZGEÇMİŞ .....   |      |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|          |                           |
|----------|---------------------------|
| $\Theta$ | Heaviside fonksiyonu      |
| C        | Olasılık                  |
| D        | Fraktal boyutu            |
| d        | Öklidyen uzaklık          |
| E        | Enerji                    |
| m        | Gömülü uzay boyutu        |
| p        | Bağlı Enerji              |
| r        | Tolerans değeri           |
| $\psi$   | Temel dalgacık fonksiyonu |

### Kısaltmalar

|         |                                |
|---------|--------------------------------|
| ApEn    | Yaklaşık Entropi               |
| DPE     | Dalgacık Paket Enerjisi        |
| EEG     | Elektroensefalografi           |
| EMG     | Elektromiyografi               |
| FES     | Fonksiyonel Elektriksel Uyarım |
| FuzzyEn | Bulanık Entropi                |
| HFD     | Higuchi Fraktal Boyutu         |
| LDA     | Doğrusal Ayrıştırma Analizi    |
| SampEn  | Örnek Entropi                  |
| WE      | Dalgacık Entropi               |
| WPE     | Dalgacık Paket Entropi         |
| YSA     | Yapay Sinir Ağı                |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 2.1. Yüzey EMG işaretinin durağan olmayan stokastik benzetimi .....  | 3  |
| Şekil 3.1. Kayıtlarda kullanılmak için geliştirilen kullanıcı arayüzü .....  | 5  |
| Şekil 3.2. Kol için elektrot pozisyonları .....  | 6  |
| Şekil 3.3. Yüz için elektrot pozisyonları .....  | 7  |
| Şekil 3.4. Yüzey EMG işaretinin tek yönlü genlik spektrumu .....   | 8  |
| Şekil 3.5. Yüzey EMG işaretinin önışleme sonrası tek yönlü genlik spektrumu .....  | 9  |
| Şekil 3.6. Örnek EMG işaretinin dalgacık paket enerji (DPE) analizi.....   | 10 |
| Şekil 3.7. Örnek ham EMG işareti ve o işareten elde edilen HFD özniteliği .....  | 15 |
| Şekil 3.8. Örnek ham EMG işareti ve o işareten elde edilen bulanık entropi<br>özniteliği.....  | 18 |
| Şekil 4.1. Temel yüz hareketlerinin rehabilitasyon öncesi üç yüz nakil hastasında ve<br>sağlıklı bireylerde bulanık entropi analiziyle karşılaştırılması ..... | 20 |
| Şekil 4.2. Kızgınlık yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi .....       | 21 |
| Şekil 4.3. Kızgınlık yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi .....        | 21 |
| Şekil 4.4. Korku yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....            | 22 |
| Şekil 4.5. Korku yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....             | 23 |
| Şekil 4.6. Mutluluk yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....         | 23 |
| Şekil 4.7. Mutluluk yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının<br>rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi .....         | 24 |
| Şekil 4.8. Nefret/iğrenme yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil<br>hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....   | 24 |
| Şekil 4.9. Nefret/iğrenme yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil<br>hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....    | 25 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 4.10. Şaşırma yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....   | 26 |
| Şekil 4.11. Şaşırma yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....  | 26 |
| Şekil 4.12. Üzgün yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi .....  | 27 |
| Şekil 4.13. Üzgün yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi.....  | 27 |
| Şekil 4.14. Yatay bozuk para tutma, dikey bozuk para tutma, silindir kavrama, sıkıca çubuk tutma ve yumruk hareketlerinin.....<br>kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki.....<br>kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması .....  | 28 |
| Şekil 4.15. Dört parmak flekiyon, dört parmak ekstensiyon, işaret parmağı fleksiyon, serçe parmağı fleksiyon ve.....<br>çubuk tutma hareketlerinin kol replantasyon .....   | 29 |
| Şekil 4.16. Orta parmak flekiyon, kalem tutma, yüzük parmağı fleksiyon, başparmak abdüksiyon, başparmak addüksiyon ve başparmak ekstensiyon....<br>hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının....<br>ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması.....  | 29 |
| Şekil 4.17. Başparmak flekiyon, başparmak oppozisyon, bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon, ulnar deviasyon.....<br>(sola doğru bilek hareketi) ve radial deviasyon.....<br>(sağa doğru bilek hareketi) hareketlerinin.....<br>kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki.....<br>kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması ..... | 30 |
| Şekil 4.18. Kol nakil hastasının bütün hareketler için bütün kanallardaki toplambulanık entropi değerlerinin.....<br>sağlıklı bireylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırması.....   | 31 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3.1. Kol kayıtlarının alındığı gönüllülerin yaş, boy ve kilo değerleri .....                       | 7  |
| Çizelge 3.2. Yüz kayıtlarının alındığı gönüllülerin yaş, boy ve kilo değerleri .....                       | 8  |
| Çizelge 3.3. Birinci yüz nakil hastası için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları .....                    | 10 |
| Çizelge 3.4. İkinci yüz nakil hastası için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları .....                     | 11 |
| Çizelge 3.5. Kol replantasyon hastasının ilk 12 kanalı için<br>fonksiyonel elektrik uyarım bölgeleri ..... | 11 |
| Çizelge 3.6. Kol replantasyon hastasının son 12 kanalı için<br>fonksiyonel elektrik uyarım bölgeleri ..... | 13 |

## 1. GİRİŞ

Bilgisini analitik yöntemlerle (kağıt ve kalemle) çözemediğimiz karmaşık sistemleri modelleyebilmek için doğrusal olmayan karmaşıklık ölçütleri geliştirilmiştir. Karmaşıklığı periyodik ve kuasiperiyodikliğe olan uzaklık olarak tanımlayabiliriz (Badii ve Politi 1999). Elektromiyografi işaretlerinin (EMG) karmaşıklık ölçütleri yüz ve kol nakli ve kol replantasyon hastalarının rehabilitasyon sürecinde kaslarındaki ve hareketlerinin kontrolündeki gelişimi incelemek amacıyla kullanılmıştır. Bilişsel rehabilitasyon için sağlıklı bireylerden ve hastalardan toplanan EMG işaretleri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda geliştirilen yöntemle elektriksel uyarımlar verilerek hastaların fonksiyonel hareketlerinin ve duygusal ifadelerinin gelişimi gözlenmiştir. Karmaşıklık ölçütü olarak bulanık entropi seçilmiştir. Seçilme nedeni ve diğer karmaşıklık ölçütleriyle karşılaştırılması Materyal ve Metot bölümünde verilmiştir. Sonuçlar bulanık entropi ile incelenmiş ve çalışmanın Bulgular bölümünde verilmiştir.



## 2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

### 2.1. Elektromyografi

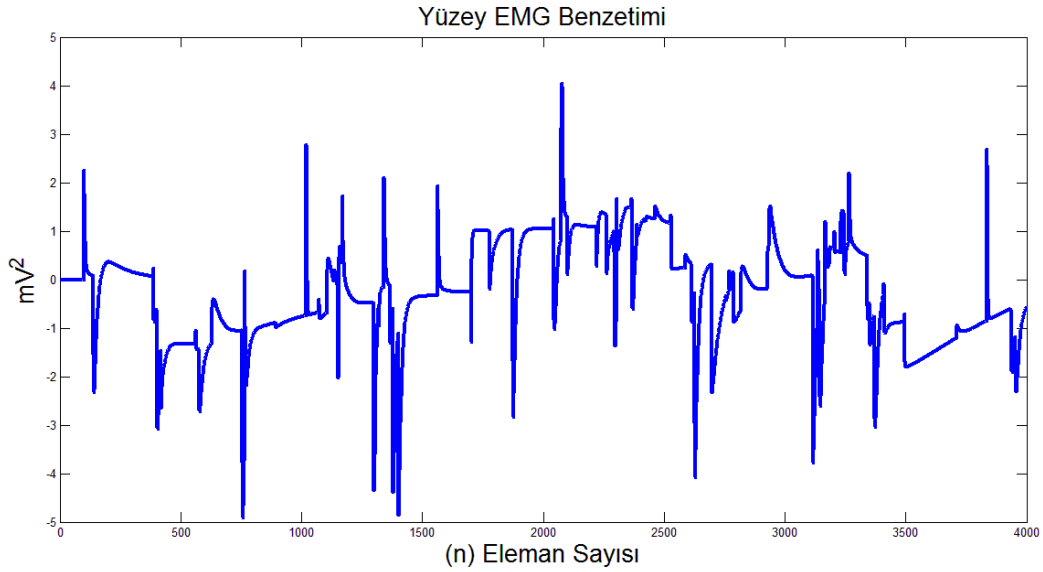
İskelet kaslarının istemli kasılması sırasında oluşan elektriksel işaretlerdir. Elektromiyografi işaretleri (EMG) girişimsel (iğne) ve yüzey olmak üzere iki farklı kayıt şeklinde kaydedilebilir.

Motor birim bir alfa motor neron ve onun innerve ettiği kas liflerini içerir [merletti kitap]. Her bir motor birim ateşlendikten sonra ürettikleri elektriksel farka motor birim aksiyon potansiyeli denilir.

EMG tarihi incelendiğinde (Sörnmo ve Laguna 2005), çalışmaların 17. yüzyıla kadar uzandığı görülür. 1666'da Franco Redi elektrikli vatoz balıklarının özelleşmiş kas dokusunun elektrik ürettiğini bulmuştur. 1773'de Walsh yılanbalığının kas dokusundan elektrik kıvılcımını üretebileceğini gösterdi. 1849'da Dubios ve Raymond istemli kas hareketleri sırasında elektriksel değişimin kaydedilebileceğini teorik olarak gösterdi. 1890'da Marey bu değişimi kaydedip ve elektromiyografi terimini kullanmıştır. 1922'de Gasser ve Erlanger osiloskoplara kaslardan gelen elektrik işaretini gözlemledi. 1966'da Hardyck ve ekibi tarafından ilk kez klinik çalışmalarda kullanıldı.

Girişimsel EMG işaret iğne elektrotlarla bölgesel verinin toplanmasını sağlar. İğne EMG kaydında motor birim aksiyon potansiyelleri ayrıştırılır ve tanı amacıyla nöroloji ve EMG kliniklerinde kullanılır. Ayrıca bu işaretlerin sese çevrilmesiyle tecrübeli nöroloji doktorları tarafından çıplak kulakla dinlenerek hastalık teşhisinde yapılabilmektedir. Motor birim aksiyon potansiyelinin süre genlik, faz sayısı, yükselme zamanı, dönüş ve uydu özellikleri tanıda kullanılmaktadır (Ertekin 2006). Son yıllarda geliştirilen çok kanallı iğne elektrotlarla (Poppendieck vd 2013) bu tetkik yöntemlerinin umut edici gelişmeler yaşayacağı öngörülmektedir.

Yüzey EMG işaretleri deri yüzeyine yerleştirilen elektrotlarla motor birim aksiyon potansiyellerinin deri yüzeyindeki toplamının kaydedilmesiyle elde edilir. Girişimsel EMG'nin aksine acısızdır ve kas dokusuna zarar vermez. Protez uzuv kontrolü, makine insan arayüzü, ergonomi, kinesiyojoloji, kas yorgunluğu tespiti, nörorehabilitasyon süreçlerinin incelenmesi gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır [makaleler]. Yüksek yoğunluklu EMG kayıt sistemleriyle motor birim aksiyon potansiyelleri ayrıştırılabilmektedir. Durağan olmayan stokastik süreç olarak modellenmektedirler (Shwedyk vd 1977). Bu modelde EMG işareti doğrusal sistemlerin toplamı olarak belirlenmiş ve zaman gecikmeleri ihmal edilmiştir. Kararlı olarak belirlenmiş zaman gecikmeli doğrusal sistemlerle ve 20 motor birim aksiyon potansiyelinin olması halinde yüzey EMG işaretinin benzetim sonucu Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Yüzey EMG işaretinin durağan olmayan stokastik benzetimi

## 2.2. Yüzey EMG İşaretinin Analizi

Yüzey EMG işaretinin daha düşük boyutlu uzaylarda gösterimiyle öznel çıkarmı yapılır. Bu öznelıkların çıkarılmasında kullanılan bazı klasik yöntemler, karekök ortalama (RMS), toplam mutlak değer (IAV), ortalama mutlak değer (MAV), özbağlanımlı modeller (AR), ortalama frekans, medyan frekans, dalga boyu ve sıfır geçiştir (ZC) (Reaz vd 2006, Chan ve Green 2007). Bu yöntemlerin dışında zaman-frekans analizi (Englehart vd 1999, 2001) yüksek dereceli istatistik yöntemleri (Nazarpour 2007) kullanılmaktadır. Beyazlatma yöntemiyle genlik tahmininin başarısı artırılmaktadır (Clancy ve Farry 2001). Bayesian süzgeçler Sanger (2007) tarafından geliştirilerek EMG işarete uygulanmış ardından Hofmann ve arkadaşları (2015) tarafından teorik hatası düzeltilerek protez el kontrolünde kullanılmıştır.

Rymarczyk ve arkadaşları (2011) 30 bireyin katıldığı çalışmalarında statik ve dinamik yüz ifadelerine verilen tepkiler karşılaştırılmıştır. Dinamik ifadeler için şiddeti artan fotoğraflar ardarda konulmuş videolar hazırlanmıştır. Statik ifadeler için en şiddetli ifadeyi içeren fotoğraflar konulmuştur. Uyarımdan önceki EMG değeri ile uyarım esnasındaki değerin farkı kullanılmıştır. Kızgınlık ifadelerinde statik ve dinamik uyarımlara cevaplarda fark gözlenmemişken mutlu ifadelerde dinamik uyarımlara cevaplar daha yoğun olmuştur. Katılımcılar dinamik ifadeleri daha yoğun bulmuşlardır.

Vannozzi ve arkadaşları (2010) aktivasyon zamanlarının tespiti üzerine yaptıkları çalışmalarında %7 yanlış alarm elde etmiş ve geliştirdikleri dalgacık dönüşümü tabanlı yöntemlerinin uygulamasında farkedilmemiş başlangıç ve sönümlenme zamanları bulunmamaktadır.

EMG işaretinin sınıflandırılmasında doğrusal ayrıştırma analizi (LDA), yapay sinir ağları (YSA) (Englehart vd 2001), destek vektör makineleri (SVM) (Lucas vd 2008,

Oskoei ve Hu 2008) gibi yöntemler kullanılmaktadır. Son yıllarda yüksek yoğunluklu EMG (HD-EMG) kullanılarak EMG işaretleri motor birimlerine ayrıştırılmakta ve nörorehabilitasyon stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Farina ve Negro 2012).

### 2.3. Fonksiyonel Elektriksel Uyarım

Kaslara deri yüzeyinden elektriksel uyarım verilerek yapay kasılmalar oluşturularak kasın çalışması sağlanır ve reinervasyon sürecinde kasların güç kaybı azaltılmaya çalışılır.

Fonksiyonel elektriksel uyarım (FES) motor nöron veya refleks yollarını sırasıyla efferent veya afferent sinir lifleriyle uyarır (Popović ve Popović 2013).

Popović-Bijelić ve arkadaşlarının (2005) çalışmasında ise sistemde yer alan 24 alanlı dizi elektrotları ve 24 anahtarlı kontrol kutusu kullanılmıştır. Bunun nedeni tek alanlı dizi elektrotlarında deri yüzeyinde elektrotların yer değişiminin ve verilerin tekrar alınmasının hem vakit kaybına neden olmasından ve hem de hasta için bu sürecin ağırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemle deneklerde %20 iyileşme görülmektedir ve bu yöntemin en büyük avantajı elektrotların yüzeyinin direkt olarak değiştirilebilmesidir.

Westerveld ve arkadaşları (2012), 19 sağlıklı insanı iki gruba ayırarak sol kol üzerinde seçilimli stimülasyon deneyleri yapmışlardır. 2 mA'den 12.5 mA'e kadar uyarımlarda bulunulmuştur. extensor digitorum communis ve flexor pollicis longus kaslarına her birey için yerleri ayrı belirlenen bir uyarım bölgesi kullanılmıştır. Extensor digitorum communis üzerinde uygulanan uyarımlarda birinci gruptaki 10 kişinin hepsinde orta parmak seçilimli olarak uyarılabilmektedir. Yüzük ve işaret parmakları çoğunlukla, küçük parmak ise 10 insanın 4'ünde seçilimli olarak uyarılabilmektedir. Baş parmak için bütün bireylerde uyarım için seçim sağlamıştır. Seçim aralığı elektrotların yerine göre değişkenlik göstermektedir. Bu aralık orta ve işaret parmağında benzerdir. Yüzük ve küçük parmağın seçim aralığında artış gözlemlenmiştir. Başparmak için olan seçim aralıkları ise orta ve işaret parmağa yakındır. Normalize edilmiş değerlerin grafiğinde ise her parmak için uyarım bölgelerinin farklı şekilde gruplaştığı görülmektedir. Bu çalışmanın sonucu olarak tek parmağın seçilimli stimülasyonu deneklerin çoğunda uygulanabildiği görülmüştür. Bu sebeple bu tezde seçilimli fonksiyonel elektriksel uyarım rehabilitasyon yöntemi olarak kullanılmıştır.

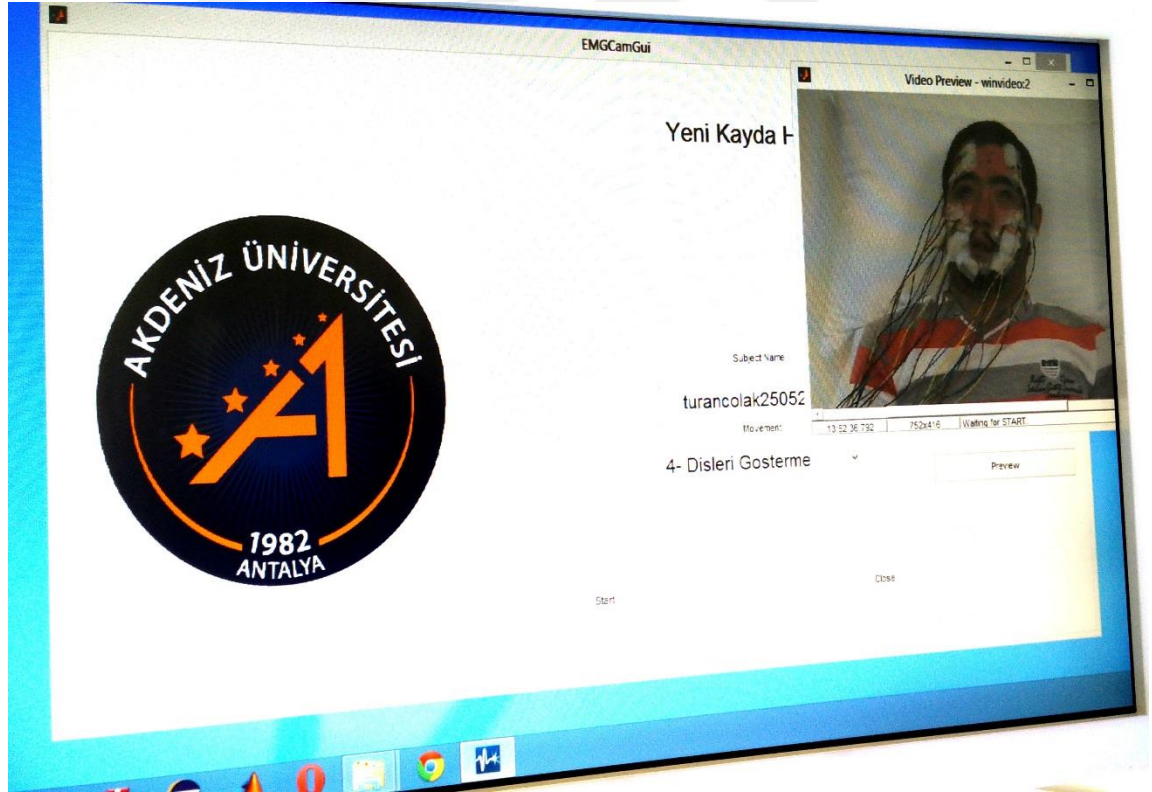
### 2.4. Yüz ve Kol Nakli

İlk kol nakli 1998 yılında olmuş ve diğer nakiller de onu takip etmiştir (Dubernard vd 1999). 2005 yılında ilk parçalı yüz nakli yapılmış (Devauchelle vd 2006) ardından 2010 yılında ilk tam yüz nakli uygulanmıştır (Barret vd 2011). Şimdiye kadar 28 yüz nakli olmuştur ve bu olgularda yeme, içme, konuşma, koklama ve gülme gibi fonksiyonel gelişmeler gözlemlenmiştir (Khalifian vd 2014). Yüz nakil hastalarının 11'i tam yüz naklidir ve bunların 3'ü Akdeniz Üniversitesi Hastahanesin'de gerçekleştirilmiştir

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Yüzey EMG İşaretlerinin Kaydı

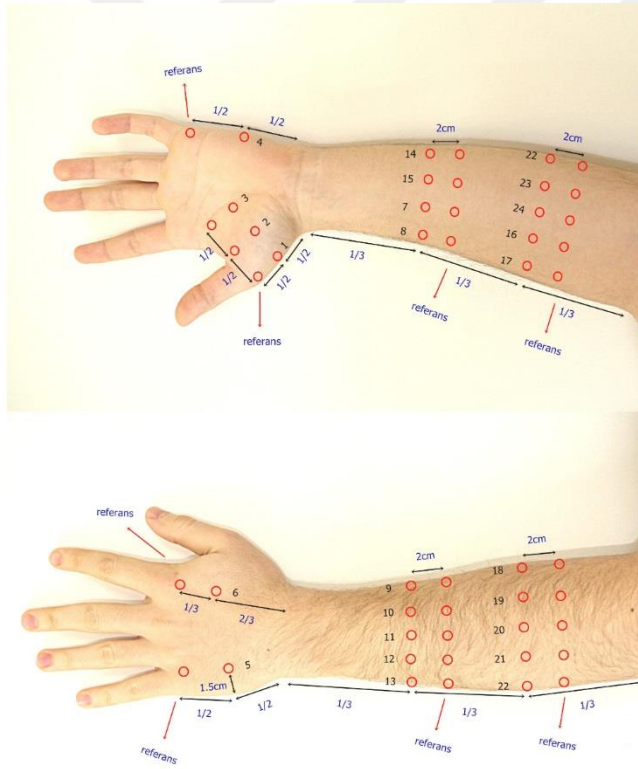
Yüzey EMG kayıtları için Biyopotansiyel yükselteç ve ADInstruments PowerLab 35/8 ve 35/16 veri toplama sistemleriyle 9 mm çaplı bipolar elektroensefalografi (EEG) elektrotları kullanılmıştır. Elektrotlar arası mesafe 20 mm olarak belirlenmiştir. Yüz kayıtlarında yüzün sol bölgesinde 7 ve sağ bölgesinde 7 olmak üzere 14 elektrot kullanılmıştır. Kayıtlardan önce deri alkolle temizlenmiş ve elektrotlarda TEN20 yapışkan nörodiagnostik jel kullanılmıştır. Kol hareketlerinde ise 6'sı elde olmak üzere 24 kanaldan kayıt alınmıştır. 2kS örnekleme frekansı olarak seçilmiştir. Biyopotansiyel yükselteç içinde bulunan 50 Hz. çentik süzgeçi kullanılmıştır. Kayıtların alınması sırasında bireylerin kasılma hareketini yapacağı ve rahatlama pozisyonuna geçeceği zamanları belirlemek için MATLAB ortamında kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Kayıtlar alınırken aynı zamanda yüksek çözünürlüklü kamera kaydı alınmış ve ikinci bir kamerayla bireylere yüzleri gösterilerek görsel geri besleme alabilmeleri sağlanmıştır. Program ekranında kasılma sürelerinin sayaçları gösterilmiş ve daha önceden kaydedilen sesli uyarı ile kasılma ve gevşeme zamanları hastaya bildirilmiştir. Yapılması görece zor olan duygusal ifadelerde referans fotoğraflar ekrana gelerek hastalara hareket hatırlatılmıştır. Örnek bir kayıt anında tasarlanan kullanıcı arayüz programının fotoğrafı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kayıtlarda kullanılmak için geliştirilen kullanıcı arayüzü



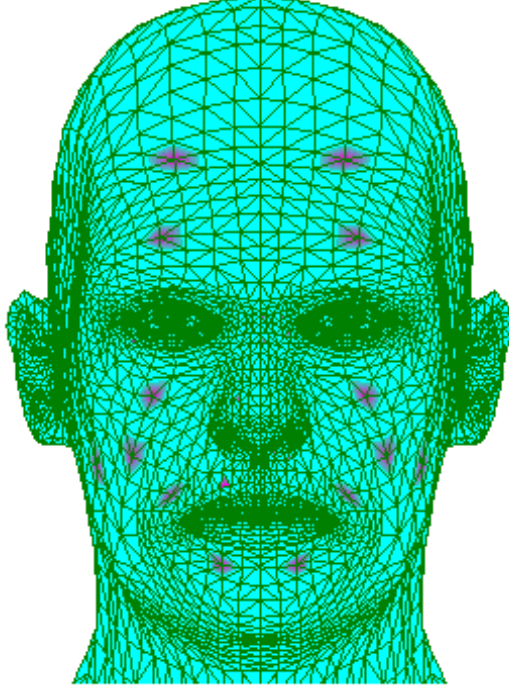
Karşılaştırma amacıyla 10 sağlıklı erkek bireyden aynı hareketler için kayıt alınmıştır. Temel yüz hareketlerinden gözleri kapama, kaşları kaldırma, dudakların ıslık pozisyonunda kasılması ve dişleri gösterme hareketleri sırasıyla, orbicularis oculi, frontalis, orbicularis oris ve levator labii superioris kaslarını incelemek amacıyla bireylere yaptırılmıştır (Kendall vd 2005). Ardından 6 temel duygu ifadesi olan, kızgınlık, korkma, mutluluk, nefret/iğrenme, üzümlük ve şaşırma mimiklerinin yapılması istenmiştir. Bu hareketlerin dışında dişlerin sıkılması istenerek bu hareketin diğer hareketleri yaparken oluşturabileceği bozulmalar incelenmek amacıyla kaydedilmiştir. Koldan alınan kayıtlarda yatay şekilde bozuk para tutma, dikey bozuk para turma, silindir kavrama, sıkıca çubuk kavrama, yumruk, başparmak hariç dört parmağın birlikte fleksiyonu, başparmak hariç dört parmağın birlikte ekstensiyonu, işaret parmağı fleksiyon, küçük parmak fleksiyon, gevşek bir şekilde çubuk tutma, orta parmak fleksiyon, kalem tutma, yüzük parmağı fleksiyon, başparmak abduksiyon, başparmak addüksiyon, başparmak ekstensiyon, başparmak fleksiyon, başparmak opposizyon, 1 kg ağırlığı bel hizasına kadar kaldırma, 1 kg ağırlığı tutma, bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon, bilekten elin sola doğru hareket ettirilmesi ve elin bilekten sağa doğru hareket ettirilmesi gibi fonksiyonel ve temel 24 hareket yaptırılmıştır. Yüz hareketlerinde 2 saniye kasılma ve 3 saniye dinlenme süresi belirlenmiştir. Kol hareketlerinde ise 3 saniye kasılma 5 saniye dinlenme süresi seçilmiştir. Kol için elektrot pozisyonları Şekil 3.2’de verilmiştir:



Şekil 3.2. Kol için elektrot pozisyonları

Yüz için elektrot pozisyonları Şekil 3.3’de verilmiştir.

Elektrot Pozisyonları



Şekil 3.3. Yüz için elektrot pozisyonları

Kol için kayıt alınan sağlıklı bireylerin yaş, boy ve kilo değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kol kayıtlarının alındığı gönüllülerin yaş, boy ve kilo değerleri

| GÖNÜLLÜ | YAŞ | BOY  | KİLO |
|---------|-----|------|------|
| 1       | 35  | 1.80 | 82   |
| 2       | 36  | 1.89 | 102  |
| 3       | 35  | 1.82 | 81   |
| 4       | 35  | 1.74 | 65   |
| 5       | 35  | 1.85 | 82   |
| 6       | 30  | 1.78 | 83   |
| 7       | 29  | 1.70 | 60   |
| 8       | 27  | 1.82 | 112  |
| 9       | 24  | 1.70 | 75   |
| 10      | 21  | 1.78 | 87   |

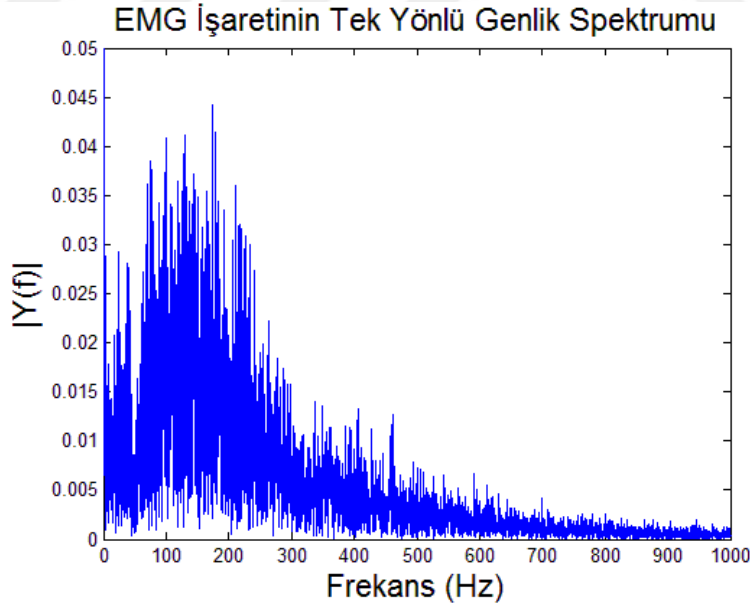
Yüz için kayıt alınan sağlıklı bireylerin yaş, boy ve kilo değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yüz kayıtlarının alındığı gönüllülerin yaş, boy ve kilo değerleri

| GÖNÜLLÜ | YAŞ | BOY  | KİLO |
|---------|-----|------|------|
| 1       | 36  | 1.89 | 102  |
| 2       | 35  | 1.85 | 82   |
| 3       | 38  | 1.76 | 98   |
| 4       | 30  | 1.78 | 83   |
| 5       | 29  | 1.70 | 60   |
| 6       | 27  | 1.82 | 112  |
| 7       | 27  | 1.76 | 72   |
| 8       | 21  | 1.72 | 95   |
| 9       | 24  | 1.70 | 75   |
| 10      | 21  | 1.78 | 87   |

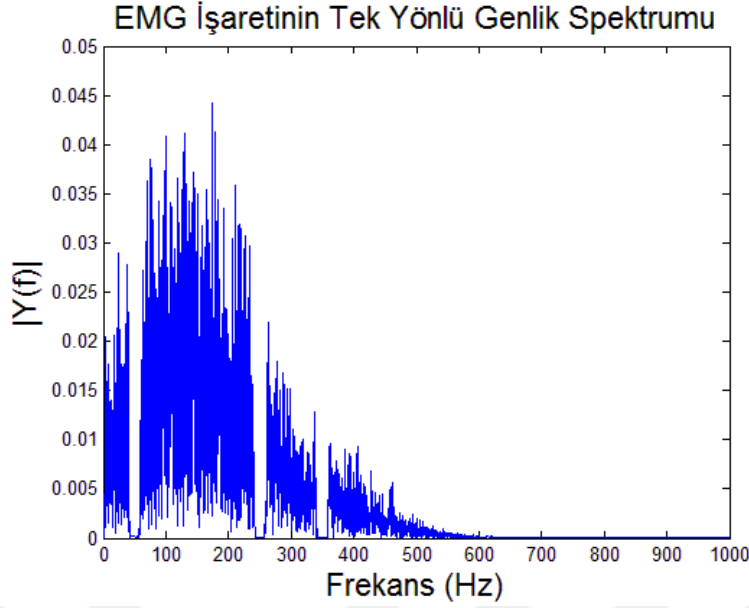
### 3.2. Önışleme

LabChart yazılımından .mat dosyası olarak alınan ve MATLAB yazılımına aktarılan ham EMG işaretleri şebeke bozulmalarına karşı 50 Hz., 250 Hz. ve 350 Hz. Butterworth çentik süzgecinden geçirilmiştir. Ardından 6. Dereceden Butterworth 3-450 Hz. band geçiren süzgeç ile hareket bozulmalarından (artefakt) ve çevresel gürültülerden arındırılmıştır. Ardından tam dalga doğrultma işlemi yapılmıştır. Kızgınlık duygusal ifadesi gerçekleştirilirken yüzden alınan yüzey EMG işaretinin tek yönlü genlik spektrumu Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Yüzey EMG işaretinin tek yönlü genlik spektrumu

Önışlemede kullanılan süzgeç işlemlerinden sonra EMG işaretinin genlik spektrumu Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Yüzey EMG işaretinin önışleme sonrası tek yönlü genlik spektrumu

500 Hz'in üzerindeki gürültülerin ve 50, 250, 350 Hz. şehir şebekesinin ve harmoniklerinin etkilerinin bastırıldığı açıkça görülmektedir.

### 3.3. Bilişsel Nörorehabilitasyon

Olgulardan fonksiyonel elektriksel uyarımla kaslara verilirken belirlenen hareketleri yapması istenmiştir. Aynı zamanda hastanın yanında sağlıklı bir bireye bu elektriksel uyarımları takip edebilmesi için bir kanal elektriksel uyarım verilir aynı hareketler yaptırılmıştır. Bu sayede olgu, sağlıklı bireyi takip ederek hareketleri izleyerek kendisi hareketleri uyarımların yardımıyla yapmıştır. Yöntemin bilişsel kısmı bu sağlıklı bireyle olan etkileşimleriyle sağlanmıştır.

Uyarımın uygulanacağı kanallar EMG işaretinin Dalgacık Paket Enerjilerinin (DPE) sağlıklı ve hasta bireylerin karşılaştırılmasıyla tespit edilmiştir. DPE, işarete dalgacık paket dönüşümü uygulandıktan sonra frekans bantları için işaretin ters dönüşümle yeniden oluşturulması ve ardından enerjisinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. 5. dereceden Daubechies dalgacık tipi seçilmiş ve işaret 7. katmana kadar ayrıştırılmıştır. Sağlıklı bireylerin ortalama DPE değerlerine göre aktivite bulunan ancak nakil hastalarında aktivite tespit edilmeyen kanalların bulunduğu bölgelere elektriksel uyarım verilmiştir. DPE tabanlı yöntem dışında aktivite bulunan bölgelerin (etkin elektrotların) tespiti için Higuchi fraktal boyutu (Topçu vd 2014) ve özdüzenleyici haritalar (Akgül vd 2014) karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Örnek olarak mutluluk yüz ifadesinde her kanal için ortalama DPE sonuçları (Uysal 2016) Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Örnek EMG işaretinin dalgacık paket enerji (DPE) analizi (Uysal 2016)

FES için Hasomed firmasının RehaStim-1 modeli 8 kanallı cihazlarından üç adet kullanılmıştır. Uyarıları EMG toplanan bölgelerden verebilmek için EMG kaydında kullanılan tipte elektrotlar kullanılmıştır. Elektriksel uyarım iki haftada bir olmak üzere hastalara 5 ay boyunca uygulanmıştır. Her ay sonunda aynı hareketler için EMG kayıtları alınmıştır. Hastalara 6-10 mA aralığında EMG kayıtlarının alındığı süre kadar elektriksel akım uygulanmıştır.

Birinci yüz nakil hastası için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Birinci yüz nakil hastası için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları

| 1. Olgu     | 1.<br>kana<br>1 | 2.<br>kana<br>1 | 3.<br>kana<br>1 | 4.<br>kana<br>1 | 5.<br>Kana<br>1 | 6.<br>kana<br>1 | 7.<br>kana<br>1 | 8.<br>kana<br>1 | 9.<br>kana<br>1 | 10.<br>kana<br>1 | 11.<br>kana<br>1 | 12.<br>kana<br>1 | 13.<br>kana<br>1 | 14.<br>kana<br>1 |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| dişgösterme |                 |                 |                 |                 |                 | X               |                 |                 | X               |                  |                  | X                | X                |                  |
| gözkapama   |                 |                 |                 |                 |                 | X               | X               |                 |                 |                  |                  |                  | X                |                  |
| ışık        |                 |                 |                 |                 |                 |                 | X               | X               |                 |                  |                  | X                |                  |                  |
| kaşkaldırma | X               | X               | X               | X               | X               |                 | X               |                 |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
| kızgın      | X               |                 |                 |                 |                 |                 | X               | X               |                 |                  |                  | X                |                  |                  |
| korkma      |                 |                 |                 |                 |                 |                 | X               | X               | X               |                  | X                | X                | X                |                  |
| mutlu       |                 |                 |                 |                 | X               |                 | X               | X               | X               | X                | X                | X                | X                |                  |

Devamı arkada

Çizelge 3.3.'ün devamı

|         |   |  |  |  |  |  |   |   |   |  |  |   |   |  |
|---------|---|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|---|---|--|
| nefret  |   |  |  |  |  |  | X | X | X |  |  | X | X |  |
| şaşıрма | X |  |  |  |  |  | X | X |   |  |  | X | X |  |
| üzgün   | X |  |  |  |  |  | X | X |   |  |  | X |   |  |

İkinci yüz nakli olgusu için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. İkinci yüz nakil hastası için fonksiyonel elektrik uyarım kanalları

| 2. Olgu     | 1. kana l | 2. kana l | 3. kana l | 4. kana l | 5. Kana l | 6. kana l | 7. kana l | 8. kana l | 9. kana l | 10. kana l | 11. kana l | 12. kana l | 13. kana l | 14. kana l |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| dişgösterme |           |           |           |           |           | X         |           | X         |           |            | X          | X          |            |            |
| gözkapama   | X         | X         | X         | X         |           |           |           |           |           |            |            |            |            |            |
| ışlık       |           |           |           |           | X         | X         | X         | X         |           |            |            |            |            |            |
| kaşkaldırma | X         | X         | X         | X         |           |           |           |           |           |            |            |            | X          |            |
| kızgın      | X         | X         | X         | X         |           |           |           |           |           |            |            |            | X          |            |
| korkma      | X         | X         |           |           |           |           |           |           | X         |            |            |            |            |            |
| mutlu       |           |           |           |           |           |           | X         | X         |           |            | X          | X          |            |            |
| nefret      |           | X         |           |           |           |           | X         | X         |           |            |            |            | X          |            |
| şaşıрма     | X         | X         |           | X         |           |           | X         | X         |           |            | X          |            |            | X          |
| üzgün       |           | X         |           |           |           |           | X         | X         |           |            |            |            |            |            |

Kol replantasyon hastasının ilk 12 kanal için elektriksel uyarım bölgeleri Çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kol replantasyon hastasının ilk 12 kanalı için fonksiyonel elektrik uyarım bölgeleri

| Kol Replantasyon Hastası | 1. kanal | 2. kanal | 3. kanal | 4. kanal | 5. kanal | 6. kanal | 7. kanal | 8. kanal | 9. kanal | 10. kanal | 11. kanal | 12. kanal |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
|                          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |           |

Devamı arkada

Çizelge 3.5'in devamı:

|                              |   |   |   |   |   |   |   |   |  |  |   |  |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|---|--|
| yatay şekilde para tutma     |   |   | X |   |   | X |   |   |  |  |   |  |
| dikey şekilde para tutma     | X |   |   |   | X | X |   |   |  |  |   |  |
| silindir kavrama             | X |   | X |   |   | X |   | X |  |  | X |  |
| sıkıca çubuk kavrama         | X |   |   | X | X | X | X |   |  |  |   |  |
| yumruk                       | X |   |   |   | X | X | X | X |  |  |   |  |
| dört parmak fleksiyon        | X |   |   | X | X |   | X | X |  |  | X |  |
| dört parmak ekstensiyon      | X |   |   | X | X | X |   |   |  |  |   |  |
| işaret parmağı kasılması     |   |   |   |   | X | X |   | X |  |  |   |  |
| küçük parmağı kasılması      | X |   |   | X | X |   |   | X |  |  |   |  |
| gevşek şekilde çubuk kavrama | X |   |   | X | X | X |   |   |  |  |   |  |
| orta parmağı kasılması       |   |   |   | X | X | X |   | X |  |  | X |  |
| kalem tutma                  | X | X |   |   | X | X |   |   |  |  |   |  |
| yüzük parmağı kasılması      |   |   |   | X | X | X |   | X |  |  |   |  |
| başparmak abduksiyon         | X |   |   |   |   | X |   |   |  |  |   |  |
| başparmak addüksiyon         | X |   |   |   | X | X |   | X |  |  |   |  |
| başparmak ekstensiyon        | X |   |   | X |   | X |   |   |  |  |   |  |
| başparmak fleksiyon          | X |   |   | X | X | X |   |   |  |  |   |  |
| başparmak oppozisyon         | X |   |   | X | X | X |   |   |  |  |   |  |
| bilek ekstensiyon            | X |   |   |   | X | X |   | X |  |  | X |  |
| bilek fleksiyon              | X |   |   |   | X | X |   | X |  |  | X |  |
| bileği sola hareket ettirme  | X |   |   | X | X | X |   | X |  |  | X |  |
| bileği sağa hareket ettirme  | X |   |   |   | X | X |   | X |  |  |   |  |

Kol replantasyon hastasının son 12 kanal için elektriksel uyarım bölgeleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kol replantasyon hastasının son 12 kanalı için fonksiyonel elektrik uyarım bölgeleri

| Kol Replantasyon Hastası     | 13. kanal | 14. kanal | 15. kanal | 16. kanal | 17. kanal | 18. kanal | 19. kanal | 20. kanal | 21. kanal | 22. kanal | 23. kanal | 24. kanal |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| yatay şekilde para tutma     |           |           |           | X         | X         |           | X         |           |           |           | X         |           |
| dikey şekilde para tutma     |           |           |           |           |           |           | X         | X         |           |           | X         |           |
| silindir kavrama             |           |           |           | X         | X         |           |           |           |           |           |           |           |
| sıkıca çubuk kavrama         |           |           | X         |           |           |           | X         |           |           |           | X         |           |
| yumruk                       |           |           | X         |           |           |           | X         |           | X         |           | X         | X         |
| dört parmak fleksiyon        |           |           | X         |           |           |           | X         |           |           |           | X         |           |
| dört parmak ekstensiyon      |           | X         | X         |           | X         |           | X         |           |           |           | X         |           |
| işaret parmağı kasılması     |           |           | X         |           |           |           | X         |           |           |           | X         |           |
| küçük parmağı kasılması      |           |           | X         |           |           |           | X         |           |           |           |           |           |
| gevşek şekilde çubuk kavrama |           |           |           |           |           |           | X         |           |           |           |           |           |
| orta parmağı kasılması       |           |           | X         |           |           |           |           | X         | X         |           |           |           |
| kalem tutma                  |           |           |           | X         | X         |           | X         |           |           |           |           |           |
| yüzük parmağı kasılması      |           |           | X         |           |           |           | X         |           |           |           | X         |           |
| başparmak abdüksiyon         |           |           |           |           |           |           | X         |           |           |           |           |           |
| başparmak addüksiyon         |           | X         | X         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
| başparmak ekstensiyon        |           | X         | X         |           |           |           |           |           |           |           | X         | X         |
| başparmak fleksiyon          |           |           |           |           |           |           | X         |           |           |           |           |           |

Devamı arkada



Çizelge 3.6'nın devamı:

|                                |  |   |   |  |  |  |   |   |  |  |   |   |
|--------------------------------|--|---|---|--|--|--|---|---|--|--|---|---|
| başparmak<br>opozisyon         |  | X | X |  |  |  | X |   |  |  |   |   |
| bilek ekstensiyon              |  | X | X |  |  |  |   |   |  |  |   | X |
| bilek fleksiyon                |  | X | X |  |  |  | X | X |  |  | X |   |
| bileği sola<br>hareket ettirme |  | X | X |  |  |  | X |   |  |  | X | X |
| bileği sağa<br>hareket ettirme |  | X | X |  |  |  | X |   |  |  | X |   |

### 3.4. Fraktal Boyutu

Fraktal boyutu süreçlerin karmaşıklığını ve alan kaplama kapasitesini ölçmektedir (Gupta ve Reddy 1997). Literatürde geometrik yapıların fraktal boyutlarını hesaplamak için kullanılan birden fazla yöntem bulunmaktadır. EMG işaretinin fraktal boyutuyla kasılma sırasındaki yüklenme seviyesi (Gupta ve Reddy 1997) ve kasılma etkinlik seviyesi arasında (Anmuth vd 1994) ilişki olması EMG işaretinden fraktal boyutu ile özellik çıkarabileceğimiz anlamına gelmektedir. Esteller ve arkadaşlarının (2001) çalışmasında Katz ve Higuchi fraktal boyutu hesaplama yöntemleri karşılaştırılmış ve Higuchi yöntemi teorik fraktal boyutuna daha yakın sonuçlar vermiş ancak gürültü karşısında hassas davranmıştır. Bu çalışmada da Higuchi fraktal boyutu kullanılmış ve gürültü sebebiyle etkin ve etkin olmayan bölgelerden alınan EMG işaretlerinin fraktal boyutları birbirinden ayıramayacak şekilde yakın çıkmıştır. Bu sorun 10 Hz kesim frekansına sahip 6. Dereceden alçak geçiren butterworth süzgeç kullanılarak aşılmıştır.

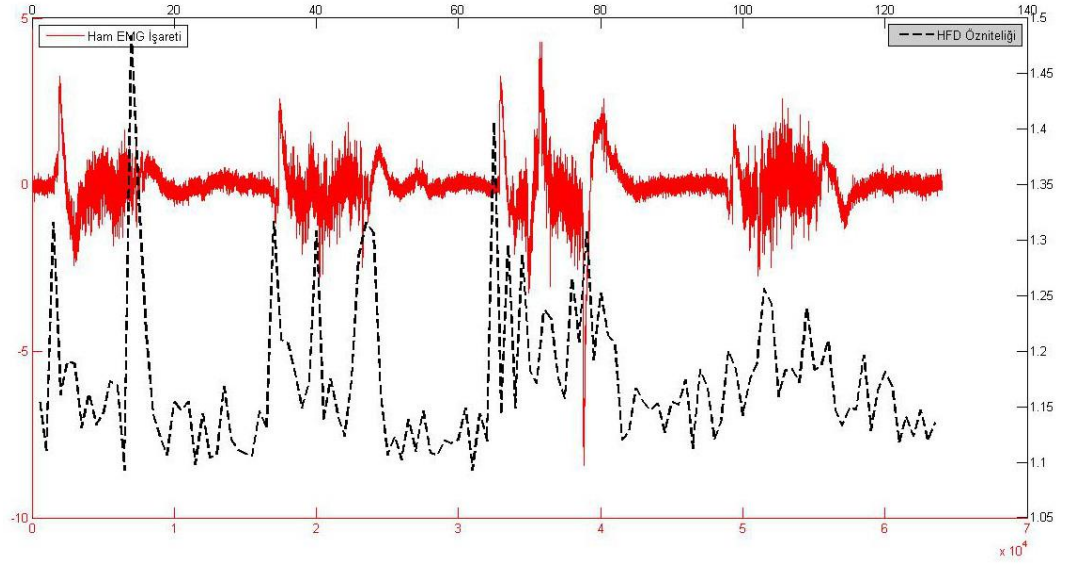
Higuchi yönteminde (Higuchi 1988, Spilka 2012), sonlu N elemanlı işaretimiz olduğunu kabul edersek:

$$x(1), x(2), x(3), \dots, x(N). \quad (3.1)$$

Verilen işaret serisinden yeni serileri:

$$x_k^m; x(m), x(m, k), x(m + 2k), \dots, x(m + [(N - m) / k]) \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki “[ ]” köşeli parantezleri Gauss gösterimidir.  $m = 1, 2, \dots, k$  m başlangıç zamanını ve k zaman aralığını göstermektedir. Burada k değeri kadar işaretin altkümüleri oluşturulur. Her m değeri için  $x_k^m$ 'in uzunluğu,  $L_m(k)$  hesaplanır. Her k aralığı için eğrinin uzunluğu  $L_m(k)$ 'nin ortalama değeridir. Eğrinin uzunluğunun k ile logaritmik çiziminden eğri uydurma ile oluşturulan doğrunun eğimi D fraktal boyutunu verir. Şekil 3.7'de örnek ham EMG işareti ve o işareten elde edilen HFD özneteliği verilmiştir (Topçu vd 2014).



Şekil 3.7. Örnek ham EMG işareti ve o işareten elde edilen HFD özniteliği (Topçu vd 2014)

### 3.5. Entropi

Karmaşıklık ölçümünün yüzey EMG işaretinden yorgunluk tespiti gibi problemlerde kullanılabilmesi bilinmektedir (Talebinejad vs 2011). Entropi tabanlı zaman serilerinin doğrusal olmayan analiziyle, karmaşık biyolojik kaynaklarla rastgele veri kaynakları birbirinden ayrılabilir (Kaufman vd 2007). Kolmogorov-Sinai entropi ile pozitif Lyapunov üstellerinin toplamı arasında ilişki (Grassberger ve Procaccia 1983a, Gao ve Tung 2012) hesaplama zamanının uzunluğundan dolayı kullanılmamıştır. Yaklaşık entropi (ApEn), örnek entropi (SampEn), bulanık entropi (FuzzyEn), dalgacık entropi (WE), dalgacık paket entropi (WPE) gibi görece daha hızlı algoritmalar karşılaştırılmıştır. Entropiler ayrıca protez kol kontrolü problemleri için kas etkinliğinin zaman tespitinde kullanılmaktadır (Zhang ve Zhou 2012).

### 3.6. Yaklaşık Entropi (ApEn)

Entropiler, dinamik sistemlerin bilgi üretim oranlarını karakterize ederler ve biyolojik işaretlerin analizinde kullanılan en popüler karmaşıklık ölçütüdürler (Gao ve Tung 2012). Grassberger ve Pocaccia (1983b) ile Eckmann ve Ruelle'nin (1985) ve Pincus'un (1991) çalışmalarıyla yaklaşık entropi (ApEn) geliştirilmiştir.  $N$  boyutlu  $x_n$  zaman serisi  $m$  boyutlu  $u_m(i)$  vektör kümesine bölünür. Birbirlerine öklidyen olarak yakın bulunan vektörlerin sayısı  $n_i^m(r)$ ,  $r$  toleransına bağlı olarak  $d[u_m(i), u_m(j)] \leq r$  şeklinde gösterilir. Bu sayı  $C_i^m(r) = n_i^m(r)/(N - m + 1)$  olasılığının hesaplanmasında kullanılır. ApEn aşağıdaki gibi tanımlanır (Spilka 2012).

$$ApEn(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} [\Phi^m(r) - \Phi^{m+1}(r)] \quad (3.3)$$

Burada  $\Phi^m(r) = 1/(N - m + 1) \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_i^m(r)$  fonksiyonu olarak tanımlanmıştır gösterimi kısaltma amacıyla kullanılmıştır.

Literatürde tolerans değeri  $r$  işaretinin tamamının (global tolerans) standart sapmasının 0,15-0,2 katı olarak seçilmektedir. Öznitelik çıkarma işleminde kullanılan pencere boyutu görece daha küçükse standart sapmanın 0.2 katı seçilmektedir. Bu çalışmada tolerans değeri 0,15 sabit değeri olarak ve gömülü uzayın boyutu  $m$ , 2 olarak belirlenmiştir.

### 3.7. Örnek Entropi (SampEn)

Yaklaşık entropinin kendine eşleme problemi ve istatistik hatası giderilecek şekilde Richman ve Moorman (2000) tarafından örnek entropi geliştirilmiştir. Formülü şu şekilde tanımlanır (Spilka 2012):

$$SampEn(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} - \ln \frac{C^{m+1}(r)}{C^m(r)} \quad (3.4)$$

Yaklaşık entropide kullanılan  $m$  ve  $r$  değerleri değiştirilmemiştir.

### 3.8. Bulanık Entropi (FuzzyEn)

Bulanık entropi, EMG işaretinin karmaşıklığının incelenmesinde kullanılmak amacıyla Weiting Chen ve arkadaşları (2007) tarafından geliştirilmiştir. Yukarıda bahsettiğimiz yaklaşık ve örnek entropilerinde vektörlerin benzerlikleri öklidiyen uzaklıklarının toleransa bağlı Heaviside fonksiyonuyla belirlenmiştir.

$$\theta(z) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } z \geq r \\ 0, & \text{eğer } z < r \end{cases} \quad (3.5)$$

Bu benzerlik fonksiyonu yerine  $[0,1]$  arasında değişen bir üyelik fonksiyonu ailesi kullanılmıştır. Bu bulanık üstel fonksiyon,

$$\mu(d_{ij}^m, n, r) = \exp\left(-\frac{(d_{ij}^m)^n}{r}\right) \quad (3.6)$$

olarak tanımlanır. Böylece süreklilik ve konveks özellikleri sağlanmıştır. Bulanık entropi aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$FuzzEn(m, n, r) = \lim_{N \rightarrow \infty} [\ln \phi^m(n, r) - \ln \phi^{m+1}(n, r)] \quad (3.7)$$

FuzzyEn fonksiyonuyla belirlenmiştir. Karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla  $m$  ve  $r$  değerleri önceki iki entropiyle aynı seçilmiştir. Ayrıca üyelik fonksiyonunun  $n$  değeri 2 olarak belirlenmiştir.

### 3.9. Dalgacık Entropi (WE)

Dalgacık entropi Rosso ve arkadaşları (2001) tarafından EEG işaretinin entropi analizinde kullanılmak amacıyla geliştirilmiştir. Dalgacık katsayıları aşağıdaki ifadeyle elde edilir.

$$C_j(k) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.8)$$

Burada  $a_j = 2^{-j}$  ve  $b_{j,k} = 2^{-j}k$ ,  $j, k \in Z$  olmak üzere ayrık parametrelerle

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k), j, k \in Z \quad (3.9)$$

ailesi tanımlanır. Yukarıdaki  $\psi(t)$  ana dalgacıktır. Ayrık dalgacık dönüşümü ile elde edilen katsayıların  $j$  çözünürlük düzeyi ve  $i$  penceresi için ortalama enerjileri

$$E_j^{(i)} = \frac{1}{N_j} \sum_{k=(i-1)L+1}^{iL} |C_j(k)|^2, i = 1, \dots, N_T \quad (3.10)$$

olarak hesaplanır.  $N_j$ ,  $j$  ayrışım seviyesi için dalgacık katsayılarının sayısı,  $L$  pencere boyutudur. Ardından aynı pencere için toplam dalgacık enerjisi şudur:

$$E_{tot}^{(i)} = \sum_{j < 0} E_j^{(i)}. \quad (3.11)$$

Bağıl dalgacık enerjisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$p_j^{(i)} = \frac{E_j^{(i)}}{E_{tot}^{(i)}}. \quad (3.12)$$

Dalgacık entropinin zamanla değişimi verilmiştir:

$$WE^{(i)} = - \sum_{j < 0} p_j^{(i)} \ln p_j^{(i)}. \quad (3.13)$$

Dalgacık entropi çıkarma işlemi 7. dereceden Daubechies (db7) dalgacığı seçilerek 4 seviye uygulanmıştır.

### 3.10. Dalgacık Paket Entropi (WPE)

Dalgacık paketler çoklu çözünürlük yaklaşımları ve dalgacıklar arasındaki ilişkinin geliştirilmesiyle elde edilmiştir (Mallat 2008). Bu geliştirme (Wang vd 2011):

$$W_{j,n,k}(t) = 2^{-\frac{j}{2}} W_n(2^{-j}t - k) \quad (3.14)$$

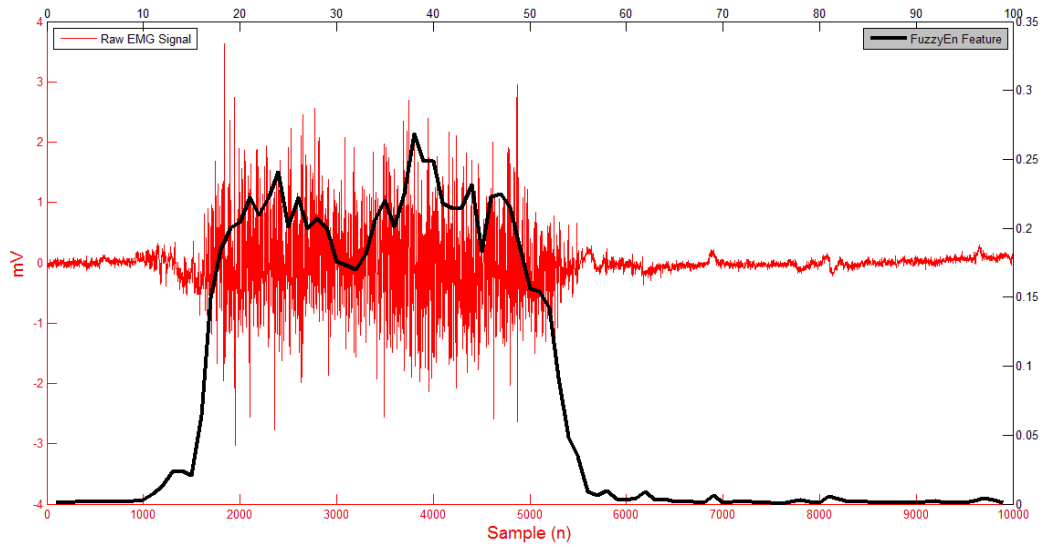
şeklinde ifade edilir. Dalgacık paketi dönüşümündeki her düğüm için dönüşüm katsayıları aşağıdaki ifadeyle elde edilir.

$$C_{j,n}(k) = \langle x(t), 2^{-\frac{j}{2}} W_n(2^{-j}t - k) \rangle. \quad (3.15)$$

Buradan elde edilen katsayılarla dalgacık entropisinin hesaplanmasında kullanılan yöntem uygulanarak dalgacık paket entropisi elde edilir.

Dalgacık paket entropisi, dalgacık entropisiyle uyumu korumak amacıyla aynı seviyede ve aynı dalgacık ailesiyle uygulanmıştır.

Bu beş ayrı entropi metodu 5 saniyelik işaretlere 100, 200, 500, 1000 elemanlı pencerelerin %50 kaydırma ile taranarak ve Hamming pencereleme ile birlikte uygulanmıştır. Bu 5 entropi metodu hareketlerin doğrusal ayırıcı analiziyle (LDA) sınıflandırılması probleminde kullanılmış ve pencere boyutu değişimlerine karşı en gürbüz ve en etkili yöntem bulanık entropi bulunmuştur (Topçu 2015a). Sun ve arkadaşları (2014) bulanık entropi özneliğinin inme hastalarının robotla rehabilitasyonunun izlenmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Örnek bir bulanık entropi özneliği ham EMG verisiyle birlikte Şekil 3.8'de (Topçu 2015b) verilmiştir.



Şekil 3.8. Örnek ham EMG işareti ve o işareten elde edilen bulanık entropi özneliği (Topçu 2015b)

Kasılmanın başlangıcı ve bitiminde bulanık mantık özneliğinin değişimi Şekil 3.8'de açıkça görülmektedir.

### 3.11. Kol ve Yüz Nakil ve Replantasyon Hastaları

Birinci yüz nakil olgusu 3 yaşındayken yanma sebebiyle yüzünü kaybetmiştir ve nakil öncesinde yüzünde herhangi bir mimik ve his bulunmamaktadır. 2012 yılında sağ kulağı ile birlikte tam yüz nakli yapılmıştır. Bu çalışmanın yapıldığı sırada 37 yaşındadır.

İkinci yüz nakil olgusu 7 aylıkken yine yanma ile yüzünü kaybetmiş 22 yaşında erkek hastadır. 2012 yılında göz kapakları hariç yüz nakli yapılmıştır. Kliniğe başvurduğunda yüz mimik hareketlerini gerçekleştiremediği görülmüştür.

Kol nakil hastası erkektir. 2008 yılında kollarını iş kazasında kaybetmiş ve 2010 yılında 28 yaşındayken kol nakli yapılmıştır.

Kol replantasyon hastası 9 yaşındayken asansör kazasında sol kolunu omuzdan kaybetmiş ve ardından replantasyon yapılmıştır. Bu çalışmaya başlandığında 13 yaşında ve parmaklarını tam olarak hareket ettiremediği gözlenmiştir.

Bütün hastalar çalışma hakkında yazılı ve sözlü olarak bilgilendirilmiş, onayları alınmış ve gerekli etik kurul raporu TÜBİTAK projesi kapsamında alınmıştır.



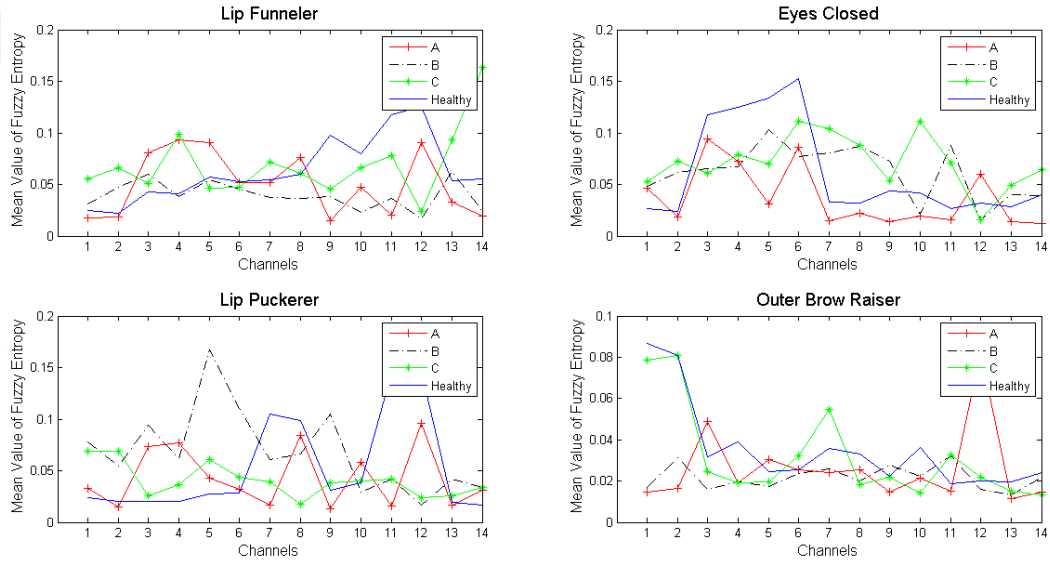
## 4. BULGULAR

### 4.1. Tam Yüz Nakil Bulguları

Tam yüz nakil hastalarından bulanık entropi analiziyle elde edilen temel yüz hareketlerinin ve duygusal yüz ifadelerinin sonuçları bu bölümde incelenmiştir.

#### 4.1.1 Temel Yüz Hareketleri

Duygusal yüz ifadelerindeki problemlerin inervasyon olmasına rağmen bulunduğunu göstermek amacıyla temel yüz hareketlerinden gözleri kapama, kaşları kaldırma, dudakları ıslık pozisyonunda kasılması ve dişleri gösterme hareketleri için bulanık entropi değerleri hesaplanmıştır. Bu hareketlerde her kanal için bulanık entropi değeri sağlıklı bireylerden elde edilen değerlerin ortalamasıyla Şekil 4.1’de karşılaştırılmıştır (Topçu 2015b).



Şekil 4.1. Temel yüz hareketlerinin rehabilitasyon öncesi üç yüz nakil hastasında ve sağlıklı bireylerde bulanık entropi analiziyle karşılaştırılması (Topçu 2015b)

Rehabilitasyon öncesi yüz nakil hastalarının yüz kaslarında inervasyon olduğu Şekil 4.1’de görülmektedir.

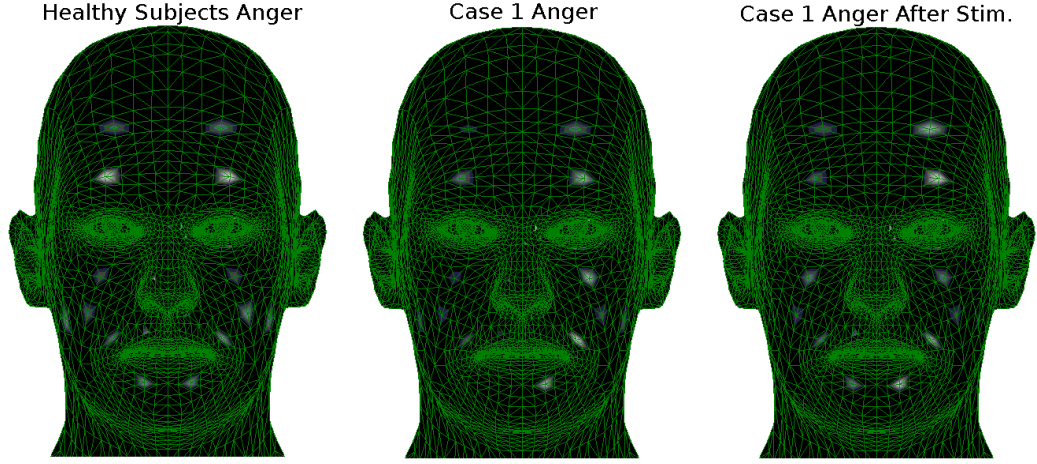
#### 4.1.2 Duygusal Yüz İfadeleri

Bu bölümde 6 temel duygusal yüz ifadesinin bilişsel nörorehabilitasyon sürecindeki gelişmelerinin bulanık entropi ile analizi verilmiştir.

##### 4.1.2.1 Kızgın Duygusal Yüz İfadesi

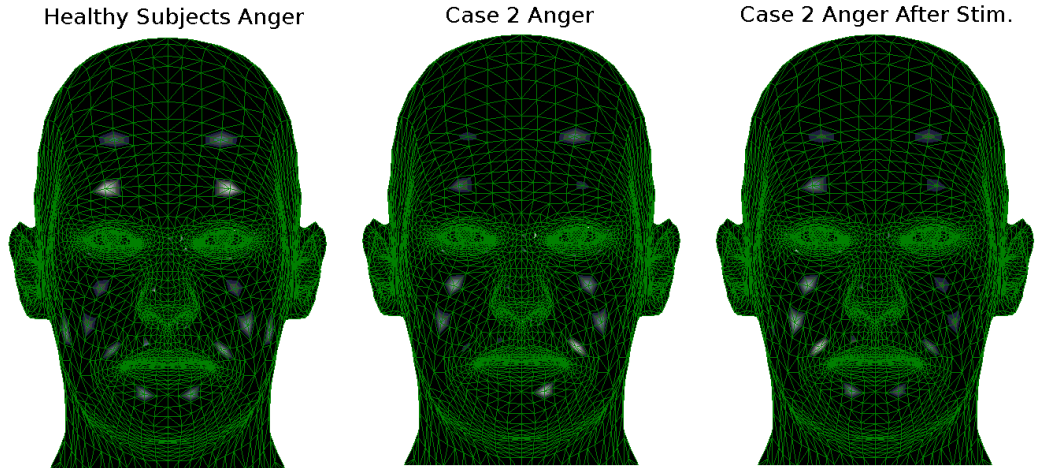
Sağlıklı bireylerde yüzün bütün bölgelerinde hareketlilik gözlenirken özellikle orbicularis oculi kasında etkinlik yoğun olarak gözlenmiştir.

Birinci olguda yüzün sağ bölgesinde etkinlik daha az bulunmaktayken rehabilitasyon sonrası yüzün sağ bölgesinde etkinlik artmış ve yüzün alt bölgesinde etkinlik bulunmayan kaslarda da etkinlik gözlenmiştir. Yüz ifadesi uyarım sonrası daha simetrik hale gelmiştir. Şekil 4.2’de birinci olgunun kızgınlık yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. Kızgınlık yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

İkinci olguda yüzün alt bölgesindeki kaslar harekete dahil olmuşsa da orbicularis oculi kası sağlıklı bireylerdeki gibi en fazla kasılmanın görüldüğü bölge olmamıştır. Şekil 4.3’de ikinci olgunun kızgınlık yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



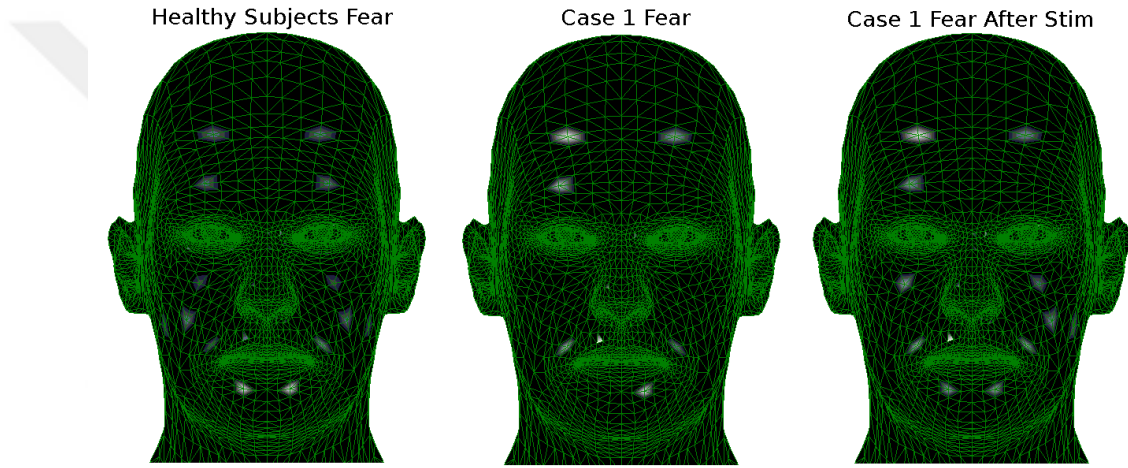
Şekil 4.3. Kızgınlık yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi



#### 4.1.2.2 Korku Duygusal Yüz İfadesi

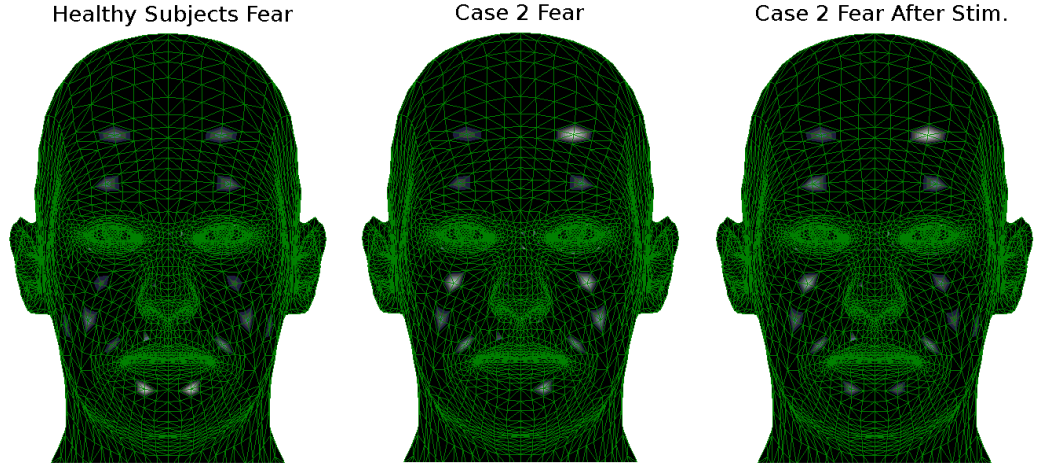
Sağlıklı bireylerde en fazla aktivite Depressor Labii Inferious kasında olmak üzere yüzün bütün bölgelerinde aktivite gözlenmiştir.

Rehabilitasyon öncesi birinci olguda Frontalis kasında sağlıklı bireylerde görülmeyen düzeyde kasılma tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ifadeyi çıkaramayan bireyin kendisini zorlaması ve farklı bölgelerde gereğinden fazla kasılmaların olabileceği düşünülmüştür. Rehabilitasyon sonrası yüzün orta ve alt bölgesinde aktivite değerlerinde sağlıklı bireylerin aktif bölgeleriyle benzerlik gösterecek şekilde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Rehabilitasyon sonrasında öncesinde olduğu gibi Frontalis kasında aşırı kasılmalar devam etmiştir. Şekil 4.4’de birinci olgunun korku yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4. Korku yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

Rehabilitasyon öncesi ikinci olguda Frontalis kasında ve yüzün alt bölgesinde sağlıklı bireylere oranla daha fazla aktiviteye rastlanmıştır. Rehabilitasyon sonrasında göz altı bölgesindeki bu aşırı kasılmalar sağlıklı bireylerinkine daha yakın hale gelmiş ve Depressor Labii Inferious kasındaki aktivite simetrik hale gelmiştir. Şekil 4.5’de ikinci olgunun korku yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

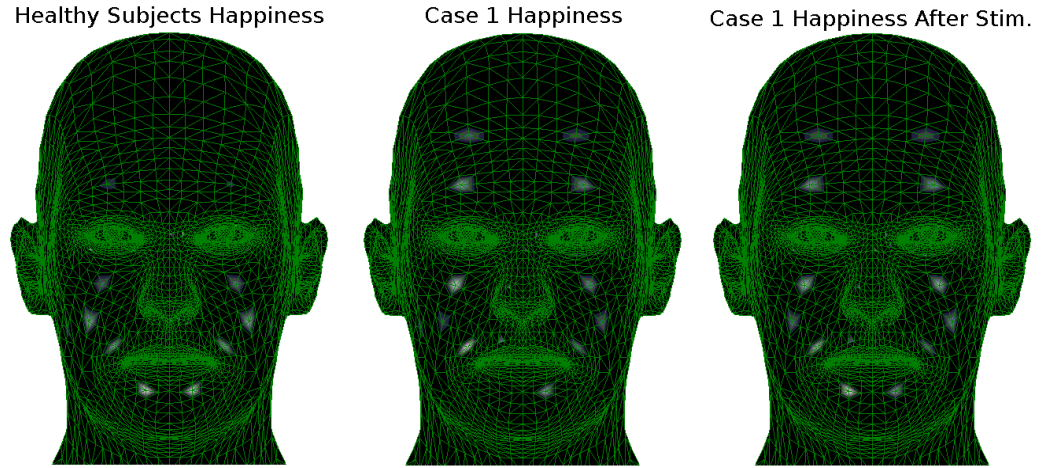


Şekil 4.5. Korku yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

#### 4.1.2.3 Mutluluk Duygusal Yüz İfadesi

Sağlıklı bireylerde en fazla aktivite Depressor Labii Inferius kasında olmak üzere yüzün alt bölgesinde aktivite gözlenmiştir.

Rehabilitasyon öncesi birinci olguda yüzün üst bölgesinde sağlıklı bireylerde görülmeyen düzeyde kasılma tespit edilmiştir. Rehabilitasyon sonrası yüzün alt bölgesinde ilerleme kaydedilmiştir. Şekil 4.6'da birinci olgunun mutluluk yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.6. Mutluluk yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

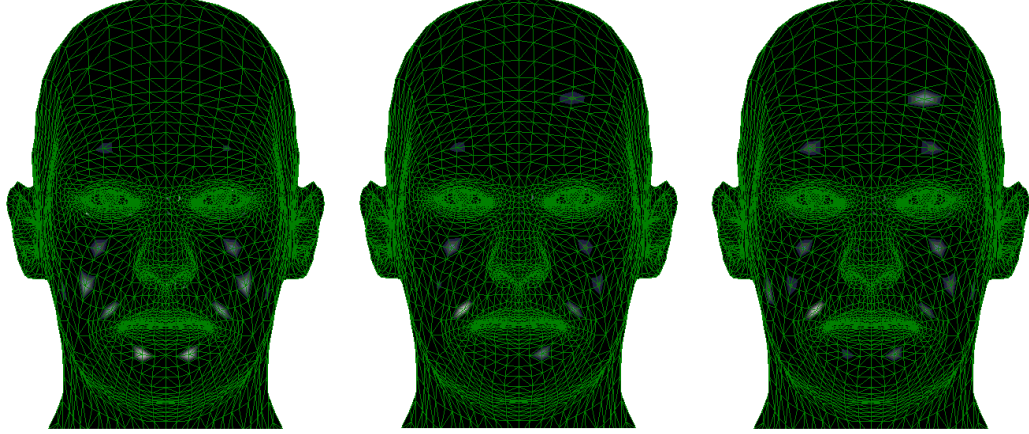
Rehabilitasyon öncesi ikinci olguda sağlıklı bireylerde olduğu gibi yüzün alt bölgesinde aktivite gözlenmiştir fakat aktif kanal sayısı daha azdır. Rehabilitasyon sonrasında yüzün alt bölgesindeki aktivite benzerlik gösterirken Frontalis kasında sağlıklı bireylerinkinden farklı olarak kasılma tespit edilmiştir. Şekil-X'de ikinci olgunun

mutluluk yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Healthy Subjects Happiness

Case 2 Happiness

Case 2 Happiness After Stim.



Şekil 4.7. Mutluluk yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

#### 4.1.2.4 Nefret/İğrenme Duygusal Yüz İfadesi

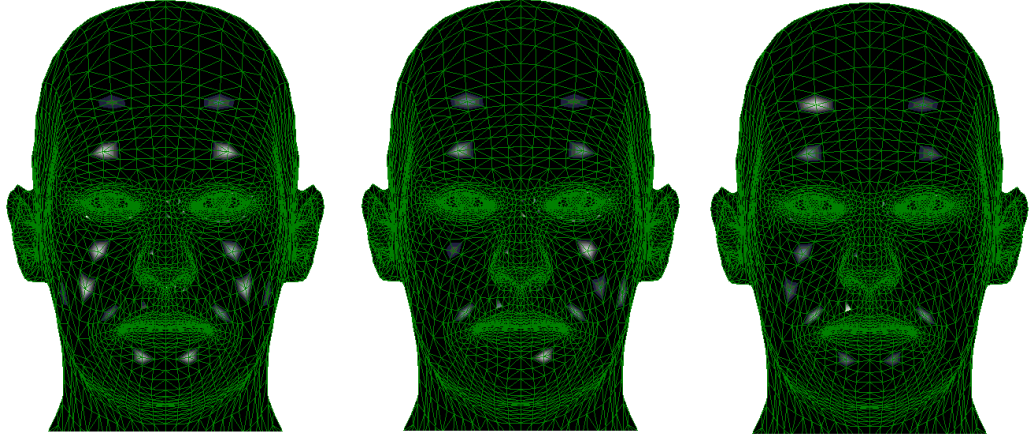
Sağlıklı bireylerde yüzün alt ve üst bölgelerinde ve entropi değeri diğer hareketlere göre daha yüksek olarak gözlenmiştir.

Rehabilitasyon öncesi birinci olguda sağlıklı bireylerdekine benzer bir dağılım gözlenmiş ve yüzün alt ve üst bölgelerinde aktivite tespit edilmiştir. Rehabilitasyon sonrası yüzün alt bölgesinde gelişme gözlenmiştir. Birinci olgunun nefret/iğrenme yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla Şekil 4.8’de karşılaştırılmıştır.

Healthy Subjects Disgust

Case 1 Disgust

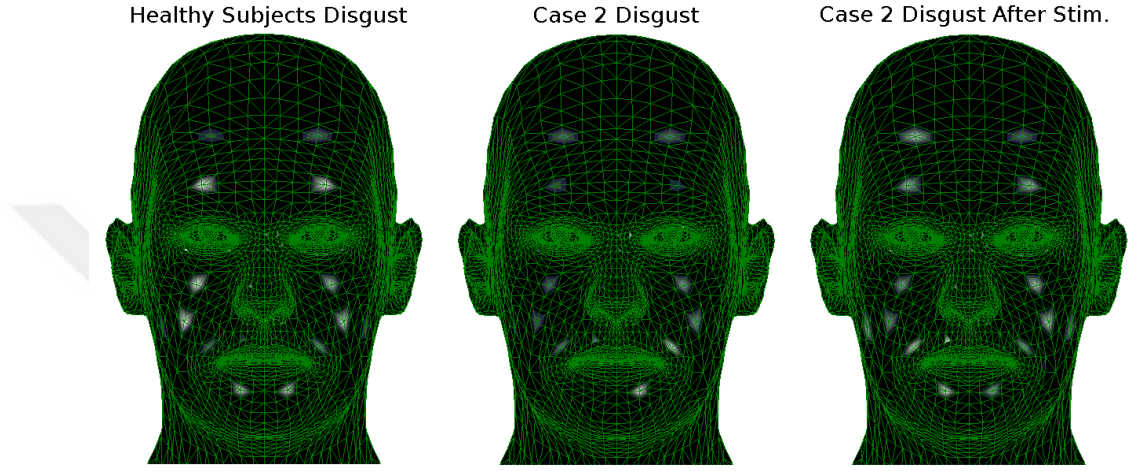
Case 1 Disgust After Stim.



Şekil 4.8. Nefret/iğrenme yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil

### hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

Rehabilitasyon öncesi ikinci olguda sağlıklı bireylerdeki gözlendiği gibi alt ve üst yüz bölgelerinde aktivite tespit edilmiştir ancak şiddeti sağlıklı bireylerdeki kadar yüksek çıkmamıştır. Rehabilitasyon sonrası bulanık entropi değerlerinde artış gözlenmiş ve daha simetrik hale gelmiştir. Frontalis kasında sağlıklı bireylerde gözlenmeyen daha kuvvetli bir kasılma gözlenmiştir. İkinci olgunun nefret/iğrenme yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla Şekil 4.9'da karşılaştırılmıştır.



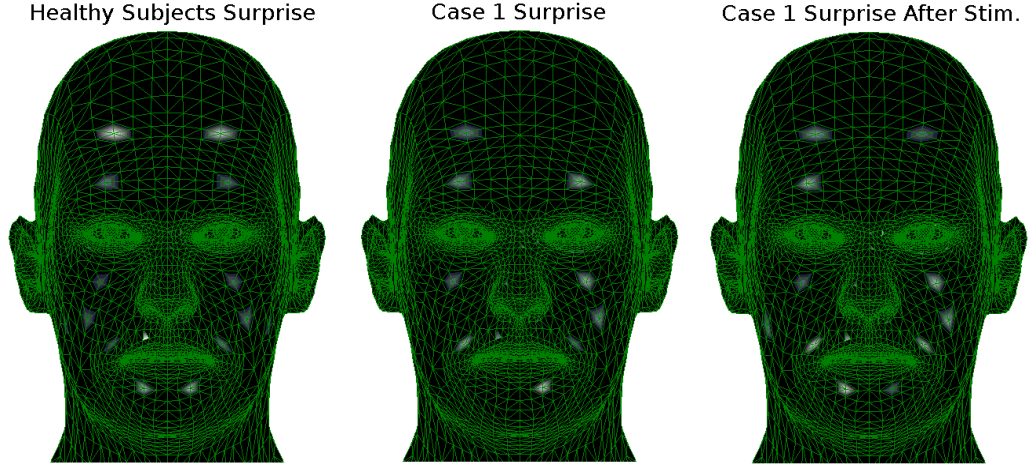
Şekil 4.9. Nefret/iğrenme yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

#### 4.1.2.5 Şaşırma Duygusal Yüz İfadesi

Sağlıklı bireylerde en fazla aktivite Frontalis kasında olmak üzere yüzün alt ve üst bölgelerinde aktivite gözlenmiştir.

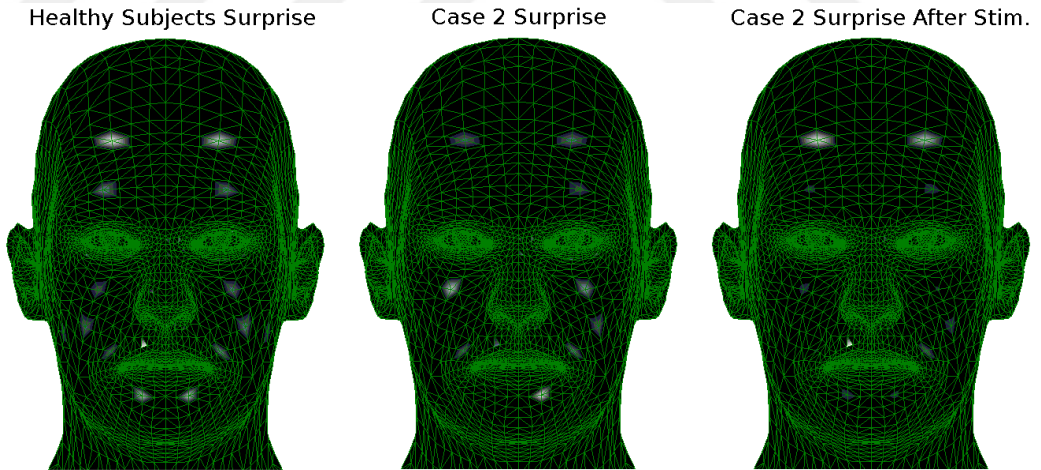
Rehabilitasyon öncesi birinci olguda yüzün alt ve üst bölgelerinde aktivite gözlenmiştir. Rehabilitasyon sonrasında yüzün alt bölge simetrisinde düzelme gözlenmiştir. Şekil 4.10'da birinci olgunun şaşırma yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır





Şekil 4.10. Şaşırma yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

Rehabilitasyon öncesi ikinci olguda yüzün alt ve üst bölgesinde aktivite gözlenmiştir. Rehabilitasyon sonrası Frontalis kasındaki aktivite düzeyi sağlıklı bireylerinkine yaklaşmıştır ancak yüzün alt bölgesinde aktivite azalmıştır. Şekil-X'de ikinci olgunun şaşırma yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



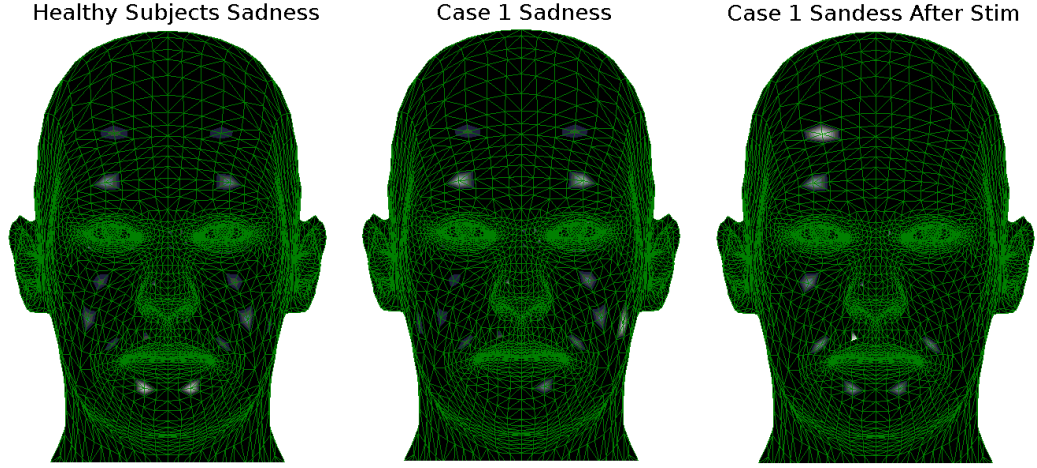
Şekil 4.11. Şaşırma yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

#### 4.1.2.6 Üzgün Duygusal Yüz İfadesi

Sağlıklı bireylerde en fazla aktivite Frontalis ve Depressor Labii Inferius kaslarında olmak üzere yüzün alt ve üst bölgelerinde aktivite gözlenmiştir.

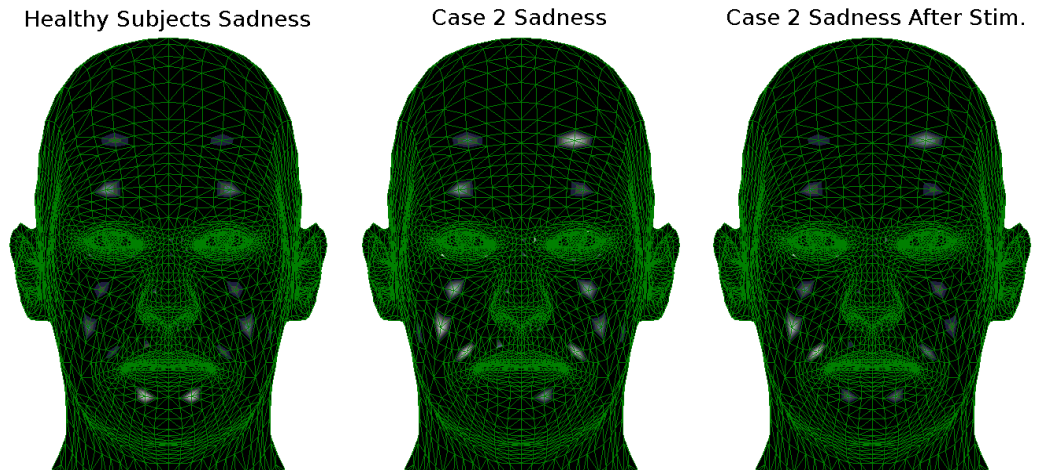
Rehabilitasyon öncesi birinci olguda yüzün üst bölümünün aktif bölgeleri sağlıklı bireylerinkiyle benzerlik göstermektedir. Yüzün alt bölümünde ise simetrik değildir.

Rehabilitasyon sonrası Frontalis kasında beklenmeyen aktiviteler görülmüş ve yüzün alt bölümünde simetride gelişme kaydedilmiştir. Şekil 12’de birinci olgunun üzgün yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.12. Üzgün yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle birinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

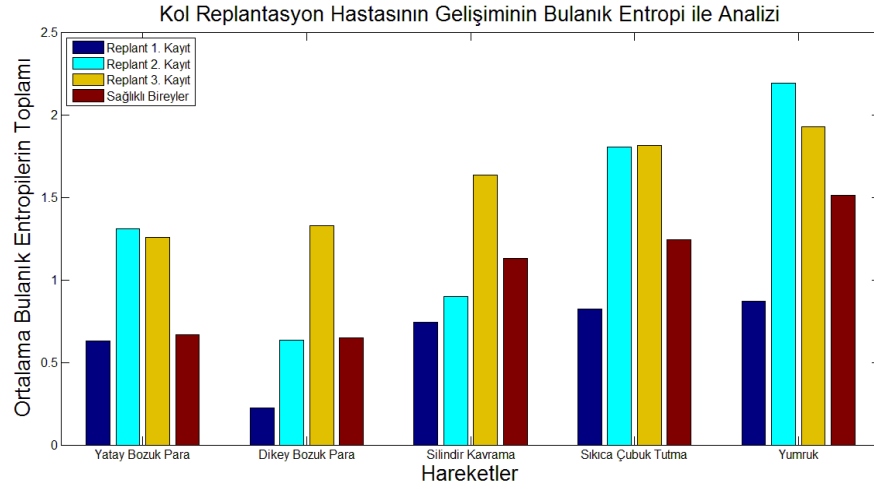
Rehabilitasyon öncesi ikinci olguda Frontalis kasında ve yüzün alt bölümünde bazı bölgeler sağlıklı bireylere göre gereğinden fazla kasılmaktadır. Rehabilitasyon sonrası bu farklılık azalmış ve yüzün alt bölgesindeki aktivite daha simetrik hale gelmiştir. Şekil 4.13’de ikinci olgunun üzgün yüz ifadesi için rehabilitasyon öncesi ve rehabilitasyon sonrası bulanık entropi analizi sonuçları üç boyutlu model üzerinde gösterilmiş ve sağlıklı bireylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.13. Üzgün yüz ifadesi için sağlıklı bireylerle ikinci yüz nakil hastasının rehabilitasyon öncesi ve sonrası bulanık entropi analizi

## 4.2. Kol Replantasyon ve Nakil Bulguları

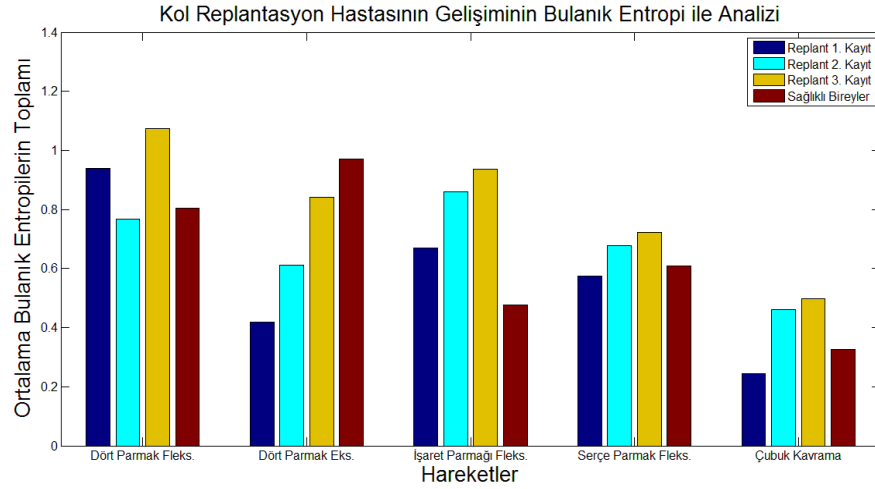
Kol replantasyon hastasının rehabilitasyondan önce ve rehabilitasyon sürecinde kaydedilen EMG verisinden elde edilen bulanık entropi değerleri 10 sağlıklı bireyin ortalama değeriyle karşılaştırılmıştır. 24 kanallı ölçüm alındığından gelişimin gözlenmesinin incelenmesi için bu 24 kanaldan elde edilen değerlerin toplamı kullanılmıştır. Yatay bozuk para tutma, dikey bozuk para tutma, silindir kavrama, sıkıca çubuk tutma ve yumruk hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin ortalamasıyla olan karşılaştırması Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Yatay bozuk para tutma, dikey bozuk para tutma, silindir kavrama, sıkıca çubuk tutma ve yumruk hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması

Bu hareketlerde ilerleme gözlenmiştir. Rehabilitasyon öncesinde sağlıklı bireylerin ortalamalarının toplamından az bir değere sahipken ona yakın veya daha fazla değerler kaydedilmiştir.

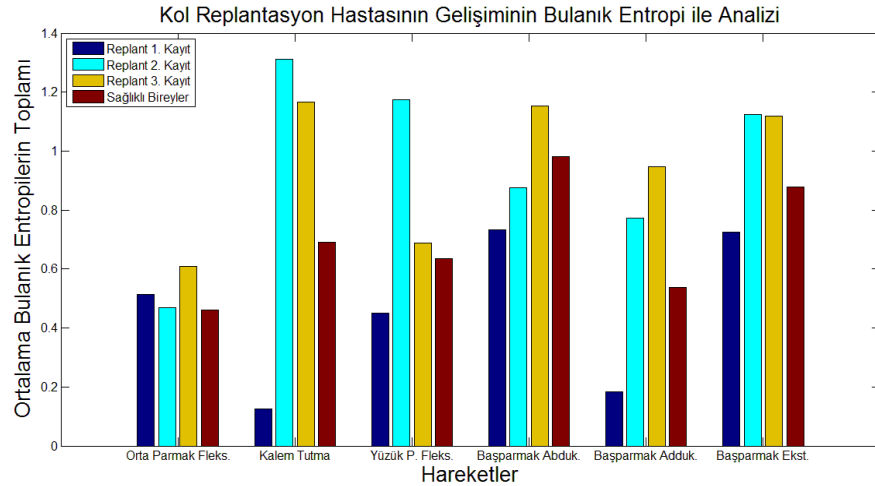
Dört parmak flekiyon, dört parmak ekstensiyon, işaret parmağı fleksiyon, serçe parmağı fleksiyon ve çubuk tutma hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin ortalamasıyla olan karşılaştırması Şekil-4.15'de verilmiştir



Şekil 4.15. Dört parmak flekiyon, dört parmak ekstensiyon, işaret parmağı fleksiyon, serçe parmağı fleksiyon ve çubuk tutma hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması

Bu beş hareket için gelişme gözlenmiştir. Dört parmak fleksiyon hareketini rehabilitasyon öncesinde de olgu sağlıklı bireylerin bulanık entropi değerine yakın sonuçlar elde etmiştir. Dört parmak ekstensiyon hareketinde rehabilitasyon sonrasında sağlıklı bireylerin değerlerine ulaşamamıştır.

Orta parmak flekiyon, kalem tutma, yüzük parmağı fleksiyon, başparmak abdüksiyon, başparmak addüksiyon ve başparmak ekstensiyon hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin ortalamasıyla olan karşılaştırması Şekil 4.16'da verilmiştir.

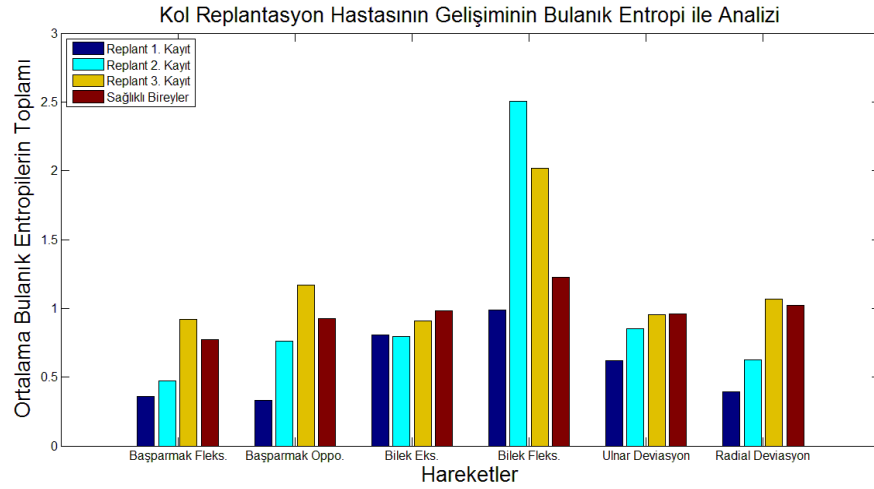


Şekil 4.16. Orta parmak flekiyon, kalem tutma, yüzük parmağı fleksiyon, başparmak abdüksiyon, başparmak addüksiyon ve başparmak ekstensiyon hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması



Bu 6 harekette gelişme gözlenmiştir. Replantasyon olgusu rehabilitasyon öncesinde orta parmak fleksiyon hareketinde sağlıklı bireylerin değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Diğer 5 harekette sağlıklı bireylerin ortalamasından daha düşük bulanık entropi değerlerine sahipken rehabilitasyon sonrası sağlıklı bireylerin değerlerine yakın sonuçlar gözlenmiştir.

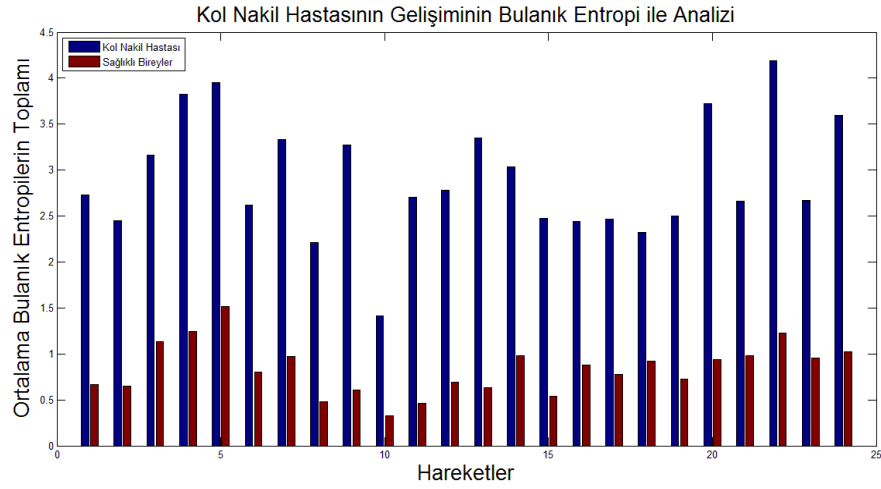
Başparmak fleksiyon, başparmak oppozisyon, bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon, ulnar deviasyon (sola doğru bilek hareketi) ve radial deviasyon (sağa doğru bilek hareketi) hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin ortalamasıyla olan karşılaştırması Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Başparmak fleksiyon, başparmak oppozisyon, bilek ekstensiyon, bilek fleksiyon, ulnar deviasyon (sola doğru bilek hareketi) ve radial deviasyon (sağa doğru bilek hareketi) hareketlerinin kol replantasyon hastasının gelişim sürecindeki kayıtlarının ve sağlıklı bireylerin bulanık entropilerinin karşılaştırması

Bu 6 harekette kol replantasyon hastasında ilerleme kaydedilmiştir. Bu hareketlerin hepsinde rehabilitasyon öncesinde hastanın sonuçları sağlıklı bireylerinkinden düşükken zamanla iyileşme gözlenmiştir.

Kol nakil hastasının bütün hareketler için bütün kanallardaki toplam bulanık entropi değerleri Şekil 4.18’de sağlıklı bireylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. Kol nakil hastasının bütün hareketler için bütün kanallardaki toplam bulanık entropi değerlerinin sağlıklı bireylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırması

Bu karşılaştırma ile kol nakil hastasının bütün hareketlerde sağlıklı bireylere yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir

## 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yüz kaslarında inervasyon olmasına rağmen duygusal ifadelerin gelişmeye ihtiyaç duyduğu tespit edilmiş ve fonksiyonel elektriksel uyarımlarla bilişsel nörorehabilitasyon uygulanmıştır.

Bilişsel nörorehabilitasyon süreci tam yüz nakil hastalarının gelişimi ilk defa doğrusal olmayan karmaşıklık analizi yöntemleriyle incelenmiş ve sağlıklı bireylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İki yüz nakil hastasında simetrisinin gelişimi ve hareketlerin yapılışında ilerlemeler kaydedilmiş ve nicel olarak bulanık entropi sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Kol replantasyon hastasının bilişsel nörorehabilitasyon sürecinde gelişim süreci bulanık entropi değerlerindeki artıştan açıkça gözlenmiş ve klinisyenlerce de ilerlemesi geri bildirim olarak verilmiştir. Bu veri eşliğinde bulanık entropinin rehabilitasyon sürecinin izlenmesinde etkili bir yöntem olduğu ortaya konmuştur. Hastanın ekstensiyon hareketlerinde aktivitenin görece daha zayıf kaldığı gözlemlenmiştir.

Kol nakil hastasının ameliyat sonrası süreçteki gelişimi bulanık mantık entropi değerlerinin sağlıklı bireylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırması verilmiştir. Sonuçlar nakil sonrası hareketlerin yapımının tatmin edici olduğunu göstermektedir.

Elde edilen bulgular sonucunda, yüz nakil hastalarının duygusal mimikleri yaparken bazı elektrot bölgelerinde sağlıklı bireylerde bulunmayan kasılmalar gözlenmiş ve bunun sebebi olarak bireyin hareketi tam olarak yapamayıp kasılmayı başka yönlere kaydırması olabileceği düşünülmektedir. Bu kaymaların düzeltilmesi için üç boyutlu model üzerinde gerçek zamanlı görsel bir geri besleme ile bireylerin hareketlerini daha iyi analiz edebilmeleri için bir benzetim programı üzerinde çalışılmaktadır.

Yüz nakil hastalarında duygusal ifadelerin gelişim sürecinin incelenmesi için görüntü işleme ile analizi öngörülmektedir.

Kol replantasyon hastası rehabilitasyona iyi cevap vermiştir ve dış iskelet gibi daha farklı teknolojilerle iyileşmesinin hızlanması planlanmaktadır. Hareket çeşitliliği görece daha zayıf kalan ekstensiyon hareketlerine odaklanacak şekilde değiştirilecektir.

Kol nakil hastasının gelişimi iyi olduğundan gelecekte bir rehabilitasyon planlamasına gerek duyulmamıştır.

Entropi analiziyle nakil ve replant hastaların rehabilitasyon sürecinin gelişimi gözlenmiştir, gelecek çalışmalarda çok ölçekli karmaşıklık analizleriyle EMG işaretinden daha fazla bilgi elde etmenin yollarının araştırılması öngörülmektedir.

Duygusal yüz ifadelerinin yüzdeki kaslarda inervasyon olmasına rağmen yeterince iyi gösterilememesinin sebebi olarak hastaların bu hareketleri yapmayı unutmaları düşünülmüştür. İleriki çalışmalarda merkezi sinir sistemindeki değişikliklerin de incelenmesi ve böylece daha etkili nörorehabilitasyon stratejilerinin geliştirilmesi

planlanmaktadır. Plastisitenin önemli bir bulgu olarak rehabilitasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Sun ve arkadaşlarının (2014) çalışmalarında robotlarla rehabilitasyon yapıldığından her oturumda hem rehabilitasyon hem EMG kayıt alımı yapılabilmektedir. Bu çalışmada ise her rehabilitasyon oturumundan sonra kas yorgunlukları ve elektriksel uyarımın verdiği psikolojik yorgunluk da göze alınarak en az bir gün ara verilip ardından EMG işaretleri kaydedilmiştir. Uyarım verilirken kayıt alma imkanı bulunmadığından daha farklı bir yöntem izlenmiştir.

Gürültüye karşı duyarlı olduğu için fraktal boyutu etkin elektrot tespiti dışındaki analizlerde kullanılmamıştır.

Bulanık entropi analizinin sonuçları herhangi bir sınıflandırma yöntemine gerek kalmadan incelenebilmektedir ve bu yöntemin yeterliliğini göstermektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- AKGUL, A., BEDELOGLU, M., TOPCU, C., SEVER, R., OZKAN, O., UYSAL, H., et al. 2014, October. Investigation of active channels in multi-channel surface arm EMG recordings for 24 different movements. *In Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)*, 2014 18th National (pp. 1-4). IEEE, Turkey.
- ANMUNT, C.J., GOLDBERG, G., and MAYER, N.H. 1994. Fractal dimension of electromyographic signals recorded with surface electrodes during isometric contractions is linearly correlated with muscle activation. *Muscle and Nerve*, 17(8): 953-954.
- BADII, R., and POLITI, A. 1999. Complexity: hierarchical structures and scaling in physics (Vol. 6). Cambridge University Press, UK.
- BARRET, J.P., GAVALDA, J., BUENO, J., NUVIALS, X., PONT, T., MASNOU, N., et al. 2011. Full face transplant: the first case report. *Annals of Surgery*, 254(2): 252-256.
- CHAN, A.D., and GREEN, G.C. 2007, June. Myoelectric control development toolbox. *In Proceedings of 30th Conference of the Canadian Medical and Biological Engineering Society* (Vol. 1, pp. M0100-1), Canada.
- CHEN, W., WANG, Z., XIE, H., and YU, W. 2007. Characterization of surface EMG signal based on fuzzy entropy. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE Transactions on, 15(2): 266-272.
- CLANCY, E.A., and FARRY, K.A. 2000. Adaptive whitening of the electromyogram to improve amplitude estimation. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 47(6): 709-719.
- DEVAUCHELLE, B., et al. 2006. First human face allograft: early report. *The Lancet*, 368(9531): 203-209.
- DUBERNARD, J.M., et al. 1999. Human hand allograft: report on first 6 months. *The Lancet*, 353(9161): 1315-1320.
- ECKMANN, J. P., and RUELLE, D. 1985. Ergodic theory of chaos and strange attractors. *Reviews of Modern Physics*, 57(3): 617.
- ENGLEHART, K., HUDGIN, B., and PARKER, P.A. 2001. A wavelet-based continuous classification scheme for multifunction myoelectric control. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 48(3): 302-311.
- ENGLEHART, K., HUDGIN, B., PARKER, P.A., and Stevenson, M. 1999. Classification of the myoelectric signal using time-frequency based representations. *Medical Engineering and Physics*, 21(6): 431-438.

- ERTEKİN, C. (2006). Diyabetik Nöropatiler. Santral ve Periferik EMG Anatomi-Fizyoloji-Klinik, 9-14, Türkiye.
- ESTELLER, R., VACHTSEVANOS, G., ECHAUZ, J., and Litt, B. 2001. A comparison of waveform fractal dimension algorithms. *Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, IEEE Transactions on*, 48(2): 177-183.
- FARINA, D., and NEGRO, F. (2012). Accessing the neural drive to muscle and translation to neurorehabilitation technologies. *Biomedical Engineering, IEEE Reviews in*, 5: 3-14.
- GAO, J., HU, J., and TUNG, W.W. 2012. Entropy measures for biological signal analyses. *Nonlinear Dynamics*, 68(3): 431-444.
- GRASSBERGER, P., and PROCACCIA, I. 1983. Estimation of the Kolmogorov entropy from a chaotic signal. *Physical Review A*, 28(4): 2591. A
- GRASSBERGER, P., and PROCACCIA, I. 1983. Measuring the strangeness of strange attractors. *Physica D*. 9: 189–208.
- GUPTA, V., SURYANARAYANAN, S., and REDDY, N.P. 1997. Fractal analysis of surface EMG signals from the biceps. *International Journal of Medical Informatics*, 45(3): 185-192.
- HIGUCHI, T. 1988. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 31(2): 277-283.
- HOFMANN, D., JIANG, N., VUJAKLIJA, I., and FARINA, D. 2015. Bayesian Filtering of Surface EMG for Accurate Simultaneous and Proportional Prosthetic Control. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 99: 1-10 Doi: 10.1109/TNSRE.2015.2501979.
- KAUFMAN, M., ZURCHER, U., and SUNG, P.S. 2007. Entropy of electromyography time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 386(2): 698-707.
- KENDALL, F.P., MCCREARY, E.K., PROVANCE, P.G., RODGERS, M.M., and ROMANI, W.A. 2005. Muscles: testing and function with posture and pain. Williams and Wilkins, USA.
- KHALIFIAN, S., BRAZIO, P.S., MOHAN, R., SHAFFER, C., BRANDACHER, G., BARTH, R.N., and RODRIGUEZ, E.D. 2014. Facial transplantation: the first 9 years. *The Lancet*, 384(9960): 2153-2163.
- LUCAS, M. F., GAUFRIAU, A., PASCUAL, S., DONCARLI, C., and Farina, D. 2008. Multi-channel surface EMG classification using support vector machines and signal-based wavelet optimization. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3(2): 169-174.

- MALLAT, S. 2008. A wavelet tour of signal processing: the sparse way. Academic press, USA.
- NAZARPOUR, K., SHARAFAT, A.R., and FIROOZABADI, S.M.P. 2007. Application of higher order statistics to surface electromyogram signal classification. *IEEE Trans. Biomed. Engineering*, 54(10): 1762-1769.
- OSKOEI, M.A., and HU, H. (2008). Support vector machine-based classification scheme for myoelectric control applied to upper limb. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 55(8): 1956-1965.
- PINCUS, S.M. 1991. Approximate entropy as a measure of system complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6): 2297-2301
- POPOVIĆ, D.B., and POPOVIĆ, M.B. 2013. Methods for movement restoration. *Introduction to Neural Engineering for Motor Rehabilitation*, 351-376.
- POPOVIĆ-BIJELIĆ, A., BIJELIĆ, G., JORGOVANOVIĆ, N., BOJANIĆ, D., POPOVIĆ, M.B., and POPOVIĆ, D.B. 2005. Multi-Field Surface Electrode for Selective Electrical Stimulation. *Artificial Organs*, 29(6): 448-452.
- POPPENDIECK, W., MUCELI, S., WELSCH, C., KROB, M.O., SOSSALLA, A., YOSHIDA, K., et al. 2013. Development of multi-channel intramuscular EMG recording electrodes. *Biomedical Engineering/Biomedizinische Technik*. 09: 1-2.
- REAZ, M. B.I., HUSSAIN, M.S., and MOHD-YASIN, F. 2006. Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications. *Biological Procedures Online*, 8(1): 11-35.
- RICHMAN, J.S., and MOORMAN, J.R. 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6): H2039-H2049.
- ROSSO, O. A., BLANCO, S., YORDANOVA, J., KOLEV, V., FIGLIOLA, A., SCHÜRMAN, M., and BAŞAR, E. 2001. Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals. *Journal of neuroscience methods*, 105(1): 65-75.
- RYMARCZYK, K., BIELE, C., GRABOWSKA, A., and MAJCZYNSKI, H. 2011. EMG activity in response to static and dynamic facial expressions. *International Journal of Psychophysiology*, 79(2): 330-333.
- SANGER, T.D. 2007. Bayesian filtering of myoelectric signals. *Journal of neurophysiology*, 97(2): 1839-1845.
- SHWEDYK, E., BALASUBRAMANIAN, R., and SCOTT, R.N. 1977. A nonstationary model for the electromyogram. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, (5): 417-424.

- SÖRNMO, L., and LAGUNA, P. 2005. Bioelectrical signal processing in cardiac and neurological applications. Academic Pres, USA.
- SPIILKA, J., CHUDÁČEK, V., KOUCKÝ, M., LHOTSKÁ, L., HUPTYCH, M., JANKŮ, P., et al. 2012. Using nonlinear features for fetal heart rate classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 7(4): 350-357.
- SUN, R., SONG, R., and TONG, K.Y. 2014. Complexity analysis of EMG signals for patients after stroke during robot-aided rehabilitation training using fuzzy approximate entropy. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 22(5): 1013-1019.
- TALEBINEJAD, M., CHAN, A.D., and MIRI, A. 2011. A Lempel–Ziv complexity measure for muscle fatigue estimation. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21(2): 236-241
- TOPCU, C., AKGUL, A., BEDELOGLU, M., DOGER, E.N., SEVER, R., OZKAN, O., et al. 2015, May. Entropy analysis of surface EMG for classification of face movements. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th (pp. 1647-1650). IEEE. –a, Turkey.
- TOPCU, C., BEDELOGLU, M., AKGUL, A., SEVER, R., OZKAN, O., UYSAL, H., et al. 2014, October. Higuchi fractal dimension analysis of surface EMG signals and determination of active electrode positions. In Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), 2014 18th National (pp. 1-4). IEEE, Turkey.
- TOPCU, C., et al. 2015 "Muscle Activity Detection for Basic Movements in Patients with Full Face Transplantation." 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2015. –b, Italy.
- UYSAL, H., TOPÇU, Ç., ÖZKAN, Ö., ÖZKAN, Ö., BARÇIN, E., AKGÜL, A., et al. 2016. ID 382–Electrophysiological evaluation of emotional expressions in the facial transplantation patients. *Clinical Neurophysiology*, 127(3): 127-127.
- VANNOZZI, G., CONFORTO, S., and D’ALESSIO, T. 2010. Automatic detection of surface EMG activation timing using a wavelet transform based method. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4): 767-772.
- WANG, D., MIAO, D., and XIE, C. 2011. Best basis-based wavelet packet entropy feature extraction and hierarchical EEG classification for epileptic detection. *Expert Systems with Applications*, 38(11): 14314-14320.
- WESTERVELD, A.J., SCHOUTEN, A.C., VELTINK, P.H., and VAN DER KOOIJ, H. 2012. Selectivity and resolution of surface electrical stimulation for grasp and release. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 20(1): 94-101.



- ZHANG, X., and ZHOU, P. 2012. Sample entropy analysis of surface EMG for improved muscle activity onset detection against spurious background spikes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(6): 901-907.
- UYSAL, H., et al. "Electrophysiological Investigation of Emotional Expression in Facial Transplantation Patients."31th National Congress on Clinical Neurophysiology EEG-EMG, KNK EEG-EMG 2015. 2015.



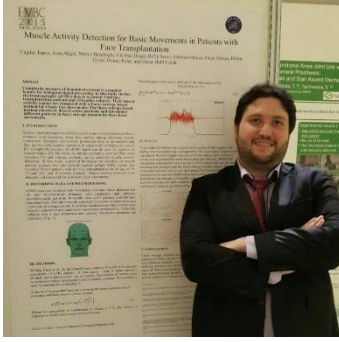
## 8. EKLER

### Ek-1 Geliştirilen MATLAB Kodları

Tez süresince geliştirilen yüzey EMG benzetim ve işaret işleme kodları teze dahil edilmemiştir. Kodları [topcucagdas@gmail.com](mailto:topcucagdas@gmail.com) adresi üzerinden iletişime geçerek isteyebilirsiniz.



## ÖZGEÇMİŞ



Çağdaş TOPÇU, 1987 yılında Adana'nın merkez ilçesi Seyhan'da doğdu. İlkokul ve ortaokulu Adana'da, liseyi Mersin Fen Lisesinde 2004 yılında tamamlamıştır. Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde Kontrol ve Otomasyon ağırlıklı olarak 2010 yılında tamamlamıştır. Yüz Ve Kol Transplantasyonlarında ve Travma Hastalarında Fonksiyonel Hareketlerin Elektriksel Uyarılar ile Geliştirilmesi, TÜBİTAK 1001 projesinde bursiyer araştırmacı olarak çalışmıştır. İngilizce ve Almanca bilmektedir.

### Ulusal ve Uluslararası Bildiri ve Özetleri:

1. UYSAL, H., TOPÇU, Ç., ÖZKAN, Ö., ÖZKAN, Ö., BARÇIN, E., AKGÜL, A., et al. 2016. ID 382–Electrophysiological evaluation of emotional expressions in the facial transplantation patients. *Clinical Neurophysiology*, 127(3): 127-127.
2. TOPCU, C., et al. 2015 "Muscle Activity Detection for Basic Movements in Patients with Full Face Transplantation." 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2015. –b, Italy.
3. UYSAL, H., et al. 2015. "Electrophysiological Investigation of Emotional Expression in Facial Transplantation Patients." 31st National Congress on Clinical Neurophysiology EEG-EMG, KNK EEG-EMG 2015, Turkey.
4. TOPCU, C., AKGUL, A., BEDELOGLU, M., DOGER, E.N., SEVER, R., OZKAN, O., et al. 2015, May. Entropy analysis of surface EMG for classification of face movements. In Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th (pp. 1647-1650). IEEE. –a, Turkey.
5. TOPCU, C., BEDELOGLU, M., AKGUL, A., SEVER, R., OZKAN, O., UYSAL, H., et al. 2014, October. Higuchi fractal dimension analysis of surface EMG signals and determination of active electrode positions. In Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT), 2014 18th National (pp. 1-4). IEEE, Turkey.
6. AKGUL, A., BEDELOGLU, M., TOPCU, C., SEVER, R., OZKAN, O., UYSAL, H., et al. 2014, October. Investigation of active channels in multi-channel surface arm EMG recordings for 24 different movements. In *Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)*, 2014 18th National (pp. 1-4). IEEE, Turkey.