

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

**YÜZ NAKİL, KOL NAKİL VE KOL REPLANT HASTALARINDA BEYİN
PLASTİSİTESİNİN EEG TABANLI ANALİZİ**

İNCİ BİLGE

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

2017

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

**YÜZ NAKİL, KOL NAKİL VE KOL REPLANT HASTALARINDA BEYİN
PLASTİSİTESİNİN EEG TABANLI ANALİZİ**

İNCİ BİLGE

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

**(Bu tez TÜBİTAK 1001 ARDEB tarafından 215E012 nolu proje ile
desteklenmiştir.)**

2017

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

**YÜZ NAKİL, KOL NAKİL VE KOL REPLANT HASTALARINDA BEYİN
PLASTİSİTESİNİN EEG TABANLI ANALİZİ**

İNCİ BİLGE

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

Bu tez ~~01/08/2017~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ

Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK

Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

ÖZET

YÜZ NAKİL, KOL NAKİL VE KOL REPLANT HASTALARINDA BEYİN PLASTİSİTESİNİN EEG TABANLI ANALİZİ

İNCİ BİLGE

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK
Temmuz 2017, 47 sayfa

Bu çalışmada yüz nakil hastası, kol nakil hastası ve kol replant hastalarında beyin plastisitesinin EEG tabanlı analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yüz nakli grubu için beyin plastisitesi ile motor hareket ve duyuşsal uyarım tepkilerinin ilk defa EEG odaklı tanımının gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

EEG sinyalleri, 64 farklı kanaldan 200 Hz örnekleme frekansı ile 10 sağlıklı gönüllü ve nakil hastalarından (3 yüz nakli, 1 kol nakli ve 1 kol replant hastalarından) elde edilmiştir. Kayıtlar el ve yüzün fırça ile uyarılması ve motor hareket sırasında alınmıştır.

Veriler dalgacık paket dönüşümü yöntemi kullanılarak delta, teta, alfa, beta ve gama alt frekans bantlarına ayrıştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıştırılan sinyalin düğüm enerjileri hesaplanarak kişiye, harekete ve dokunsal uyarımlara özgü EEG tabanlı beyin haritalaması gerçekleştirilmiştir.

Yüz nakli, kol nakli ve kol replant hastalarında somatosensoriyel uyarımların kortikal aktiviteleri ile motor kortikal aktiviteler ve kortikal yeniden düzenlenmeler, yüksek yoğunluklu EEG kullanılarak tespit edilmiştir. Gönüllü grup ve nakil grubu arasındaki anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELEER: EEG, Beyin Plastisitesi, Dalgacık Paket Dönüşümü,
Topografik Haritalama, Somatosensoriyel Korteksin
Yeniden Yapılanması

JÜRİ: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK (Danışman)
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ
Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

ABSTRACT

EEG BASED ANALYSIS OF BRAIN PLASTICITY IN FACE TRANSPLANTATION, HAND TRANSPLANTATION AND ARM REPLANT PATIENTS

İNCİ BİLGE

MSc Thesis in Electrical Electronic Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK

July 2017, 47 pages

In this study, it is aimed to perform EEG based analysis of brain plasticity in face transplant patient, arm transplant patient and arm replant patients. It is also intended to provide the first description of motor movement and sensory stimulation responses with uncalculated brain plasticity for the face transplant group.

EEG signals were obtained from 10 healthy volunteers and transplant patients (3 face transplants, 1 arm transplant and 1 arm replant patients) with 200 Hz sampling frequency from 64 different channels. EEG signals were recorded during tactile stimulation of the hand and face area with the brush and during motor movements.

EEG data were analyzed with decomposing into delta, teta, alpha, beta and gamma sub-frequency bands using wavelet packet transform method. EEG-based brain mapping specific to person, motion, and tactile stimuli was performed by calculating the node energies of the decomposed signal.

Cortical and motor cortical activities and cortical rearrangements of somatosensory stimulation in face transplant, arm transplant and arm replant patients were determined using high-density EEG. Significant differences were found between the voluntary group and the transplantation group.

KEYWORDS: EEG, Brain Plasticity, Wavelet Packet Transform, Somatosensory Cortex Reorganization, Topographic Mapping,

COMMITTEE: Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK (Supervisor)
Prof. Dr. Selçuk ÇÖMLEKÇİ
Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

ÖNSÖZ

Tezi hazırlarken yaptığım çalışmalar sırasında maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme, çalışmalarım boyunca değerli tecrübelerinden yararlandığım, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Doç. Dr. Ömer Halil ÇOLAK hocama, tezin şekillenmesindeki katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT'a, Prof. Dr. Hilmi UYSAL'a, Doç. Dr. Ebru APAYDIN DOĞAN'a, Prof. Dr. Ömer ÖZKAN'a ve Doç. Dr. Özlenen ÖZKAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

EEG sinyallerinin kaydedilmesinde yardımlarını esirgemeyen Özlem Çiloğlu'na ve Ezgi Akın'a, kayıtların alınmasında yardımcı olan Ayhan Şavklıyıldız'a, Gizem Uçurum'a ve Seda Dinçsor'a teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmanın bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutmasını dilerim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER TABLOSU	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI	2
2.1. Beynin Yapısı	2
2.1.1. Beyin kabuğu (serebral korteks)	2
2.1.2. Somatosensoriyel korteks ve plastisite ilişkisi	3
2.1.3. Hipokampus ve plastisite ilişkisi	4
2.2. Beyin Plastisitesi	4
2.3. EEG	6
2.3.1. EEG dalga şekilleri	7
2.3.1.1. Alfa dalgaları	7
2.3.1.2. Beta dalgaları	7
2.3.1.3. Delta dalgaları	7
2.3.1.4. Teta dalgaları	7
2.3.1.5. Gama dalgaları	8
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1. EEG Veritabanının Oluşturulması	10
3.2. Dalgacık Dönüşümü	13
3.2.1. Ayırık dalgacık dönüşümü	14
3.2.1.1. Dalgacık paket dönüşümü	15
3.3. EEG Sinyallerinin Topografik Haritalanması	17
4. BULGULAR	20
4.1. Sağ El Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması	20
4.1.1. Sağ el duyu alfa bandı	20
4.1.2. Sağ el duyu beta bandı	20
4.1.3. Sağ el duyu delta bandı	21
4.1.4. Sağ el duyu gama bandı	22
4.1.5. Sağ el duyu teta bandı	22
4.2. Sol El Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması	23
4.2.1. Sol el duyu alfa bandı	23
4.2.2. Sol el duyu beta bandı	24
4.2.3. Sol el duyu delta bandı	24
4.2.4. Sol el duyu gama bandı	25
4.2.5. Sol el duyu teta bandı	26
4.3. Sağ Alt Yüz Bölgesi Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması	26
4.3.1. Sağ alt yüz bölgesi alfa bandı	26
4.3.2. Sağ alt yüz bölgesi beta bandı	27
4.3.3. Sağ alt yüz bölgesi delta bandı	28
4.3.4. Sağ alt yüz bölgesi gama bandı	28
4.3.5. Sağ alt yüz bölgesi teta bandı	29
4.4. Sol Alt Yüz Bölgesi Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması	30

4.4.1. Sol alt yüz bölgesi alfa bandı	30
4.4.2. Sol alt yüz bölgesi beta bandı	30
4.4.3. Sol alt yüz bölgesi delta bandı	31
4.4.4. Sol alt yüz bölgesi gama bandı	31
4.4.5. Sol alt yüz bölgesinin teta bandı	32
4.5. Sol El Motor Hareketin Topografik Haritalanması.....	32
4.5.1. Sol el motor hareket alfa bandı	32
4.5.2. Sol el motor hareket beta bandı	33
4.5.3. Sol el motor hareket delta bandı	34
4.5.4. Sol el motor hareket gama bandı	34
4.5.5. Sol el motor hareket teta bandı	35
4.6. Sağ El Motor Hareketin Topografik Haritalanması	36
4.6.1. Sağ el motor hareket alfa bandı	36
4.6.2. Sağ el motor hareket beta bandı.....	37
4.6.3. Sağ el motor hareket delta bandı.....	37
4.6.4. Sağ el motor hareket gama bandı.....	38
4.6.5. Sağ el motor hareket teta bandı.....	38
5. TARTIŞMA	40
6. SONUÇ	41
7. KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

m :	Dalgacığın ölçek eksenindeki ötelenme parametresi
n :	Dalgacığın zaman eksenindeki ötelenme parametresi
s_0 :	Sabit bir öteleme adımı
τ_0 :	Zaman eksenindeki ötelenme aralığı değeri
$W_{m,n}$:	Dalgacık dönüşümü katsayısı
J :	m seviyesindeki düğüm enerjisi
m :	Düğüm indeksini
f_m :	Her düğümün üst kesim frekansını
N :	İkinin tam katı olan bir sayı
F_s :	Sinyalin örnekleme frekansı
Ψ :	Dalgacık fonksiyonu

Kısaltmalar

ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
DD	Dalgacık Dönüşümü
DPD	Dalgacık Paket Dönüşümü
EEG	Elektroensefalografi
fMRG	Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme
LTP	Uzun Süreli Potansiyasyon
MEG	Manyetoensefalografi
PET	Pozitron Emisyon Tomografi
TMS	Transkranial Manyetik Stimülasyon

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 2.1. Beynin Lobları	2
Şekil 2.2. Beynin Yapısı	3
Şekil 2.3. Somatosensoriyel Korteks	3
Şekil 2.4. EEG Dalgalarının Görünümü	8
Şekil 3.1. EEG Kayıtlarının Alındığı Laboratuvar.....	10
Şekil 3.2. Uluslararası10-10 Sistemi Elektrot Yerleşimi	11
Şekil 3.3. a) Nakil Hastasının Kayda Hazırlanması b) Motor Hareket Yapılması	12
Şekil 3.4. Gönüllünün EEG sinyallerinin kaydedilmesi	13
Şekil 3.5. Dalgacık paket dönüşümü ayrışım ağacı	15
Şekil 3.6. Dalgacık paketlerinin seviyelere göre ayrışımı.....	16
Şekil 3.7. Bir düğüm için ayrışım modeli	16
Şekil 3.8. Topografik haritalamada kullanılan elektrot yerleşimi.....	19
Şekil 4.1. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması	20
Şekil 4.2. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için beta bandının topografik haritalanması	21
Şekil 4.3. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için delta bandının topografik haritalanması	21
Şekil 4.4. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için gama bandının topografik haritalanması	22
Şekil 4.5. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için teta bandının topografik haritalanması	23
Şekil 4.6. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması	23
Şekil 4.7. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için beta bandının topografik haritalanması	24
Şekil 4.8. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için delta bandının topografik haritalanması	25
Şekil 4.9. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için gama bandının topografik haritalanması	25
Şekil 4.10. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için teta bandının topografik haritalanması	26
Şekil 4.11. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması	27
Şekil 4.12. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için beta bandının topografik haritalanması.....	27

Şekil 4.13. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için delta bandının topografik haritalanması.....	28
Şekil 4.14. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için gama bandının topografik haritalanması.....	29
Şekil 4.15. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için teta bandının topografik haritalanması.....	29
Şekil 4.16. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması.....	30
Şekil 4.17. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için beta bandının topografik haritalanması.....	31
Şekil 4.18. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için delta bandının topografik haritalanması.....	31
Şekil 4.19. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için gama bandının topografik haritalanması.....	32
Şekil 4.20. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için teta bandının topografik haritalanması.....	32
Şekil 4.21. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için alfa bandının topografik haritalanması.....	33
Şekil 4.22. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için beta bandının topografik haritalanması.....	34
Şekil 4.23. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için delta bandının topografik haritalanması.....	34
Şekil 4.24. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için gama bandının topografik haritalanması.....	35
Şekil 4.25. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için teta bandının topografik haritalanması.....	36
Şekil 4.26. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el motor hareket için alfa bandının topografik haritalanması.....	36
Şekil 4.27. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el motor hareket için beta bandının topografik haritalanması.....	37
Şekil 4.28. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için delta bandının topografik haritalanması.....	38
Şekil 4.29. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için gama bandının topografik haritalanması.....	38
Şekil 4.30. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için teta bandının topografik haritalanması.....	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. EEG alt frekans banlarının fonksiyonları ve anatomik özellikleri.....	9
Çizelge 3. 1 10-10 sisteminde kullanılan elektrotların kısaltmaları.....	11
Çizelge 3. 2 EEG kayıt prosedürü.....	12
Çizelge 3. 3 Nakil grubun bilgileri.....	13



1. GİRİŞ

Beyin plastisitesi ani veya daha uzun süreli uzuv kayıpları sonucunda ortaya çıkan çevresel modifikasyonlara tepki olarak beyin yeniden adaptasyon süreci olarak adlandırılmaktadır (Vargas ve Sirigu 2011). Beyin plastisindeki değişimlerin en iyi gösterilebileceği uzuv nakli yapılan hasta sayısının dünyada ve ülkemizde az olması bu konuda yapılan çalışmaların önemini arttırmaktadır. Daha önceki çalışmalar, ekstremité amputasyonundan sonra duyu ve motor kortekste yeniden düzenlenmeyi göstermiştir. Literatürde genellikle fMRG ve TMS kullanılarak amputasyondan sonra kortikal nöroplastisite üzerindeki çalışmalar dikkat çekmektedir.

Beyin plastisitesinde yüz ile ilgili hali hazırda mevcut çalışmalar sadece fMRG ve TMS ile yapılan gözlemsel çalışmalardan oluşmaktadır. Özellikle yüz nakli alanında detaylı bir çalışma bulmak mümkün değildir. Yüz ile ilişkili beyin plastisite fMRG çalışmalarında temelde kullanılan olgu dokunma hissinin kişide yarattığı değişimlere odaklıdır (Uysal vd 2016). Konuyla ilgili literatür taramasının yapılması sonucunda genellikle ampute hastalarında el bölgesi uyarımı odaklı plastisite analizi göze çarpmaktadır (Ramachandran ve Hirstein 1998). Yüz ile yapılan çalışma sayısı sınırlıdır. Yüz nakli hastalarında EEG tabanlı plastisite analizi hakkında herhangi bir çalışma şu ana kadar yapılmamıştır.

EEG (Elektroensefalogram), beyin sinirsel faaliyeti sonucu elde edilen biyoelektriksel işaretlere denilmektedir (Subha vd 2010). Literatürde dokunsal (somatosensoriyel) uyarılarla yapılan uyarılma çalışmalarının azlığı dikkat çekmektedir. Var olan çalışmalarda genellikle elektriksel uyarılar, lazer uyarıları, ağırlı uyarılar göze çarpmaktadır (Polich vd 1991, Pfurtscheller vd 2002, Kisley ve Cornwell 2006, Nakao vd 2007). Somatosensoriyel uyarılar kullanılarak korteksin uyarılması sonucunda latans, genlik ve topografik haritalama ile korteks yanıtları hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Babiloni vd 2007).

Çalışmaya hasta grubu ile aynı yaş grubunda olan 10 gönüllü, 3 yüz nakil hastası, 1 kol replant hastası ve 1 kol nakil hastası katılmıştır. Motor hareket ve duyu uyarımlar sırasında 200 Hz örnekleme frekansı ve 64 kanal kullanılmıştır. Gözler kapalı iken bireylerin sağ elinin, sol elinin, sağ alt yüz bölgesinin ve sol alt yüz bölgesinin fırça ile uyarılması sonucunda duyu uyarımların EEG sinyalleri kaydedilmiştir. Motor hareketler ise gözleri açık olarak koltukta oturması istenen bireylerin sağ ve sol beş parmak uçlarını birleştirmeleri sırasında EEG sinyalleri alınmıştır. Dalgacık paket dönüşümü yöntemini kullanarak EEG sinyalleri 512 düğüme ayrıştırılarak ilgili frekans bandlarına karşılık gelen düğümler belirlenerek EEG sinyallerinin alt frekans bantları olan delta, teta, alfa, beta ve gama bantları elde edilmiştir. Alt bantlarının enerji değerleri hesaplanmıştır (Bilgin vd 2008, Ting vd 2008, Wang vd 2011, Wali vd 2013). Alt frekans bandlarına ayrıştırılan EEG sinyallerinin beyindeki enerji dağılımının gözlemlenebilmesi için topografik haritalama yapılmıştır.

Harekete ve kişiye özgü değişimler EEG haritaları ile görselleştirilmiş ve kontrol grubu ile nakil gruplarının arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Sonuçlar beyin plastisitesi odaklı yorumlanmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

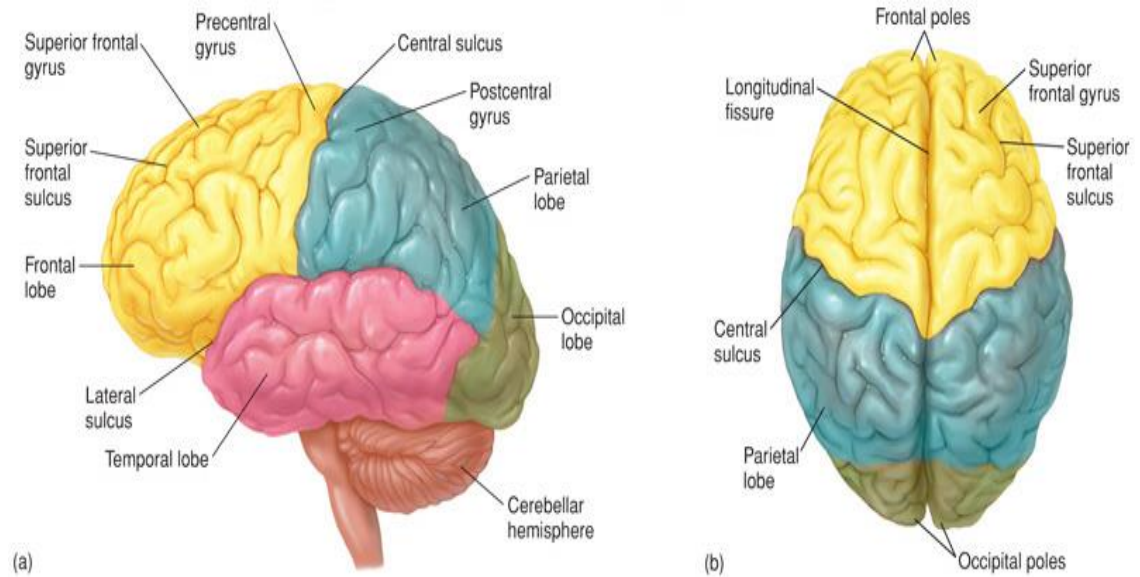
2.1. Beynin Yapısı

Beyin; merkezi sinir sistemine bağlı olan, milyarlarca sinir hücresi bulunduran, tüm vücudu kontrol eden ve yöneten bir organdır. Vücut hareketlerimizin kontrol edilmesi, organlarımızın düzenli çalışmasının yanında öğrenme, düşünme ve hatırlamadan sorumludur. Beynin yüzeyi girintili çıkıntılı kıvrımlara sahiptir. Beynin en önemli bölgelerinden biri serebral kortekstir.

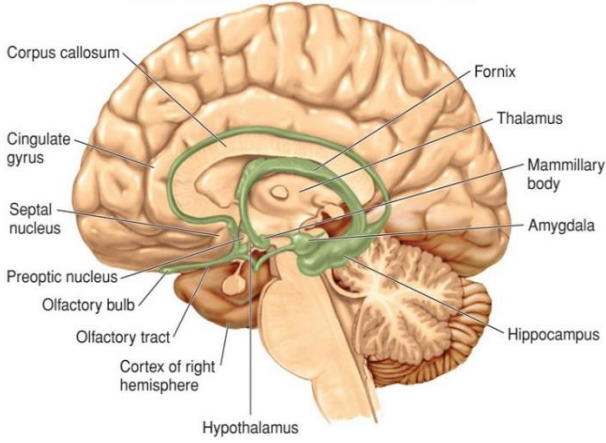
2.1.1. Beyin kabuğu (serebral korteks)

Algısal faaliyetlerin (dokunma, duyma, görme vb.) gerçekleştirildiği serebral korteks, hemisfer adı verilen iki bölgeden oluşmaktadır. Beyin korteksindeki küçük yarıklara sulkus, büyük yarıklara fissür, yarıklar arasındaki çıkıntıya da girus denilmektedir. Korteksin altında nöronları birbirine bağlayan liflerin olduğu beyaz renginden dolayı beyaz cevher denilen yapı bulunmaktadır. Sulkus ve fissür denilen yapılarla beyin iki hemisferi loblara ayrılmaktadır. Bu loblar çift taraflı olarak bulunmaktadır. Her bir hemisfer frontal, parietal, temporal ve oksipital olarak adlandırılan dört loba ayrılır (Fox 2009).

Motor hareketler, konuşma, karar verme, kişilik özellikleri, problem çözme, bilişsel fonksiyonlar ve duygulanım süreçlerinde frontal lob önemli rol oynamaktadır. Çeşitli duyu organlarından gelen bilgileri birleştirme, dokunsal algılamaya gibi konularda parietal lob önemli rol oynamaktadır. Temporal lob ses, koku algılamada, işitme, uzun dönemli hafıza, konuşma, yüz gibi uyaranları işlemede etkin rol almaktadır. Oksipital lob görsel algılamaya konusunda görev yapmaktadır. Beynin lobları Şekil 2.1’de ve beynin yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Fox 2009).



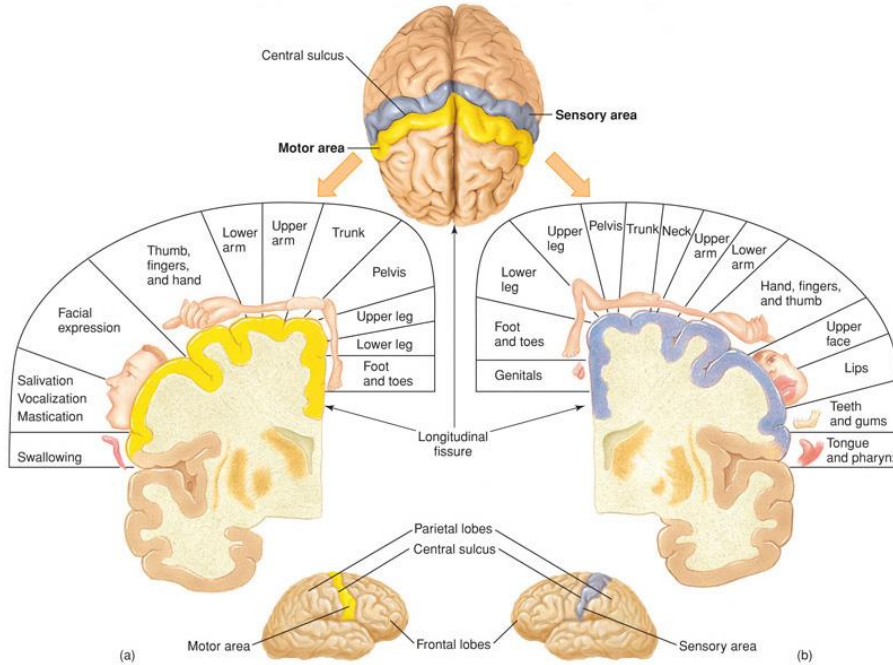
Şekil 2.1. Beynin Lobları



Şekil 2.2. Beynin Yapısı

2.1.2. Somatosensoriyel korteks ve plastisite ilişkisi

Dokunsal (somatosensoriyel) uyarım sırasında beyin yanıtlarının incelenmesi nörofizyolojik yöntemlerin kullanılması bilimsel araştırmalara önemli katkı sağlamaktadır. Somatosensoriyel sistemler tüm vücudu kaplayan dağılmış reseptörlerden oluşmaktadır. Bu reseptörler uygun uyarılarla aktifleşen somatosensoriyel nöral yollara bağlıdır. Bu sayede beyin acı, dokunma ve ısı gibi farklı uyarıları ayırt etmesi sağlanmaktadır. Somatosensoriyel korteks Şekil 2.3'de gösterilmiştir (Fox 2009). Somatosensoriyel kortekste yüz ve el bölgesi birbirine oldukça yakındır.



Şekil 2.3. Somatosensoriyel Korteks

Literatürdeki çalışmalarda, fantom ekstremité ağrısı olan ampute hastalarda somatosensoryal kortekste topografik organizasyonda değişiklikler olduğu

gösterilmiştir. Kramp veya karıncalanma gibi yanıltıcı olmayan fantom hissi ile ekstremiteler ve kortikal değişimlerin algısı arasındaki bağlantı daha az belirgindir. Ampute grubunda fantom hissi uyandırmak için elektriksel uyarımlar yapılarak fMRG ile elde edilen ölçümler sonucunda somatosensoriyel korteksin fantom duyumlarla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Andoh vd 2017).

Fantom uzuv, kesilmiş ekstremitelere özgü spesifik duysal veya kinestetik sansasyonların yanı sıra, kesilmiş ekstremitenin kalıcı farkındalığını içerir ve hemen hemen bütün ampute olmuş kişiler tarafından algılanır (Sherman 1996).

Fantom sansasyonlar (Hayalet duyular), spontan olabilir veya mevcut vücut bölümlerinden gelen duysal girdiler tarafından uyandırılabilir (Hunter vd 2005).

2.1.3. Hipokampus ve plastisite ilişkisi

Hipokampus temporal lobun medial kısmında bulunur ve lateral ventrikülün temporal hornuna komşudur (Mai ve Paxinos 2011). Duyusal uyarının (görme, işitme, koku, dokunma vs.) hipokampusu aktive ettiği belirtilmiştir (Zhang vd 2014). Hafıza, duygulanım ve uzaysal öğrenme ile ilişkilidir. Uzun süreli bir sinaptik ilişki türü olan LTP (Uzun Süreli Potansiyasyon) ilk olarak hipokampusta tespit edilmiştir (İzci ve Erbaş 2015). Hipokampusta nöral plastisite hayat boyunca devam etmektedir.

Hipokampusun kısa süreli hafıza ile ilgili olduğu bilinmektedir (Woollett ve Maguire 2012). Kısa süreli hafıza, yeni bilgilerin depolanma kapasitesini ifade etmektedir.

Hipokampusta oluşan EEG dalgaları ritmik sinüzoidal tipteki teta dalgalarıdır (Lega vd 2014, Sloviter 2005). Hipokampusun spontan aktivitesinin bilinç ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Songur vd 2001).

2.2. Beyin Plastisitesi

Beyin plastisitesi ani veya daha uzun süreli uzuv kayıpları sonucunda ortaya çıkan çevresel modifikasyonlara tepki olarak beyin yeniden adaptasyon süreci olarak adlandırılmaktadır (Vargas ve Sirigu, 2011).

İnsan ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar vücut bölümlerinin kortikal gösterimi aktivite, davranış ve yetenek kazanım tepkilerine göre sürekli olarak yeniden düzenlendiğini göstermiştir (Kaas vd 1983, Sanes vd 1990, Kaas vd 1991, Recanzone vd 1992, Buonomano ve Merzenich 1998, Wall vd 2002). Literatürde özellikle kol ampute hastalarıyla ilgili yapılmış MR ve TMS tabanlı gözlemsel çalışmalara rastlanmaktadır. Bu alanda insanlarda travmatik üst kol amputasyon etkisi incelenmiştir (Flor vd 2006). Uzun süreli kol ampute hastalarında korteks yeniden organize olmaktadır. Bu yeniden organize olmanın algısal sonucu fantom kol olarak tanımlanmıştır (Flor vd 1995). Bu ampute uzuvlarda yüze uygulanan dokunmaların hissedildiği gözlenmiş ve buna refere edilmiş his adı verilmiştir (Ramachandran vd 1992).

1993-1998 yılları arasında ise yapılan beş önemli çalışmada, uzun süreli kol ampute hastalarında, yüz ve kesilme sonucu bedende kalan bölümlerin temsillerinin el

bölgesini işgal ettiği gözlenmiştir (Halligan vd 1993, Yang vd 1994, Elbert vd 1994, Florence vd Kaas 1995, Flor vd 1998).

Hastanın ampute olmasının üzerinden 35 yıl geçmesine rağmen el nakli sonrası beynin S1 bölgesinin ampute olmadan önceki haline döndüğü gözlemlenmiştir (Frey vd 2008). Bu kol amputasyon konusunda yapılan önemli bir gözlemsel çalışma olarak literatürde yerini almıştır.

Literatürde, periferik sinir sisteminin hasar görmesinden sonra korteks organizasyonunda değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, komşu sağlam vücut parçalarının motor ve somatosensoryal gösterimlerinin, daha önce yaralanmış veya eksik bir kola ayrılmış kortikal alanlara genişlediğini göstermiştir (Donoghue ve Sanes 1987, Kaas 2000, Kaas vd 1983, Merzenich vd 1978, Wall vd 1986).

Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) kullanarak, bilateral el transplantasyonundan önce ve sonra bir hastanın motor korteksinde kortikal reorganizasyon dinamiklerini araştırmışlardır. El nakli sonrasında amputasyona bağlı kortikal yeniden yapılanmanın tersine döndüğü bulunmuştur (Giraux vd 2001).

Yüzün uyarılması amputelerin fantom elinde duyumlara neden olduğu belirtilmiştir. Kol nakil hastasında somasensör ve motor kortikal aktivite fMRG ile incelenerek el ve dirsek gösterimleri için motor kortekste ve somatosensoryel kortekste gözlemlenen değişiklikler hem zaman hem de mekan bakımından güçlü şekilde korelasyonlu olduğu belirtilmiştir. Dokunma stimülasyon uygulanırken 10 gün gibi kısa bir süre içerisinde sinir rejenerasyonu ile açıklanamayacak kontralateral somasensör kortikal bölgede fMRG ile aktivasyon gözlenmiştir (Neugroschl vd 2005).

10 hastada replant edilen ellerle ilişkili bir çalışma yürütülmüş ve motor korteks kontralateral değişimlerinin yeniden yapılanmasına odaklanmıştır. Bu amaçla korteksin tepki haritası TMS ile incelenmiştir. Replante el kaslarında yeniden yapılanma örüntüsünün farklılık sergilediği tespit edilmiştir. Tepki genliklerinin büyüdüğü fakat eşik değerler ağırlık merkezleri ve kortikal tepki haritası alanının normal olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Farklı deafferantasyon gelişimleri ve elin farklı motor kontrol rollerinin etkileyebileceği aynı kas grupları için motor kortikal bölgelerinde farklı yeniden yapılanma fenomenleri oluşturduğu gözlenmiştir (Röricht vd 2001).

Kol amputasyonu yapılan 14 hasta birey ve 7 sağlıklı birey el ve dudak hareketleri yaparken ve ampute edilen kolda hareketi hayali olarak yaparken kortikal aktivitesi fMRG ile incelenerek dudak temsiliinin olduğu bölgenin birincil motor ve somatosensöri kortekste yer değişiminin fantom ağrı şiddetiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Lotze vd 2001).

EEG ve TMS kombinasyonuna odaklanan bir çalışmada EEG'nin mevcut kullanımının insan korteksinin beyin dinamikleri çalışmalarında TMS ile ilgili alanlarda artış gösterdiğini bununla beyin araştırmaları ile ilgili çalışmalarda heyecan verici fırsatlar yaratacağını belirtmişlerdir (Ferreri ve Rossini, 2013).

Periferik yaralanmalarda motor görevlerle ilgili kortikal aktiviteyi lokalize etmek için yüksek yoğunluklu elektroensefalografi (EEG) kullanarak amputasyondan

sonra motor kortekste uzun süreli plastisite azalışını doğrulamakla birlikte reinervasyondan sonra motor kortekslerin yeniden haritalanmasına izin verdiği bulunmuştur. Eksik ekstremitte gösterimlerinin komşu alanlara kaydığı halde, amputasyon sonrası motor kortekste kalıcı ekstremitte temsilleriyle hala önemli ölçüde örtüşme sağladığı gözlemlenmiştir. Periferik yaralanmaların ardından rehabilitasyonun izlenmesinde kortikal haritalamanın potansiyel bir rehber olarak kullanılabileceği belirtilmiştir (Chen vd 2013).

Fantom ağrısı olan ve olmayan kol transplant hastalarında TMS kullanılarak plastisitenin fantom ağrı ile ilişkisini göstermişlerdir (Karl vd 2001).

El ve yüzün somatosensöri korteks alanları birbirini oldukça yakındır. El ve yüz transplantlarında bu ilişkiyi tanımlayabilmek kompozit doku allograf transplantasyon alanındaki cerrahlar için oldukça önemlidir. Şu ana kadar yüz transplantasyonunda kortikal plastisite ile ilişkili çalışmalar yayınlanmamıştır. Bununla beraber, el ve yüzdeki deafferantasyondan sonra yeniden yapılanmayı gösteren çalışmalar mevcuttur (Siemionow vd 2009). Bu alandaki önemli eksikliği göz önüne seren Vergas ve Sirigu (2011) gelecekteki çalışmaların yüz transplantasyonlarından sonra sadece primer sensoriyal ve motor alanlarındaki değil ayrıca emosyonel durumlar ve kompleks kognitif fonksiyonlarla birleştirilmiş beyin plastik değişimlerine odaklanacağını ve yüz transplantasyonundan sonra fonksiyonların geri dönüşünün altında yatan mekanizmanın araştırılabileceğini belirtmişlerdir.

Yüz felçli hastalarda kortekste yapılanmadaki olası değişimler transkraniyel magnetik stimülasyon ve pozitron emisyon tomografiyle analiz edilmiştir. PET verisi somatosensöri kortekste el alanının genişlemesi ile bilateral ikincil motor ve sensör alanlarını içeren geniş çaplı kortikal yeniden yapılanmanın bir parçası olduğunu göstermişlerdir (Rijntjes vd 1997).

TMS ve fMRG ile yapılan gözlemsel çalışmalardan en önemlisi yüz nakli olgularında refere edilmiş yüz hissi dünyada ilk defa tanımlanmıştır (Uysal vd 2016).

Alt ekstremitte amputasyonu olan hastalarda motor kortikal aktiviteyi ve kortikal yeniden yapılanmayı haritalamak için yüksek yoğunluklu EEG kullanılarak amputasyondan sonra duysal ve motor kortekste değişiklikler olduğunu gözlemlemişlerdir (Guðnason 2016).

2.3. EEG

Kendiliğinden oluşan, sürekli ritmik elektriksel potansiyellere ve reseptör faaliyetlerine bağlı olarak, uyarılmış durumdayken elektriksel potansiyeller meydana gelmektedir. Serebral kortekste bulunan nöronlar tarafından üretilen bu elektriksel sinyallere EEG sinyalleri denilmektedir.

1875 tarihinde Caton hayvanlar üzerinde yaptığı deneyler sonucunda ilk defa, beyinde elektriksel faaliyetlerin varlığını keşfetmiştir (Caton 1875). 1929 yılında Hans Berger kafaya yerleştirilen elektrotlar ve bunlara bağlı bir galvanometre yardımıyla ilk defa insan beyninde elektriksel aktivitenin varlığını tespit etmiştir (Haas 2003). Elektroensefolagram (EEG) adı verilen bu dalgaların 1930 yılında gözün açılıp kapanmasıyla değiştiğini Berger ortaya koymuştur. 1934’ de Adrian ve Matthews, elektrotlarla alınan EEG işaretlerini kuvvetlendirip kaydedilmesini sağlamıştır (Moruzzi

ve Magoun 1949). Hans Berger'in çalışmalarıyla birlikte önce alfa frekans bandı daha sonra beta bandı tespit edilmiştir. Uyku çalışmalarıyla daha yavaş olan teta ve delta frekans bantları ayırt edilmiştir. Beynin salınımsal yanıtları üzerine araştırmaların hız kazanmasıyla birlikte gama frekans bandına dikkat çekilmiştir. Bu frekansların beynin işlevsel durumuyla bağlantılı olduğu bulunmuştur. Gama bandının hafıza ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

EEG işaretleri periyodik değildir. Genlik, faz ve frekansları sürekli değişir. EEG işaretlerinin ana frekansı ile beyin aktivitesi yakından ilişkilidir. Aktivite ile frekans birlikte yükselir.

EEG sinyalleri delta, teta, alfa beta ve gama frekans bandlarından oluşmaktadır (Lally vd 2014).

2.3.1. EEG dalga şekilleri

2.3.1.1. Alfa dalgaları

Sessiz bir odada normal bir insanın gözleri kapalı, istirahat halindeyken çekilen EEG'deki dominant ritim 8 - 13 Hz frekans bandına sahiptir (Subha vd 2010). Çoğunlukla yetişkinlerde genelde tüm yaş gruplarında görülür. En yüksek genliklerini parietal ve oksipital bölgelerde göstermektedir. Uyku durumunda yok olmaktadır. Uyanık kişi dikkatini başka bir faaliyete yönelirse (zihinsel aritmetik, stres, gözlerini açma gibi) alfa dalgaları yerine daha yüksek frekanslı fakat düşük genlikli beta dalgaları meydana gelmektedir. Beynin her iki yanında da ritmik olarak ortaya çıkar, ancak özellikle sağ elini kullanan bireyler gibi baskın beyin tarafında genlik biraz daha yüksektir. Normal alfa ritmi amplitüd ve bölgesel dağılımda kişisel farklılıklar gösterebilmektedir.

2.3.1.2. Beta dalgaları

Frekansları 13 Hz ile 30 Hz arasında değişen EEG sinyallerine beta dalgası denilmektedir (Subha vd 2010). Beta dalgaları çok stresli durumlarda, kafamızı toplayamadığımız ve dikkatimizi veremediğimiz zamanlarda ortaya çıkmaktadır. Beynin her iki yanında da simetrik dağılmıştır. Saçlı derinin parietal ve frontal bölgelerinden belirgin olarak kaydedilebilmektedir. Tüm yaş gruplarında gözlenmektedir. Küçük genlikli ve genelde simetriktir.

2.3.1.3. Delta dalgaları

Frekansları 1-4 Hz arasında değişen beyin dalgalarıdır (Subha vd 2010). Genellikle derin uyku ve beyin çok düşük aktivite gerektirdiği durumlarda ortaya çıkmaktadır.

2.3.1.4. Teta dalgaları

Frekansları 4-8 Hz arasında değişmektedir ve yavaş aktivite olarak sınıflandırılmaktadır (Subha vd 2010). 13 yaşın altında ve uyuyan çocuklarda parietal ve temporal bölgede ortaya çıkmaktadır. Genellikle normal bireylerde rüyalı uyku, yetişkinlerde duygusal gerginlik, düş kırıklığı gibi durumlarda ortaya çıkmaktadır.

2.3.1.5. Gama dalgaları

Gama dalgasının frekansı 30 Hz'den büyüktür. En anlamlı yanıt 40 Hz frekansında meydana çıkmaktadır. Bilişsel işlemlerde görülmektedir. Gama ritimlerinin bellek şifreleme sürecine katkıda bulunduğu bilinmektedir.

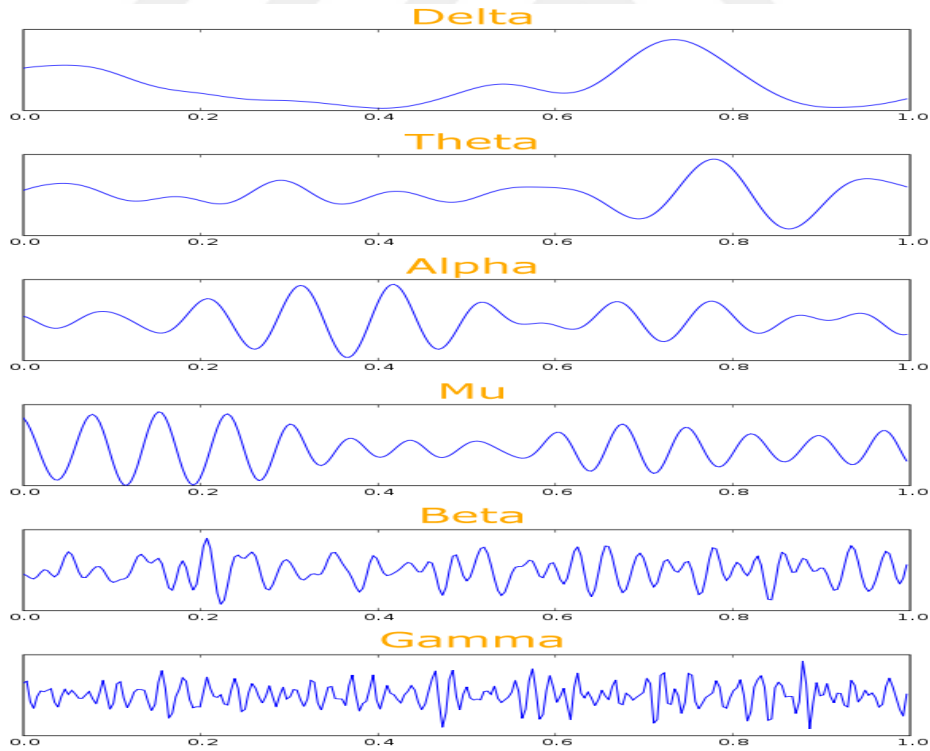
Primer somatosensoriyal korteks üzerinde nosiseptif uyarılarla indüklenen elektroensefalografik gamma band salınımları ile ağrı algısı arasında yakın bir ilişki olduğu belirtilmiştir (Zhang vd 2012).

Şizofreni hastalarında motor hareket yaparken gama dalgası güç spektrum yoğunluğu kullanılarak 30-60 Hz frekans aralığında olduğunu göstermişlerdir (Amo vd 2017).

Gama dalgasının algı, dikkat, hafıza, bilinç, sinaptik plastisite ve motor kontrolü gibi çeşitli serebral fonksiyonlarda ortaya çıktığı belirtilmiştir (Uhlhaas vd 2008).

Gama frekans osilasyonlarının, hücreye özgü bir şekilde uzun süreli sinaptik plastisite ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (Zarnadze vd 2016).

Şekil 2.4'de EEG dalga şekilleri verilmiştir.



Şekil 2.4. EEG Dalgalarının Görünümü

Çizelge 2.1. EEG alt frekans banlarının fonksiyonları ve anatomik özellikleri

Teta(4-7 Hz)	Alfa(8-12 Hz)	Beta(12-30 Hz)	Gamma (30-50 Hz)
Anatomi	Anatomi	Anatomi	Anatomi
Prefrontal Korteks Sensoriyel Korteks Hipokampus	Tüm Korteks Yapıları Talamus Hipokampus	Tüm Korteks Yapıları Hipokampus	Tüm Korteks Yapıları Hipokampus
Fonksiyon	Fonksiyon	Fonksiyon	Fonksiyon
Hafıza Sinaptik Plastisite Uzun Süreli Senkronizasyon	Dikkat Uzun Süreli Senkronizasyon	Dikkat, Algı, Bilinç Perception Motor control Uzun Süreli Senkronizasyon	Algı, Dikkat, Hafıza, Bilinç Sinaptik Plastisite, Motor Kontrol

Literatürde verilen bilgiler doğrultusunda Çizelge 2.1’de EEG alt frekans bandlarının anatomik ve fonksiyonel özellikleri sunulmuştur (Uhlhaas vd 2008).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. EEG Veritabanının Oluşturulması

Projede beyin plastisite analizinin belirlenmesi amacıyla kullanılacak kayıtlar 10 sağlıklı gönüllü (hasta grubu ile aynı yaş grubunda) ve 5 hasta gruptan (üç yüz nakli hastaları, bir kol nakli ve bir kol replant hastası) EEG sinyalleri alınmıştır. Kontrol grubu olarak seçilen 10 kişinin nörolojik bir hastalığı olmayan kişilerden oluşmuştur.

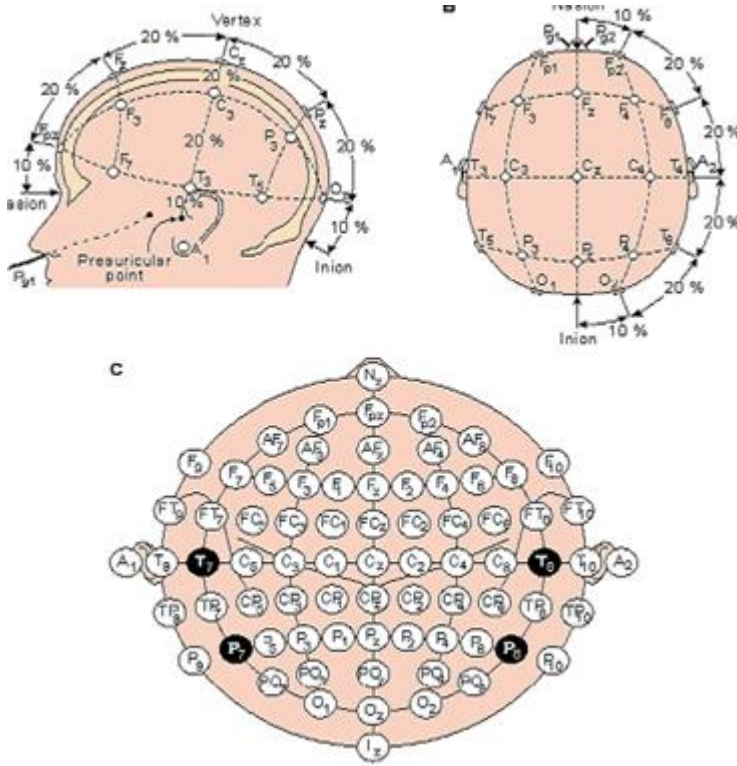
Çalışmamızda yüksek dansiteli EEG kayıtları Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Nöroloji Anabilim Dalında bulunan EEG laboratuvarındaki Nihon Kohden EEG cihazı kullanılarak kayıtlar alınmıştır. Kayıt süresince ölçümü yapan kişi sistemlerin bulunduğu laboratuvarında, deneye alınan bireyler ise yalıtılmış bir odada bulunmaktadır. İki oda arasındaki haberleşme ses sistemleri ile sağlanmıştır. Kayıt süresince bireyler kamera ile izlenmiştir. Kayıt odasında EEG Elektrot bağlantı kutusu, hoparlör, dijital kamera ve monitör bulunmaktadır. Kayıtlar esnasında oda loş ışık ile aydınlatılmıştır. Bireylere kol destekli bir koltukta rahat bir şekilde oturmaları, mümkün olduğunca hareket etmemeleri istenmiştir. Bireyler kayıt alınmadan önce kayıt prosedürü hakkında bilgilendirilmiştir. EEG Kayıtlarının alındığı laboratuvar Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. EEG Kayıtlarının Alındığı Laboratuvar

Uluslararası 10-10 sistemine göre bireyin kafasına yerleştirilen ve saçlı deri için özel olarak tasarlanan Ag/AgCl elektrotlar içeren 64 kanallı EEG kepi kullanılmıştır. Kipte bulunan elektrotlar ile saçlı deri arasındaki iletkenliği sağlamak amacıyla elektro-jel kullanılmıştır.

EEG kaydı duyuşal uyarımların ve motor hareketlerinin yapıldığı süre boyunca devam etmiştir. Uluslararası 10-10 sistemi 64 kanallı EEG elektrot yerleşimleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Uluslararası 10-10 Sistemi Elektrot Yerleşimi

Çizelge 3. 1 10-10 sisteminde kullanılan elektrotların kısaltmaları

Fp : Frontopolar	F : Frontal	P: Parietal
AF: Anterior-frontal	C: Santral	FC: Frontosantral,
FC: Frontosantral	CP: Santro-parietal	PO: Parieto oksipital
A : Auriküler	FT: Fronto-temporal	T: Temporal

Çizelge 3.1. 10-10 sisteminde kullanılan elektrotların kısaltmaları verilmiştir.

Monopolar ve bipolar olmak üzere iki tür EEG kaydı vardır. Monopolar kayıt, kafa derisindeki aktif bir elektrot ile bir referans elektrot arasındaki voltaj farkını alarak sinyallerin kaydedilmesine denir. Bipolar kayıt, saç derisine yerleştirilen iki aktif elektrod arasındaki voltaj farkını alarak EEG sinyallerinin kaydedilmesidir. Çalışmamızda kayıtlar unipolar olarak alınmış olup A1 ve A2 elektrotları referans olarak seçilmiş ve kulak memesine elektrod pastası kullanılarak sabitlenmiştir. 200 Hz örnekleme frekansı ile kayıtlar alınmıştır.

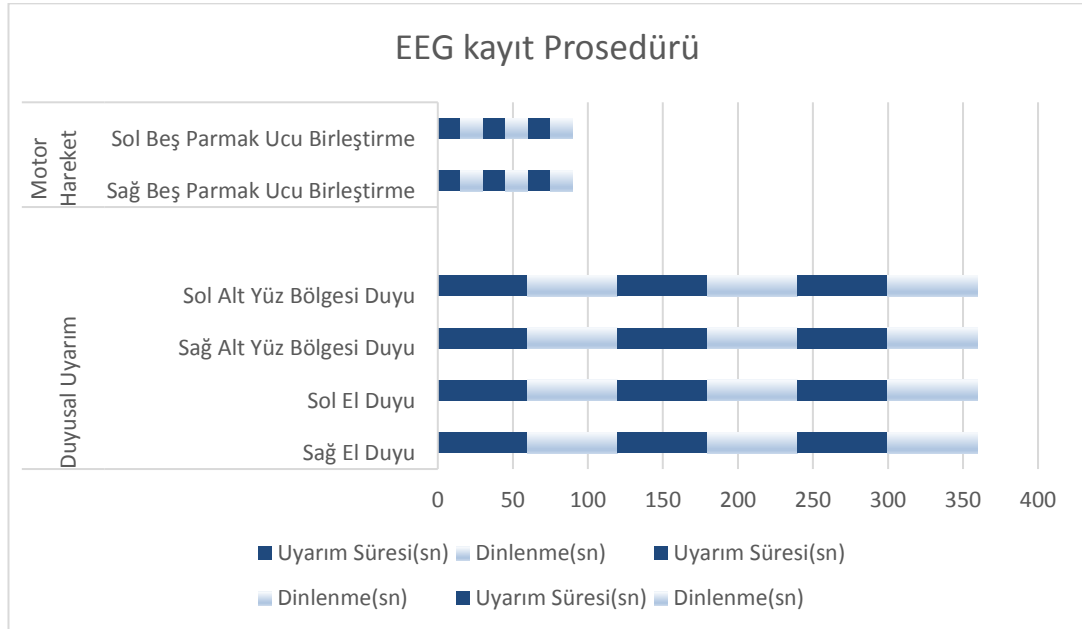
EEG kaydı alınacak kişinin çekime hazırlanma aşaması Şekil 3.3.a’da gösterilmiştir. Birey sol el beş parmak ucu olarak belirlenen motor hareketi yapması Şekil 3.3.b’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. a) Nakil Hastasının Kayda Hazırlanması b) Motor Hareket Yapılması

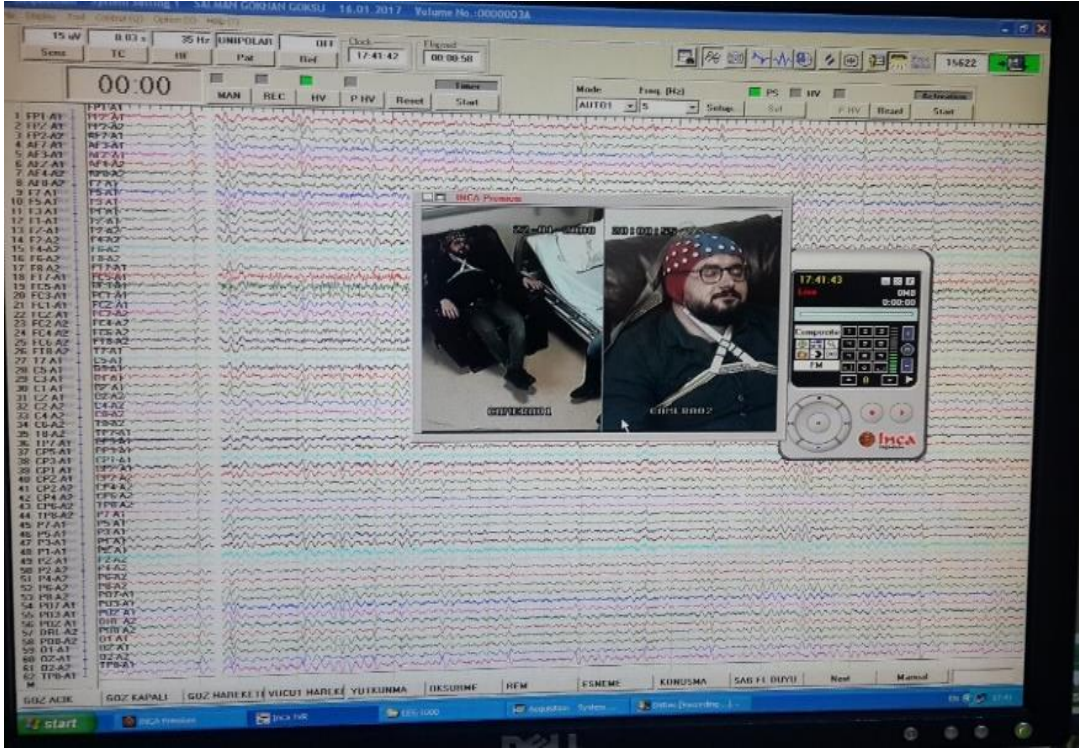
Beynin gözleri kapalı iken sağ el avuç içi, sol el avuç içi, sağ alt yüz bölgesi ve sol alt yüz bölgesi fırça ile uyarılmıştır. Kayıt süresi boyunca gönüllü grup ve hasta gruptan gözlerini kapatmaları ve hareket etmemeleri istenmiştir. Bir dakika uyarım yapıldıktan sonra 30 saniye dinlenme olmak üzere 3 tekrarlı şekilde kayıtlar alınmıştır. Duyusal uyarımın toplam süresi yaklaşık 20 dakikadan oluşmaktadır. El ve yüz bölgesi için aynı EEG kayıt prosedürü uygulanmıştır. Motor hareket olan sağ ve sol beş parmak ucu birleştirme hareketleri 15 saniye hareket yapılması 15 saniye dinlenmesi istenmiştir. Bu işlem 3 kez tekrar edilmiştir. EEG çekim süresi 45 dakika olarak değiştirilmiştir.

Çizelge 3. 2 EEG kayıt prosedürü



Çizelge 3.2’de EEG Kayıt Prosedürü gösterilmiştir.

Gönüllü bireyin gözleri kapalı iken dinlenme durumunda EEG sinyallerinin kaydedilmesi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Gönüllünün EEG sinyallerinin kaydedilmesi

Çizelge 3. 3 Nakil grubun bilgileri

Hasta Grup			Doğum Yılı	Yaşı	Nakil Yılı	EEG Tarihi
Kol Replant Hastası	Olgu 1	P.L.	2001	16	30.09.2010	3.02.2017
Çift Kol Nakil Hastası	Olgu 2	M.S.	1985	32	2.02.2016	27.01.2017
Yüz Nakil Hastası	Olgu 1	T.Ç.	1977	40	14.05.2012	1.02.2017
Yüz Nakil Hastası	Olgu 2	U.A.	1993	24	21.01.2012	31.01.2017
Yüz Nakil Hastası	Olgu 3	R. S.	1987	30	18.07.2013	26.04.2017

Kol replant hastası, çift kol nakil hastası ve üç yüz nakil hastasının doğum yılı, nakil olduğu tarih, EEG çekiminin yapıldığı tarih Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

3.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık dönüşümü (DD), özellikle son yıllarda sinyallerin ya da serilerin incelenmesinde oldukça önemli bir çözüm yolu olmuştur. DD, elektronikten biyomedikale, görüntü işlemeden veri sıkıştırılmaya kadar birçok alanda kullanılmıştır. DD, Fourier

dönüşümlerinin yetersiz kaldığı noktaları gidermek amacı ile geliştirilmiş bir matematiksel dönüşüm tekniğidir.

Dalgacık dönüşümü, zamanla karakteristiği değişen durağan olmayan sinyal işleme için zaman ölçekli inceleme yöntemi olarak ortaya çıkmıştır. Adından da anlaşıldığı gibi dalgacık dönüşümü dalgacıklar yardımı ile yapılmaktadır. Dalgacık dönüşümünde pencere görevini ana dalgacık denilen bir fonksiyon üstlenir. Bu ana dalgacık dönüşüm işlemi süresince hem ölçeklenir hem de ötelenir (Misiti vd 1996). Ölçekleme dalgaının genişletilip daraltılmasına, öteleme ise zaman ekseninde dalgaının kaydırılmasına karşılık gelir (Arı vd 2008). Dalgacık dönüşümü düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutlarının olmasıyla, bütün frekans aralıklarında zaman frekans çözünürlüğü sağlanabilmektedir. Dalgacık analizi bir sinyale ait zaman ve frekans tanımlı bölgelerdeki bilgileri eşzamanlı olarak gösterir. Sinyallerin zamansal karakteristiklerini spektral bileşenler cinsinden ifade etmek de dalgacık dönüşümü yöntemi ile mümkün olmaktadır. Dalgacık dönüşümleri tüm sinyalin zaman ve frekans bilgisini korurlar. Bu sebeplerden dolayı durağan olmayan sinyallerin dalgacık temelli metotlarla işlenmesi geleneksel metotlardan daha iyi sonuçlar sağlarlar (Miner 1998). İşaretten gürültü temizlemede dalgacık dönüşümünden önemli ölçüde yararlanılmıştır.

Doğada bulunan sinyalleri incelemek amacı ile birçok ana dalgacık fonksiyonu bulunmuştur. Bunlardan Daubechies, Meksika şapka tipi, Morlet, Meyer, Coiflets, Symlets ve Haar başlıca dalgacık fonksiyonu türleri olarak sıralanabilir. Bir çok derecesi olan bu dalgacık çeşidinden Daubechies1, “Haar” dalgacık türüne eşittir. Ortonormal özelliğe sahip olan Daubechies, işaretin tekrar elde edilmesine olanak sağlar.

Dalgacık dönüşümü sürekli ve ayırık olmak üzere iki farklı şekilde incelenir (Misiti vd 1996).

3.2.1. Ayırık dalgacık dönüşümü

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), ikinin kuvveti şeklinde ölçekleme ve kaydırma parametreleri seçilerek sinyalin analiz edilmesidir. ADD, işaretin belirli sayıda ölçeklere ayrılabilmesine olanak sağlar. Ayırık dalgacık dönüşümü ile seçilebilen ölçek ve zaman aralıkları, işaretin incelenmesi için kolaylık sağlar. ADD ile yaklaşım ve detay bileşenlerine ayrılan sinyal, ardışık olarak tekrar yaklaşım ve detay bileşenlerine ayrılabilir. Ayırık dalgacık dönüşümü ve çok çözünürlüklü analizlerinde, her ayrışma işlemi sonunda örnek sayısı yarıya iner. Bu sayede zamanda çözünürlük azalmış ama frekansta çözünürlük artmış olur. Çünkü her alt seviyede frekans bandı genişliğinin yarıya inmesi ile frekanstaki belirsizlik azalmış olur. Çok çözünürlüklü ardışık ayrıştırma işlemi işaretin farklı özelliklerinin ortaya çıkartılmasına olanak sağlar. Ayırık dalgacık dönüşümü bir işaretin incelenmesi ve tekrar geri birleştirilmesi için gerekli bilgiyi sağlayabildiğinden çalışmalarda başarıyla uygulanabilmektedir. Ayırık dalgacık dönüşümü için kullanılan dalgacık fonksiyonu (3.1) bağlantısında sunulmuştur.

$$\psi_{m,n}\left(\frac{t-\tau}{s}\right) = s_0^{-m/2} \psi_{m,n} \frac{t-n\tau_0 s_0^m}{s_0^m} \quad (3.1)$$

Sıklıkla kullanılan kullan s_0 ve τ_0 değerleri sırasıyla 1 ve 2 değerini alır. Denklem bu şekilde düzenlenirse elde edilen yeni dalgacık fonksiyonu (3.2) bağlantısında gösterilmiştir. Elde edilen ayrık dalgacık dönüşümü (3.3) bağlantısındaki gibi ifade edilir.

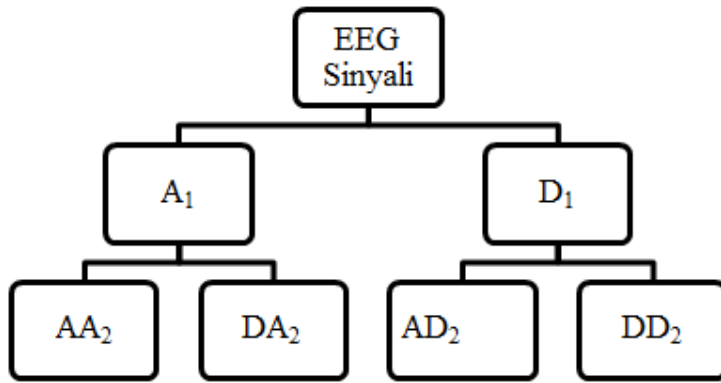
$$\psi_{m,n}(t)=2^{-m/2}\psi(2^{-m}t-n) \quad (3.2)$$

$$W_{m,n}=2^{-m/2}\sum_{k=1}^{N-1}x_k\psi(2^{-m}k-n) \quad (3.3)$$

DPD kullanarak göz kırpma, elektrot hareketleri ve göz bebeği hareketi ile oluşan gürültüleri gidermişlerdir (Direito vd 2012).

3.2.1.1. Dalgacık paket dönüşümü

Dalgacık paket dönüşümü (DPD), ayrık dalgacık dönüşümünün genelleştirilmiş halidir. DPD analizinde, ADD'den farklı olarak, yaklaşım bileşenlerinin her seviye için ayrışımı yapılırken, diğer koldaki detay bileşenlerinin de alt kollara ayrılması mümkün olmaktadır (Misiti vd 1996). ADD ile hem yaklaşım hem de detay bileşenleri her seviyede tekrar tekrar ayrışımı yapılır. İki taraflı yapılan ayrışimler sayesinde daha düşük frekanslarda daha fazla ayrıntıya sahip olmamıza olanak sağlar. Şekil 3.5'de sinyalin iki seviyeli bir şekilde dalgacık paket dönüşümü ile ayrıştırıldığını görmekteyiz.



Şekil 3.5. Dalgacık paket dönüşümü ayrışım ağacı

Dalgacık Paket dönüşümünde, ayrıştırılmış olan bu bileşenlerin yeniden birleştirildiğinde toplam enerji korunarak sinyal yeniden elde edilebilir.

$2J$ uzunluğunda iki filtre ele alınırsa, $h(k)$ ve $g(k)$, yüksek geçiren ve alçak geçiren filtre katsayıları olarak uygulanmaktadır. DPD için, alçak geçiren filtre (3.4) bağlantısında, yüksek geçiren filtre (3.5) bağlantısındaki gibi tanımlanabilir.

$$W_{2j}(t)=\sqrt{2}\sum_{k=0}^{2^j-1}h(k)W_j(2t-k) \quad (3.4)$$

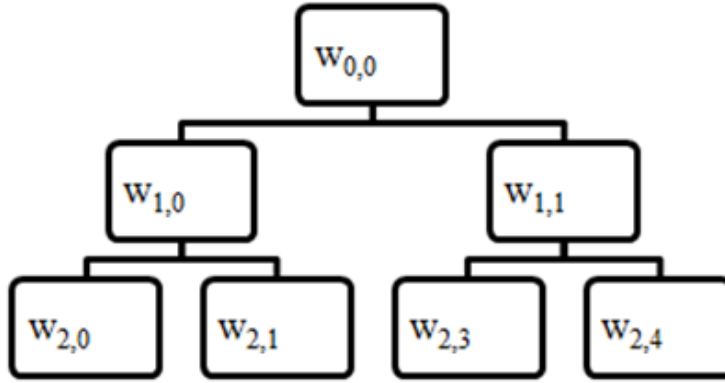
$$W_{2j+1}(t) = \sqrt{2} \sum_{k=0}^{2^j-1} g(k) W_j(2t-k) \quad (3.5)$$

Buradaki $W_0(t) = \varphi(t)$ ölçekleme fonksiyonunu ifade ederken, $W_1(t) = \psi(t)$ ise dalgacık fonksiyonunu simgelemektedir.

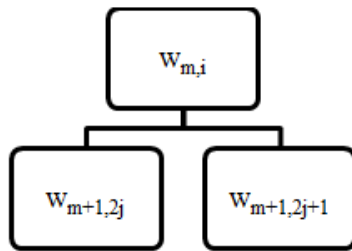
Eğer, $W_j(t)$ fonksiyonu üç indeksli olarak düşünülürse, dalgacık paket fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$W_{m,j,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}} W_j(2^{-m}t - n) \quad (3.6)$$

Dalgacık paketlerinin örnek olarak iki seviyede ayrışımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Dalgacık paket dönüşümünün bir düğümü için ayrışım modeli Şekil 3.7'de sunulmuştur.



Şekil 3.6. Dalgacık paketlerinin seviyelere göre ayrışımı



Şekil 3.7. Bir düğüm için ayrışım modeli

Dalgacık paket dönüşümünün frekans karakteristiği (3.7) bağlantısı kullanılarak hesaplanabilir.

$$f_m = \frac{j+1}{2^{m+1}} f_s \quad (3.7)$$

DPD’de her bir düğüm için hesaplanan $w_{m,j}$ değeri (3.8) bağlantısını kullanarak hesaplanmıştır. Bu $W_{m,j,n}$ ’nın yeniden yapılandırılmasıyla hesaplanan $w_{m,j}(n)$ ’nin kareleri toplamının, $w_{m,j}(n)$ ’nin uzunluğuna bölümüne eşittir. Dalgacık paketinde dönüşümünde enerji $W_{m,j,n}$ ’nın yeniden oluşturulması ile oluşturulan w değerlerine bağlıdır.

$$W_{m,j} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |w_{m,j}(n)|^2 \quad (3.8)$$

Böylelikle dalgacık paket dönüşümü ile M seviyede ayrıştırılmış bir sinyalin toplam enerjisi (3.9) bağlantısında gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$E_M = \sum_{j=0}^{2^M-1} |w_{m,j}|^2 \quad (3.9)$$

Buradaki $w_{m,j}$ M seviyede ayrıştırılmış bir DPD’de, son seviyedeki düğümlerin her birinin değerlerini ifade ederken, E_M ise M seviyesinde elde edilen sinyalin toplam enerjisini ifade etmektedir.

Doğada bulunan sinyalleri incelemek amacı ile birçok ana dalgacık fonksiyonu bulunmuştur. Daubechies, Meksika şapka tipi, Morlet, Meyer, Coiflets, Symlets ve Haar başlıca dalgacık fonksiyonu türleri olarak sıralanabilir. Çalışmamızda Daubechies4 dalgacık fonksiyonunu kullanılmıştır.

Sağlıklı bireylerden alınan EEG kayıtlarının dalgacık paket enerjilerinin ortalaması ile nakil hastalarının dalgacık paket enerjileri karşılaştırılmıştır. Elektrot bölgeleri arasındaki farklar incelenerek, beyin duyuşal uyarımlara ve motor hareketlere verdiği tepkilerin haritaları çıkarılmıştır. Beyin uyarımı sırasında gösterdiği yanıtlar her elektrot bölgesi için birbiriyle kıyaslanmıştır. Bu sebeple EEG dalgacık paket dönüşümü ile kişiye, harekete ve duyuşal uyarıma özgü duyuşal EEG haritaları arasındaki farklılıklar ortaya konularak duyuşal aktivasyon değişimleri tespit edilmiştir.

3.3. EEG Sinyallerinin Topografik Haritalanması

Beyin aktivitesini görsel olarak en iyi temsil eden yöntemler arasında beyin haritalaması yer almaktadır. Zaman içinde EEG aktivitesindeki değişimler veya aktivitenin saçlı deri üzerindeki dağılımını vurgulamak için EEG ve uyarılmış potansiyel aktivitelerinin gösterilmesinde özel yöntemler geliştirilmiştir. Saçlı deri üzerinden kaydedilen aktivitenin dağılımının gösterilmesine topografik haritalama denilmektedir. EEG sinyalinin topografik haritalanması, uzamsal bir boyutla elektrofizyolojik değişikliklerin zamansal boyutunu tamamlayan, klinik tanıya yardımcı olmaktadır.

EEG sinyallerinin delta, teta, alfa, beta ve gama frekans alt bantlarının zamanla değişen göreceli gücünün topografik haritalamasına dayanan epileptik beyin farklı durumlarını tanımlamak için yeni bir yöntem önermişlerdir (Direito vd 2012). Topografik beyin haritalama ve dalgacık dönüşümü kullanılarak yapay sinir ağı yöntemiyle sınıflandırma yapılmıştır (Arab vd 2010).

EEG spektrumunun zaman-frekans analizi ve EEG'nin gürültüsünün giderilmesinde dalgacık analizi önerilmektedir (Xiangtan 2010). Obstrüktif apne epizodları öncesinde, sırasında ve sonrasında EEG gücünün dört frekans bandında değerlendirilmesini amaçlayan çalışmada EEG sinyallerine sürekli dalgacık dönüşümü uygulanarak topografik EEG beyin haritalaması yapılmış ve tüm beyindeki güç farklılıkları görselleştirilerek kortikal aktivitedeki değişikliklerin belirlenmesi sağlanmıştır (Coito vd 2011). Sağlıklı bireylerden ve şizofreni hastalarından alınan EEG sinyalleri kullanılarak çeşitli frekans bantlarında güç spektrum dağılımları yapılmıştır (Akbar vd 2016).

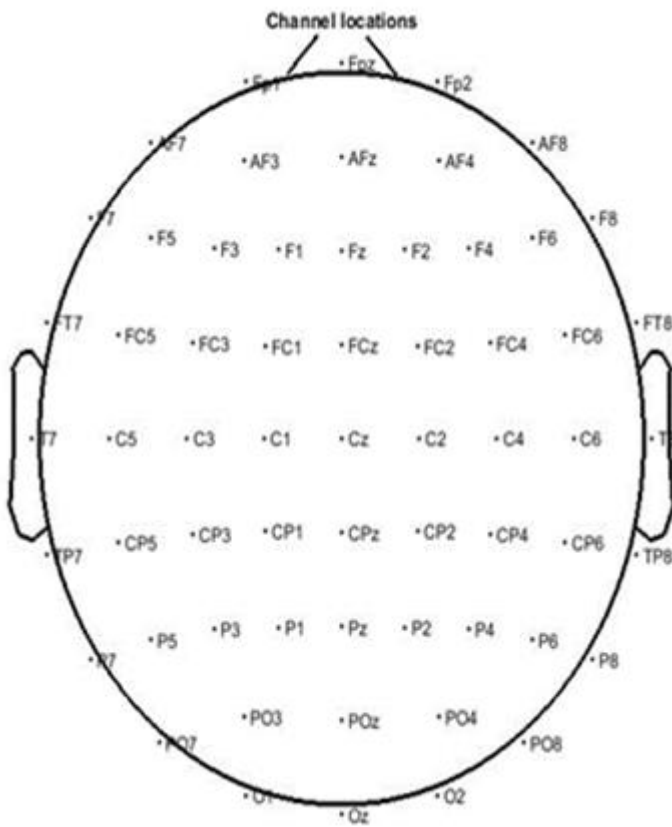
Dalgacık paket entropisini kullanarak sağlıklı kişilerin gözleri açık ve kapalı durumda kaydedilen EEG sinyallerinin topografik haritasını iki boyutlu enterpolasyon yöntemi ile hesaplamışlardır (Sun vd 2006).

Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme, magnetoensefalografi ve transkraniyal manyetik stimülasyon ile nörofizyolojik araştırmalara dayandırarak dokusal işleme üzerine odaklanmışlardır. İnsanlarda, hem sağlıklı bireylerde hem de beyin hasar görmüş bireylerde dokusal etkileşimleri gösteren nörofizyolojik çalışmaları ve insanlardaki davranışsal çalışmaları, interhemisferik aktarımın temel anatomisini, fizyolojisini ve somatosensasyonda ikili etkileşimlerin sinirsel substratlarını tanımlamışlardır. Bilateral duyu bilgisinin, motor kontrol bağlamında, somatosensor girdinin gösterimleri ile verimli bir şekilde bütünleşebileceği fikrini belirtmiştir (Tamè vd 2016).

Farklı hastalıkların EEG sinyallerinin işlenmesinde kullanılan farklı sinyal işleme yöntemleri ayrıntılı olarak sunulmuştur (Subha vd 2010).

Kantatif EEG analiz tekniklerinin beyin haritalamasının oluşturulmasında voltaj ya da frekansın topografik gösterilmesi olarak adlandırıldığı belirtilmiştir ve beyin haritalamasının kafatasındaki EEG sinyallerinin potansiyel dağılımı tabanlı olduğunu ifade etmiştir (Sivanandan 2013). Elektrotlar arasındaki değerleri yeniden oluşturmak için enterpolasyon teknikleri kullanılır. Enterpolasyon, elektrotlardaki değerlere ve bu elektrotların mesafesine dayanan elektrotlar arasındaki olası en yüksek değeri hesaplamak için kullanılan matematiksel tekniklerdir. Ölçümlerin gerçekleştiği elektrot sayısı sınırlı olduğundan dolayı enterpolasyon tekniği beyin haritasında kullanılmaktadır. Sivanandan (2013) beyin haritalaması için çalışmada K-En Yakın Komşu enterpolasyonunu kullanmıştır. Bu enterpolasyon değerlerin hesaplanacağı noktaya en yakın ölçümlere dayanır. Çözünürlüğü artırmanın mantıklı yolu elektrot sayısını arttırmaktır. Bu nedenle çalışmamızda yüksek densiteli EEG kullanılmıştır.

Topografik haritalama için kullanılan elektrot yerleşim sistemi Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Topografik haritalamada kullanılan elektrot yerleşimi

4. BULGULAR

Sağlıklı 10 gönüllü kişinin EEG sinyallerinin ortalaması, kol nakli, yüz nakli ve kol replant hastalarının sağ el, sol el, sağ alt yüz ve sol alt yüz bölgelerinin duyuşal uyarımı ile sağ ve sol el motor hareket yaparken (beş parmak ucu birleştirme) kaydedilen EEG sinyallerinin alfa, beta, delta, teta, gama frekans bantlarındaki topolojik dağılımı Şekil 4.1 ile Şekil 4.30 arasında gösterilmiştir.

4.1. Sağ El Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması

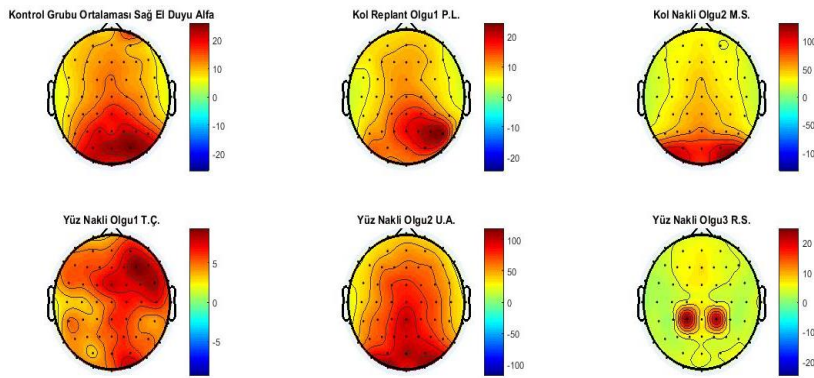
4.1.1. Sağ el duyu alfa bandı

Alfa frekans bandında kol replant hastası P.L.'nin sağ el uyarımını gönüllü grubun ortalaması ile karşılaştırıldığı zaman parietal oksipital bölgenin sağ hemisferinin daha baskın olduğu görülmüştür.

U.A.'nın sağ elinin uyarımı sırasında parietal oksipital bölgede gönüllü gruba benzer bir topolojik dağılım gözlemlenirken frontal bölgede gönüllü gruptan daha farklı bir topografik dağılım görülmektedir.

T.Ç.'nin sağ el uyarımı sırasında parietal oksipital bölgede gönüllü grubun ortalamasından daha düşük enerji dağılımı gözlemlenirken, sağ frontal bölgede gönüllü grubun ortalamasından yüksek enerji ortaya çıktığı görülmektedir.

Kol nakil hastası olan M.S.'nin sağ el uyarımı sırasında parietal oksipital bölgeleri arasında gönüllü gruptan daha yoğun enerji gözlemlenirken, frontal bölge, frontal bölge ile santral bölge arasında gönüllü gruba göre farklılıklar gözlemlenmiştir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu alfa bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

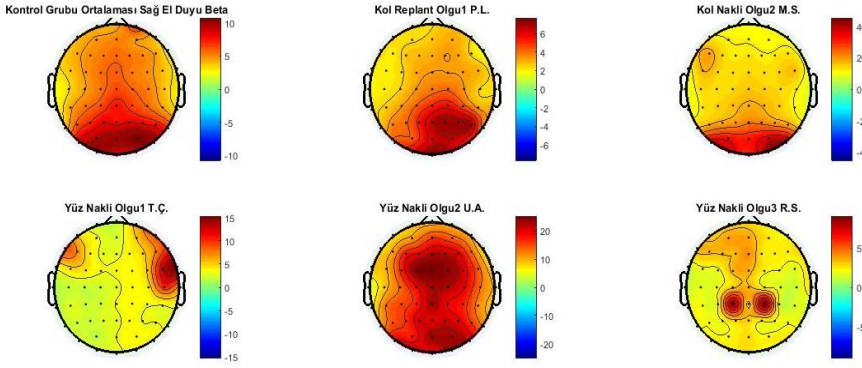


Şekil 4.1. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması

4.1.2. Sağ el duyu beta bandı

Gönüllü gruptan farklı olarak kol replant hastası olan P.L.'nin sağ elin uyarımı sırasında beta bandında baskın enerji sağ hemisferde parietal bölgede görülmektedir. Yüz nakil hastası olan T.Ç.'nin sağ el duyu uyarımında beta bandında T8, FT8 en yoğun

enerji görülmektedir. Gönüllü grupla karşılaştırıldığı zaman parietal ve oksipital bölgede farklılıklar görülmektedir. Yüz nakil hastası olan U.A.'nın sağ elinin uyarımı sırasında gönüllü gruptan farklı olarak frontal bölge, frontal bölge ile santral bölge arasında ve santral bölgede baskın enerji görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu beta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



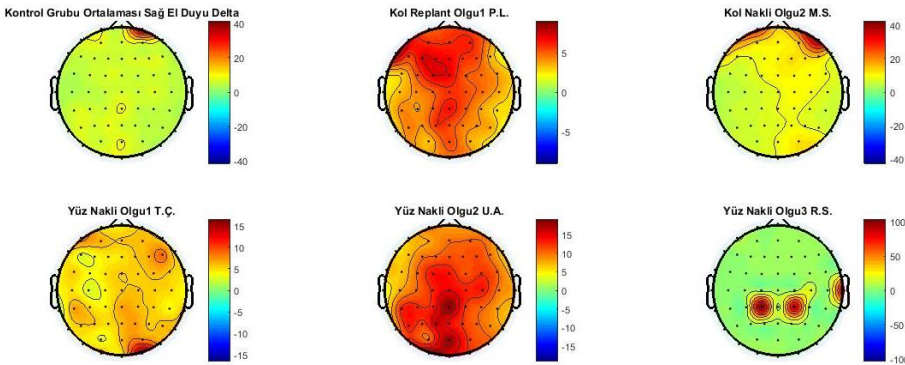
Şekil 4.2. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için beta bandının topografik haritalanması

4.1.3. Sağ el duyu delta bandı

P.L.'nın sağ elin uyarımında delta bandı en yoğun frontal bölgede görülmektedir. M.S.'nin sağ elinin duyusal uyarımı sırasında delta bandı görülmemektedir. T.Ç.'nin sağ elin uyarımında delta frekans bandı görülmemektedir.

U.A.'nın sağ elini uyarım sırasında delta frekans bandında frontal, santral bölgelerde farklılıklar gözlemlenirken baskın enerji parietal bölgede görülmektedir.

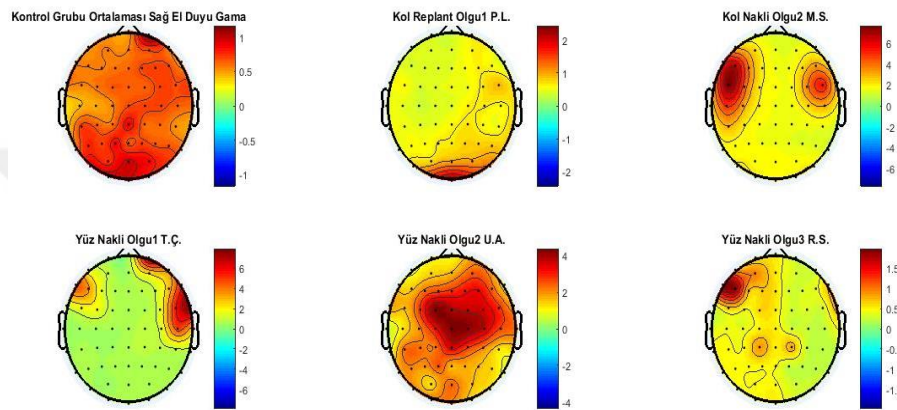
Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu delta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için delta bandının topografik haritalanması

4.1.4. Sağ el duyu gama bandı

M.S.'nin sağ elinin uyarılması sırasında sol hemisferde santal bölge, frontal bölge ile santral bölge arasında gama yanıtları görülmektedir. M.S.'nin sol elinin duyuusal uyarımında ise sağ hemisferinde santral bölge, santral bölge ile frontal bölge arasında gama yanıtları gözlenmektedir. T.Ç.'nin sağ elinin uyarılması sırasında sağ hemisferde C6 ve FC6 bölgelerinde gama yanıtı gözlemlenmektedir. U.A.'nın santral bölgesi, frontal bölge ile santral bölge arası ve parietal bölge ile santral bölge arasında belirgin gama yanıtları görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu gama bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



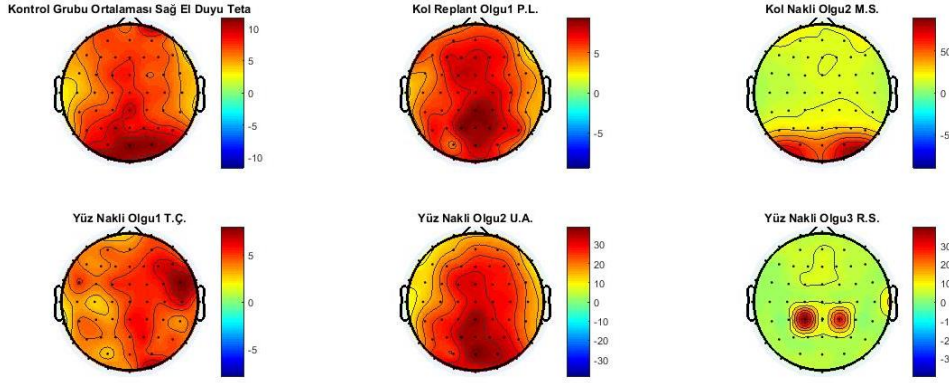
Şekil 4.4. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyuusal uyarımı için gama bandının topografik haritalanması

4.1.5. Sağ el duyu teta bandı

P.L.'nin sağ elinin uyarımı sırasında parietal bölge ile santral parietal bölgede baskın enerji görülürken tüm kortekse teta yanıtlarının yayıldığı gözlemlenmiştir. M.S.'nin sağ elinin dokunsal uyarımı sırasında parietal oksipital bölgeleri arasında görülmektedir.

T.Ç.'nin sağ elinin uyarımı sırasında teta bandı yanıtları tüm kortekse yayılırken baskın enerjisi T8 ve FT8 bölgelerinde gözlemlenmektedir. U.A.'nın sağ elinin uyarımı sırasında teta yanıtlarının tüm kortekse yayıldığı görülmüştür.

Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyu teta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

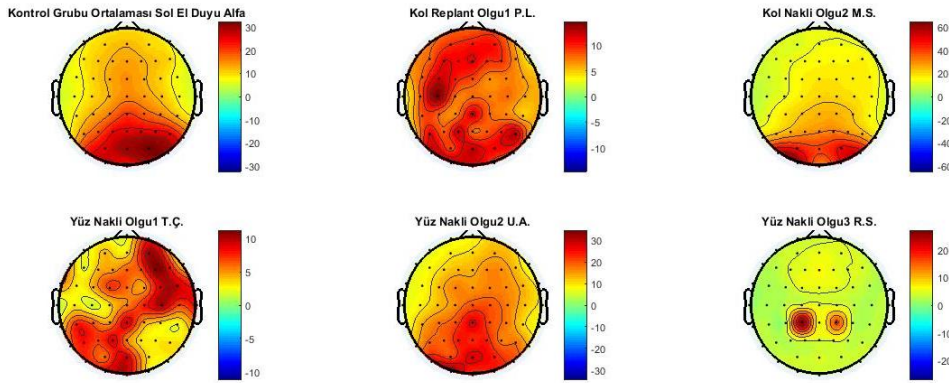


Şekil 4.5. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el duyusal uyarımı için teta bandının topografik haritalanması

4.2. Sol El Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması

4.2.1. Sol el duyusu alfa bandı

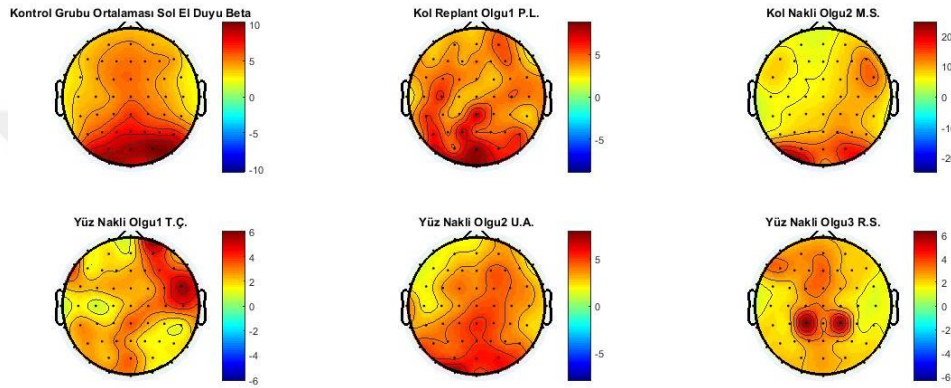
P.L.'nin sol elinin uyarımında parietal oksipital bölgede gönüllü gruba benzer bir topografik dağılım gözlemlenirken santral kısımda baskın enerjinin olduğu ve frontal bölgede gönüllü gruba göre anlamlı farklılıklar olduğu görülmektedir. M.S.'nin sol el duyusu uyarımında frontal bölgede ve santral parietal bölgede gönüllü gruptan farklı olduğu görülmektedir. T.Ç.'nin sol el duyusu uyarımı sırasında gönüllü gruptan farklı olarak sağ hemisferde frontal bölge, santral bölge ve frontal bölge ile santral bölge arasında baskın enerji gözlemlenirken sağ hemisferde parietal bölge, parietal oksipital bölge arasında gönüllü gruba benzer bir topografik dağılım görülmektedir. U.A.'nın sol elinin uyarımı sırasında parietal oksipital bölgede gönüllü gruptan daha düşük topografik dağılım görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusu alfa bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması

4.2.2. Sol el duyu beta bandı

P.L.'nin sol elin uyarımı sırasında santral bölgede gönüllü gruptan farklı yanıtlar verdiği gözlemlenirken parietal bölgede en yoğun enerji görülmektedir. T.Ç.'nin sol elin uyarımı sırasında sağ hemisferin frontal bölgesi ile temporal kısım arasında beta bandında baskın enerji görülmektedir. Gönüllü grupla karşılaştırıldığı zaman parietal bölge ve parietal oksipital bölge arasında enerjinin daha düşük olduğu görülmüştür. U.A.'nın sol elin uyarımı sırasında gönüllü grubun parietal oksipital bölgesi arasında enerjisinin U.A.'ya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyu beta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

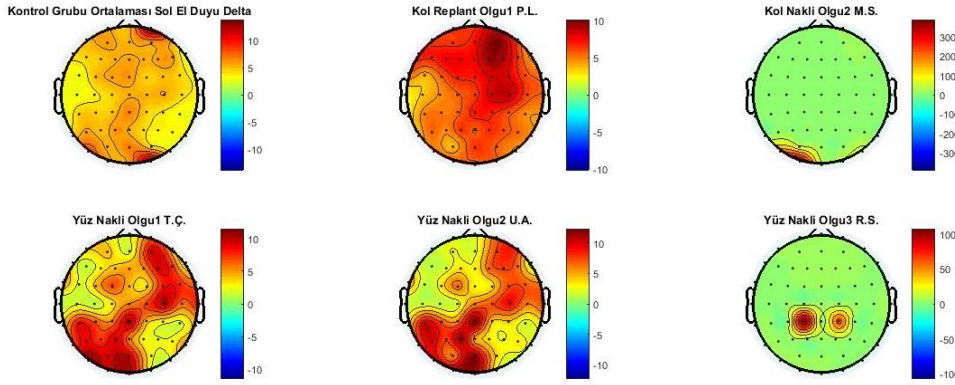


Şekil 4.7. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duysal uyarımı için beta bandının topografik haritalanması

4.2.3. Sol el duyu delta bandı

P.L.'nin sol elin uyarımı sırasında sağ hemisferin frontal bölgesinde baskın olarak görülmektedir. M.S.'nin sol elinin uyarımı sırasında delta bandında değişiklik görülmemektedir. T.Ç.'nin sol elinin uyarımı sırasında sağ hemisferin frontal ve temporal bölümleri ile santral bölümlerinde ve sol hemisferin parietal bölümleri ile parietal oksipital bölümleri arasında farklılıklar görülmektedir.

U.A.'nın sol elin uyarımı sırasında sağ hemisferin frontal bölgesi, frontal bölge ile santral bölge arasında, santral bölge, temporal bölgelerinde ve sol hemisferin santral parietal bölge arasında, parietal ve oksipital bölgelerinde farklılıklar görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyu delta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için delta bandının topografik haritalanması

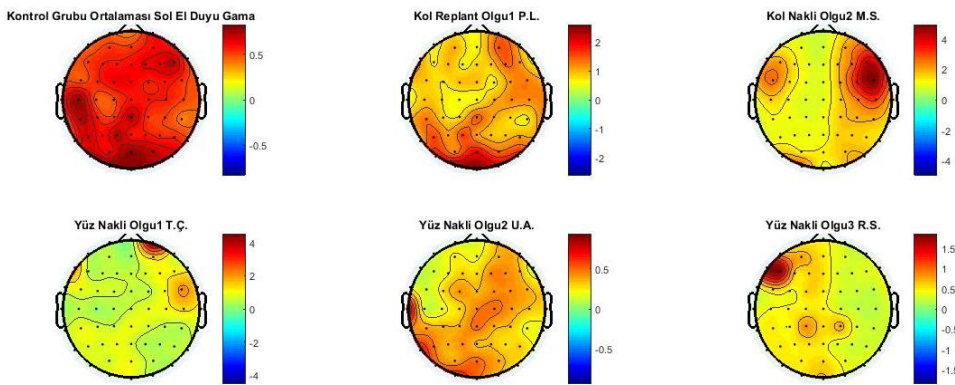
4.2.4. Sol El Duyu Gama Bandı

M.S.'nin sağ elinin uyarılması sırasında sol hemisferde santal bölge, frontal bölge ile santral bölge arasında gama yanıtları görülmektedir.

M.S.'nin sol elinin duyusal uyarımında ise sağ hemisferinde santral bölge, santral bölge ile frontal bölge arasında gama yanıtları gözlenmektedir.

T.Ç.'nin sağ elinin uyarılması sırasında sağ hemisferde C6 ve FC6 bölgelerinde gama yanıtı gözlemlenmektedir.

U.A.'nın santral bölgesi, frontal bölge ile santral bölge arası ve parietal bölge ile santral bölge arasında belirgin gama yanıtları görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyu gama bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

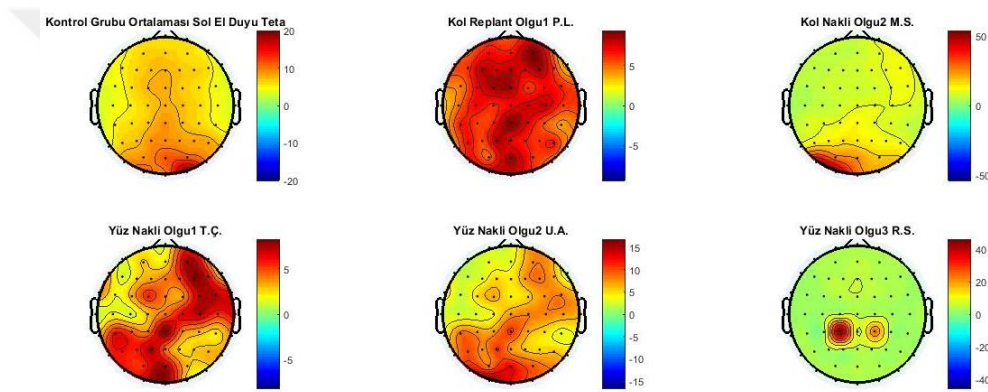


Şekil 4.9. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyusal uyarımı için gama bandının topografik haritalanması

4.2.5. Sol el duyu teta bandı

P.L.'nin sol elin uyarımı sırasında santral parietal bölge arasında ve frontal bölgede baskın enerji görülürken teta yanıtlarının tüm kortekse yayıldığı görülmektedir. M.S.'nin sol elinin dokunsal uyarımı sırasında sağ hemisferde oksipital bölgede belirgin fark bulunmuştur.

T.Ç.'nin sol elin duyuusal uyarımı sırasında sağ hemisferin santal bölge, frontal bölge, frontal santral bölge arasında, temporal bölgesinde ve sol hemisferin parietal oksipital ve parietal oksipital bölgeleri arasında teta bandının topografik dağılımı görülmektedir. U.A.'nın sol elin duyuusal uyarımı sırasında gönüllü gruptan farklı olarak sağ hemisferin frontal bölgesi ve temporal bölgesi arasında fark gözlemlenirken, sol hemisferin parietal oksipital bölgeleri arasında fark görülmüştür. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyu teta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.10'de gösterilmiştir.

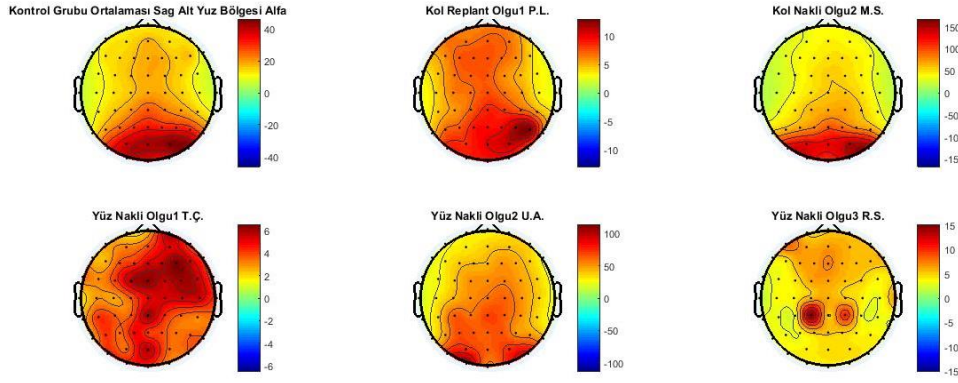


Şekil 4.10. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el duyuusal uyarımı için teta bandının topografik haritalanması

4.3. Sağ Alt Yüz Bölgesi Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması

4.3.1. Sağ alt yüz bölgesi alfa bandı

Genel olarak gönüllü grupta frontal bölge, santral bölge, santral ve parietal ve parietal ve oksipital bölgeler arasında gözlemlenmektedir. Sol alt yüz bölgesinde gönüllü grupta en yoğun enerji parietal oksipital bölgeler arasında iken kol nakil hastası P.L.'de parietal bölgede baskın enerji gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra santral ve frontal bölgelerde gönüllü gruptan daha yoğun enerji gözlemlenmektedir. M.S.'nin sol alt yüzü santral bölge, frontal bölge ve santral bölge ile frontal bölge, parietal bölge ile santral bölge arasında gönüllü gruba göre daha az enerji görülürken, parietal oksipital bölge arasında baskın enerji olduğu görülmektedir. U.A.'nın sol alt yüz bölgesinin uyarımı sırasında gönüllü gruptan farklı olarak sol hemisferinin enerjisi daha baskındır. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi duyu hareketinin alfa bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



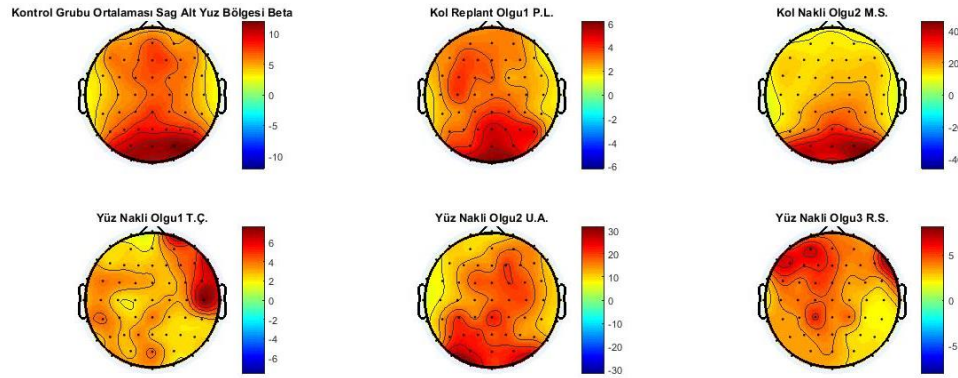
Şekil 4.11. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması

4.3.2. Sağ alt yüz bölgesi beta bandı

P.L.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımı sırasında parietal oksipital bölgelerde gönüllü gruba benzer bir topografik dağılım görülürken sol hemisferin santral ve frontal bölgelerinde gönüllü gruba göre daha fazla enerji görülmektedir.

T.Ç.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımı sırasında santral bölge, frontal bölge ve santral bölge ile frontal bölge arasında beta yanıtlarında gönüllü gruptan farklılıklar görülmektedir.

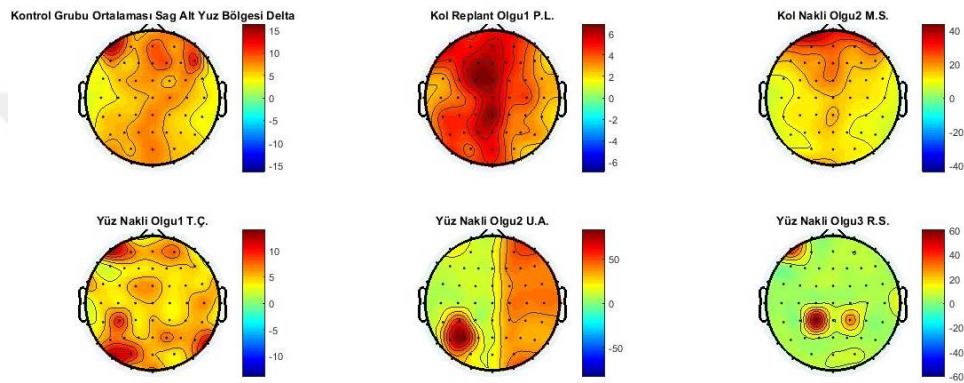
U.A.'nın sağ alt yüz bölgesinde gönüllü gruba benzer beta yanıtları gözlemlenmiştir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi duyu hareketinin beta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için beta bandının topografik haritalanması

4.3.3. Sağ alt yüz bölgesi delta bandı

P.L.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımında sol hemisferde parietal bölge, santral bölge, frontal bölge, frontal bölge ve santral bölge arasında delta yanıtının topolojik dağılımı görülmektedir. M.S.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımında frontal bölgede delta yanıtları görülmektedir. Sol alt yüz bölgesinin uyarımında delta yanıtları frontal bölgede ve parietal-okspital bölgelerde görülmektedir. T.Ç.'nin sağ alt yüz bölgesinde delta yanıtını sol hemisferde frontal bölgelere ve parietal oksipital bölge arası, parietal bölgelerde gözlemlemekteyiz. U.A.'nın sağ alt yüz bölgesinin uyarımında sol hemisferinde parietal bölge, santral bölge ile parietal bölge arasında baskın olarak delta yanıtı gözlenmiştir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi duyu hareketinin delta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.13'de gösterilmiştir.

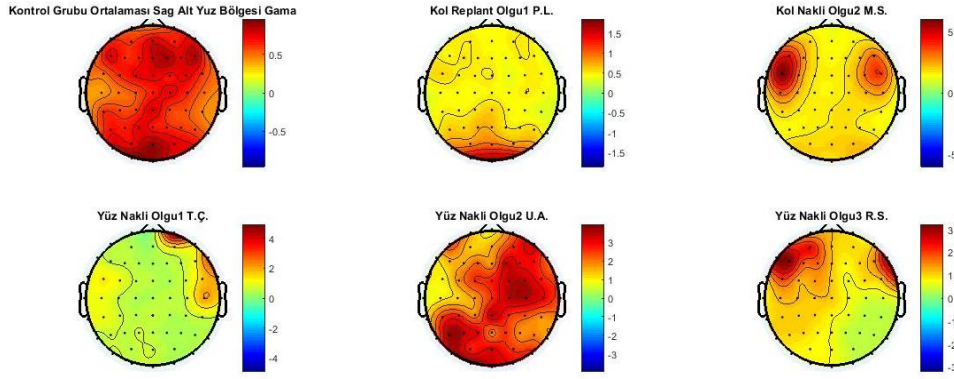


Şekil 4.13. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için delta bandının topografik haritalanması

4.3.4. Sağ alt yüz bölgesi gama bandı

M.S.'nin sağ yüz bölgelerinin uyarılması durumunda santral bölge ile frontal bölge arasında baskın enerjisini topolojik dağılımında görmekteyiz. T.Ç.'nin sağ yüz bölgelerinin uyarılması durumunda frontal bölgelerde enerji görülmektedir. U.A.'nın sağ alt yüz bölgesinde gama yanıtları görülmektedir. U.A.'nın gama yanıtları tüm kortekse yayılmıştır. R.S.'nin gama yanıtları sol hemisferde frontal bölgede görülmektedir.

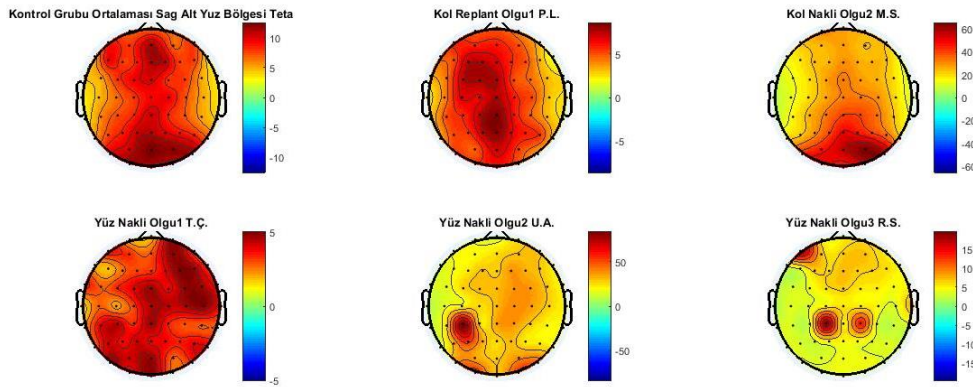
Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi duyu hareketinin gama bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için gama bandının topografik haritalanması

4.3.5. Sağ alt yüz bölgesi teta bandı

P.L.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımında teta yanıtları tüm kortekse yayıldığı gözlemlenmektedir. P.L.'nin sol hemisferinin frontal bölgesi ile santral bölgesi arasında ve parietal bölge ile santral parietal bölgesi arasında teta yanıtının baskın enerjisi gözlemlenmiştir. M.S.'nin sağ alt yüz bölgesinde teta yanıtları parietal oksipital bölge arasında baskın olarak gözlemlenirken frontal bölge ve santral bölge arasında gönüllü gruba oranla daha az dalgacık paket dönüşümüne sahip olduğu topografik haritalarından görülmektedir. T.Ç.'nin sağ alt yüz bölgesinin uyarımında teta yanıtları tüm kortekse dağıldığı görülmüştür. U.A.'nın sağ alt yüz bölgelerinin uyarımı sırasında teta bandının gönüllü gruba benzer şekilde tüm hemisfere yayılmamıştır. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi duyu hareketinin teta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

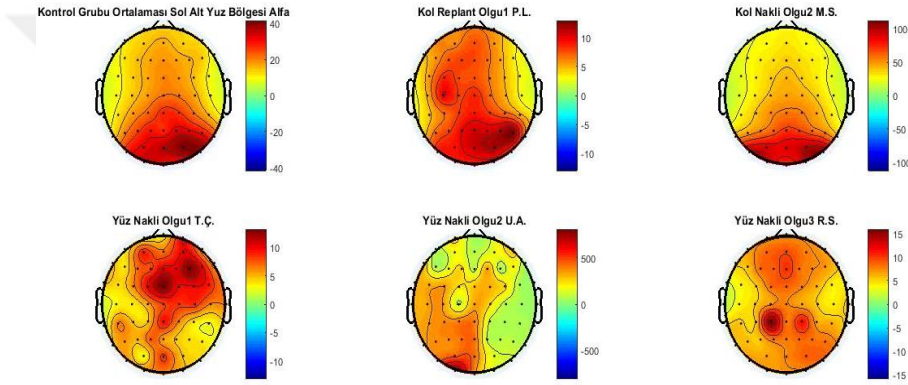


Şekil 4.15. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ alt yüz bölgesi uyarımı için teta bandının topografik haritalanması

4.4. Sol Alt Yüz Bölgesi Duyu Hareketinin Topografik Haritalanması

4.4.1. Sol alt yüz bölgesi alfa bandı

Genel olarak gönüllü grupta frontal bölge, santral bölge, santral-parietal ve parietal-okspital bölgeler arasında gözlemlenmektedir. Sol alt yüz bölgesinde gönüllü grupta en yoğun enerji parietal oksipital bölgeler arasında iken kol nakil hastası P.L.'de parietal bölgede baskın enerji gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra santral ve frontal bölgelerde gönüllü gruptan daha yoğun enerji gözlemlenmektedir. M.S.'nin sol alt yüzü santral bölge, frontal bölge ve santral bölge ile frontal bölge, parietal bölge ile santral bölge arasında gönüllü gruba göre daha az enerji görülürken, parietal oksipital bölge arasında baskın enerji olduğu görülmektedir. U.A.'nın sol alt yüz bölgesinin uyarımı sırasında gönüllü gruptan farklı olarak sol hemisferinin enerjisi daha baskındır. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi duyu hareketinin alfa bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



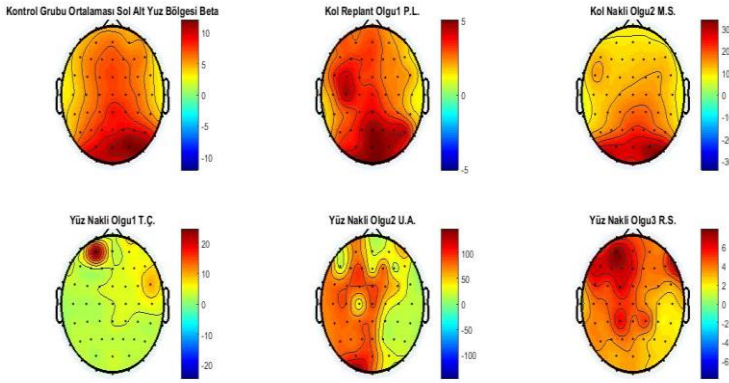
Şekil 4.16. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için alfa bandının topografik haritalanması

4.4.2. Sol alt yüz bölgesi beta bandı

P.L.'nin sol alt yüz bölgesinde ise sağ hemisferin parietal ile oksipital bölgeleri arasında baskın enerji görülmekteyken santral bölgede de gönüllü gruptan daha yoğun enerji görülmüştür.

T.Ç.'nin sol alt yüz bölgesinde beta bandı görülmemektedir. U.A.'nın sol alt yüz bölgesinde sol hemisferde aktivite görülmektedir. R.S.'nin sol alt yüz bölgesi yanıtları frontal bölgede görülmektedir.

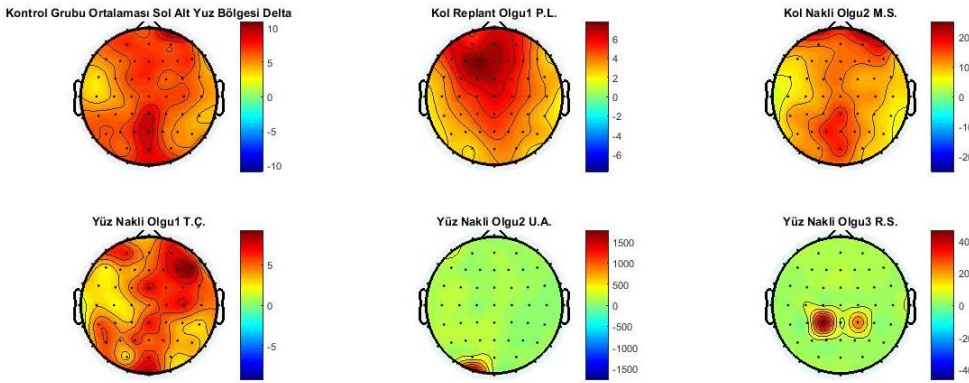
Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi duyu hareketinin beta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için beta bandının topografik haritalanması

4.4.3. Sol alt yüz bölgesi delta bandı

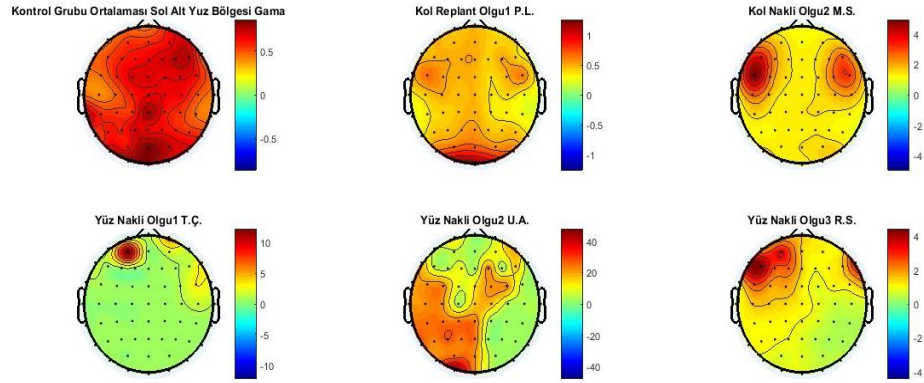
P.L.'nin sol alt yüz bölgesinde topolojik dağılımları frontal bölgede baskın görülürken santral ve parietal bölgelerde de görülmektedir. T.Ç.'nin sol alt yüz bölgesinin uyarımında sağ hemisferin frontal bölgesi ve santral bölgesi ile sol hemisferin parietal, parietal oksipital bölgeleri arasında delta yanıtları görülmektedir. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi duyu hareketinin delta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için delta bandının topografik haritalanması

4.4.4. Sol alt yüz bölgesi gama bandı

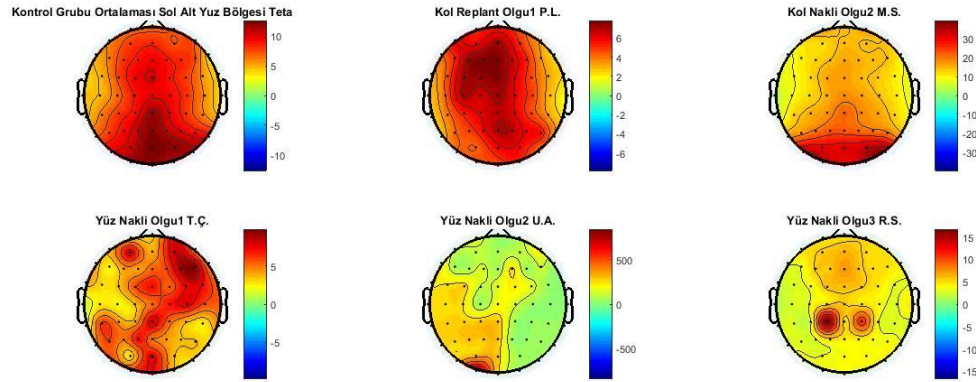
M.S.'nin sol alt yüz bölgelerinin uyarılması durumunda santral bölge ile frontal bölge arasında baskın enerjisini topolojik dağılımında görmekteyiz. T.Ç.'nin sol alt yüz bölgelerinin uyarılması durumunda frontal bölgelerde baskın enerji görülmektedir. U.A.'nın sol alt yüz bölgesinde sol hemisferde parietal, oksipital bölgelerde gama yanıtları görülmektedir. R.S.'nin gama bandı frontal bölgede ortaya çıkmıştır. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi duyu hareketinin gama bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.19'de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için gama bandının topografik haritalanması

4.4.5. Sol alt yüz bölgesinin teta bandı

M.S.'nin sol alt yüz bölgesinde teta yanıtları parietal oksipital bölge arasında baskın olarak gözlemlenirken frontal bölge ve santral bölge arasında gönüllü gruba oranla daha az dalgacık paket dönüşümüne sahip olduğu topografik haritalarından görülmektedir. T.Ç.'nin sol alt yüz bölgesinin uyarılması sırasında teta yanıtları sağ hemisferde frontal bölge, santral bölge ve santral bölge ile frontal bölge arasında gözlemlenirken sol hemisferde parietal, oksipital ve parietal ile oksipital bölgeler arasında gözlemlenmektedir. U.A.'nın sol alt yüz bölgelerinin uyarımı sırasında teta bandının gönüllü gruba benzer şekilde tüm hemisfere yayılmamıştır. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi duyu hareketinin teta bandı için topografik beyin haritalaması Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol alt yüz bölgesi uyarımı için teta bandının topografik haritalanması

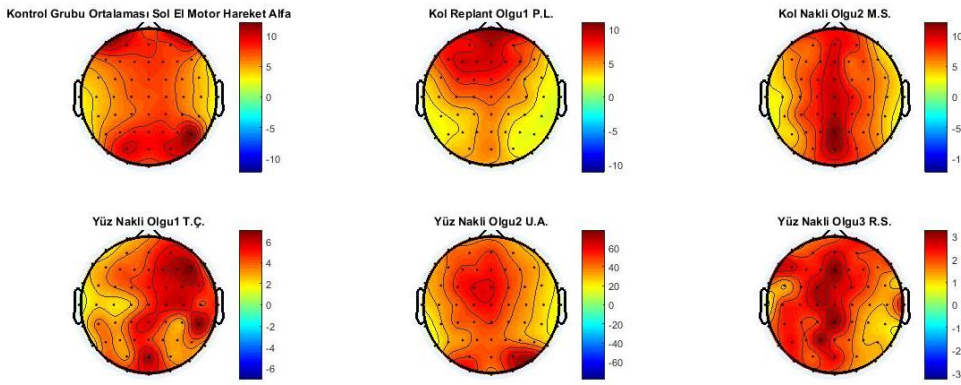
4.5. Sol El Motor Hareketin Topografik Haritalanması

4.5.1. Sol el motor hareket alfa bandı

Kol replant hastası P.L. motor hareket analiz sonuçlarında gönüllü gruptan farklı olarak frontal bölgede baskın enerji tespit edilmiştir. Çift kol nakil hastası M.S. sol el motor hareketi yapması sonucunda elde edilen sinyallerin alfa frekans bandında gönüllü

gruptan farklı olarak parietal bölge ile oksipital gölge arasında ve parietal bölgesi ile frontal bölgesinde baskın enerjiler görülmektedir. Yüz nakil hastası T.Ç.'nin sol el motor hareketi yapması sırasında kaydedilen EEG sinyallerinin analizleri sonucunda alfa frekans bandında baskın enerjinin sağ hemisferin frontal bölgesinde olduğu görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A.'nın sol el motor hareketi yapması sırasında kaydedilen EEG sinyallerinin analizleri sonucunda frontocentral bölgesinde enerji dağılımı görülmektedir. Yüz nakil hastası R.S.'nin sol el motor hareketi yapması sırasında kaydedilen EEG sinyallerinin analizleri sonucunda santral P3, CPZ, FC ve F elektrot bölgelerinde kontrol grubundan farklı alfa yanıtları görülmektedir.

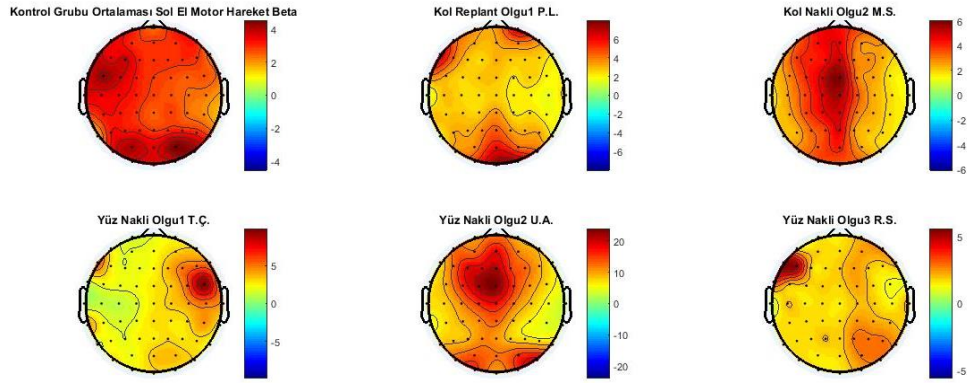
Kontrol grubunun ve nakil grubunun sol el motor hareketi için alfa yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için alfa bandının topografik haritalanması

4.5.2. Sol el motor hareket beta bandı

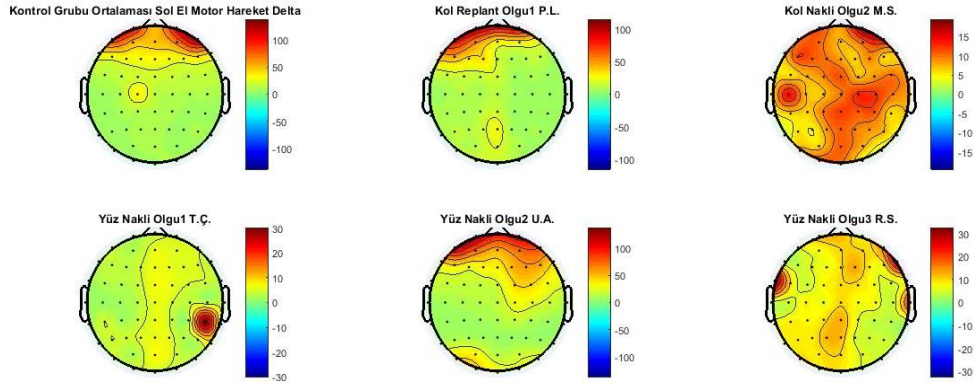
Kontrol grubunun sol el motor hareketinin beta frekans bandı yanıtının tüm kortekse yayıldığı görülmektedir. Kol replant hastası P.L. beta frekans bandı yanıtı parieto oksipital bölgede görülmektedir. Çift kol nakil hastası M.S.'nin sol el motor hareketi sırasında beta yanıtının santral ve frontosantral bölgede kontrol grubuna göre belirgin farklılıklar göstermiştir. Yüz nakil hastası T.Ç.'nin beta frekans yanıtı sağ hemisferin frontosantral bölgesinde kontrol grubuna göre belirgin farklılık gösterdiği görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A.'nın sol el motor hareketi sırasında frontosantral ve frontal bölgelerde kontrol grubuna oranla belirgin farklılık gösterdiği görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sol el motor hareketi için beta yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için beta bandının topografik haritalanması

4.5.3. Sol el motor hareket delta bandı

Kol replant hastası P.L ve yüz nakil hastası U.A.'nın sol el motor hareketlerinin delta yanıtları kontrol grubuna benzer çıkmıştır. M.S.'nin sol el motor hareketi sırasında tüm kortekse dağılmış delta frekans bandı yanıtları görülmektedir. Yüz nakil hastası T.Ç.'nin sol el motor hareketi sırasında oluşan delta frekans yanıtları CP6 elektrot bölgesinde kontrol gruptan farklı olduğu tespit edilmiştir. Yüz nakil hastası R.S.'nin delta yanıtının kontrol grubundan farklı bölgelerde olduğu görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sol el motor hareketi için delta yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.23'de gösterilmiştir.

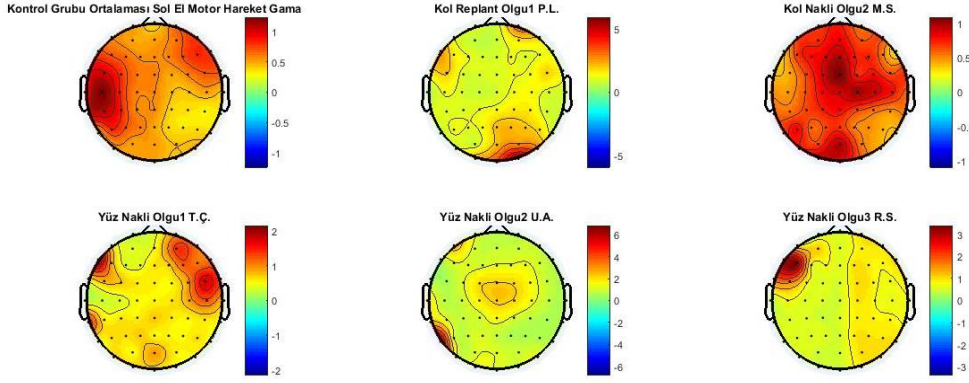


Şekil 4.23. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için delta bandının topografik haritalanması

4.5.4. Sol el motor hareket gama bandı

Kontrol grubunda sol el motor hareket sırasında kaydedilen EEG sinyallerinin gama yanıtlarının farklı bölgelerine yayıldığı santral bölgede baskın olduğunu görmekteyiz. Kol replant hastası P.L. ve yüz nakil hastası U.A. motor hareketlerinin gama yanıtları gönüllü gruptan farklı çıkmıştır. Çift kol nakil hastası M.S.'nin gama frekans yanıtları tüm kortekse yayılmış olmakla beraber gönüllü gruptan farklı olarak

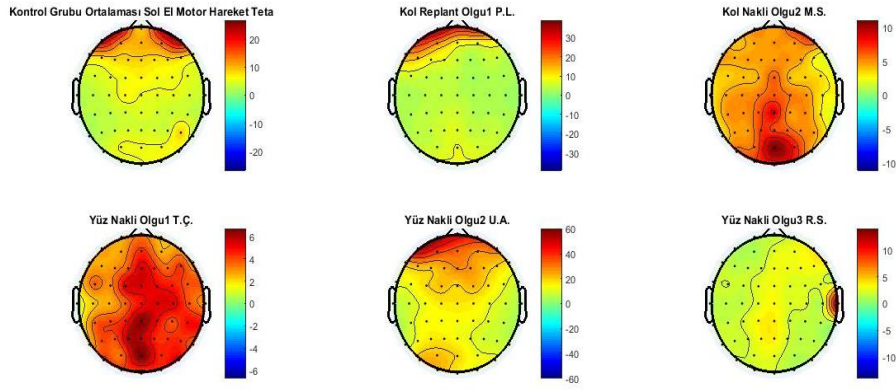
santral bölge ve frontal bölgede baskın enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Yüz nakil hastası T.Ç. 'nin gama frekans yanıtı gönüllü gruptan farklı olarak sağ hemisferin frontosantral bölgesinde görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A.'nın gama frekans yanıtının F5 elektrot bölgesinde olduğu görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sol el motor hareketi için gama yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.24'de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için gama bandının topografik haritalanması

4.5.5. Sol el motor hareket teta bandı

Kol replant hastası P.L.'nin sol el motor hareketi sırasında kontrol grubuna benzer teta yanıtı görülmektedir. Yüz nakil hastası T.Ç.'nin teta bandı yanıtlarının gönüllü gruptan farklı olarak tüm kortekse yayıldığı görülmektedir. Parieto oksipital bölge, parietal bölge ve santroparietal bölgede kontrol grubuna göre daha yoğun topografik dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Çift kol nakil hastası M.S.'nin teta bandı yanıtları tüm kortekse yayılmış olmakla beraber parieto oksipital bölgede baskın enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A. kontrol grubu ile korteksin benzer bölgelerinde teta yanıtı oluşturduğu ancak kontrol grubuna göre enerji değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Yüz nakil hastası R.S.'nin motor hareketi sırasında teta bandı oluşmamıştır. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sol el motor hareketi için gama yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için teta bandının topografik haritalanması

4.6. Sağ El Motor Hareketin Topografik Haritalanması

4.6.1. Sağ el motor hareket alfa bandı

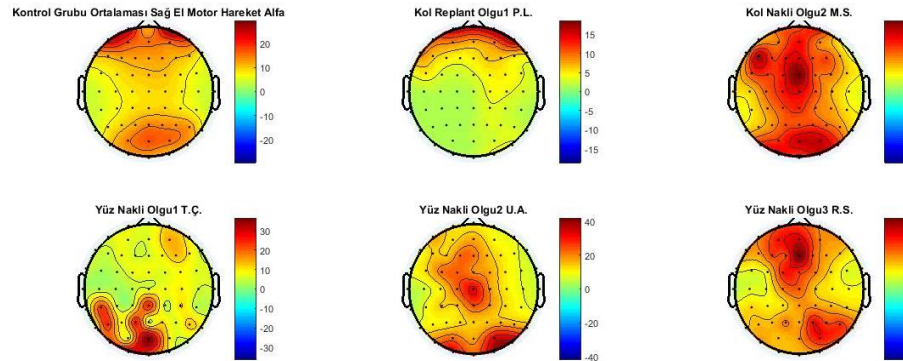
P.L.'nin sağ el motor hareketi sırasında frontal bölgesi kontrol grubuna benzemekte iken parietal, parieto oksipital bölgede farklı olduğu görülmektedir.

Çift kol nakil olgusu M.S.'nin alfa yanıtı tüm kortekse yayılmıştır ve en yoğun enerjisi frontosantral bölgede olduğu görülmektedir.

Yüz nakil olgusu T.Ç.'nin sağ el motor hareketi için alfa bandı yanıtları sol hemisferin parieto oksipital, parietal ve santroparietal bölgelerde baskın enerjiye sahip olduğu ve gönüllü gruptan farklı korteks yanıtları görülmektedir.

Yüz nakil olgusu U.A.'nın sağ el motor hareketi için korteksin alfa yanıtları santral, frontal, frontosantral bölgelerde görülmektedir.

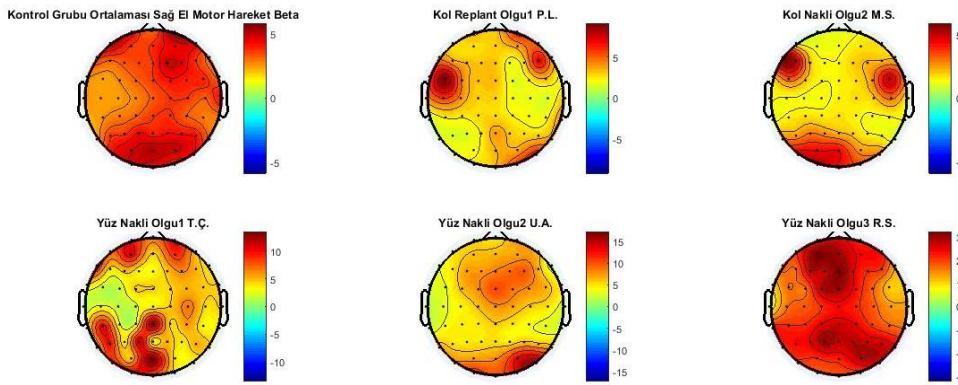
Yüz nakil olgusu R.S.'nin sağ el motor hareket için korteksin alfa yanıtları frontosantral, santral ve frontal bölgelerinde görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sağ el motor hareketi için alfa yanıtının topografik haritalanması Şekil 4.26'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el motor hareket için alfa bandının topografik haritalanması

4.6.2. Sağ el motor hareket beta bandı

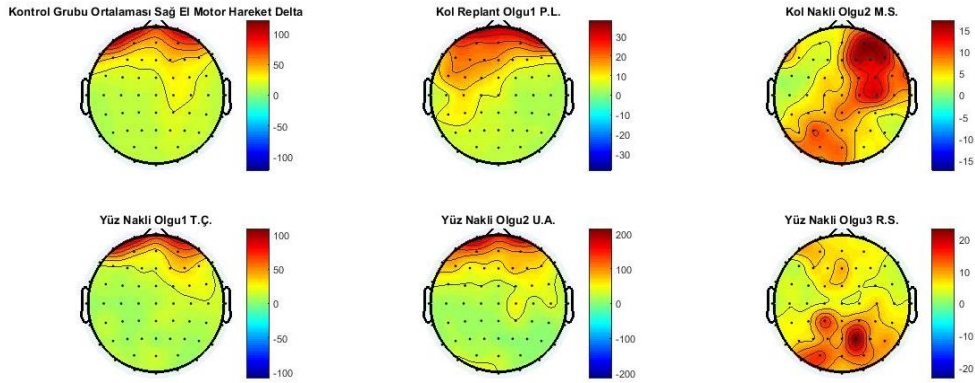
Sağ el motor hareket sırasında kontrol grubunun beta yanıtlarının tüm kortekse yayıldığı görülmektedir. Kol replant hastası P.L.'nin sağ el motor hareketi sırasında beta bandının korteks yanıtı sol hemisferde santral parietal bölgede görülmektedir. Çift kol nakil hastası M.S.'nin sağ el motor hareketi sırasında beta yanıtları sol hemisferde frontal ve parieto oksipital bölgede görülmektedir. T.Ç.'nin beta yanıtları fronto santral bölge arasında, parietal, parietal-okspital bölge arasında yoğun topografik dağılım görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A.'nin beta bandı yanıtları frontal bölgede görülmektedir. Yüz nakil hastası R.S.'nin sağ el motor hareketi için beta yanıtlarının tüm kortekse yayıldığı ve fronto santral, frontal ve anterior frontal bölgede baskın enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sağ el motor hareketi için beta yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Kontrol grubu ve nakil grubunun sağ el motor hareket için beta bandının topografik haritalanması

4.6.3. Sağ el motor hareket delta bandı

Yüz nakil hastası T.Ç. ve U.A. ile kol replant hastası P.L.'nin sağ el motor hareketler için delta yanıtları kortekste benzer bölgelerde görülmektedir. M.S.'nin sağ el motor hareketi sırasında sol hemisferde santral, frontal-santral, frontal ve anterior frontal bölgelerde topografik kontrol grubuna göre belirgin farklılıklar görülmektedir. Yüz nakil hastası R.S.'nin delta yanıtları sol hemisferde parietal bölgede kontrol grubundan baskın enerji görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sağ el motor hareketi için delta yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

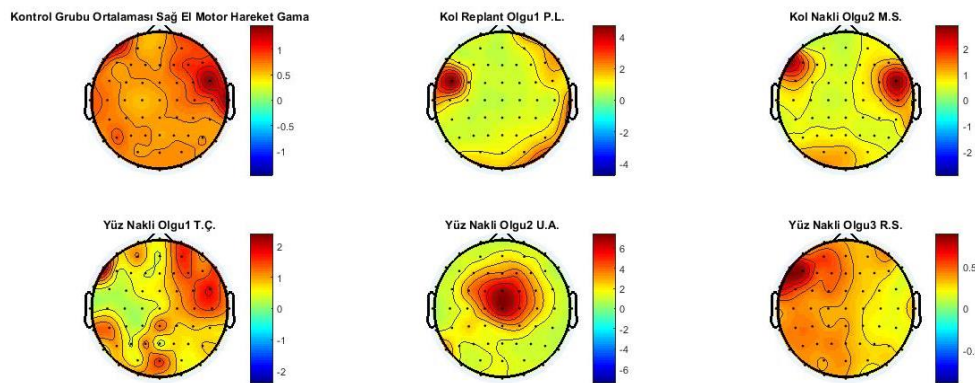


Şekil 4.28. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için delta bandının topografik haritalanması

4.6.4. Sağ el motor hareket gama bandı

Kontrol grubunda sağ el motor hareket için gama yanıtı tüm kortekste görülmektedir. Kol replant hastası P.L.'nin sağ el motor hareket sırasında korteksin gama yanıtının FC5 elektrot bölgesinde baskın olduğu görülmektedir. Çift kol nakil hastası M.S.'nin korteksin gama yanıtı F7 ve FC6 elektrot bölgesinde baskın olduğu görülmektedir.

Yüz nakil hastası T.Ç.'nin gama yanıtı sağ hemisferde santral, fronto santral ve frontal bölgelerde görülmektedir. Yüz nakil hastası U.A.'nın gama yanıtı frontal, santral ve frontosantral bölgede en baskın olduğu görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sağ el motor hareketi için gama yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

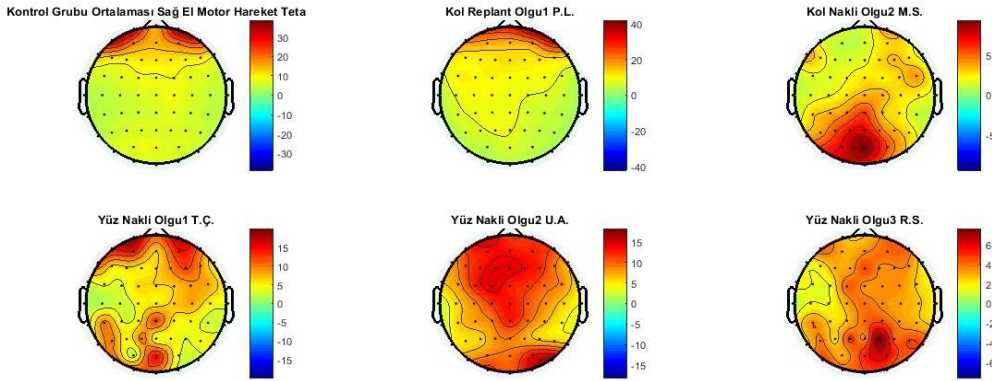


Şekil 4.29. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için gama bandının topografik haritalanması

4.6.5. Sağ el motor hareket teta bandı

Kol replant hastası P.L.'nin sağ el motor hareketi sırasında teta yanıtlarının kontrol grubu ile benzer olduğu görülmektedir. Çift kol nakil hastası M.S.'nin teta yanıtlarının parieto oksipital ve parietal bölgelerde kontrol grubundan daha baskın

olduğu görülmektedir. Yüz nakil hastası T.Ç.'nin sağ el motor hareket sırasında teta yanıtlarının korteksin farklı bölgelerine yayıldığı görülmektedir. Kontrol grubuna benzerliği anterior frontal bölgede sergilerken parieto oksipital ve santro parietal bölgede kontrol gruptan farklı olduğu görülmektedir. Kontrol grubunun ve nakil grubunun sağ el motor hareketi için teta yanıtının topografik haritalaması Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Kontrol grubu ve nakil grubunun sol el motor hareket için teta bandının topografik haritalanması

5. TARTIŞMA

Yüz ve kol nakli hastaları ile kol replant hastalarında yapılan bu çalışma, literatürde benzer konulardaki çalışmaların azlığı da göz önüne alındığında beyin plastisitesi ile ilgili önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Sonuçlar yüz nakli, kol nakli ve kol replant hastalarında somatosensoriyel uyarımların kortikal aktivitesi ile motor kortikal aktivitenin ve kortikal yeniden düzenlenmenin, yüksek yoğunluklu EEG kullanılarak alt frekans bandlarına ayrıştırılarak incelenebileceğini göstermektedir.

Gönüllü gruba göre nakil grubunda beynin uyarımlara bağlı olarak gösterdiği tepkilerin kişiden kişiye değiştiği, korteksteki dağılımlarının farklı olduğu görülmektedir.

Kullanılan analiz yöntemi, diğer analiz yöntemlerine göre frekans alanında detaylı incelemeler yapabilmemize imkan vermiştir. Topografik haritalamalar kullanarak beynin uyarımlara verdiği tepkilerin elektrot bölgeleri ile kıyaslanarak açıklanması sonuçların daha iyi yorumlanmasına katkı sağlamıştır.

Literatürde nörolojik hastalıkla ilgili yapılan çalışmada sinaptik plastisitenin gama ve teta ile ilişkili olduğu belirtilmişti. Yüz nakli, kol nakli ve kol replant hastalarında sinaptik plastisitenin gama ve teta bandı ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Beynin somatosensoriyel uyarımlara verdiği yanıtların alfa, beta, delta, teta, gama bandları için değişiklikler gösterdiği belirtilmiştir.

Yüz nakli olguları incelendiğinde plastisitenin farklı frekans bandlarında görülebileceği düşünülmektedir. Duyusal ve motor kortikal alanlarda bu süreçte dinamik değişikliklerin olması ve bunların bilişsel bazı karşılıklarının olması beklenmektedir. Bu özel olguların bilişsel nöroloji açısından değerlendirilmesinin ve ilgili bulguların beyin plastisitesinin anlaşılması açısından önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelecekte TMS, fMRG, EEG korelasyonlu çalışmaların bu hasta grupları için yapılması plastisitenin anlaşılabilmesine yönelik daha detaylı bilgiler sağlayabilecektir. Bu konuda bu tezin oluşmasına katkı koyan proje kapsamında çalışmalar devam etmektedir. Motor hareketler ve duyusal uyarımlar ile ilgili bulunan sonuçlar ışığında rehabilitasyon yapılması durumunda kortikal yanıtlarda değişiklik olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmanın ileride yapılacak olan çalışmalara katkı sağlamasını ve bilime ışık tutmasını dilerim.

6. SONUÇ

EEG sinyalleri dalgacık paket dönüşümü yöntemi kullanılarak EEG alt frekans bandlarına ayrılmış ve beyin kortikal haritaları oluşturulmuştur. Beynin elektriksel sinyallerinin topografik dağılımlarının gerçekleştirilmesi ile nörofizyolojik değişimler EEG tabanlı yorumlanabilir hale getirilmiştir.

Sağlıklı bireylerin beyin fonksiyonları ile yüz nakli, kol nakli ve kol replant hastalarının beyin fonksiyonları arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Serebral kortekste yüz ve el temsili alanların kortikal haritaları incelendiğinde beyin plastisitesinin varlığı ile ilişkili önemli bulgular elde edilmiştir.

EEG alt frekans bandlarına yönelik korteks yanıtları her hasta ve her hareket için ayrı ayrı değerlendirilmiş olup bulunan sonuçlar kortekste yeniden düzenlenmenin gerçekleştiğini göstermektedir. Ayrıca bu sonuçlar ile yüz nakli, kol nakli ve kol replant hastalarında somatosensoriyel uyarımların kortikal aktiviteleri ile motor kortikal aktivitelerinin ve kortikal yeniden düzenlenmelerinin, yüksek yoğunluklu EEG kullanılarak gözlenebileceği tespit edilmiştir.

Nakledilen yüz dokusunun motor ve duysal innervasyonu genellikle 9 ay içinde tamamlanmaktadır. Fakat nakil geçmişinde yüz dokusu kaybının yaşanması ve kortekste özellikli bölgelerinden biri olması, beynin duysal ve motor temsillerinde algı değişiminin elektrofizyolojik bir veriyle tanımlanması çalışmamızda geliştirilmiştir.

Beyin plastisitesinin literatürde belirtilen gama ve teta bandı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Alfa, beta, gama, teta, delta dalgalarının somatosensoriyel uyarımlarla ilişkili olduğu bulunmuştur. Kol nakli ve kol replant hastalarından oluşan iki olguda da beyinde plastik değişim gözlenmiştir. İkinci olguda ise el temsil alanı yüz temsil alanına doğru yayılma göstermiştir.

Yüz nakli olguları incelendiğinde plastisitenin bireysel farklılıklar içerdiği gözlemlenmiştir. Duyusal ve motor kortikal alanlarda bu süreçte dinamik değişikliklerin olması ve bunların bilişsel bazı karşılıklarının olması da beklenmektedir.

7. KAYNAKLAR

- AKBAR, Y., KHOTIMAH, S. & HARYANTO, F. Spectral and brain mapping analysis of EEG based on Pwelch in schizophrenic patients. *Journal of Physics: Conference Series*, 2016. IOP Publishing, 012070.
- AMO, C., DE SANTIAGO, L., BAREA, R., LÓPEZ-DORADO, A. & BOQUETE, L. 2017. Analysis of Gamma-Band Activity from Human EEG Using Empirical Mode Decomposition. *Sensors*, 17, 989.
- ANDOH, J., DIERS, M., MILDE, C., FROBEL, C., KLEINBÖHL, D. & FLOR, H. 2017. Neural correlates of evoked phantom limb sensations. *Biological Psychology*, 126, 89-97.
- ARAB, M. R., SURATGAR, A. A. & ASHTIANI, A. R. 2010. Electroencephalogram signals processing for topographic brain mapping and epilepsies classification. *Computers in biology and medicine*, 40, 733-739.
- ARİ, N., ÖZEN, Ş. & ÇOLAK, Ö. 2008. Dalgacık teorisi. *Palme Yayıncılık*.
- BABILONI, C., BRANCUCCI, A., CAPOTOSTO, P., DEL PERCIO, C., ROMANI, G. L., ARENDT-NIELSEN, L. & ROSSINI, P. M. 2007. Different modalities of painful somatosensory stimulations affect anticipatory cortical processes: a high-resolution EEG study. *Brain research bulletin*, 71, 475-484.
- BILGIN, S., ÇOLAK, O. H., KOKLUKAYA, E. & ARİ, N. 2008. Efficient solution for frequency band decomposition problem using wavelet packet in HRV. *Digital Signal Processing*, 18, 892-899.
- BUONOMANO, D. V. & MERZENICH, M. M. 1998. Cortical plasticity: from synapses to maps. *Annual review of neuroscience*, 21, 149-186.
- CATON, R. 1875. Electrical Currents of the Brain. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 2, 610.
- CHEN, A., YAO, J., KUIKEN, T. & DEWALD, J. P. 2013. Cortical motor activity and reorganization following upper-limb amputation and subsequent targeted reinnervation. *NeuroImage: Clinical*, 3, 498-506.
- COITO, A. L., BELO, D., PAIVA, T. & SANCHES, J. M. Topographic EEG brain mapping before, during and after Obstructive Sleep Apnea Episodes. *Biomedical Imaging: From Nano to Macro*, 2011 IEEE International Symposium on, 2011. IEEE, 1860-1863.
- CRONE, N. E., MIGLIORETTI, D. L., GORDON, B. & LESSER, R. P. 1998. Functional mapping of human sensorimotor cortex with electrocorticographic spectral analysis. II. Event-related synchronization in the gamma band. *Brain: a journal of neurology*, 121, 2301-2315.
- DELORME, A. & MAKEIG, S. 2004. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of neuroscience methods*, 134, 9-21.
- DIREITO, B., TEIXEIRA, C., RIBEIRO, B., CASTELO-BRANCO, M., SALES, F. & DOURADO, A. 2012. Modeling epileptic brain states using EEG spectral analysis and topographic mapping. *Journal of neuroscience methods*, 210, 220-229.
- DONOGHUE, J. P. & SANES, J. N. 1987. Peripheral nerve injury in developing rats reorganizes representation pattern in motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84, 1123-1126.

- ELBERT, T., FLOR, H., BIRBAUMER, N., KNECHT, S., HAMPSON, S. & LARBIG, W. 1994. Extensive reorganization of the somatosensory cortex in adult humans after nervous system injury. *Neuroreport*, 5, 2593-2597.
- FERRERI, F. & ROSSINI, P. M. 2013. TMS and TMS-EEG techniques in the study of the excitability, connectivity, and plasticity of the human motor cortex. *Reviews in the Neurosciences*, 24, 431-442.
- FLOR, H., ELBERT, T., KNECHT, S., WIENBRUCH, C., PANTEV, C., BIRBAUMERS, N., LARBIG, W. & TAUB, E. 1995. Phantom-limb pain as a perceptual correlate of cortical reorganization following arm amputation. *Nature*, 375, 482-484.
- FLOR, H., ELBERT, T., MÜHLNICKEL, W., PANTEV, C., WIENBRUCH, C. & TAUB, E. 1998. Cortical reorganization and phantom phenomena in congenital and traumatic upper-extremity amputees. *Experimental brain research*, 119, 205-212.
- FLOR, H., NIKOLAJSEN, L. & JENSEN, T. S. 2006. Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nature reviews. Neuroscience*, 7, 873.
- FLORENCE, S. & KAAS, J. 1995. Large-scale reorganization at multiple levels of the somatosensory pathway follows therapeutic amputation of the hand in monkeys. *Journal of Neuroscience*, 15, 8083-8095.
- FOSTER-DEFFENBAUGH, L. A. 1997. Brain research and its implications for educational practice.
- FOX, S. I. 2009. *Fundamentals of human physiology*, McGraw-Hill.
- FREY, S. H., BOGDANOV, S., SMITH, J. C., WATROUS, S. & BREIDENBACH, W. C. 2008. Chronically deafferented sensory cortex recovers a grossly typical organization after allogenic hand transplantation. *Current Biology*, 18, 1530-1534.
- GIRAUX, P., SIRIGU, A., SCHNEIDER, F. & DUBERNARD, J.-M. 2001. Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands. *Nature neuroscience*, 4, 691-692.
- GUDNASON, V. 2016. The use of high-density EEG to map out cortical motor activity and reorganization following lower-limb amputation. 31.
- HAAS, L. F. 2003. Hans Berger (1873–1941), Richard Caton (1842–1926), and electroencephalography. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 74, 9-9.
- HALLIGAN, P. W., MARSHALL, J. C., WADE, D. T., DAVEY, J. & MORRISON, D. 1993. Thumb in cheek? Sensory reorganization and perceptual plasticity after limb amputation. *Neuroreport*, 4, 233-236.
- HUNTER, J. P., KATZ, J. & DAVIS, K. D. 2005. Dissociation of phantom limb phenomena from stump tactile spatial acuity and sensory thresholds. *Brain*, 128, 308-320.
- İZCI, Y. & ERBAŞ, Y. C. 2015. Hipokampus: Yapısı ve Fonksiyonları. *Türk Nöroşir Derg*, 25, 287-295.
- KAAS, J., TAUB, E. & MISHKIN, M. 1991. Massive cortical reorganization after sensory deafferentation in adult macaques.
- KAAS, J. H. 2000. The reorganization of somatosensory and motor cortex after peripheral nerve or spinal cord injury in primates. *Progress in brain research*, 128, 173-179.

- KAAS, J. H., MERZENICH, M. M. & KILLACKEY, H. P. 1983. The reorganization of somatosensory cortex following peripheral nerve damage in adult and developing mammals. *Annual review of neuroscience*, 6, 325-356.
- KARL, A., BIRBAUMER, N., LUTZENBERGER, W., COHEN, L. G. & FLOR, H. 2001. Reorganization of motor and somatosensory cortex in upper extremity amputees with phantom limb pain. *Journal of Neuroscience*, 21, 3609-3618.
- KELEP, E. & ÇEPNÝ, S. 2006. Brain and learning. *Journal of Turkish science education*, 3, 31.
- KISLEY, M. A. & CORNWELL, Z. M. 2006. Gamma and beta neural activity evoked during a sensory gating paradigm: effects of auditory, somatosensory and cross-modal stimulation. *Clinical neurophysiology*, 117, 2549-2563.
- LALLY, N., MULLINS, P. G., ROBERTS, M. V., PRICE, D., GRUBER, T. & HAENSCHER, C. 2014. Glutamatergic correlates of gamma-band oscillatory activity during cognition: A concurrent ER-MRS and EEG study. *NeuroImage*, 85, 823-833.
- LEGA, B., BURKE, J., JACOBS, J. & KAHANA, M. J. 2014. Slow-theta-to-gamma phase-amplitude coupling in human hippocampus supports the formation of new episodic memories. *Cerebral Cortex*, 26, 268-278.
- LOTZE, M., FLOR, H., GRODD, W., LARBIG, W. & BIRBAUMER, N. 2001. Phantom movements and pain An fMRI study in upper limb amputees. *Brain*, 124, 2268-2277.
- MAI, J. K. & PAXINOS, G. 2011. *The human nervous system*, Academic Press.
- MERZENICH, M. M., KAAS, J. H., SUR, M. & LIN, C. S. 1978. Double representation of the body surface within cytoarchitectonic area 3b and 1 in "SI" in the owl monkey (*Aotus trivirgatus*). *Journal of Comparative Neurology*, 181, 41-73.
- MINER, N. E. 1998. An introduction to wavelet theory and analysis. Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, and Livermore, CA.
- MISITI, M., MISITI, Y., OPPENHEIM, G. & POGGI, J.-M. 1996. Wavelet toolbox. *The MathWorks Inc., Natick, MA*, 15, 21.
- MORUZZI, G. & MAGOUN, H. W. 1949. Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1, 455-473.
- NAKAO, M., BARSKY, A. J., NISHIKITANI, M., YANO, E. & MURATA, K. 2007. Somatosensory amplification and its relationship to somatosensory, auditory, and visual evoked and event-related potentials (P300). *Neuroscience letters*, 415, 185-189.
- NEUGROSCHL, C., DENOLIN, V., SCHUIND, F., VAN HOLDER, C., DAVID, P., BALÉRIAUX, D. & METENS, T. 2005. Functional MRI activation of somatosensory and motor cortices in a hand-grafted patient with early clinical sensorimotor recovery. *European radiology*, 15, 1806-1814.
- NOUIRA, I., ABDALLAH, A. B. & BEDOUI, M. H. 2016. Three-dimensional interpolation methods to spatiotemporal EEG mapping during various behavioral states. *Signal, Image and Video Processing*, 10, 943-949.
- OMERHODZIC, I., AVDAKOVIC, S., NUHANOVIC, A., DIZDAREVIC, K. & ROTIM, K. 2012. Energy distribution of EEG signal components by wavelet transform. *Wavelet transforms and their recent applications in Biology and Geoscience*. InTech.

- PETRANTONAKIS, P. C. & HADJILEONTIADIS, L. J. 2010. Emotion recognition from EEG using higher order crossings. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14, 186-197.
- PFURTSCHELLER, G., WOERTZ, M., MÜLLER, G., WRIESSNEGGER, S. & PFURTSCHELLER, K. 2002. Contrasting behavior of beta event-related synchronization and somatosensory evoked potential after median nerve stimulation during finger manipulation in man. *Neuroscience letters*, 323, 113-116.
- POLICH, J., BROCK, T. & GEISLER, M. W. 1991. P300 from auditory and somatosensory stimuli: probability and inter-stimulus interval. *International Journal of Psychophysiology*, 11, 219-223.
- RAMACHANDRAN, V. S. & HIRSTEIN, W. 1998. The perception of phantom limbs. The DO Hebb lecture. *Brain: a journal of neurology*, 121, 1603-1630.
- RAMACHANDRAN, V. S., STEWART, M. & ROGERS-RAMACHANDRAN, D. 1992. Perceptual correlates of massive cortical reorganization. *Neuroreport*, 3, 583-586.
- RECANZONE, G. H., MERZENICH, M. M., JENKINS, W. M., GRAJSKI, K. A. & DINSE, H. R. 1992. Topographic reorganization of the hand representation in cortical area 3b owl monkeys trained in a frequency-discrimination task. *Journal of neurophysiology*, 67, 1031-1056.
- RIJNTJES, M., TEGENTHOFF, M., LIEPERT, J., LEONHARDT, G., KOTTERBA, S., MÜLLER, S., KIEBEL, S., MALIN, J. P., DIENER, H. C. & WEILLER, C. 1997. Cortical reorganization in patients with facial palsy. *Annals of neurology*, 41, 621-630.
- ROSSO, O. A., BLANCO, S., YORDANOVA, J., KOLEV, V., FIGLIOLA, A., SCHÜRMANN, M. & BAŞAR, E. 2001. Wavelet entropy: a new tool for analysis of short duration brain electrical signals. *Journal of neuroscience methods*, 105, 65-75.
- RÖRICH, S., MACHETANZ, J., IRLBACHER, K., NIEHAUS, L., BIEMER, E. & MEYER, B. U. 2001. Reorganization of human motor cortex after hand replantation. *Annals of neurology*, 50, 240-249.
- SANES, J., SUNER, S. & DONOGHUE, J. 1990. Dynamic organization of primary motor cortex output to target muscles in adult rats I. Long-term patterns of reorganization following motor or mixed peripheral nerve lesions. *Experimental Brain Research*, 79, 479-491.
- SHERMAN, R. A. 1996. *Phantom pain*, Springer Science & Business Media.
- SIEMIONOW, M., PAPAY, F., ALAM, D., BERNARD, S., DJOHAN, R., GORDON, C., HENDRICKSON, M., LOHMAN, R., EGHTEHAD, B. & COFFMAN, K. 2009. Near-total human face transplantation for a severely disfigured patient in the USA. *The Lancet*, 374, 203-209.
- SIVANANDAN, N. 2013. Quantitative EEG Analysis Technique for Computerized Digital Brain Signals. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 687.
- SLOVITER, R. S. 2005. The neurobiology of temporal lobe epilepsy: too much information, not enough knowledge. *Comptes rendus biologiques*, 328, 143-153.
- SONGUR, A., ÖZEN, O. A. & SARSILMAZ, M. 2001. Hipokampus. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 21, 427-431.

- SUBHA, D. P., JOSEPH, P. K., ACHARYA, R. & LIM, C. M. 2010. EEG signal analysis: A survey. *Journal of medical systems*, 34, 195-212.
- SUN, L., CHANG, G. & TANG, H. Wavelet packet entropy in the analysis of EEG signals. *Signal Processing*, 2006 8th International Conference on, 2006. IEEE.
- TAMÈ, L., BRAUN, C., HOLMES, N. P., FARNÈ, A. & PAVANI, F. 2016. Bilateral representations of touch in the primary somatosensory cortex. *Cognitive neuropsychology*, 33, 48-66.
- TING, W., GUO-ZHENG, Y., BANG-HUA, Y. & HONG, S. 2008. EEG feature extraction based on wavelet packet decomposition for brain computer interface. *Measurement*, 41, 618-625.
- UHLHAAS, P. J., HAENSCHER, C., NIKOLIĆ, D. & SINGER, W. 2008. The role of oscillations and synchrony in cortical networks and their putative relevance for the pathophysiology of schizophrenia. *Schizophrenia bulletin*, 34, 927-943.
- UYSAL, H., ÖZKAN, Ö., BARÇIN, E., ŞENOL, U., TOMBAK, K. & ÖZKAN, Ö. 2016. Referred facial sensation on the hand after full face transplantation. *Neurology*, 86, 836-839.
- VARGAS, C. D. & SIRIGU, A. 2011. Brain Plasticity After Hand and Face Allotransplantation. *The Know-How of Face Transplantation*. Springer.
- WALI, M. K., MURUGAPPAN, M. & AHMMAD, B. 2013. Wavelet packet transform based driver distraction level classification using EEG. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013.
- WALL, J., XU, J. & WANG, X. 2002. Human brain plasticity: an emerging view of the multiple substrates and mechanisms that cause cortical changes and related sensory dysfunctions after injuries of sensory inputs from the body. *Brain Research Reviews*, 39, 181-215.
- WALL, J. T., KAAS, J. H., SUR, M., NELSON, R. J., FELLEMAN, D. J. & MERZENICH, M. M. 1986. Functional reorganization in somatosensory cortical areas 3b and 1 of adult monkeys after median nerve repair: possible relationships to sensory recovery in humans. *Journal of Neuroscience*, 6, 218-233.
- WANG, D., MIAO, D. & XIE, C. 2011. Best basis-based wavelet packet entropy feature extraction and hierarchical EEG classification for epileptic detection. *Expert Systems with Applications*, 38, 14314-14320.
- WOOLLETT, K. & MAGUIRE, E. A. 2012. Exploring anterograde associative memory in London taxi drivers. *Neuroreport*, 23, 885.
- XIANGTAN, C. P. 2010. Wavelet time-frequency analysis of electro-encephalogram (EEG) processing. *IJACSA Editorial*.
- YANG, T. T., GALLER, C., RAMACHANDRAN, V., COBB, S., SCHWARTZ, B. & BLOOM, F. 1994. Noninvasive detection of cerebral plasticity in adult human somatosensory cortex. *Neuroreport: An International Journal for the Rapid Communication of Research in Neuroscience*.
- ZARNADZE, S., BÄUERLE, P., SANTOS-TORRES, J., BÖHM, C., SCHMITZ, D., GEIGER, J. R., DUGLADZE, T. & GLOVELI, T. 2016. Cell-specific synaptic plasticity induced by network oscillations. *Elife*, 5, e14912.
- ZHANG, S.-J., YE, J., COUEY, J. J., WITTER, M., MOSER, E. I. & MOSER, M.-B. 2014. Functional connectivity of the entorhinal-hippocampal space circuit. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 369, 20120516.

ZHANG, Z., HU, L., HUNG, Y. S., MOURAUX, A. & IANNETTI, G. 2012. Gamma-band oscillations in the primary somatosensory cortex—a direct and obligatory correlate of subjective pain intensity. *Journal of Neuroscience*, 32, 7429-7438.



ÖZGEÇMİŞ



14.08.1993 tarihinde Antalya’da doğdu. İlköğretimi İstiklal İlköğretim okulunda okudu ve lise öğrenimini Antalya Anadolu Lisesinde tamamladı. Liseden 2011 yılında mezun oldu. 2011 yılında Akdeniz Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne girdi. 2015 yılında Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimini 2017 yılında tamamladı.

