



T.C.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMATİK VE İSTEMLİ BAŞLATILAN ALT EKSTREMİTE  
MOTOR HAREKETİNE EŞLİK EDEN BEYİN HEMODİNAMİK  
VE ELEKTROFİZYOLOJİK MEKANİZMALARININ  
İNCELENMESİ**

SEDA AVCI

SİNİRBİLİM ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Prof. Dr. LÜTFÜ HANOĞLU

İkinci Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üye. FARZİN HAJEBRAHİMİ

İSTANBUL – 2022

## TEZ ONAY FORMU

Kurum : İstanbul Medipol Üniversitesi  
Programın Seviyesi: Yüksek Lisans (X) Doktora ( )  
Anabilim Dalı : Sinirbilim  
Tez Sahibi : Seda AVCI  
Tez Başlığı : Otomatik ve İstemli Başlatılan Alt Ekstremitte Motor Hareketine  
Eşlik Eden Beyin Hemodinamik ve Elektrofizyolojik  
Mekanizmalarının İncelenmesi  
Sınav Yeri : İstanbul Medipol Üniversitesi Haliç Yerleşkesi  
Sınav Tarihi : 20.07.2022

Tez tarafımızdan okunmuş, kapsam ve nitelik yönünden Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** **Kurumu** **İmza**

Prof.Dr. Lütü HANOĞLU İstanbul Medipol Üniversitesi

**Sınav Jüri Üyeleri**

Dr.Öğr.Üyesi Farzin HAJEBRAHİMİ İstanbul Medipol Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Miray BUDAK İstanbul Medipol Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Burcu DİLEK Trakya Üniversitesi

Prof.Dr. Burak YULUĞ Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi

Yukarıdaki jüri kararıyla kabul edilen bu Yüksek Lisans tezi, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...../...../ ..... tarih ve ...../..... - ..... sayılı kararı ile  
şekil yönünden Tez Yazım Kılavuzuna uygun olduğu onaylanmıştır.

Prof.Dr. Neslin EMEKLİ

**Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdür V.**

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içerisinde elde ettiğimi, bu tez çalışması ile elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarımı ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Seda AYCI

# İTHAF

*Hayatımdaki en güçlü kadın olan biricik anneme...*

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez sürecim boyunca insan doğasına dair merak duygumu her daim diri tutan, iyi bir bilim insanı olabilmemiz için maddi ve manevi her türlü desteği sunan, bu alanda olmama ve kendimi geliştirmeme vesile olan, birlikte çalışmaktan gurur ve mutluluk duyduğum, güven ve desteğini her zaman hissettiğim kıymetli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Lütfü HANOĞLU'na,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca öğrencisi olmaktan gurur duyduğum, makale okumayı keyifli hale getiren, tez çalışmamın tasarlanması ve yürütülmesi sürecinde karşılaştığım her zorlukta sunduğu pratik çözümlerle motivasyonumu artıran ikinci danışmanım ve değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üye. Farzin HAJEBRAHIMI'ye,

Kıymetli bilgi birikimini benimle paylaşarak her daim ufkumu genişleten, deneylerimin tasarlanması aşamasında teknik konularda katkıları, yönlendirici soru ve yorumları ile beni destekleyen değerli hocam sayın Prof. Dr. Zübeyir BAYRAKTAROĞLU'na, EEG veri toplama ve analizine dair kendisinden çok şey öğrendiğim, analizlerimde engin bilgi birikimi ile destek sağlayan değerli hocam sayın Prof. Dr. Bahar GÜNTEKİN'e,

Lisans sürecinden başlayıp her zaman desteğini hissettiğim, yüksek lisans tez sürecimde de tüm yoğunluğuna rağmen kıymetli vaktini ayırıp elinden gelen tüm desteği sağlayan değerli hocam Dr. Öğr. Üye. Miray BUDAK'a ve bu süreçte desteğini her zaman kalpten hissettiğim değerli hocam Dr. Öğr. Üye. Özden ERKAN OĞUL'a

Tezimin her aşamasında yanımda olan, deneylerimi birlikte tasarlayıp EEG ve FYKS çekimlerini birlikte yürüttüğüm, gece gündüz demeden elinden gelen tüm desteği sağlayan hem hocam hem de arkadaşım olarak yol gösteren sevgili Mevhibe SARICAOĞLU'na

Bilgi birikimlerini her zaman paylaşan, her daim güler yüzlü ve motive edici olan, her ihtiyacım olduğunda vaktini ayıran ve yardımcı olan Tuba AKTÜRK, Merve ALÖKTEN, Ece Zeynep KARAKULAK, Ebru COŞKUN ve Ebru YILDIRIM'a, deneylerimin tasarlanmasında hiçbir karşılık beklemeden tüm iyi niyetiyle vaktini ayırıp yardımcı olan Abdülmelik Dıhye ZAIM'e,

Yanlarındayken ekip olmanın ne demek olduğunu hissettiren sevgili ekip arkadaşlarım Handan YAMAN, Suat YILMAZ, Fatma AYDIN, Halime AVUNÇ, Harun YIRIKOĞULLARI, İrem ONİN, Aleyna YÜKSEL, Serkan GENÇ ve Cennet Sena PARLATAN'a,

Lisans ve yüksek lisans sürecimde yanımda olan, beni hep destekleyen, motivasyonumun düşmesine izin vermeyen Batuhan KURUTMAZ'a,

Henüz yolun başında olduğumu bilmekle beraber, bu noktaya gelene kadar benden desteklerini esirgemeyen, bana her zaman inanan, maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan, sevgileriyle gücüme güç katan kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY FORMU.....	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	ii
İTHAF .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	iv
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
RESİMLER LİSTESİ.....	xiii
1. ÖZET.....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. GİRİŞ VE AMAÇ .....	3
4. GENEL BİLGİLER.....	6
4.1. İstemli Başlatılan Hareketler .....	6
4.1.1. Geleneksel tanımlar.....	6
4.1.2. Natüralist tanım.....	7
4.1.3. Hareket başlatmada istemli kontrol.....	8
4.1.4. Hareket başlatmanın sinirsel temeli .....	8
4.1.5. Libet deneyi .....	9
4.2. Otomatik Başlatılan Hareketler .....	12
4.3. Yürüyüş.....	14
4.3.1. Yürüyüşün sinirsel temeli .....	15
4.3.2. Yürüyüş döngüsü .....	17
4.3.3. Yürüyüşün inhibisyonu .....	18

4.3.4. Yürüyüş ve biliş .....	19
4.4. Elektroensefalografi.....	21
4.5. Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopi.....	23
4.6. Elektromiyografi.....	24
<b>5. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>26</b>
5.1. Çalışmanın Dizaynı ve Amacı.....	26
5.2. Çalışmanın Yapıldığı Yer.....	26
5.3. Çalışmanın Süresi .....	26
5.4. Çalışmanın Katılımcıları .....	26
5.4.1. Dahil edilme kriterleri .....	26
5.4.2. Hariç tutulma kriterleri .....	27
5.5. Veri Toplama ve Analizi.....	27
5.5.1. Montreal bilişsel değerlendirme ölçeği .....	27
5.5.2. Edinburgh el tercihi anketi.....	28
5.6. Deney Protokolü .....	28
5.6.1. İstemli adım başlatma görevi .....	29
5.6.2. Otomatik adım başlatma görevi .....	31
5.6.3. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi.....	32
5.6.4. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi .....	33
5.7. Nörogörüntüleme .....	34
5.7.1. EEG veri toplama ve analizi .....	34
5.7.2. fYKS veri toplama ve analizi.....	36
5.7.3. EMG veri toplama ve analizi .....	39
5.8. İstatistiksel Analiz .....	40
<b>6. BULGULAR.....</b>	<b>42</b>
6.1. Demografik Veriler.....	42

6.2. EEG Bulguları.....	42
6.2.1. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan teta yanıtları ...	43
6.2.2. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan alfa yanıtları ...	53
6.2.3. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan beta yanıtları ..	64
6.3. fYKS Bulguları.....	73
6.3.1. Adım başlatma sırasında beyinde ortaya çıkan oksihemoglobin konsantrasyonunun görevler arası karşılaştırması.....	73
<b>7. TARTIŞMA.....</b>	<b>86</b>
7.1. Çalışmanın Güçlü Yanları.....	100
7.2. Çalışmanın Limitasyonları .....	100
<b>8. SONUÇ.....</b>	<b>102</b>
<b>9. KAYNAKLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>10. EKLER .....</b>	<b>122</b>
<b>11. ETİK KURUL ONAYI .....</b>	<b>126</b>
<b>12. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>129</b>



## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

- ÇBG:** Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi  
**DLPFK:** Dorsolateral Prefrontal Korteks  
**EEG:** Elektroensefalografi  
**EMG:** Elektromiyografi  
**ERD:** Olaya İlişkin Desenkronizasyon  
**ERS:** Olaya İlişkin Senkronizasyon  
**fYKS:** Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopisi  
**HbO:** Oksihemoglobin  
**HP:** Hazırlık Potansiyeli  
**ICA:** Bağımsız Bileşen Analizi  
**İG:** Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi  
**İSG:** İstemli Adım Başlatma Görevi  
**M1:** Primer Motor Korteks  
**MBDÖ:** Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği  
**OG:** Otomatik Adım Başlatma Görevi  
**PFK:** Prefrontal Korteks  
**PMA:** Premotor Alan  
**PreSMA:** Presuplementer Motor Alan  
**PPK:** Posterior Parietal Korteks  
**REMER:** Rejeneratif ve Restoratif Tıp Araştırmaları Merkezi  
**SMA:** Suplementer Motor Alan  
**SPSS:** Statistical Package for Social Sciences  
**D:** Dedektör  
**H<sub>z</sub>:** Hertz  
**ms:** Milisaniye  
**n:** Katılımcı Sayısı  
**Ort:** Ortalama  
**SS:** Standart Sapma  
**S:** Kaynak  
**μV:** Mikrovolt

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 5.7.1.1.</b> Olaya-ilişkin güç spektrumu analizinde kullanılan parametreler .....	36
<b>Tablo 5.7.2.1.</b> fYKS optot lokasyonları ve karşılık gelen bölgeler .....	37
<b>Tablo 6.1.1.</b> Katılımcılara ait demografik özellikler .....	42
<b>Tablo 6.3.1.1.</b> Kanalların oksihemoglobin (HbO) konsantrasyonlarının görevler arasındaki karşılaştırması (n=9).....	75
<b>Tablo 6.3.1.2.</b> Kanalların oksihemoglobin (HbO) konsantrasyonlarının görevler arasındaki ikili karşılaştırması (n=9) .....	78



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.2.1. İpucunun nörofizyolojisi ile ilgili fikirlerin şematik görünümü.....	14
Şekil 4.3.1.1. Hareket başlatma üzerinde istemli kontrol.....	17
Şekil 4.3.2.1. Yürüyüş döngüsü.....	18
Şekil 5.6.1.1. Libet saati.....	30
Şekil 5.6.2.1. Otomatik adım başlatma görevi deney tasarımı.....	32
Şekil 5.6.3.1. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi deney tasarımı...33	
Şekil 5.6.4.1. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi deney tasarımı.....	34
Şekil 5.7.1.1. EEG elektrotları ile fYKS kaynak, dedektör ve kanalların yerleşimi...35	
Şekil 6.2.1.1. Görev*Lokasyon için 0-400 ms'de teta yanıtı.....	43
Şekil 6.2.1.2. Lokasyonlar için 0-500 ms'de teta yanıtı .....	44
Şekil 6.2.1.3. Görev*Lokasyon için 0-500 ms'de teta yanıtı.....	45
Şekil 6.2.1.4. Görevler için 200-600 ms'de teta yanıtı.....	45
Şekil 6.2.1.5. Görev*Lokasyon için 200-600 ms'de teta yanıtı.....	46
Şekil 6.2.1.6. Görevler için 400-800 ms'de teta yanıtı.....	47
Şekil 6.2.1.7. Lokasyonlar için 400-800 ms'de teta yanıtı .....	47
Şekil 6.2.1.8. Görev*Lokasyon için 400-800 ms'de teta yanıtı.....	48
Şekil 6.2.1.9. İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması .....	49
Şekil 6.2.1.10. Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması .....	50
Şekil 6.2.1.11. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması .....	51
Şekil 6.2.1.12. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması .....	52
Şekil 6.2.2.1. Görevler için 0-200 ms'de alfa yanıtı.....	53
Şekil 6.2.2.2. Görev*Lokasyon için 0-200 ms'de alfa yanıtı .....	54
Şekil 6.2.2.3. Lokasyonlar için 0-500 ms'de alfa yanıtı.....	55
Şekil 6.2.2.4. Görev*Lokasyon için 0-500 ms'de alfa yanıtı .....	55
Şekil 6.2.2.5. Görevler için 200-600 ms'de alfa yanıtı.....	56
Şekil 6.2.2.6. Lokasyonlar için 200-600 ms'de alfa yanıtı .....	56

Şekil 6.2.2.7. Görev*Lokasyon için 200-600 ms’de alfa yanıtı.....	57
Şekil 6.2.2.8. Görevler için 600-800 ms’de alfa yanıtı.....	58
Şekil 6.2.2.9. Lokasyonlar için 600-800 ms’de alfa yanıtı .....	59
Şekil 6.2.2.10. Görev*Lokasyon için 600-800 ms’de alfa yanıtı.....	59
Şekil 6.2.2.11. İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması .....	60
Şekil 6.2.2.12. Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması .....	61
Şekil 6.2.2.13. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması .....	62
Şekil 6.2.2.14. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması .....	63
Şekil 6.2.3.1. Görevler için 0-600 ms’de beta yanıtı.....	64
Şekil 6.2.3.2. Lokasyonlar için 0-600 ms’de beta yanıtı .....	65
Şekil 6.2.3.3. Görev*Lokasyon için 0-600 ms’de beta yanıtı.....	65
Şekil 6.2.3.4. Lokasyonlar için 600-1000 ms’de beta yanıtı.....	66
Şekil 6.2.3.5. Görev*Lokasyon için 600-1000 ms’de beta yanıtı .....	67
Şekil 6.2.3.6. Görev*Hemisfer 600-1000 ms’de beta yanıtı.....	67
Şekil 6.2.3.7. Lokasyon*Hemisfer için 600-1000 ms’de beta yanıtı .....	68
Şekil 6.2.3.8. İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması.....	69
Şekil 6.2.3.9. Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması.....	70
Şekil 6.2.3.10. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması.....	71
Şekil 6.2.3.11. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması.....	72
Şekil 6.3.1.1. Otomatik adım başlatma görevi sırasında meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü.....	73
Şekil 6.3.1.2. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü .....	74

<b>Şekil 6.3.1.3.</b> Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü .....	74
<b>Şekil 6.3.1.4.</b> Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 1, 2, 7 ve 9 .....	81
<b>Şekil 6.3.1.5.</b> Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 10, 11, 15 ve 16 .....	82
<b>Şekil 6.3.1.6.</b> Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 26 ve 29... ..	83
<b>Şekil 6.3.1.7.</b> Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla otomatik adım başlatma görevi ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 30, 31 ve 32... ..	84
<b>Şekil 6.3.1.8.</b> Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi şeklinde azalan kanal 40.....	85

## RESİMLER LİSTESİ

<b>Resim 5.6.1.</b> Deney odası ve EEG-fYKS düzeneği .....	29
<b>Resim 5.7.3.1.</b> EEG, fYKS ve EMG veri toplama araçları.....	40



## 1. ÖZET

### OTOMATİK VE İSTEMLİ BAŞLATILAN ALT EKSTREMİTE MOTOR HAREKETİNE EŞLİK EDEN BEYİN HEMODİNAMİK VE ELEKTROFİZYOLOJİK MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

İnsan hareketleri uyarana yanıt olarak başlatılan (otomatik) ve kendiliğinden başlatılan (istemli) hareketler olmak üzere iki türe ayrılmaktadır. Bilinçli kararlarımızı günlük hareketler yapmaya hazırlayan faktörler, içsel olarak ve dışsal olarak üretilen tetikleyiciler arasındaki bir süreklilik boyunca var olmaktadır. Bu çalışmanın amacı, farklı adım başlatma görevleri sırasında beyinde gerçekleşen elektrofizyolojik değişiklikleri Elektroensefalografi (EEG) osilasyon yöntemi ve hemodinamik değişiklikleri Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopisi (fYKS) yöntemi ile araştırmak, istemli ve otomatik başlatılan alt ekstremit motor hareketlerinde yanıt ile ilişkili nöral mekanizmaları incelemek, böylece sağlıklı yürüyüş başlatmada bilinçli kararların anlaşılmasına katkıda bulunmaktır. Çalışmaya 18-30 yaş arası sağlıklı genç katılımcılar (n=10) dahil edildi. Katılımcılar eş zamanlı olarak 29 kanal EEG, 46 kanal fYKS ve 4 kanal Elektromiyografi kaydı sırasında istemli adım başlatma, otomatik adım başlatma, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevleri gerçekleştirdi. EEG bulgularımızda, teta, alfa ve beta yanıtlarında hem görevler hem de lokasyonlar arasında anlamlı farklılık olduğu görüldü ( $p<0,05$ ). İstemli adım başlatma için Fronto-Parieto-Oksipital bölgenin, otomatik adım başlatma için Fronto-Temporo-Parietal bölgenin, adım başlatma sırasında inhibisyon görevi için Fronto-Santoro-Temporo-Parietal bölgenin, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi için de Fronto-Santoro-Temporo-Parietal bölgenin etkili olduğu bulundu. Adım başlatma sürecinde uyarana spesifik olarak ayrı bölgelerin farklı aktivasyon dereceleri ile görev aldığı görüldü. İstemli adım başlatmanın uyarana yanıt olarak adım başlatma, inhibisyon ve çalışma belleği süreçlerinden farklılaştığı bulundu. Bulgularımız, adım başlatma sürecinde temel merkezi bir nöral ağına varlığı ile beraber, görev türüne özel bölgelerin var olduğu ve bu bölgelerin aktivasyon derecesinin değişebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Adım başlatma, EEG, fYKS, istemli hareket, otomatik hareket

## **2. ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF HEMODYNAMIC AND ELECTROPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF THE BRAIN ACCOMPANYING AUTOMATIC AND VOLUNTARY LAUNCHED LOWER EXTREMITY MOTOR MOVEMENT**

Human movements may subdivide into two categories; induced (automatic) and self-initiated (voluntary) motion in response to stimuli. Factors that prepare our conscious decisions to make daily actions exist along a continuum between internally and externally generated triggers. This study aims to investigate the electrophysiological changes in the brain during different step initiation tasks with the EEG oscillation method and the hemodynamic changes with the Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS) technique, to examine the neural mechanisms associated with the response is voluntary and automatically initiated lower extremity motor movements, thus contributing to the understanding of conscious decisions to launch a proper gait. Ten healthy young participants that aged between 18 to 30 years were included in the study. Participants were asked to perform voluntary step initiation, automatic step initiation, inhibition during automatic step initiation, and step initiation during working memory during the simultaneous recording of 29 channels of EEG, 46 channels of fNIRS, and 4 channels of Electromyography. The EEG analysis result showed a significant difference in theta, alpha and beta responses between tasks and locations ( $p < 0.05$ ). The Fronto-Parieto-Occipital region for voluntary step initiation, the Fronto-Temporo-Parietal region for automatic step initiation, the Fronto-Centro-Parietal region for the inhibition task during step initiation, and the Fronto-Temporo-Parietal region for the step initiation were found to be activated during the working memory tasks. In the step initiation process, it was observed that different regions, specific to the stimulus type, were elaborated with diverse degrees of activation. The voluntary step initiation is distinct from step initiation, inhibition, and working memory processes in response to the stimulus. Our findings indicate that, together with the presence of a primary central neural network in the step initiation process, task type-specific regions exist and the degree of activation of these regions can vary.

**Keywords:** Automatic movement, EEG, fNIRS, step initiation, voluntary movement



### 3. GİRİŞ VE AMAÇ

İnsan hareketleri geniş anlamda uyarana yanıt olarak başlatılan (otomatik) ve kendiliğinden başlatılan (istemli) hareketler olmak üzere iki türe ayrılmaktadır (1). Bilinçli kararlarımızı günlük hareketler yapmaya hazırlayan faktörler, içsel olarak üretilen ve dışsal olarak üretilen tetikleyiciler arasındaki bir süreklilik boyunca var olmaktadır. İstemli motor hareketlerin nöroanatomik yapıları bilinse de hareketin ortaya çıkma isteğinin mekanizması tam olarak açıklanamamıştır. Belirli bir anda istemli bir hareket gerçekleştirme niyetinin, istemli hareketlerin zamanlamasından sorumlu iç içe geçmiş ağlar tarafından desteklenebilecek hemodinamik değişkenlerle ilgili olabileceği varsayılmıştır (2,3).

Nörogörüntüleme çalışmalarına bakıldığında istemli hareket başlangıcından önceki son 2 saniye içinde primer motor kortekste, suplemer ve presuplemer motor alanda meydana gelen bir aktivite söz konusudur (4-7). Bu aktivasyon Kornhuber ve Deecke tarafından "hazırlık potansiyeli" olarak tanımlanmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışmada istemli hareketler gerçekleştirilmeden önce motor bölgeler üzerindeki negatif beyin potansiyelindeki kademeli artışlar, yaklaşan istemli motor hareketlerin hazırlığında spesifik ve hedefe yönelik bir süreci yansıttığı düşünülmüştür (4). Aksine, daha yakın zamanda yapılan çalışmalar hazırlık potansiyeli tarafından temsil edilen hareket öncesi aktivitenin, sadece istemli bir hareketin meydana gelme olasılığını değiştiren altta yatan beyin osilasyonlarında devam eden değişiklikleri yansıttığını bildirmektedir (6,8,9).

Uyarana yanıt olarak başlatılan hareketlerin sağlıklı katılımcılarda çoğunlukla kontralateral olduğunu, aksine uyarı olmadan oluşturulan hareketlerin ise her iki beyin yarıküresinde de yaygın olarak dağıtılmış ağlar tarafından desteklendiğini, bu da hareket başlatmak için dahili komutun daha geniş beyin aktivasyonu gerektirdiğini belirtilmiştir. Yapılan bir çalışmada sağlıklı katılımcılara kıyasla, parkinson hastalarında uyarı ile tetiklenen hareketler sırasında suplemer motor alanda daha küçük bir aktivasyon olduğu ve istemli hareketlerde aktivasyonun sensorimotor alanlardan suplemer motor alana yer değiştirdiği gözlemlenmiştir (10). Başka bir çalışmada uyarana yanıt olarak hareket başlatma durumunda suplemer motor

alandaki hareket öncesi aktivasyonun, istemli harekete kıyasla önemli ölçüde daha güçlü olduğu belirtilmiştir (11).

Motor bölgelere ek olarak, özellikle yaklaşmakta olan hareket artan bilişsel taleplerle ilişkili olduğunda, prefrontal ve parietal kortekslerin de hareket öncesi dönemde aktivasyon gösterdiği sonucuna varmışlardır. Bu sonuç göz önüne alındığında, dikkat veya yürütücü işlev gibi bilişsel talepler karmaşık istemli hareketleri gerçekleştirmek için gerekli bir koşul olan psikolojik süreçlerin katılımını yansıtıyor olabilir (7). Baker ve ark. bilişsel taleplerin yüksek olduğu zamanlarda hazırlık potansiyelinin genliğinin istemli hareketler için önemli ölçüde azaldığını göstermiştir. Bu azalma bilişsel kapasitenin sınırlandırıldığını, artan kaynakların çalışma belleğine yönlendirildiğini ve gelecek istemli hareket için hareket öncesi hazırlığın engellendiğini göstermektedir (12).

Hareket başlangıcında meydana gelen hedefin yer değişimi karar verme, inhibisyon ve motor planlamanın yeniden programlanmasını içerdiği için hareketin başlama süresinin uzamasına neden olduğu göstermiştir (13). Nöroanatomik alt yapısına baktığımızda motor planlamanın prefrontal korteksi içerdiği, hızlı otomatik yanıtların posterior parietal korteks tarafından oluşturulduğu bilinmektedir (14).

Üst ekstremité motor kontrol çalışmalarının aksine, alt ekstremité ile ilgili araştırmalar çok daha sınırlıdır. Ayrıca yapılan çalışmalarda üst ekstremité hareketleri için de kullanılan paradigmlar kullanılmaktadır ancak özellikle düşme ile ilgili olarak, bacak hareketi ayarlamalarını en sık gerektiren ekolojik koşullara hitap etmek için daha karmaşık görevler kullanılmalıdır (14). Bu durum özellikle yaşlılık ve çeşitli nörolojik hastalıklar sonucunda oluşan denge problemleri dolayısıyla düşme ve motor planlama becerileri açısından önemlidir. Yürüme görevini önleyici bir bilişsel görev eklendiğinde ise yaşlı yetişkinlerde bu bozulmalar daha da kötüleşmiştir, bu da yürüyüş sırasında adım ayarlamalarında bilişsel süreçlerin rolünü gösterir (15).

Vervoort ve ark. parkinson hastalarında donma fenomeninin sağ yarıküre yapısal eksikliklerinden daha spesifik olarak prefrontal korteks alanlarını içeren lokomotor ağıdaki eksikliklerden kaynaklandığını göstermektedir. Ortaya çıkan tablo, prefrontal korteksin insanlarda yürüyüş gibi tüm vücut hareketlerine baskın olarak dahil olduğunu göstermektedir (16).

Bu çalışmalardaki elektrofizyolojik bulguların yanı sıra beyin bölgesel kan akımı değişikliklerinin de incelenmesinin motor hareket mekanizmalarının anlaşılmasına katkıda bulunacağını düşünmekteyiz. Bu bağlamda çalışmamızın amacı, sağlıklı bireylerde istemli ve uyarana yanıt olarak başlatılan hareketler ile hareketin inhibisyonu ve bilişsel görev sırasında alt ekstremitte motor hareketlerinin elektrofizyolojik ve hemodinamik yanıtlarını birlikte incelemektir. Böylece bilinçli kararlarımızın oluşmasını sağlayan mekanizmalar incelenerek farklı durumlarda başlatılan sağlıklı yürüyüşün anlaşılmasına katkıda bulunulacaktır. Bu sayede sensorimotor süreçlerin altında yatan nöral ağları ve aynı zamanda duruş, denge ve hareketin tüm vücut gereksinimlerini karşılamak için nasıl bir iş birliği içinde olduklarının anlaşılması sağlanacaktır. Bu doğrultuda, özellikle yaşlılık ve çeşitli nörolojik hastalıklar sonucunda oluşan yürüme bozukluklarının mekanizmasının anlaşılmasına ve daha etkin terapötik yaklaşımların geliştirilebilmesine yenilikçi bir zemin hazırlamayı amaçlamaktayız.

Bu çalışmanın amacı; otomatik ve istemli başlatılan alt ekstremitte motor hareketine eşlik eden beyin hemodinamik ve elektrofizyolojik mekanizmalarının incelenmesidir. Bu amaç doğrultusunda hipotezlerimiz:

**H1-0:** Farklı türde görevlerle adım başlatma sırasında beyinde meydana gelen elektrofizyolojik ve hemodinamik yanıtlar birbirlerinden farklılaşır.

**H1-1:** Farklı türde görevlerle adım başlatma sırasında beyinde meydana gelen elektrofizyolojik ve hemodinamik yanıtlar birbirlerinden farklılaşmaz.

## 4. GENEL BİLGİLER

### 4.1. İstemli Başlatılan Hareketler

#### 4.1.1. Geleneksel tanımlar

Sinirbilim literatüründe, tipik olarak istemli harekete atfedilen belirli özellikler standart tanımlar olarak kullanılmıştır (17). Genel olarak, bu tanımlar klasik Aristotelesçi nedenlerin üçüne göre gruplandırılabilir; Yani, “neden bazı eylemler istemlidir” sorusuna onları tetikleyen olaylar, eylemin amaçları ya da eylemi yönlendiren temsile atıfta bulunarak yanıt verirler (18).

İstemli hareketin tanımlarından oluşan ilk aile, onu tetikleyen olayın doğasına, etkin nedenine odaklanır. Özellikle, istemli hareketler tipik olarak içsel olarak oluşturulmuş veya kendi kendine başlatılmış olarak tanımlanmaktadır (5). Yani hareketin veya seçimin kaynağı, yakın çevredeki bir uyaranda değil, kişinin içindedir. Bu tür hareketler, otomatik olarak yönlendirilen hareketlere (örneğin kırmızı bir trafik ışığına tepki olarak frenleme) ve ayrıca çevresel bir uyarının doğrudan bir sonucu olan refleks hareketlere (örneğin, yanma sonucunda elin geri çekilmesi) karşıt olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım kapsamındaki istemli hareketlere, herhangi bir dış emre itaat etmeyen kendiliğinden hareketler (örneğin, kişinin sadece kendini öyle hissettiği için parmaklarını masaya vurma) veya eşdeğer seçenekler arasında özgür seçimler yapmak (örneğin, soldaki veya sağdaki elmayı seçmek) örnek verilebilir.

İkinci tip bir karakterizasyon, nihai neden olan bazı istemli hareketlerin özelliği olan hedefe yönelikliği vurgulamaktadır (17). Yani istemli hareketlerin hedefe ulaşmada bir amacı vardır. Hareketlerin, bir hareket planının geriye doğru oluşturulduğu ters modelleme süreci aracılığıyla seçilmesi önerilmiştir: hareketin amacından başlayarak, onu üretebilecek tüm motor programlar değerlendirilmektedir (19). Bu tanıma göre, bir bardak suya uzanmak gibi bir hareket istemlidir.

Üçüncü tip niteleme, istemli hareketleri bir fikir, niyet veya temsilden kaynaklanan hareketler olarak tanımlamaktadır. İnsanlar istemli hareketleri için gerekçeler sunabilmektedirler. Hareketler, insanların tipik olarak hareketlerinin nedeni olarak adlandırdıkları ve tanımladıkları bir önceki zihinsel durum, bir niyet “aracılığıyla” ortaya çıkmaktadır (20). İstemli hareketlerin bir fikir sayesinde ortaya çıktığını varsayan Carpenter (1852) ve James'in (1890) ideomotor teorisinin bazı

yönlerine kadar izlenebilmektedir (21,22). Daha yakın zamanda ise farklı, hiyerarşik olarak organize edilmiş niyet türleri olabileceği önerilmiştir (23). Bunlar, uzak niyetleri (örneğin bir elma yemek), yakın niyetleri (örneğin, uzak bir niyeti gerçekleştirme amacına hizmet edebilecek eylemler- örneğin bir elma satın almak) ve motor niyetleri (örneğin belirli kaslara bir komut göndermek) içermektedir. Ancak, niyetlerin zihinsel temsiller olarak statüsü tam olarak anlaşılammıştır. Bazıları, özellikle daha soyut uzak niyetlerin belirli bir temsile karşılık gelmeyebileceğini ve kavramın bilişsel araştırmalar için yararlı olmayabileceğini savunmuştur (20). Bu tanımlardan yola çıkarak niyetlerin, tipik olarak çeşitli soyutlama seviyelerinde bir hedefin temsilleri olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, amacın yokluğunda amaca yönelik hareket gerçekleşebilir. Örneğin, hedefe yönelik eylemler gerçekleştiren ancak bunları gerçekleştirme niyetinde olmadıkları için bunları istemsiz olarak tanımlayan yabancı el sendromu hastalarında bu durum söz konusudur (24). Yani, eylemlerinin hedefleri, hastaların ilgili olduğu önceki bir plana veya niyet temsiline karşılık gelmemektedir.

Bu tanımların herhangi biri altında istemli hareketi araştırmak zordur çünkü bunlar genellikle çelişkilidir. Niyetlerden kaynaklanan birçok hareket dışarıdan tetiklenebilir. Örneğin, kişi bir yarışta yarışmaya karar verebilir ve bunu yapmaya niyeti olabilir. Bununla birlikte, sporcular genellikle koşmaya başlamak için bir silah sesi beklerler. Koşmaya başlama eylemi, resmi tanımlar kapsamında istemlidir (yani koşma niyetine yanıt verir), ancak hareket harici bir olay tarafından etkin bir şekilde tetiklenmiştir. Ayrıca, bazı spontane eylemler hedefe yönelik değildir. Kişi kendiliğinden kolunu kaldırmaya karar verebilir, ancak böyle kendiliğinden ve içsel olarak başlatılan bir hareketin herhangi bir amacı yoktur, bu nedenle eylemin nihai tanımlarına göre istemli değildir. Bu nedenle geleneksel tanımlar, en göze çarpan özelliklerinden bazılarını odaklanarak, olgunun karmaşıklığını yakalamakta başarısız olur ve istemli hareketin bilişsel temellerini yeterince açıklayamamaktadır.

#### **4.1.2. Natüralist tanım**

İnsanlar, hangi hareketlerinin istemli olup hangilerinin olmadığı konusunda anında, sezgisel bir anlayışa sahiptir ve bunlar natüralist istemli hareket türleridir. Tüm natüralist istemli hareketlerin ortak iki temel unsuru vardır: Birincisi, bunlar eylemdir – bir şeyler yapmayı, belirli şekillerde hareket etmeyi içermektedirler. İkincisi, bu

eylemleri sanki onları kontrol edebiliyormuşuz gibi deneyimleriz. Bu bakış açısı altında, yukarıda gözden geçirilen geleneksel tanımlar, tüm istemli hareketlerin temel özelliklerini tanımlamaktan ziyade, kontrolün elimizde olduğunu hissedebileceğimiz farklı yolları vurgulamaktadır. Örneğin, bir şeyin neden yapıldığı biliniyorsa veya hareketlerin niyetlerden veya dışsal faktörlerden bağımsız olarak özerk bir şekilde karar vermektan kaynaklandığı hissediliyorsa, hareketlerin belirli sonuçlar üretip üretmediği kontrol edilebilmektedir.

Hareketleri her zaman bu şekillerde kontrol ettiğimizi hissetmeyiz, ancak sezgisel olarak istemli olarak sınıflandırılan tüm hareketler için bir tür kontrol hissederiz. Özellikle, çevreden bağımsız olarak hareket edebilmek, eylemlerin özgür olarak algılanmasıyla ilgilidir, oysa niyetlerle uyumlu eylemleri tasarlama ve üretme yeteneği, ahlaki sorumluluğu değerlendirmede daha uygun bir rol oynamaktadır (25). Bu yollardan herhangi birinin gerçekten kontrol altında olup olmadığını, olduğumuzu hissetmenin ötesinde araştırma için bir sorudur.

#### **4.1.3. Hareket başlatmada istemli kontrol**

Günümüzde bilişsel sinirbilim hareket başlatma konusunda, özellikle istemli hareket başlatmanın altında yatan bilişsel mekanizmalar ile ilgilenmektedir. Bilinçli kararlarımızın hareketlere neden olduğunu hissederiz ve bu duygu, araçlar olarak deneyimimizin merkezinde yer almaktadır. Bu nedenle, "istediği zaman" hareketleri başlatma yeteneği, genellikle istemli hareketin bir özelliği olarak düşünülmüştür (26,27). Bu tür içsel olayların (yani "bilinçli bir karar") herhangi bir dışsal zorunluluğun yokluğunda bedensel hareketleri nasıl tetikleyebileceğini anlamak, istemli hareket çalışmalarının odak noktası olmuştur. Yani, kendiliğinden hareket başlatma yeteneğinin karakteristik olarak istemli olduğu ve dışsal olarak tetiklenen hareketten farklı olduğu fikri üzerine odaklanılmıştır.

#### **4.1.4. Hareket başlatmanın sinirsel temeli**

Maymunlarda yapılan lezyon çalışmaları, premotor (PMA) ve suplemer motor alanları (SMA) içeren motor korteksteki lezyonların, hayvanların ipuçlu hareketleri gerçekleştirme kapasitesini korurken, kendi hızlarında hareketleri başlatamamasına neden olduğunu göstermiştir. Buna karşılık, lateral ön motor korteksteki lezyonlar,

istemli hareketleri başlatma yeteneğinde bozulmalara neden olurken, kendi kendine başlatılan eylemler değişmeden kalmıştır (28,29). Bu bulgular, dışarıdan tetiklenen hareketlerin ve içsel olarak oluşturulanların iki farklı yoldan yürütülmesine yol açabileceğini öne sürmüştür. Ek olarak, insan nörogörüntüleme çalışmaları, insan tek hücre çalışmaları ve lezyon hastalarında yapılan klinik çalışmalar, bu hipotezle uyumlu bulgular bildirmiştir (30–33).

Dış ve iç faktörler tarafından tetiklenen hareket oluşumunun altında iki farklı yolun yattığı fikri, primatlarda beyin alanları arasındaki anatomi ve bağlantı analizi ile daha da desteklenmektedir. Motor alanların iki geniş kategoride gruplandırılabilmesi öne sürülmüştür: parietal korteksten girdi alan alanlar ve prefrontal korteksten (PFK) girdi alan alanlar (34). Parietal korteks, dorsal yoldan zengin duyuşal girdi alırken, PFK, uzun vadeli planlama ve özgür seçim gibi daha yüksek kortikal süreçlerde yer almaktadır (35–37). Ek olarak Caminiti ve ark. yaptıkları çalışmada, primatlarda F6 ve F7'nin (insanlarda SMA) birincil olarak parietal girdi alan motor alanlardan ayrı kümelenme eğiliminde olduğunu ve PFK ile primer motor korteks (M1) arasında bir arayüz olduğunu belirtmişlerdir (38).

Motor sistemde açık bir iki yollu organizasyon olduğu fikri tartışmalı olsa da içsel ve dışsal olarak tetiklenen hareketler, istemli hareket konusunda günümüz sinirbiliminin merkezinde yer alır ve kullanılmaya devam eden paradigmalara ilham vermektedir (39–41).

#### **4.1.5. Libet deneyi**

Bilinçli “isteme” veya “şimdi hareket etme” deneyimi ile kendi kendine başlatılan eylemin altında yatan sinirsel mekanizmalar arasında bağlantı kurmaya yönelik ilk deneysel girişimler, Libet ve ark. tarafından yapılmıştır (5). Libet çalışmalarında, katılımcılar basit bir görevi yerine getirirken elektroensefalografi (EEG) aktivitesi kaydetmiştir. Katılımcılara dönen bir saat ibresine bakarken her istediklerinde hızlı bir hareket yapmaları (örneğin bilek fleksiyonu) talimatı verilmiştir. Hareketi gerçekleştirdikten sonra, “hareket etme dürtüsü hissettiklerinde” saatin dönen ibresinin konumunu bildirmeleri istenmiştir. Bu, “motor niyet” farkındalığının bir raporudur ve “W-kararları” (yani “irade” kararlarının zamanı) olarak bilinmektedir. Libet, katılımcıların fiilen hareket etmeden önce yaklaşık 200 ms hareket etme niyetinde

olduklarını, ancak bir sinir sinyalinin- Hazırlık Potansiyelinin (HP)- elektromiyogram (EMG) başlangıcından 1 saniye öncesine kadar tutarlı bir şekilde mevcut olduğunu göstermiştir.

HP ilk olarak Kornhuber ve Deecke tarafından kendi kendine başlatılan hareketlerden önce motor korteks üzerinde yavaş yavaş artan bir negatiflik olarak tanımlanmıştır (4). HP tipik olarak: orta hat çevresinde simetrik ve maksimal dağılıma sahip erken yavaş artan bileşen (SMA öncesi ve SMA) ve hareketin karşı tarafında asimetrik ve maksimal olan geç, daha dik bileşen (motor korteks) olmak üzere iki bileşene ayrılmaktadır (42). Hem kendi hızındaki hareketlerden önceki varlığı hem de Libet'in ölçtüğü niyet raporları tutarlı bir şekilde tekrarlanmıştır (43–45). Önemli olarak, HP tipik olarak spontane hareketlerden önce bulunmaktadır, ancak dışarıdan tetiklenen hareketler değildir (32). Bu özgüllük nedeniyle, HP geleneksel olarak, uyarıcı güdümlü hareket üretiminin aksine, içsel olarak hareket başlatmanın sinirsel bir belirteci olarak yorumlanmıştır.

Katılımcıların Libet deneyinde hareket etme dürtüsünün farkında olduklarını bildirdikleri zamanın, HP'nin başlangıç zamanından çok daha geç olduğu gerçeği "hareket etmek üzere olma (veya hareket etmeye "istekli" olma) bilinçli deneyimi içsel hareket hazırlama süreçlerine neden olmaz." şeklinde yorumlanmıştır. Bunun yerine, HP sinyalini yönlendiren bilinçsiz mekanizmalar, hareket etmek üzere olma deneyimine neden olmaktadır. Bu nedenle bilinçli hareket etme kararı, bilinçsizce bir hareket başlatma sürecinden kaynaklanan bir algı olarak düşünülmektedir (27,46). Ancak Libet, bilinçli kararlar hareketin başlatılmasını tetiklemese de sonuçlarının farklı bir tür istemli kontrol ile uyumlu olduğunu öne sürmüştür. Bilinçli deneyimi hareket başlangıcından ayıran kısa zaman penceresinin, bilinçsizce başlatılan spontan hareketleri bilinçli olarak reddetmeye izin verdiğini savunmuştur (5,26). Yine de Libet'in bu sonuçlara ilişkin klasik yorumu tartışmalıdır. HP, W-kararları ve teorik çerçeve ile ilgili hem kavramsal hem de metodolojik konuları hedef alan çeşitli itirazlar dile getirilmiştir (45,47,48). Bu nedenle HP, motor hazırlık ve bilinçli hareket etme niyeti arasındaki nedensel ilişki belirsizliğini korumaktadır.

Bazı çalışmalarda HP'nin istemli motor hazırlığın özel bir belirteci olduğu fikrine karşı çıkmıştır (8). Klasik HP çalışmaları, EEG verilerini hareket başlangıçlarına zamansal olarak kilitler ve eylemden hemen önce nöral aktiviteyi incelemekte, ancak



diğer zamanlarda görmezden gelmektedir. HP benzeri dalgalanmalar, hareketlerin ve bilinçli niyetlerin yokluğunda da meydana gelebilmekte, ancak bu HP'ler, klasik HP paradigmalarında kullanılan hareket kilitli yöntemlere görünmez olmaktadır. Schurger ve ark. bir eşiği geçme olayına zaman kilitli devam eden bir sinyalin basitçe ortalamasını almanın, HP formunu yeniden üretebileceğini göstermiştir (8). Bu yoruma göre, istemli bir hareketin ne zaman gerçekleştirileceğini kendiliğinden nöral aktivitenin birikimi belirlemektedir. Bu tür modellerde altta yatan dalgalanmalar sürekli olduğundan, HP benzeri sinyaller, hareket veya hareket niyeti olmadığında bile ortaya çıkmalıdır. Bu nedenle, istemli bir motor hazırlık sürecinin sinirsel bağıntılarını yansıtmak yerine, HP değişken süreçleri yansıtabilmektedir.

Libet'in görevindeki hareketlerin bilinçsizce başlatıldığı iddiası, HP'nin hareket hazırlığının belirleyici bir işareti olduğunu varsaymaktadır. Başka bir deyişle, herhangi bir bireysel denemede ortalama HP sinyaline katkıda bulunan nöral aktivite, bilinçli olarak reddedilmediği sürece, kaçınılmaz olarak bir harekete yol açacaktır. Ancak Libet'in sonuçları yalnızca, kendi hızınızda bir eylem olduğunda, denemelerin ortalaması alındıktan sonra bir HP bulunduğunu göstermektedir. Her HP olduğunda bunu bir hareketin takip ettiğini göstermemektedir. Yukarıdaki eleştiri doğruysa ve hareketin yokluğunda da HP benzeri aktivite mevcut olabilirse, HP'yi üreten sinirsel aktivitenin hareketi tetiklemek için tek başına yeterli olduğunu varsaymak doğru olmayabilir.

Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, HP tabanlı gerçek zamanlı bir algoritma kullanarak, katılımcıların kendi hızlarında bir hareketi kesintiye uğratma olasılığını artırmanın mümkün olduğunu göstermiştir (49). Ne zaman bir HP tespit edilse, katılımcılara ekranda kırmızı bir ışık gösterilmiş ve hareket etmekten kaçınmaları istenmiştir. Katılımcılar genellikle bunu yapamamıştır, bu da HP'nin geçerli bir motor hazırlık belirteci olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, sonuçlar, bunun ne kadar öngörücü olduğu konusunda soruyu açık bırakmaktadır. Tüm HP'ler hareket başlatmaya yol açıyorsa (aktif olarak engellenmedikçe), o zaman HP'yi üreten nöral aktivite kesinlikle hareketleri tetiklemek için yeterlidir. Ancak durumun böyle olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır. Araştırmadan sonra katılımcıların hareket etmedikleri denemeler incelendiğinde, gelen bir hareketi başarıyla engellediği

durumlardan ziyade, araştırmadan bağımsız olarak zaten hareket etmeyecekleri durumları da yansıtabilmektedir.

Bir HP'nin varlığı spontan hareketleri daha olası kılıyor gibi görünse de hazırlık seviyesinin bir hareketi gerçekten tetiklemesi için bazı ek koşulların gerekli olması mantıksal olarak mümkün olmaya devam etmektedir. Böyle bir koşul, sistemin belirli bir arka plan durumu (örneğin, kişinin fiilen hareket etme eğilimi) veya hareketin gerçekleşmesini etkin bir şekilde tetikleyen veya belki de izin veren bilinçli bir "git" kararı olabilir.

Son olarak, HP'nin sadece motor hazırlıkla mı yoksa niyet farkındalığıyla mı ilgili olduğu belirsizliğini korumaktadır. Libet'in orijinal çalışmaları ve en son literatür, hareket temelli paradigmalarda hareket ve niyeti birlikte incelemiştir. Bunun nedeni, hiçbir nesnel davranış (örneğin hareket) olmadığında beyin aktivitesini incelemenin zor olmasıdır. Bununla birlikte, bu deneylerde motor hazırlık ve niyet farkındalığının her zaman ilişkili olduğu gerçeği, HP'nin istemli motor hazırlık ile ilgili olabileceği, ancak niyet farkındalığı ile ilgili olmadığı veya bunun tersi olabileceği anlamına gelmektedir. İstemli hareket tetiklemesinde yer alan bilişsel mekanizmaların nasıl bir iş birliği içinde olduğunu açıklamak için, nöral belirteçlerin bilişsel (motor hazırlık) veya fenomenal (bir dürtü deneyimi) yönlerine ne ölçüde spesifik olduğunu araştırmak çok önemlidir. Yine de klasik Libet paradigması her ikisini de eleştirel olarak birleştirmektedir.

#### **4.2. Otomatik Başlatılan Hareketler**

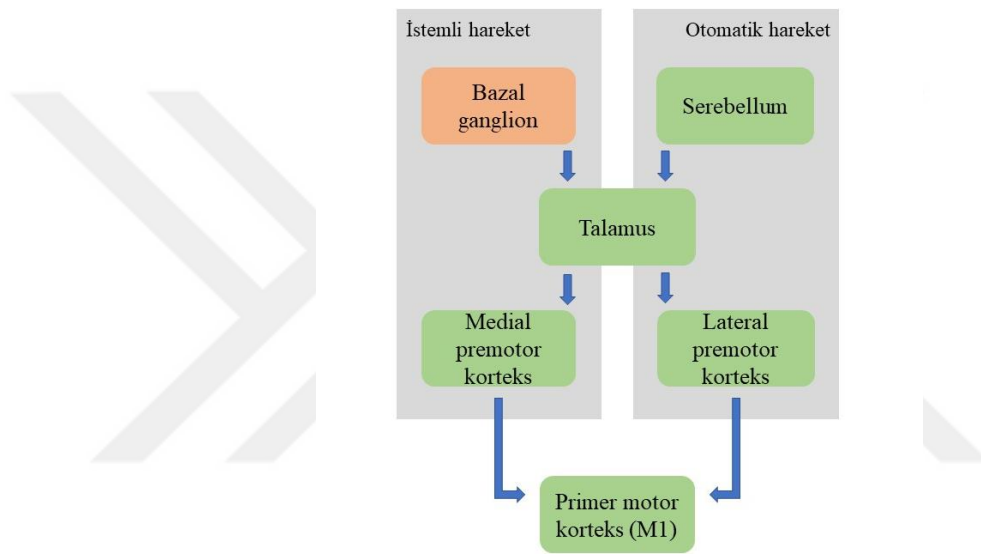
Bir kişinin hareketleri üzerinde iki ana etki vardır. İlk etki çevredir. İnsanlar dünyayı görme ve işitme gibi duyuları aracılığıyla algırlar. İkinci etki ise kendi içlerindedir. Duyusal ipuçları gibi dış sinyallere yanıt olarak gerçekleştirilen hareketlerin harici olarak tetiklenen (otomatik) olduğu söylenirken, kişinin kendisi tarafından serbestçe seçilen zamanlarda (dahili) gerçekleştirilen hareketlerin istemli olduğu söylenmektedir (1). Bununla birlikte, istemli hareketlerin otomatik hareketlerle karşılaştırılması teorik değerlendirmeler için çok yararlı olmasına rağmen, günlük yaşamda gerçekleştiği gibi insan davranışını yakalamadığına dikkat edilmelidir. Hareketler neredeyse her zaman harici ve dahili bileşenlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, iki uç arasında bir süreklilik boyunca var olduğu düşünülmektedir. Baskın

bileşen göz önüne alındığında, örneğin kitap okumak yerine televizyonu açmak gibi istemli hareketler veya kırmızı bir trafik ışığında durmak gibi otomatik olarak yönlendirilen hareketler olarak kategorize edilebilmektedir (50). Birçok çalışma, otomatik ve istemli hareketler tarafından devreye giren nöral mekanizmaları karşılaştırmıştır (51–54). Bu karşılaştırmalarda, istemli hareket sırasında özellikle medial prefrontal kortekste, otomatik başlatılan harekete göre yüksek aktivasyon görülmüştür (50,55). Bununla birlikte, presuplementer motor alanın (preSMA) otomatik başlatılan hareketlere kıyasla istemli başlatılan hareketler sırasında daha erken aktive edildiği (motor hazırlık süreci), otomatik başlatılan hareketlerde ise kaudal SMA'nın daha fazla etkinleştiği ve kaudal SMA'nın motor yürütmeyi yansıttığı düşünülmektedir (56).

Görsel bir uyarana yanıt olarak hareket başlatıldığında (örneğin bir fincan kahveyi almak için uzanmak) ilk olarak retina, ilgilenilen nesne hakkında görsel bilgi almaktadır. Bu bilgi, optik sinirden aşağıya, talamustan görsel sahnenin özelliklerinin ayrıştırıldığı görsel kortekse doğru ilerlemektedir. Bilginin daha sonra dorsal dikkat ağına hareket ettiği düşünülmektedir (57,58). Hedefin tanındığı ve bir hareketi başlatma kararının kodunun çözülebildiği daha yüksek dereceli görsel alanlara ve parietal kortekse ulaşmaktadır (57). Bu karar veya plan daha sonra üst düzey motor planlama ve hazırlığın gerçekleştiği PMA'ya iletilmektedir. Bu komutlar daha sonra M1'e gönderilir, burada üst düzey komutlar kas komutlarına çevrilmekte ve daha sonra kas komutları omurilikten kortikospinal yol aracılığıyla kaslara gitmektedir. Bu nedenle M1, kortikal kontrollü hareket için “son ortak yol” olarak bilinmektedir (59).

Çok sayıda çalışma donma ataklı parkinson hastalarında ipucu vermenin olumlu etkilerini gösterdiğinden, bu etkilerin altında yatan fizyolojik temele ilişkin çeşitli öneriler öne sürülmüştür. En önemli görüşlerden biri, harici ipuçlarının serebellar talamokortikal devrelere daha fazla güvenerek, yetersiz bazal ganglion-medial premotor devreleri etkin bir şekilde atlayarak, lateral premotor alanların devreye girmesi temelinde hareketin ortaya çıktığını belirtmiştir (Şekil 4.2.1) (60,61). Bununla birlikte, aktivasyonda medialden lateral premotor kortekse bir kayma ve subkortikal olarak bazal gangliyonlardan serebelluma bir kayma olduğu varsayılarak, ipucu vermeyle ilgili bu görüş eleştirilmiştir (62). Ayrıca, ilaç tedavisi sırasında veya ilaç tedavisi dışındayken hastaları karşılaştıran bir EEG osilasyon çalışması, SMA'nın

prefrontal, PMA ve M1 ile restore edilmiş benzer bir model ortaya çıkarmıştır (63). Son olarak başka bir çalışma, SMA'nın dahili olarak oluşturulan hareketlerin yürütülmesini yönlendirmediğini, bunun, SMA, premotor korteksler, bazal ganglionlar ve serebellum da dahil olmak üzere büyük bir kortikal ve subkortikal ağ tarafından gerçekleştirildiğini göstermiştir (64). Özetle istemli ve otomatik olarak oluşturulan hareketler arasında güçlü bir ayrım önerisi, nörofizyoloji üzerine uzun süredir devam eden çalışmalarda belirsizliğini korumaktadır (65,66).



Şekil 4.2.1. İpucunun nörofizyolojisi ile ilgili fikirlerin şematik görünümü.

### 4.3. Yürüyüş

Yürüyüş, değişken arazilere sahip sürekli değişen ortamlarda harekete izin veren insanlar için temel bir işlevdir. Yürüyüş, yaygın olarak kişinin yürüme biçimini veya tarzını tanımlamak için kullanılmaktadır ve genel hareketliliğin anahtar bileşenlerinden biridir (67). Yürüyüşün üretimi, kardiyopulmoner, kas-iskelet, sinir ve duyu sistemlerinin entegrasyonunu gerektiren çok sayıda belirleyiciye sahiptir. Bu sistemler tipik olarak, nöropsikolojik faktörler ile sağlık ve fiziksel işlevdeki yaşa bağlı düşüşler dahil olmak üzere lokomotor sistemin dışındaki ek faktörlerden etkilenmektedir (68,69). Yaşlanmanın yürüyüş performansı üzerindeki etkileri yaygın olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, belirli nörolojik rahatsızlıkları olan yaşlı erişkinlerde yürüyüş değişiklikleri gösterilse de bunlar sağlıklı yaşlı bireylerde de

bildirilmektedir (70,71). Bu nedenle, hastalık temelli modellerin ötesinde yürüme süreçlerini incelemek, klinik bozukluğun başlamasını anlamak ve önlemek için oldukça önemlidir.

Ritmik yürüyüş üretiminin ilk tanımları, bunun yalnızca merkezi yapılardan gelen nöral girdilerle düzenlenen otomatik bir motor görev olduğunu ileri sürmüştür (72). Bu görüşe, merkezi sinir sistemindeki daha yüksek dereceli yapıların yürüyüş üretimini önemli ölçüde etkilediğinin keşfedilmesiyle meydan okunmuştur. Bu görüşte de yürüme üretimindeki otomatiklik kabul edilmekle beraber çevresel uyarıların algılanmasına yanıt olarak yürüyüşü sürdürme ve uyarılma yeteneği, yürütücü işlev, dikkat ve bellek gibi bilişsel işlevlerle ilişkili çoklu beyin bölgeleri arasındaki koordineli iletişimin sonucu olarak açıklanmaktadır (73,74). Yürüme sırasında ek görevlerin gerçekleştirilmesini içeren çoklu görev koşullarında bu işlevlere daha fazla gereksinim duyulmaktadır (75). Bu karmaşık bilişsel işlevlerin kontrolü bozulursa, birden fazla göreve ve uyarana yanıt olarak kişinin motor davranışlarını etkili bir şekilde ayarlamak için gerekli kaynakların tahsisi sınırlanmakta ve yürüme performansında anormallikler ortaya çıkabilmektedir (76).

#### **4.3.1. Yürüyüşün sinirsel temeli**

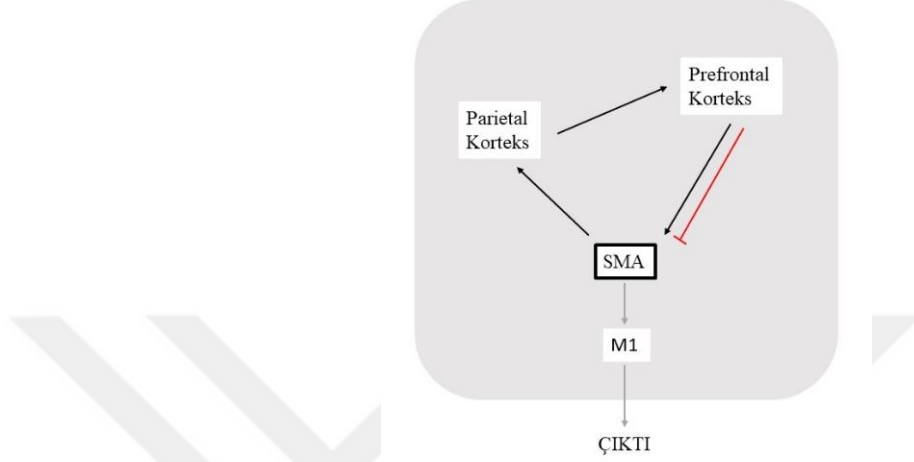
Somatosensoriyel, görsel ve vestibüler duyu gibi çoklu duyuşsal bilgiler beynin çeşitli bölgelerine etki ederek postür-yürüyüş kontrolü sağlanmaktadır. Bu duyuşsal sinyaller beyin sapı, serebellum, talamus ve serebral kortekste birleşmektedir. Vücut bölümlerinin uygun hizalanması ve optimal postural kas tonusu seviyesi ile birlikte baş-göz koordinasyonu dahil olmak üzere postüral reflekslerle ilişkili otomatik yürüme sürecine, beyin sapından omuriliğe inen yollar aracılık etmektedir. Özellikle retikülospinal yollar ve spinal lokomotor ağ bu sürece katkıda bulunmaktadır. Serebral korteks düzeyinde, görsel korteks, vestibüler korteks ve primer somatosensoriyel korteksten gelen sinyaller entegre edilmekte ve vücut şeması ve uzaydaki vücut hareketi gibi benlik-beden bilgilerine dayanan bilişsel postüral kontrol süreci düzenlenmektedir. Bilişsel bilgi, temporoparietal asosiyasyon korteksinde üretilir ve dikey duruşun sürdürülmesi ve motor programların oluşturulması için esastır. Temporoparietal korteks ve serebellum arasındaki karşılıklı bağlantı bu sürece katkıda bulunmaktadır. Bu tür bir bedensel bilgi, ayakta dururken dik duruşu korumak ve

beklenen postüral ayarlamayı sağlamak için kullanılmaktadır. Postüral ayarlama, motor programları oluşturmak için motor kortikal alan (SMA/PMA) ve serebellum arasındaki karşılıklı bağlantıları içermektedir (77). Buna göre serebellar hastalığı olan hastalar, postüral kontrolün bilişsel sürecinde sorunlar yaşayabilir. Serebellar çıktının, motorla ilgili alanlara ek olarak PFK ve posterior parietal korteksler (PPK) dahil olmak üzere serebral korteksin geniş alanlarına ulaştığı kabul edilmiştir (78).

Temporoparietal kortekste bulunan bilişsel bilgi, özellikle kişi yabancı bir ortamla karşılaştığında doğru yürüyüş kontrolü için gereklidir. Bu nedenle temporoparietal korteksten frontal kortekse (frontoparietal ağ) kadar bilgi işlemedeki eksiklik, ileriye dönük postüral uyum hatalarına ve yürüyüşün donması gibi yürüme güçlüklerine neden olabilir. Yaşlı kişilerde ve çeşitli nörodejeneratif hastalıklarda bilişsel işlevdeki eksikliklerin, özellikle daha fazla bilişsel görev gerektiğinde düşme riskini artırdığı bilinmektedir (79). Bedensel bilgi daha sonra SMA'ya ve bilgilerin motor programları üretmek için materyal olarak kullanılabilmesi için PMA'ya iletilir. Benzer şekilde, bilgi hipokampusu aktarılır ve daha sonraki davranışlar için kullanılır. Motor kortikal alanlar, hedefe yönelik hareketlerin gerçekleştirilmesi için bazal ganglionlar ve serebellum ile yakın iş birliği içindedir. Bazal gangliyonlar ve serebellum, sırasıyla beyin sapı ve serebral korteks ile karşılıklı bağlantılar yoluyla yürüme kontrolünün hem otomatik hem de bilişsel süreçlerini etkilemektedir. Vestibüler kortekste üretilen bedensel bilgi, kortiko-vestibüler ve vestibulospinal yollarla dikey duruşun sürdürülmesi için kullanılır. Planlar ve niyetler de dahil olmak üzere PFK'dan gelen sinyaller, SMA/PMA'da amaçlı hareketler ve postüral kontrolü ilişkilendiren motor programların çalıştırılmasını tetiklemektedir. Postüral kontrol, kortiko-retiküler ve retikülospinal yollarla beklenen postüral ayarlamayı oluşturmak için kullanılmaktadır. Daha sonra motor programlar M1'e gönderilir, böylece hedefe yönelik hareketler elde edilmektedir (Şekil 4.3.1.1).

Motor programlamada hata M1, SMA ve PMA dahil olmak üzere motor kortikal alanlar, istemli hareketlerin yürütülmesine ve motor programlanmasına katkıda bulunan motor halkayı oluşturan bazal ganglionlar ve serebellum ile bağlantılara sahiptir (77). Azalan bilişsel bilgi işlemeye ek olarak, bazal gangliyonların talamokortikal projeksiyonlara artan inhibitör çıktısı nedeniyle, motor programları

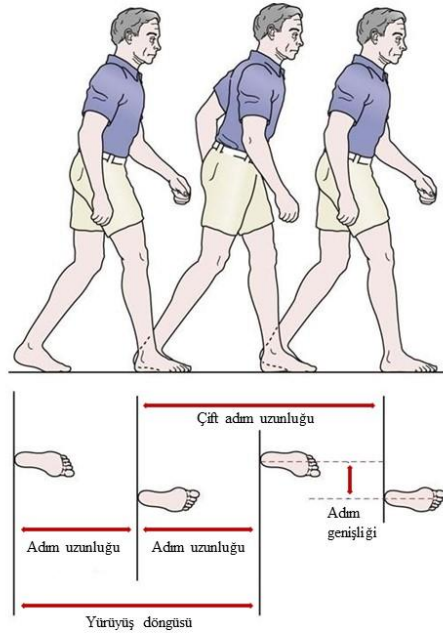
üretim yeteneği bozulabilir. Bu süreç parkinson hastalarında ciddi şekilde bozulmaktadır (80).



**Şekil 4.3.1.1.** Hareket başlatma üzerinde istemli kontrol. Sağlıklı kişilerde, motor çıktı frontal alanlardan SMA'ya (kırmızı çizgi) engelleyici projeksiyonlar yoluyla bastırılır. SMA'dan gelen motor başlatma durumları, bilgileri frontal kortekse gönderen arka parietal alanlar tarafından izlenir. Buna karşılık, frontal alanlar, hareketin başlatılmasına izin vermek veya onu engellemek (siyah oklar) için SMA'ya geri beslenir. (Pujolràs'ın çalışmasından uyarlanmıştır) (18).

#### 4.3.2. Yürüyüş döngüsü

Yürüyüş döngüsü, bir ayağın topuğunun yerle temas etmesinden (topuk vuruşu) aynı ayağın bir sonraki topuk vuruşuna kadar geçen süreyi tanımlamak için kullanılmaktadır (Şekil 4.3.2.1). Döngü duruş aşaması ve salınım aşaması olmak üzere iki aşamada karakterize edilmektedir. Duruş evresi ayağın yerle temasıyla, salınım evresi ise ayağın yerle temasının kesilmesiyle başlamaktadır (67,81). Duruş fazı, yürüme döngüsünün yaklaşık %60'ını oluşturur ve her iki ayağın da yerde olmasıyla başlar ve biter. Salınım fazı, döngünün diğer %40'ını oluşturur ve parmakların kalkmasıyla başlar ve topuk vuruşuyla biter (82). Bir kez tam yürüme döngüsü veya adım, bir ayağın yere çarpması ile aynı ayağın tekrar yere çarpması arasındaki süredir (81).



**Şekil 4.3.2.1.** Yürüyüş döngüsü (Magee'nin çalışmasından uyarlanmıştır) (83).

### 4.3.3. Yürüyüşün inhibisyonu

Yürüyüş sırasında çevreyle ilgili görsel bilgiler kullanılarak ilerideki adımlar için uzuv yörüngeleri planlanmaktadır. Bir bozulma durumunda, dengesizlik ve düşmeyi önlemek için önceden planlanmış adım inhibe edilmeli ve alternatif bir ayak iniş pozisyonu bulunmalıdır. Bu nedenle, inhibisyon önemli bir beceridir ve eksikliği, özellikle inhibisyon yeteneğindeki yaşa bağlı bozulma göz önüne alındığında, artan instabilite ve düşme riskine yol açabilmektedir. Geçmişte, yanıt inhibisyonu yeteneği tipik olarak üst ekstremitelerde test edilmiştir (84). Ancak daha yakın zamanlarda, birkaç grup sağlıklı yaşlı kişilerde alt ekstremitelerde yanıt inhibisyonu, ayakta durma ve adım başlatma sırasında değerlendirilmiş ve istemli adım başlatmayı değiştirme yeteneğinin bozulmasının düşme riskine katkıda bulunduğu ve istemli adım atma reaksiyonunun zamanında başlaması için motor inhibisyonunun gerekli olduğu gösterilmiştir (85–87). Bu deneyler, inhibisyon ve motor reaksiyonlar, daha spesifik olarak postüral salınım ve adım başlatma arasındaki bağlantıyı doğrulamıştır.

Günlük yaşamda, kişi yürürken neredeyse her zaman birden fazla görevi yerine getirir ve ilerleyen yaşla birlikte basit bilişsel görevler bile postüral stabilite ve engellerden kaçınma üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilmektedir (88). Gerçekten de bilişsel düşüş, düşme riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (89).



Hedef konumdaki küçük değişiklikler, ilk hareketin modülasyonu ile açıklanabilmektedir. Bu nedenle, hareket süresinde büyük artışlar getirmeyen çok hızlı, otomatik ve yumuşak ayarlamalara izin vermektedirler (90). Bu tür ayarlamalar çok hızlı kas aktivasyonları ile elde edilmektedir. Bu nedenle, bu otomatik ayarlamalar, istemli daha yavaş ayarlamaların aksine, istemsiz olarak kabul edilebilir. Öte yandan, hareketin başlangıcında meydana gelen hedef konumdaki büyük değişiklikler, karar verme ve hareketin yeniden programlanmasını içerdęi ve hareket sürelerinin artmasına yol açtığı belirtilmiştir (90,91). Bu tür programlama istemli olarak kabul edilebilmektedir. Alta yatan yollarla ilgili olarak, yalnızca istemli ayarlamaların PFK’i içerdęi, hızlı otomatik tepkilerin ise PPK üzerinde hızlı bir yol ya da alternatif olarak ya superior kollikülü ya da ön serebellumu içeren bir subkortikal yolu içerdęi öne sürülmüştür (14,90).

#### **4.3.4. Yürüyüş ve biliş**

Bilişin birçok tanımı olmakla birlikte, genellikle “bilginin elde edilmesi, depolanması, geri çağırılması ve kullanılmasıyla ilgili zihinsel faaliyetler dizisi” olarak kavramsallaştırılmaktadır (92). Biliş, hafıza, konuşma ve dil dahil olmak üzere çeşitli işlevlere ve diğerleri ile birlikte planlama ve dikkat gibi yürütücü işlevlere ayrılabilir (93).

Yürütücü işlev, amaca yönelik davranışları üreten, düzenleyen ve izleyen üst düzey bir bilişsel süreçtir. Yürütücü işlev ayrıca irade, planlama, bilgi kümeleri arasında geçiş yapma, çoklu görev, çalışma belleğini izleme ve güncelleme ve inhibisyon gibi daha küçük süreçlere ayrılabilir. Yürütücü işlev, yaygın olarak, hem bilişsel hem de motor ağlarda önemli bir rolü olan beynin anatomik bir bölgesi olan frontal lob ile bağlantılıdır (75,94,95). Frontal lob hasarı olan hastalar genellikle yürütücü işlevin bir parçası olan bilişsel süreçlerde bozulma gösterir. Önceki araştırmalar, genellikle yürütücü işlev testlerine “frontal görevler” olarak atıfta bulunmuştur (94). Bununla birlikte görüntüleme çalışmaları, başta parietal lob olmak üzere beynin diğer bölgelerinin de yürütücü işlev görevlerinde aktive olduğunu göstermiştir (96). Frontal lob yapısal bütünlükteki yaşa bağlı değişikliklere duyarlıdır, bu da yaşlı erişkinlerde yürütücü işlev bozukluğunun yüksek prevalansını yaratmaktadır (95). Bu, beyindeki beyaz cevherde değişikliklere ve nihayetinde hasara

yol açabileceğinden, genellikle yaşlı erişkinlerde görülen vasküler risk faktörlerindeki artışa bağlanmaktadır. Yürütücü işlevdeki düşüş hem normal yaşlanmada hem de nörodejeneratif hastalıklarda bellekteki bozulmalardan önce gelebilmektedir (97). Yürütücü işlevdeki bozulmalar, yaşlı erişkinlerde düşme ve yavaş yürüme hızı ile de yüksek oranda ilişkilidir (98).

Çalışma belleği, beynin görevle ilgili bilgileri korumasına ve almasına izin veren bilişsel bir işlevdir. Geçmişte, çalışma belleği genellikle kısa süreli bellekle karıştırılmıştır. Bununla birlikte, kısa süreli bellek bozukluğu olan kişiler günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirmek için bilgiyi işleyebildiklerinden, sistemlerin ayrı ayrı çalıştığına dair kanıtlar vardır. Daha yakın zamanlarda, Miyake tarafından açıklanan model altında bellekten çok yürütücü işlevlerle ilişkilendirilmiştir. Çalışma belleği, bilgi depolamanın bazı yönlerini gerektirse de, kullanımı önemli bir yürütücü işlev olan bilişsel görevler sırasında bilgileri izleme ve güncelleme yeteneğidir (94). Çalışma belleği, bir rotayı takip etmek veya değişen çevreyi işlemek için gerekli olduğu için yürüme ile de ilişkilidir (99). Hafif bilişsel bozukluğu olan hastalarda yapılan bir çalışmada, çalışma belleği testlerindeki düşük performans, yavaş yürüme hızı ve çift görevli yürüme testlerindeki düşük performans ile ilişkilendirilmiştir (100).

Dikkat, beynin uyarılara karşı nasıl alıcı hale geldiği ve bu uyarıların nasıl işlemeye başlayabildiği ile ilgili yönleri olan bir dizi farklı süreç olarak tanımlanmaktadır (101). Dikkatin tek bir tanımı olmasa da yürütücü işlevin bir alt süreci olarak düşünülebilmektedir. Bir süreç olarak dikkat, sürekli, seçici ve bölünmüş dikkat olarak ayrılabilir (75). Seçici dikkat, ilgili uyarıların seçimi ve alakasız uyarıların eşzamanlı olarak inhibisyonudur (101). Sürekli dikkat, uzun bir süre boyunca önceden tahmin edilemeyen uyarıların tespit etme yeteneğidir (102). Bölünmüş dikkat, aynı anda birden fazla görevi yerine getirme ve görevler arasında geçiş yapma yeteneğidir (75,101). Dikkat kapasitesi bireyler arasında değişir ve yorgunluk, beyin hasarı ve yaşlanma gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir. Bölünmüş dikkat, bu faktörlerden kaynaklanan değişikliklere en duyarlı olduğu ve gerçek dünya durumunu temsil ettiği için özellikle ilgi çekicidir, çünkü bireyler çoğu zaman çoklu dikkat taleplerine duyarlıdır (101). Sağlıklı bireylerde izole bir görev olarak yürüyüş, sınırlı dikkat kaynakları gerektirmektedir. Bununla birlikte, nörodejeneratif veya nöromusküler hastalıkları olanlarda veya ek bir dikkat gerektiren

görev eklendiğinde, postüral kontrolün ve yürümede sabitliğin sağlanması için dikkat gerekmektedir (103,104).

Hareketlilik ve bilişsel alanlar arasındaki ilişki henüz tam olarak anlaşılmamıştır, ancak yürüme ve bilişsel süreçlerin düzenlenmesi ve kontrolünün, yaşlanma, yaşlanma ile ilişkili hastalıklar ve nöropatoloji sırasında hasara duyarlı ortak beyin alanları ve ağlarına dayandığı bilinmektedir (105). Hem motor hem de bilişsel bir görevi aynı anda tamamlamak, bu sistemler üzerinde stres yaratabilir ve hatta halihazırda bilişsel zorluklar varsa onları aşırı yükleyebilmektedir. Bu aşırı yüklenme, ölçülebilen görevlerden birinde veya her ikisinde eksikliklere yol açabilmektedir (106).

#### **4.4. Elektroensefalografi**

Elektroensefalografi (EEG) yöntemi, elektrotların kafatasının dışına yerleştirilmesini ve ~10 cm'den fazla korteks alanlarından gelen postsinaptik potansiyallerin ölçülmesini sağlayan, invaziv olmayan bir nörogörüntüleme tekniğidir (107). EEG yöntemi, nöral aktivitenin kaydedilmesine yönelik ilk girişimlerle yirminci yüzyılın başlarına kadar uzanan uzun bir geçmişe sahiptir. Ancak ilk insan EEG kayıtları 1924 yılında Hans Berger tarafından yapılmıştır (108). Postsinaptik potansiyeller, onlara neden olan aksiyon potansiyellerinden daha uzun sürmektedir, böylece EEG ile tespit edilebilen elektriksel alan değişiklikleri üretmektedir. EEG yoluyla elde edilen sinyal, düşük geçişli filtreler olarak hizmet eden (yani, yüksek frekanslara göre daha düşük frekans değişikliklerini tercih eden) birkaç dielektrik katmanından (örneğin meninksler, kraniyal kemikler) gelmektedir ve kalitesi kafa derisinin iletkenliğine bağlıdır. EEG sinyali, Fourier dönüşümü adı verilen bir matematiksel araç kullanılarak zaman alanından bir spektral alana dönüştürülebilmektedir. Bir periodogramla sonuçlanan Fourier dönüşümleri, sinyalin yaklaşık olarak ne kadar belirli bir frekansı içerdiğini göstermektedir. Tekrar eden zaman aralıklarında alınan bir dizi periodogram istiflenirse, seçilen frekanslardaki güç değişikliklerini gösteren bir spektrogram elde edilmektedir. Bu teknik, nöral dinamikler ve davranışsal sonuçlar arasında ilişkiler kurmaya izin verdiği için, deney sırasında insanların gerçekleştirdiği davranışlar zamana bağlı olduğunda faydalıdır. İnsanlar üzerinde EEG araştırmasının başlangıcından beri, spektrum kabaca belirli

davranışlarla ilişkilendirilen birkaç frekans bandına bölünmüştür (109). Frekanslar şu şekildedir:

- 0,5-3,5 Hz veya daha düşük dalgalara delta dalgaları denir ve yavaş dalga uykusundaki bebeklerde ve yetişkinlerde bulunmaktadır.
- 4-7 Hz dalgalara teta dalgaları denir ve tipik olarak küçük çocuklarda, uykulu yetişkinlerde ve gençlerde bulunmaktadır. Erken çalışmalar tetanın epizodik bellek ve görsel-mekansal işleme ile ilişkisine odaklanmıştır. Devamında gelen araştırmalar, tetanın bilişsel-duygusal olarak geniş bir spektrumda rol aldığını, duysal ve motor işleme ile, pasif-aktif dikkat süreçleri ile ilgili olduğunu göstermiştir. Teta, hipokampal fizyolojinin temel bir bileşeni olmasına karşın bilişsel korelasyonları hipokampusla sınırlı değildir. Seçici olarak prefrontal korteks, parieto-temporo-okspital ve limbik kortekslerde yer bularak kortiko-hipokampal etkileşimi oluşturur (110,111). Teta salınımlarının ayrıca yürütücü işlevlerde fonksiyonel bir inhibisyon görevi üstlendiği Huster ve arkadaşları tarafından belirtilmiştir (112).
- 8-13 Hz dalgalara alfa dalgaları olarak adlandırılır ve tipik olarak gözler kapatıldığında oksipital bölgede bulunmaktadır. Motor niyet, vücudun bir bölgesini (kollar, bacaklar ve dil) hareket ettirme isteğine bağlı olarak beyinde oluşan fizyolojik durum esnasında alınan EEG sinyallerinin gerçek zamanlı toplanması, işlenmesi, sinyallerden özellik çıkarılarak dışarıda kontrol edilmek istenen cihaz ya da sistemde istemin başlatılmasını hedefleyen bir yaklaşımdır. Kişinin hareketi henüz gerçekleştirilmeden EEG sinyallerinde meydana gelen değişime motor niyet dalgaları denilmektedir. Motor niyet dalgaları harekete başlamadan 2 saniye önce oluşmaya başlar ve hareket gerçekleşmeye başladıktan sonra azalarak kaybolmaktadır (113). Bu kayıt esnasında bireysel nöron potansiyeli bulunmamaktadır. Grup olarak bir nöron aktivitesinin toplamı şeklinde beyinde aktivasyon tespit edilmektedir. Nöronların aktivasyonunda meydana gelen motorla ilgili kortikal salınımların genellikle belirli bir frekans bandında spektral güçteki artışlara neden olmasına Olaya İlişkin Senkronizasyon (event related synchronization, ERS) denilmektedir. Tam tersi şeklinde desenkronizasyon görülmesinde ilgili aktivasyon azalmaktadır. Bu fenomen ise Olaya İlişkin Desenkronizasyon (event related desynchronization, ERD) olarak

tanımlanmaktadır (114). Sensorimotor dalga olarak da bilinen alfa dalgaları, beynin istemli hareket kontrolü ile ilişkilidir. Alfa dalgalarının ERS ve ERD paternlerinin beyinde duyuşsal ve motor bölgeleri uyardığı bilinmektedir. Alfa dalgaları, beyinde posterior parietal ve premotor kortekslerinde dinlenim esnasında (herhangi bir hareket ya da istemi yokken) tekrar eden bir dalga çeşididir. Hareket esnasında alfa dalgasının genliğı azalmaktadır, hareket bittiğinde ise genliğı tekrar artmaya başlamaktadır. (113,115)

- 15-28 Hz dalgalar beta dalgaları olarak adlandırılır, tipik olarak merkezi motor sisteminin işlevi ile ilişkilidir. Özellikle hareket bozukluklarının patofizyolojisinde ve yukarıdan aşağıya işlemeyle ilgili algısal ve bilişsel süreçlerde fonksiyonel rol aldığı bilinmektedir. Motor sistemlerde daha çok motor görevin başlatılması ve sürdürülmesi, bilişsel ve algısal boyuttan ise, bilişsel görevin sürdürülmesi ve istenmeyen-alakasız uyarıların yukarıdan aşağı elimine edilmesi görevlerini üstlenmektedir (116).
- 28-48 Hz gama dalgaları olarak adlandırılmaktadır ve yüksek konsantrasyonda kortikal kaynaklar gerektiren daha yüksek bilişsel süreçleri temsil ettiği düşünülmektedir.

Frekans bantları ve insan davranışı arasındaki bu ilişkiler, elektrotlar deneğın kafasına basitçe yerleştirdiğinden, herhangi bir invaziv prosedür olmadan belirli süreçleri (örneğin uyku, konuşma, hareketlilik) incelemek için bir fırsat sağlamaktadır. EEG'nin zamansal çözünürlüğünün yüksek olması, kullanımının güvenli ve kolay olması gibi avantajları bulunmaktadır. Dezavantajları arasında uzamsal çözünürlüğünün düşük olması, hareket gürültüsü başta olmak üzere tüm gürültülere hassas olması ve kaydın gürültüden temizlenme gerekliliğı sayılmaktadır.

#### **4.5. Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopisi**

Fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fYKS), nörovasküler-bağlanma fenomenine dayalı olarak beyin aktivitesini invaziv olmayan bir şekilde değerlendiren nörogörüntüleme tekniğidir. İlk olarak 1977'de Franz Jöbbsis tarafından insan beyinde kullanılmıştır (117). fYKS, nöral aktivite ile hemoglobinin bölgesel oksijenlenmesi arasındaki ilişkiden beyin fonksiyonunu dolaylı olarak değerlendirmek için, tipik olarak iki farklı dalga boyunu (600 ve 1000 nm) kullanmaktadır (118–120). Tekniğın

prensibi, kafa derisine yerleştirilmiş kaynaklardan dedektörlere göç eden ışığın farklı emilim ve saçılma özelliklerini göz önünde bulundurarak oksihemoglobin ve deoksihemoglobin konsantrasyon değişimini ölçmektir. Beyin dokusu tarafından absorbe edilmeden kafa yüzeyine geri dönen fotonlar dedektör tarafından algılanmaktadır. Kaynak tarafından gönderilen ve dedektör tarafından algılanan foton miktarı arasındaki fark üzerinden bölgedeki nöronların oksijen tüketim miktarı hesaplanmaktadır. Aktif nöronlar daha fazla oksijene ihtiyaç duymaktadır, dolayısıyla nöron aktivitesindeki artış tüketilen oksijen miktarı üzerinden hesaplanabilmektedir. fYKS tekniğinin, uzamsal çözünürlüğünün yüksek olmasıyla beraber, kullanımının kolay ve ucuz olması, hareket gürültüsüne karşı dirençli olması, günlük yaşamı inceleme fırsatı sunması gibi avantajları bulunmaktadır (121). Zamansal çözünürlüğünün düşük olması, subkortikal yapılar ile ilgili bilgi vermemesi dezavantajları olarak görülmektedir (122).

Son yıllarda, fYKS gibi fonksiyonel beyin görüntüleme cihazlarındaki gelişmeler, natüralist deneyler altında yürüme kontrolü, adım atma ve dik denge ile ilgili kortikal bölge çalışmalarına imkan sağlamıştır (123–125). Bu görüntüleme tekniğinin ilerlemesi, hareketli pozisyonda karmaşık motor davranışların altında yatan nöral mekanizmaları daha fazla inceleme potansiyeli sunmaktadır (120,126–128) . Şimdiye kadar, serbest hareket edilen görevler sırasında motor ve PMA'daki aktivasyonu ölçmek için fYKS teknolojisinin fizibilitesine ilişkin ön kanıtlar umut vericidir (129).

#### **4.6. Elektromiyografi**

Elektromiyografi (EMG), iskelet kaslarında üretilen elektriksel aktiviteyi kaydetmek ve değerlendirmek için kullanılan bir tekniktir. Aktive edilmiş kas hücreleri tarafından üretilen elektriksel potansiyeldeki değişiklikleri kaydetmek için elektromiyograf kullanılmaktadır. Kaydedilen EMG sinyalleri, tıbbi anormallikleri, bir kasın aktivasyon seviyesini tespit etmede ve insanlarda veya hayvanlarda hareketin biyomekaniğini analiz etmede kullanılmaktadır (130). Kas kasılması sırasında elektriksel uyarıları ölçmek için yüzey EMG kullanılmaktadır. Yüzey EMG'nin uygulaması kolaydır ve cildin yüzeyine kas göbeğinin üzerine noninvaziv olarak yerleştirilmektedir. Bununla birlikte dezavantajları, yerleştirilen elektrotların yüzeysel

kaslarla sınırlı olması ve bireysel kas aktivitesini izole etmenin zor olmasıdır (131). Kasların invaziv olmayan değerlendirmesi için yüzey EMG'sindeki öneriler (SENIAM), cildin sinyal gürültü oranını artıracak ve daha iyi EMG kayıtları oluşturacak şekilde hazırlanması gerektiğini özetlemektedir (132). Cildi hazırlama teknikleri farklılık göstermekte, ancak genel yaklaşım elektrot yerleştirilecek bölgenin alkol ile temizlenmesi ve daha iyi iletim oluşturmak için iletken jel kullanılmasıdır. SENIAM, referans elektrot yerleşiminin, el veya ayak bileğinde kas liflerine paralel olmasını önermektedir.

Üst ve alt ekstremitte hareketleri, EMG kullanılarak iskelet kaslarının yüzeyinden gelen sinyallerin kaydedilmesiyle başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Üst uzuvlar için, omuz, dirsek ile el bileği ve parmak hareketlerinin değerlendirilmesi için stratejiler geliştirilmiştir. Alt ekstremiteler için, çalışmalar temel olarak diz, ayak ve ayak bileğinin günlük yaşam aktiviteleri için fleksiyon ve ekstansiyon fazlarını içermektedir (133,134).

Yüzey EMG ve EEG biyo-sinyallerinin birleşimi, sinir sisteminin farklı bölümlerine doğrudan bağlantı ile daha verimli bir niyet tanıma arayüzü sağlayabilmektedir. Senna ve ark. gözlemlenen hareketlerin, gerçekleştirilen eylemlerle ilgili kaslara/bacaklara özgü artan potansiyelleri harekete geçirdiğini ileri sürmüştür (135). Liu ve ark. hareketle ilgili kortikal potansiyellerden plantar fleksiyon hareketlerinin kodunu çözerken, alt ekstremitelerden yürüme niyeti tespitinin önemini belirtmiştir (136).

## **5. MATERYAL VE METOT**

### **5.1. Çalışmanın Dizaynı ve Amacı**

Bu çalışmada, genç sağlıklı bireylerde istemli ve otomatik olarak başlatılan alt ekstremite motor hareket mekanizmalarının, kendiliğinden ve uyarana yanıt olarak adım başlatılması, adım başlatmanın inhibe edilmesi ve çalışma belleği görevi sırasında adım başlatılması durumlarının elektrofizyolojik ve hemodinamik yanıtlar ile incelenmesi amaçlandı.

Bu çalışma, İstanbul Medipol Üniversitesi, Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 21/09/2021 tarihli ve E-10840098-772.02-4604 nolu kararı sonucu alınan onay ile gerçekleştirilmiştir. Katılımcılara bilgilendirilmiş gönüllü onam formu imzalatıldı ve bu çalışma Helsinki Deklarasyonu ilkelerine uygun olarak yürütüldü.

### **5.2. Çalışmanın Yapıldığı Yer**

Çalışmamız İstanbul Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sinirbilim Yüksek Lisans Programı bünyesinde, İstanbul Medipol Mega Üniversite Hastanesi, REMER Klinik Elektrofizyoloji ve Nöromodülasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi.

### **5.3. Çalışmanın Süresi**

Çalışmamız Mart- Mayıs 2022 tarihleri arasında tamamlandı.

### **5.4. Çalışmanın Katılımcıları**

Çalışmaya bilgilendirilmiş onam formunu imzalayarak katılmayı kabul eden ve çalışmaya dahil edilme kriterlerini karşılayan 18-30 yaş arasında 10 genç erişkin katılımcı dahil edildi.

#### **5.4.1. Dahil edilme kriterleri**

- Sağ el baskın olmak
- 18-30 yaş arasında olmak



- Herhangi bir nörolojik veya psikiyatrik tanısının olmaması, nörolojik ve psikiyatrik ilaç kullanmamak
- Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği (MBDÖ) 'nden 21 ve üzerinde puan almış olmak

#### **5.4.2. Hariç tutulma kriterleri**

- Sol el baskın olmak
- Nörolojik ve psikiyatrik hastalık öyküsüne sahip olmak
- Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği'nden 21 ve altında puan almış olmak

### **5.5. Veri Toplama ve Analizi**

Çalışmamız İstanbul Medipol Üniversitesi REMER Klinik Elektrofizyoloji ve Nöromodülasyon Laboratuvarı'nda gerçekleştirildi. EEG ve fYKS kayıtları, eş zamanlı olarak data toplamaya imkan veren EEG kepi (actiCAP 128, Brain Products GmbH, Germany) kullanılarak gerçekleştirildi. EMG verileri, sağ bacağın tibialis anterior, gastrocnemius, vastus medialis ve biceps femoris kasları üzerinde iki bipolar Ag/AgCl elektrot kullanılarak 4 kanaldan kaydedildi. Katılımcıların hemodinamik yanıtlarının ölçümü için fYKS sistemi (Medical Technologies LLC, Berlin, Germany) kullanıldı (118). Her görevin başlangıcı, veri analizi sırasında iki modaliteyi senkronize etmek için kullanılan EEG amplifikatörleri ve fYKS sistemi tarafından eş zamanlı olarak kaydedildi.

#### **5.5.1. Montreal bilişsel değerlendirme ölçeği**

Bireylerin genel kognisyon durumunu değerlendirmek için Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği (MBDÖ) kullanıldı. MBDÖ; Nasreddine ve ark. tarafından bilişsel bozukluğun farklı evrelerini ölçmek için geliştirildi (137). Ölçekte dikkat ve konsantrasyon, yönetici işlevler, bellek, dil, görsel ve mekansal beceriler, soyut düşünme, hesaplama ve yönelim boyutlarını değerlendiren maddeler bulunmaktadır. Ölçekten alınabilecek en düşük puan 0, en yüksek puan 30'dur. 21 puan ve üzeri alan bireyler bilişsel açıdan normal olarak değerlendirilmektedir (138).

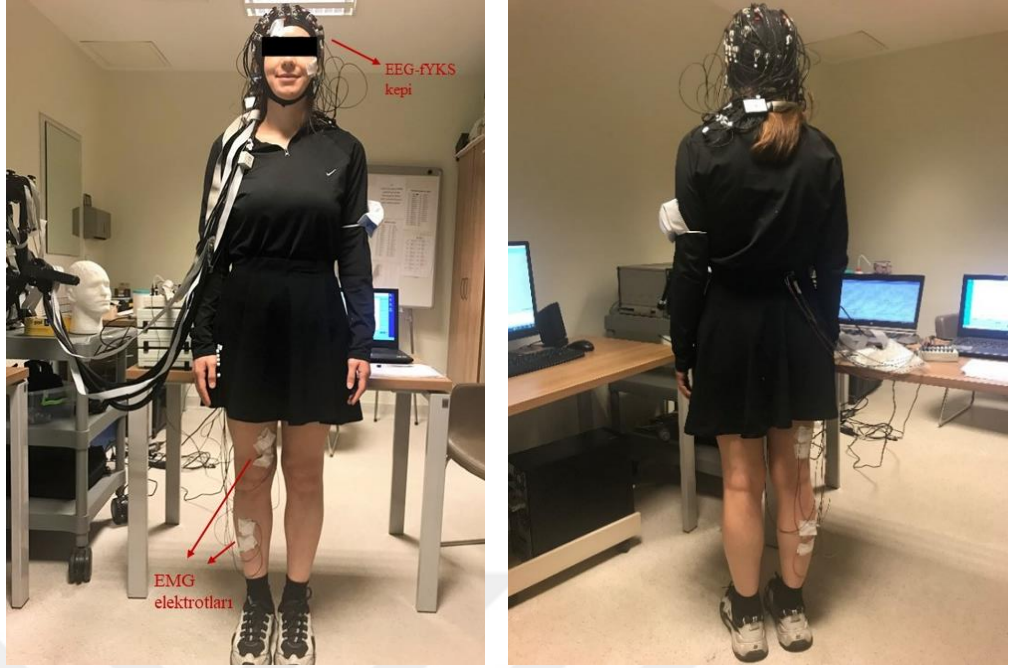
### **5.5.2. Edinburgh el tercihi anketi**

Yapılan çalışmalarda el tercihinin belirlenmesinde gözlem/yazı yazma gibi sadece tek eylem ile kişilerin dominant ellerinin belirlenmesinin genellikle sonucu yansıtmadığı; el tercih anketleriyle doğru sonuca ulaşıldığı belirtilmektedir (139). Edinburgh el tercihi anketi bu anketlerden en yaygın kullanılanıdır. Anketin uygulamasında bireylere on farklı motor görev (yazı yazma, diş firalama, makas kullanma gibi) sırasında el kullanımlarına yönelik sorular sorulur. Bireylerin verdikleri cevaba göre sağ veya sol el altında yer alan kutucuk işaretlenir. Burada kişilerin verdikleri cevaplara yönelik sağ el ve sol el soru adetlerinin çıkarılması gibi Geschwind Skorlaması'na göre hesaplamalar yapılmaktadır. Cevaplar Geschwind skoruna göre -100 ile +100 arasında değerlendirilmektedir. Her zaman sağ elle tercihinine +10, genellikle sağ elle tercihinine +5, her iki elle tercihinine 0, genellikle sol elle tercihinine -5, her zaman sol elle tercihinine -10 puan verilir ve puanlar toplanır. Skorunun negatif olması solaklık, pozitif olması sağlaklık lehindedir. Bu skora göre -40'ın altındakiler solak, -40 ile +40 arasındakiler ambidekster ve +40'ın üzerindekiler sağlak olmak üzere üç ayrı sınıflandırma yapılmaktadır.

### **5.6. Deney Protokolü**

Çalışmada katılımcılardan 4 farklı durumda adım başlatma görevi gerçekleştirmeleri istendi. İstemli adım başlatma görevi için uyarın sunumu olarak Libet'in deneyinde kullanılan saatin değiştirilmiş bir versiyonu kullanıldı (5,140). Diğer görevlerde kullanılan uyarın sunumu E-Prime (2.0) programı ile hazırlandı.

EEG ve fYKS kepinin hazırlanmasının ardından EMG elektrotları kas yüzeylerine yerleştirilmiştir. Katılımcılar ayakta rahat bir pozisyonda ekrana mesafesi yaklaşık 200 cm olacak şekilde konumlandırıldıktan sonra çekim öncesi görevler anlatılmış ve alıştırma deneyi gerçekleştirildi. Her görevden sonra veya katılımcının talebi üzerine oturmalı dinlenme süreleri (3-5 dakika) sunuldu. Deney ortamı Resim 5.6.1'de gösterilmiştir.

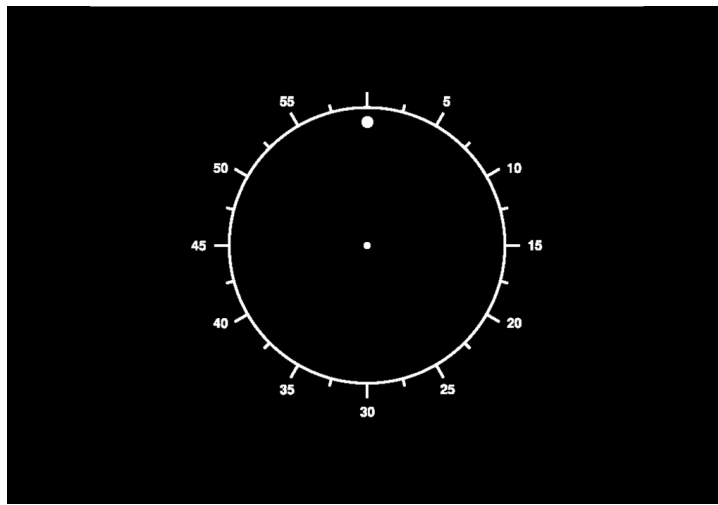


**Resim 5.6.1.** Deney odası ve EEG-fYKS düzeneği

### **5.6.1. İstemli adım başlatma görevi**

Deneyde katılımcılara harici herhangi bir uyarın verilmeden hareketin ortaya çıkması beklendi. Bunun için katılımcılara bilgisayar ekranında Libet'in deneyinde kullanılan saatin modifiye edilmiş bir versiyonu sunuldu (5). Saat ibreleri yerine, saat

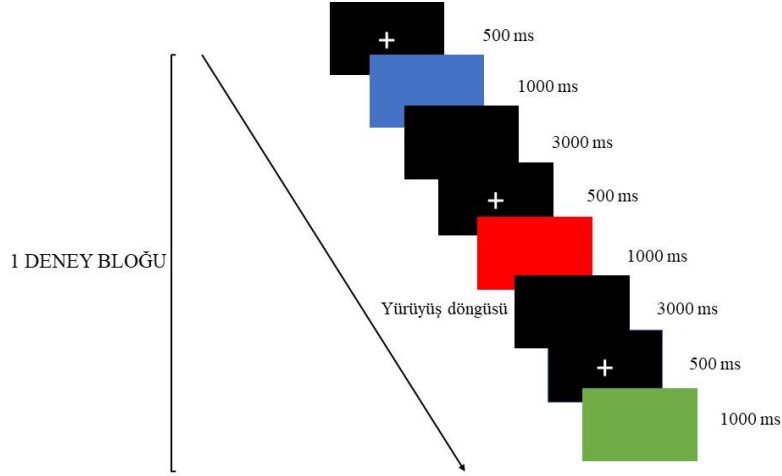
yüzünün merkezi etrafında sabit bir hızda (döngü başına 2560 ms) bir nokta dönmeye başladı (Şekil 5.6.1.1). Klasik Libet paradigmasında olduğu gibi, noktanın ilk turunda katılımcılardan herhangi bir işlem yapmamaları istendi (ilk turun amacı, noktanın hızına alışmalarıdır). İkinci rotasyon sırasında katılımcılardan adım atma isteğini deneyimlediklerinde, hareketi olabildiğince spontane olarak gerçekleştirmeleri istendi. Burada adım, sağ ayağın topuğunun zeminden kaldırılması ve bir adım öne yürütülmesi, sonrasında sol ayağın sağ ayak ile aynı hizaya getirilmesi ve ardından başlangıç pozisyonuna geri dönülerek sağlandı (141). Katılımcılara göz kırpmayı en aza indirmeleri ve saatteki sayıları sayma gibi herhangi bir ipucu kullanmamaları talimatı verildi (142). Katılımcılara, yalnızca bacağını bir adım uzunluğunda değil, aynı zamanda tüm vücudu sanki yürümeye başlayacakmış gibi hareket ettirmeleri açıkça söylendi. Sağ bacağına yerleştirilen EMG elektrotlarından gelen sinyaller ile motor hareket başlangıcı tespit edildi. Yürüyüş sırasında belirli bir zamanda sadece bir bacağın salınım fazında olabileceği varsayımı kullanılarak, sinyalin bölümleri duruş bölgeleri olarak işaretlendi (143). Katılımcılar yürüyüş döngüsünü tamamladıklarında, adım atma isteğini/dürtüsünü hissettikleri anda noktanın saat yüzeyindeki konumunu sözlü olarak bildirdiler. Daha sonra başlangıç konumuna dönerek görevi tekrarlamak için saatin döngüye başlamasını beklediler. Görev 40 yürüyüş döngüsü, toplamda 80 saat döngüsü olacak şekilde gerçekleştirildi.



Şekil 5.6.1.1. Libet saati

### 5.6.2. Otomatik adım başlatma görevi

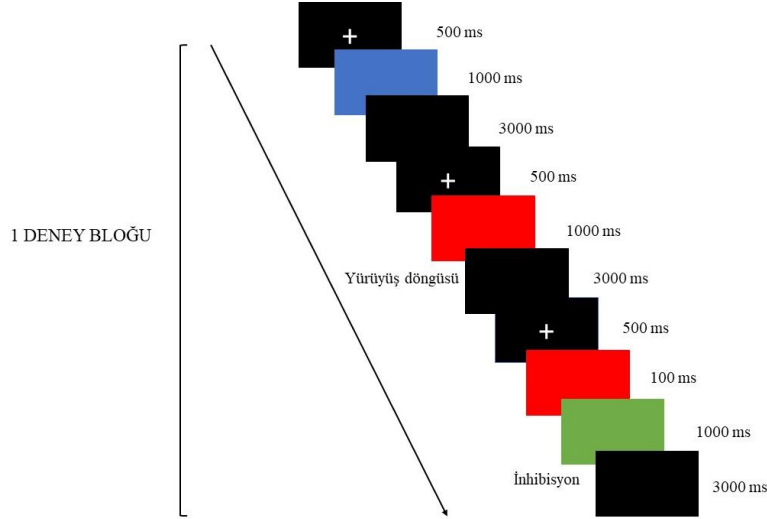
Deneyde, bilgisayar ekranında kırmızı, yeşil ve mavi renklerden oluşan uyarılar randomize olacak şekilde sunuldu. Katılımcılardan ekranda sunulan renklerden kırmızı rengi gördüklerinde bir yürüyüş döngüsünü tamamlayacak şekilde adım başlatmaları istendi. Uyarının görüntülenmesinin başlangıcında, katılımcılar sağ ayak ile adımı başlattılar ve sol ayak ile tamamladılar, böylece her iki ayak yanal olarak aynı pozisyona getirildi. Katılımcılara, görsel adım atma işareti görüldüğünde mümkün olduğunca çabuk adım atmaları ve adım sırasında, ayaklarının tam iniş yeri hakkında endişelenmeden ekrana bakmaya devam etmeleri talimatı verildi. Yanıt, hedef uyarının başlangıcında sağlandı ve hareketin tamamlanmasından sonra başlangıç noktasına döndü. Adım uzunluklarıyla tutarlı olması için deneklere birkaç deneme verildi. (85,141). Her uyarın, 500 ms'lik bir uyarınlar arası aralık (inter stimulus interval-ISI) ile 1000 ms olarak sunuldu. Her deneme (renk sunumu) arasında 3000 ms'lik bir denemeler arası aralık (inter-trial-interval-ITI) sunuldu. Katılımcılar, 6 hedef uyarın (kırmızı renk) ve 12 hedef olmayan uyarın (yeşil ve mavi renkler) içeren 6 deney bloğunu tamamladı. Toplamda 108 uyarın sunumu gerçekleştirildi. Her bir blok arası fYKS intervali 60 sn'dir (Şekil 5.6.2.1). Blok dizayn literatürde fYKS datası için uygun bir dizayn olarak rapor edilmesi sebebiyle oluşturulmuştur. EEG datasının analizi için uyarın bazlı dizayn gerçekleştirilmiştir (144). Deneyin başlamasından önce, görev talimatlarının doğru bir şekilde anlaşılmasını ve adım eyleminin doğru bir şekilde yürütülmesini sağlamak için her katılımcıya kısa bir eğitim verildi.



**Şekil 5.6.2.1.** Otomatik adım başlatma görevi deney tasarımı

### 5.6.3. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi

Deney, literatürde inhibisyon çalışmalarında kullanılan görevler örnek alınarak tasarlandı (85,86,145). Otomatik adım başlatma görevine benzer şekilde bilgisayar ekranında kırmızı, yeşil ve mavi uyarılar sunuldu ve katılımcılara kırmızı rengi gördüklerinde adım başlatmaları komutu verildi. Farklı olarak bu bölümde bazı kırmızı renkli hedef uyarılar ekranda 1000 ms sürede görünmek yerine 100 ms görünerek mavi veya yeşil renge geçildi ve kişinin hareketi başlatmadan inhibe etmesi beklendi. Her uyarı, 500 ms'lik bir ISI ile sunuldu. Hedef uyarılar 100 ms, hedef olmayan uyarılar 1000 ms olarak ekranda görüldü. Her deneme (renk sunumu) arasında 3000 ms'lik bir ITI sunuldu. Katılımcılar, 6 hedef uyarı (100 ms'de değişen kırmızı renk) ve 12 hedef olmayan uyarı (1000 ms'de değişen kırmızı, yeşil ve mavi renkler) içeren 6 deney bloğunu tamamladı. Toplamda 108 uyarı sunumu gerçekleştirildi. Her bir blok arası fYKS intervali 60 sn'dir (Şekil 5.6.3.1). Deney başlamadan önce, görev talimatları katılımcılara açık bir şekilde anlatıldı ve kısa bir eğitim verildi.



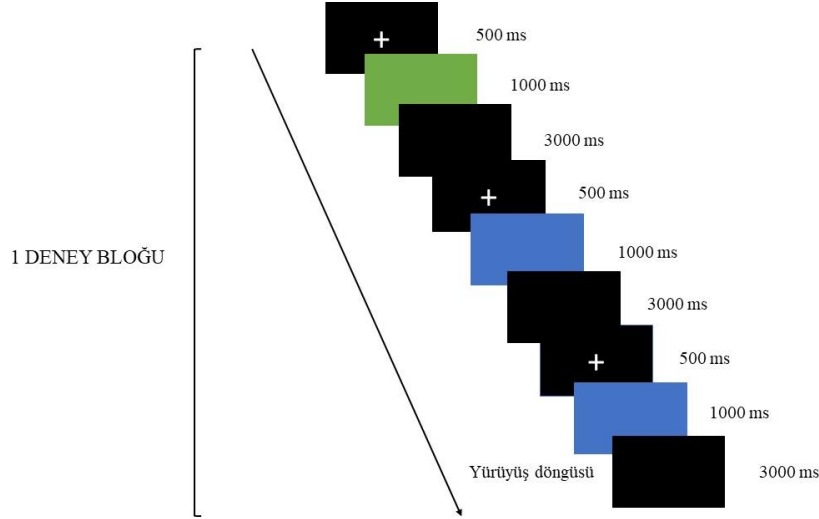
**Şekil 5.6.3.1.** Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi deney tasarımı

#### 5.6.4. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi

Deneyde, motor hareket ile birlikte çalışma belleği görevi olarak N-geri paradigmasının 1-geri versiyonu kullanıldı (146). N-geri görevleri literatürde genellikle vizüospasyal ve verbal olarak uygulanmaktadır ancak şekil ve renklerin de kullanıldığı n-geri görevleri mevcuttur (147,148). Bu görevde katılımcılara, ekranda sunulan görsel uyarılardan (kırmızı, yeşil ve mavi) gördükleri renk bir önceki renk ile eşleştiğinde sağ ayak ile adım başlatmaları ve bir adım döngüsünü tamamlamaları daha sonra hızlı bir şekilde başlangıç konumuna dönmeleri talimatı verildi. Doğru-yanlış cevap sayısı kaydedildi. Eşleşme olan uyarın sayısı toplam uyarın sayısının yaklaşık olarak %33'ünü oluşturdu. Uyarınlar, 500 ms'lik bir ISI ile 1000 ms olarak sunuldu. Her deneme (renk sunumu) arasında 3000 ms'lik bir ITI sunuldu. Katılımcılar, 6 hedef uyarın (bir önceki renk ile aynı olan renk) ve 12 hedef olmayan uyarın (bir önceki ile aynı olmayan renk) içeren 6 deney bloğunu tamamladı. Toplamda 108 uyarın sunumu gerçekleştirildi. Her bir blok arası FYKS intervali 60 sn'dir.

Örneğin renkler şu şekilde sunulduğunda:

Kırmızı → Yeşil → Mavi → Mavi son renk mavi ve 1 önceki renk de mavi olduğu için katılımcı yürüyüş döngüsünü başlattı (Şekil 5.6.4.1).



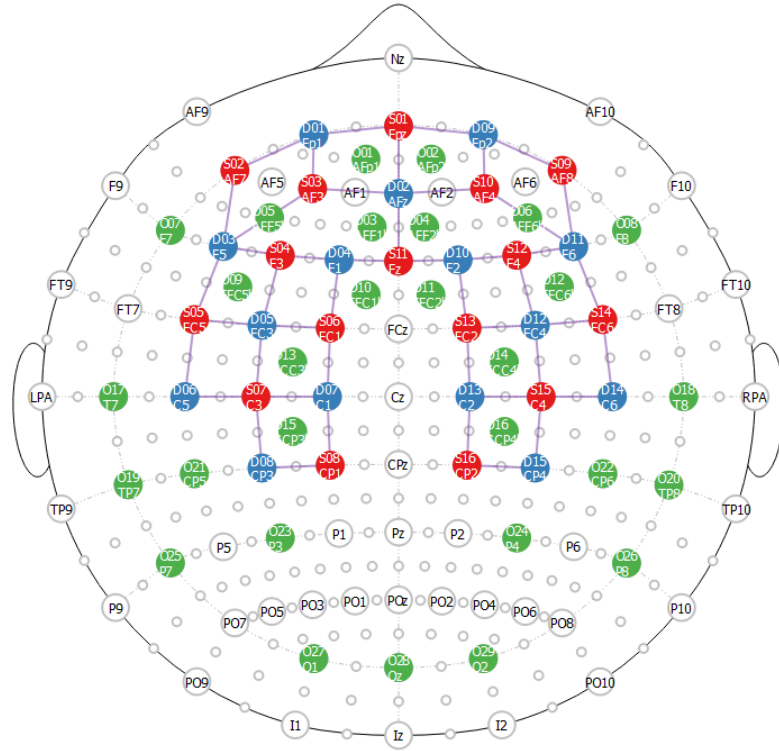
**Şekil 5.6.4.1.** Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi deney tasarımı

## 5.7. Nörogörüntüleme

### 5.7.1. EEG veri toplama ve analizi

EEG kayıtları, fYKS ve EEG için eş zamanlı olarak ölçüm yapmaya imkan veren EEG kepi (actiCAP 128, Brain Products GmbH, Germany) kullanılarak gerçekleştirildi. EEG elektrodu olarak 29 aktif elektrot kullanıldı (actiCap Active Electrodes, Brain Products, Germany). EEG kep yerleşimi uluslararası 10/20 sistemine göre yapıldı. Referans ve toprak elektrotları kulağa yerleştirilmiştir. Göz hareketlerini kaydedebilmek amacıyla tüm deneklerde sağ göz dikey ve sol göz yatay elektrotları kullanıldı. Elektrot yerleşimi, uluslararası 10-20 sistemine göre yapılmış olup, referans ve toprak elektrotları kulağa yerleştirildi (Şekil 5.7.1.1). İlgilenilen sinyalin, hazırlık potansiyelinin ağırlıklı olarak merkezi elektrotlar üzerinde gözlemlendiği göz önüne alındığında, EEG kaydı şu kanallardan alındı: AFp1, AFp2, AFF1h, AFF2h, AFF5h, AFF6h, F7, F8, FFC5h, FFC1h, FFC2h, FFC6h, FCC3h, FCC4h, CCP3h, CCP4h, T7, T8, TP7, TP8, CP5, CP6, P3, P4, P7, P8, O1, Oz, O2 (118). Toprak ve referans elektrotlarının dirençleri  $5k\Omega$ , yüzey elektrotlarının direnci ise  $10 k\Omega$  altında olacak şekilde çekime hazır hale getirildi. EEG kaydının çevirim içi örnekleme hızı 500 Hz olarak belirlendi.





**Şekil 5.7.1.1.** EEG elektrotları ile fYKS kaynak, dedektör ve kanalların yerleşimi (Yeşil renk EEG elektrotlarını, kırmızı renk fYKS kaynaklarını, mavi renk fYKS dedektörlerini göstermektedir.)

EEG veri analizi, BrainVision Analyzer 2.2. (Brain Products, GmbH, Almanya) programında gerçekleştirilmiştir. İlk olarak göz hareketleri ve göz kırpması komponentlerinin belirlenmesi için ham EEG verisine 0.01-60 Hz'lik filtre (IIR filters) uygulandı. Daha sonra EOG ve referans kanalları hariç tüm kanallarda bağımsız bileşen analizi (Independent Component Analysis/ICA) kullanılarak her katılımcı için göz kırpmaları ve göz hareketleri komponentleri çıkarıldı. ICA uygulanmış EEG verisi otomatik adım başlatma, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve çalışma belleği sırasında inhibisyon görevlerinde teta, alfa ve beta frekans bantları için uyarının geldiği noktadan 1000 ms (milisaniye) öncesi ve 1000 ms sonrası olacak şekilde segmentlere ayrıldı. Daha sonra EEG'de açığa çıkan göz hareketleri, göz kırpması ve kas hareketi gibi gürültüler manuel olarak ve kayıt dışı temizlendi. Gürültüden temizlenmiş kayıtlara her bir deneme serisi için ileri analiz olan Olaya-ilişkin Güç Spektrumu analizi uygulandı. İstemli adım başlatma görevinde ise ham EEG verisi saat döngü süresi olan 2560 ms'lik segmentlerin ardından EMG başlangıç noktaları belirlendi ve bu noktalar adım başlangıcını belirtmek için 0 noktası olarak

işaretlendi. EEG verisi daha sonra adım başlangıcından 2000 ms öncesi ve 2000 ms sonrası olacak şekilde tekrar segmentlere ayrıldı, ICA kullanılarak göz kırpmaları ve göz hareketleri komponentleri çıkarıldı. Sonraki işlemler diğer görevlerle aynı şekilde yapıldı.

Olaya-İlişkin Güç Spektrumu analizi zaman ve frekans düzleminde gerçekleştirildi. EEG verileri wavelet transformu (dalgacık dönüşümü) kullanılarak zaman ve frekans düzleminde incelendi. Bu yöntemde teta, alfa ve beta frekans bantlarının wavelet analizi yapıldı. Gürültüden temizlenmiş ve segmentlere ayrılmış EEG verisine her bir frekans bandının olaya ilişkin güç spektrumu analizi için Tablo 5.7.1.1'de verilen parametrelerle wavelet transformu uygulandı ve ardından wavelet uygulanmış tüm segmentlerin ortalaması alındı. Wavelet uygulanmış ve ortalaması alınmış verinin her bir frekans bandı için olaya-ilişkin güç spektrumu değerleri hesaplandı ve bu değerler istatistiksel analizde kullanıldı.

**Tablo 5.7.1.1.** Olaya-ilişkin güç spektrumu analizinde kullanılan parametreler

	Frekans	Cycle	Baseline Correction
Teta	4-7	3	-500 -300
Alfa	8-13	3	-500 -300
Beta	15-30	6	-300 -100

### 5.7.2. fYKS veri toplama ve analizi

Bu çalışmada, hareket ile ilişkili kortikal ağ değişikliklerini tanımlamak için adım başlatma görevleri sırasında eşzamanlı olarak EEG ve fYKS verileri toplandı. fYKS sinyallerini 3.91 Hz örnekleme hızında ölçmek için çok kanallı bir fYKS sistemi (Medical Technologies LLC, Berlin, Germany) kullanıldı. 31 optod (16 kaynak 15 dedektör) ile uluslararası 10–20 EEG yerleştirme sistemine göre bilateral frontal ve parietal korteksler boyunca toplam 46 kanaldan ölçüm yapıldı. Optodlar arası mesafe 3 cm olarak sabitlendi. fYKS kanal konumlarına karşılık gelen bölgeler Tablo 5.7.2.1'de verilmiştir.

Elde ettiğimiz her veri, MATLAB tabanlı HOMER-2 programı ile analiz edilmiştir. fYKS sinyallerini işlemek için, kardiyak, respiratuar ve motor artefaktları

gidermek amacıyla 0 Hz ve yüksek kesme frekansı 0,5 Hz olmak üzere band pass filtre uygulanmıştır. fYKS ölçümleri esnasında katılımcıların istenmeyen hareketlerine dayalı oluşan artefaktların çıkarıp datayı daha işlevsel hale getirmek amacıyla “motion correct wavelet” işlemi uygulandı. Bu amaçla AMP eşik değeri 5,00 olarak tanımlandı. (149). Deney düzeneği için uyaran sonrası 0- 90. saniyeler arası hesaplandı ve baseline değerleri için -2- 0. saniyeleri arası değişimler değerlendirildi. Daha sonra HOMER-2 analizi sonucu hesaplanan hemoglobin konsantrasyon değerleri istatistiksel analiz için kullanıldı.

**Tablo 5.7.2.1.** fYKS optot lokasyonları ve karşılık gelen bölgeler

<b>Kanal Adı</b>	<b>Optot Numarası</b>	<b>Optot Lokasyonu</b>	<b>Brodmann Alanı</b>
Kanal 1	S1-D1	Fpz-Fp1	PFK (frontopolar alan)-PFK (frontopolar alan)
Kanal 2	S1-D2	Fpz-AFz	PFK (frontopolar alan)- DLPFK
Kanal 3	S1-D9	Fpz-Fp2	PFK (frontopolar alan)-PFK (frontopolar alan)
Kanal 4	S2-D1	AF7-Fp1	DLPFK- PFK (frontopolar alan)
Kanal 5	S2-D3	AF7-F5	DLPK-DLPFK
Kanal 6	S3-D1	AF3-Fp1	DLPFK- PFK (frontopolar alan)
Kanal 7	S3-D2	AF3-AFz	DLPFK-DLPFK
Kanal 8	S3-D3	AF3-F5	DLPFK- DLPFK
Kanal 9	S4-D3	F3-F5	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)-DLPFK
Kanal 10	S4-D4	F3-F1	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 11	S4-D5	F3-FC3	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 12	S5-D3	FC5-F5	Broka Alanı (Pars Triangularis)-DLPFK
Kanal 13	S5-D5	FC5-FC3	Broka Alanı (Pars Triangularis)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 14	S5-D6	FC5-C5	Broka Alanı (Pars Triangularis)- Primer Somatosensoriyel Korteks

Kanal 15	S6-D4	FC1-F1	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 16	S6-D5	FC1-FC3	Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 17	S6-D7	FC1-C1	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)-Somatosensoryel Asosiyasyon Alanı
Kanal 18	S7-D5	C3-FC3	Primer Motor Korteks- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 19	S7-D6	C3-C5	Primer Motor Korteks- Primer Somatosensoryel Korteks
Kanal 20	S7-D7	C3-C1	Primer Motor Korteks -Somatosensoryel Asosiyasyon Alanı
Kanal 21	S7-D8	C3-CP3	Primer Motor Korteks- Primer Somatosensoryel Korteks
Kanal 22	S8-D7	CP1-C1	Somatosensoryel Asosiyasyon Alanı- Somatosensoryel Asosiyasyon Alanı
Kanal 23	S8-D8	CP1-CP3	Somatosensoryel Asosiyasyon Alanı-Primer Somatosensoryel Korteks
Kanal 24	S9-D9	AF8-Fp2	DLPFK- PFK (frontopolar alan)
Kanal 25	S9-D11	AF8-F6	DLPFK- DLPFK
Kanal 26	S10-D2	AF4-AFz	DLPFK- DLPFK
Kanal 27	S10-D9	AF4-Fp2	DLPFK- PFK (frontopolar alan)
Kanal 28	S10-D11	AF4-F6	DLPFK-DLPFK
Kanal 29	S11-D2	Fz-AFz	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)-DLPFK
Kanal 30	S11-D4	Fz-F1	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 31	S11-D10	Fz-F2	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 32	S12-D10	F4-F2	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 33	S12-D11	F4-F6	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)-DLPFK

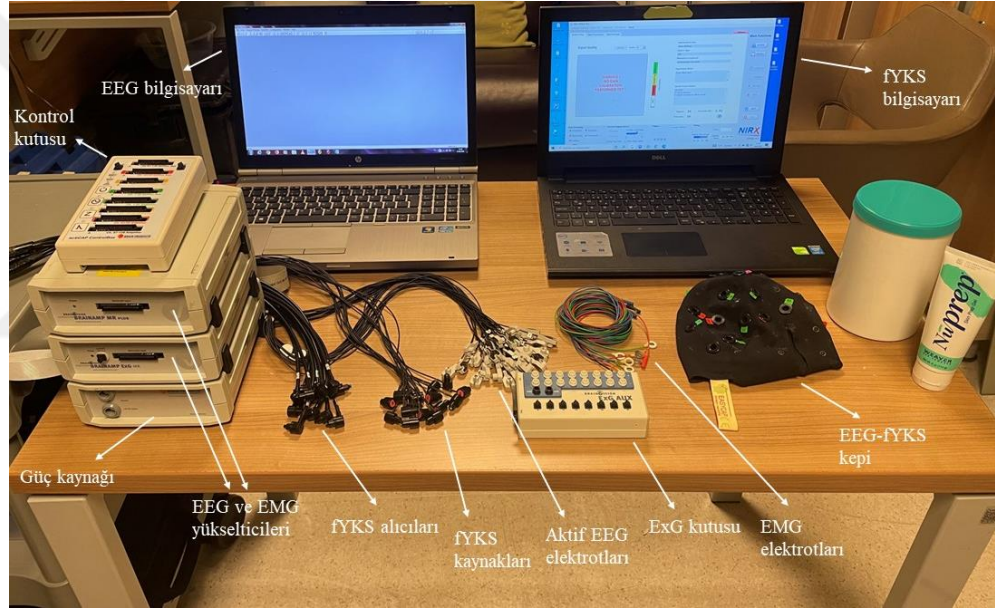
Kanal 34	S12-D12	F4-FC4	Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 35	S13-D10	FC2-F2	Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)- Premotor/Presuplementer Motor Alan (preSMA)
Kanal 36	S13-D12	FC2-FC4	Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 37	S13-D13	FC2-C2	Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)- Somatosensoriyel Asosiyasyon Alanı
Kanal 38	S14-D11	FC6-F6	Broka Alanı (Pars Triangularis)-DLPFK
Kanal 39	S14-D12	FC6-FC4	Broka Alanı (Pars Triangularis)- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 40	S14-D14	FC6-C6	Broka Alanı (Pars Triangularis)- Primer Somatosensoriyel Korteks
Kanal 41	S15-D12	C4-FC4	Primer Motor Korteks- Premotor/Suplementer Motor Alan (SMA)
Kanal 42	S15-D13	C4-C2	Primer Motor Korteks -Somatosensoriyel Asosiyasyon Alanı
Kanal 43	S15-D14	C4-C6	Primer Motor Korteks- Primer Somatosensoriyel Korteks
Kanal 44	S15-D15	C4-CP4	Primer Motor Korteks- Primer Somatosensoriyel Korteks
Kanal 45	S16-D13	CP2-C2	Somatosensoriyel Asosiyasyon Alanı- Somatosensoriyel Asosiyasyon Alanı
Kanal 46	S16-D15	CP2-CP4	Somatosensoriyel Asosiyasyon Alanı- Primer Somatosensoriyel Korteks

**S:** Kaynak; **D:** Dedektör; **DLPFK:** Dorsolateral Prefrontal Korteks; **PFK:** Prefrontal Korteks; **SMA:** Suplementer Motor Alan

### 5.7.3. EMG veri toplama ve analizi

EMG verileri, en erken hareket başlangıcı ölçümünü elde etmek için bipolar yüzey Ag/AgCl elektrotları kullanılarak sağ bacağın tibialis anterior, gastrocnemius, vastus medialis ve biceps femoris kasları üzerinden 4 kanaldan kaydedildi (BrainAmp MR Plus ve BrainAmp ExG, Brain Products GmbH, Gilching, Almanya) (Resim 5.7.3.1). Bu kaslar, yürümedeki hızlı kas aktivasyonu nedeniyle seçildi (150). EMG elektrotları, SENIAM'ın tavsiyelerine göre pozisyonlara yerleştirildi (132).

İstemli adım başlatma görevinde motor hareketleri istek/dürtü zamanından ayırmak için hareket anı yerine sözlü geri bildirimler tercih edildi. Her deneme için hareketin başlangıcı değerlendirildi. Bu aşamada BrainVision Analyzer programı içerisindeki EMG başlangıç (onset) süreleri 0 noktasına göre 200 ms öncesi ve 700 ms sonrasındaki EMG aktivasyonları program tarafından bulunacak şekilde ayarlandı. Adım başlangıcının daha kesin olması için Bipolar EMG sinyallerinin genliğinde, yani hareket başlatıldığında meydana gelen değişiklikler EEG verisi üzerinde manuel olarak belirlendi. Bu yöntemi kullanarak dört hareket başlangıç anı belirlendi (her kas için bir tane) ve ilk başlangıç kullanıldı (151).



**Resim 5.7.3.1.** EEG, fYKS ve EMG veri toplama araçları

## 5.8. İstatistiksel Analiz

EEG verilerinin analizi için Jamovi 2.3.13 versiyonu kullanıldı. Görevler arasındaki istatistiksel analizde tekrarlı ölçümler analizi (Repeated Measures ANOVA) kullanıldı. Elektrotlar kümelenecek şekilde 6 lokasyon oluşturuldu (AFp1-AFF1h, AFF5h-F7, FFC1h-FFC5h-FCC3h, CCP3h-CP5, T7-TP7, P3-P7-O1). ANOVA analizinde deney paradigmasındaki zamana bağlı faktörleri; görev tipi (istemli adım başlatma, otomatik adım başlatma, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve

Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevleri), lokasyon (Frontal1, Frontal2, Fronto-Santral, Santro-Parietal, Temporo-Parietal, Parieto-Oksipital) ve hemisfer (sol, sağ) oluşturdu. Anlamlılık değeri  $p < 0,05$  olarak kabul edildi.

fYKS istatistiksel analizi için IBM SPSS (Statistical Package for Social Science) 25.0 versiyonu kullanıldı. Verilerin tanımlayıcı istatistiklerinde ortalama ve standart sapma değerleri sunuldu. Değişkenlerin normal dağılımını Kolmogorov-Smirnov Testi ile test edildi. Varyansların homojenliğine bakılmaksızın, deney paradigmasındaki zamana bağlı farklılıklar ve Post-hoc veriler İki Yönlü Tekrarlanan lm ANOVA (3x2x2 modeli) ile analiz edildi. Anlamlılık değerleri  $p < 0,05$  olarak kabul edildi.



## 6. BULGULAR

### 6.1. Demografik Veriler

Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği sonucunda 21 ve üzerinde puan alan kişiler çalışmaya dâhil edildi. Katılımcıların tümü sağ el dominanttı. Katılımcıların yaşları en az 19 ve en fazla 29'du ve yaş ortalamaları  $25 \pm 3,49$  idi. Katılımcılara ait demografik bilgiler Tablo 6.1.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 6.1.1.** Katılımcılara ait demografik özellikler

		(n=10)
Yaş (Ort±SS)		25 ± 3, 49
Cinsiyet (n / %)	Kadın	5 / 50
	Erkek	5 / 50
El Tercihi (n / %)	Sağ	10 / 100
	Sol	0 / 0
Eğitim Seviyesi (n / %)	Lise	2 / 20
	Lisans	4 / 40
	Yüksek lisans	4 / 40
MBDÖ Skoru (Ort±SS)		29 ± 1,88

(Ort: Ortalama; SS: Standart Sapma; n: Katılımcı Sayısı MBDÖ: Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği)

### 6.2. EEG Bulguları

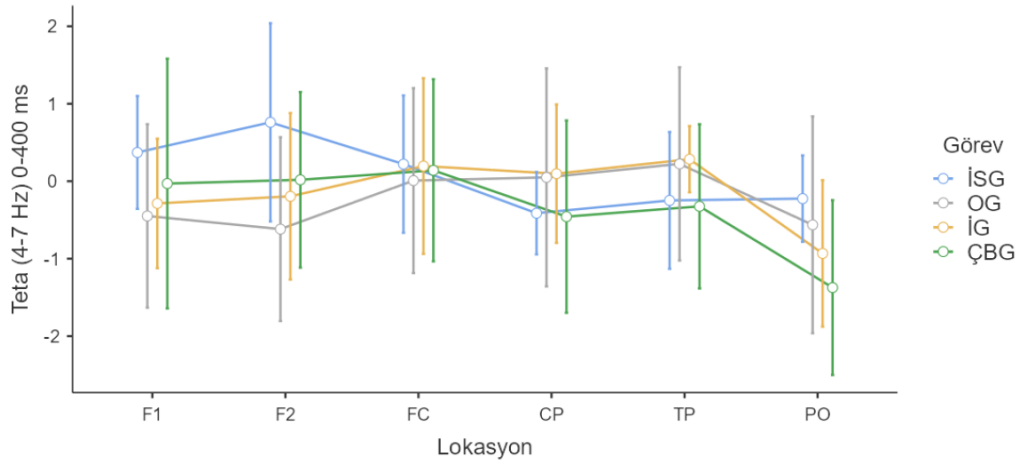
0-500 milisaniye zaman aralığında yapılan tüm analizlerde, istemli adım başlatma görevindeki niyet/istemin karşılık geldiği osilasyonu görmek amacıyla literatürle uyumlu şekilde 0 noktasının öncesi olan 500 milisaniyelik zaman dilimi segmente edildi (133,152). 0 noktası adımın başladığı nokta olarak kabul edildi ve geriye doğru 500 milisaniye alındı. Diğer görevlerde ise uyarana bağlı hareketi değerlendirmek ve niyet/istem ile arasındaki farkı ortaya koymak için sıfır noktası uyaranın geldiği an olarak kabul edildi ve 500 milisaniye sonrası segmente edilerek analiz edildi. Tüm görevlerde 500 milisaniyelik zaman dilimi karşılaştırıldı.



### 6.2.1. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan teta yanıtları

Teta yanıtının istatistiksel analizinde, grup içi faktör olarak 4 farklı adım başlatma görevi, 6 farklı lokasyon ve 2 hemisfer alınarak tekrarlayan ölçümler için ANOVA analizi yapıldı.

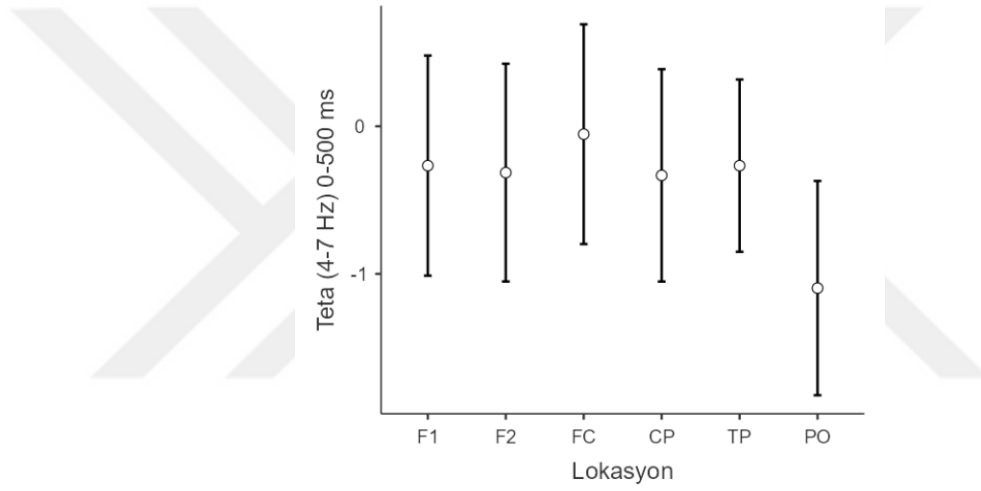
0-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p=0,005$ ). Post hoc analizlerde lokasyonlar arasında anlamlı fark bulunmadı. 0-400 milisaniyede görev\*lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p=0,013$ ). Post-hoc analizlerde anlamlı fark bulunmasa da en yüksek teta yanıtının istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2’de, otomatik adım başlatma görevinde Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral ve Temporo-Parietal bölgelerde, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Fronto-Santral bölgede olduğu görüldü (Şekil 6.2.1.1). 0-400 milisaniyede tüm görevler için sol hemisferde sağ hemisfere göre anlamlı fark olduğu görüldü ( $p=0,006$ ).



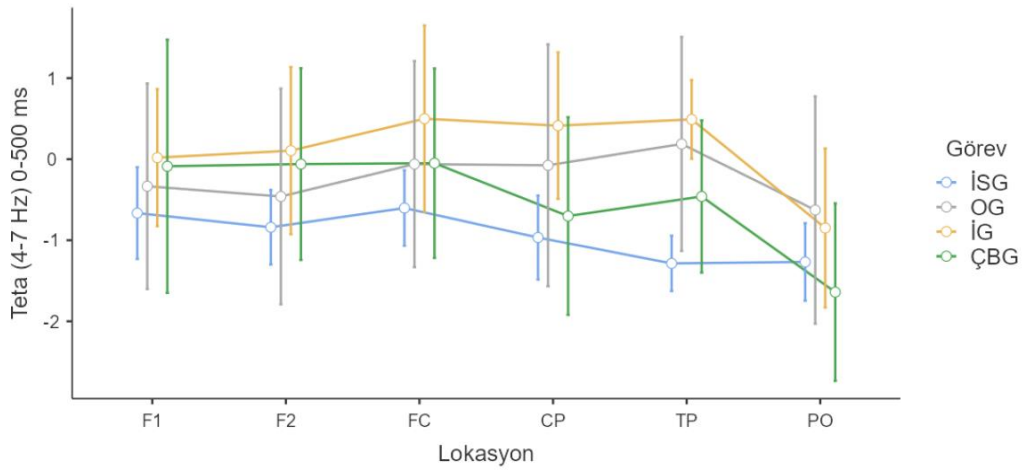
**Şekil 6.2.1.1.** Görev\*Lokasyon için 0-400 ms’de teta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

0-500 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p<,001$ ). Tüm görevlerde Fronto-Santral bölgede diğer bölgelere göre daha yüksek teta yanıtının çıktığı görüldü (Şekil 6.2.1.2). Ayrıca tüm görevlerde Santro-Parietal bölgelerdeki teta yanıtının Parieto-Oksipital bölgedeki teta

yanıtından anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p=0,034$ ). Görev\*Lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu görüldü ( $p=0,035$ ). İstemli adım başlatma görevinde en yüksek teta yanıtının Frontal Bölge 1 ve Fronto-Santral bölgelerde, otomatik adım başlatma görevinde Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde Frontal Bölge 1, Frontal Bölge 2 ve Fronto-Santral bölgelerde olduğu görüldü (Şekil 6.2.1.3) 0-500 milisaniyede tüm görevler için sol hemisferde sağ hemisfere göre anlamlı fark bulundu ( $p=0,002$ ).

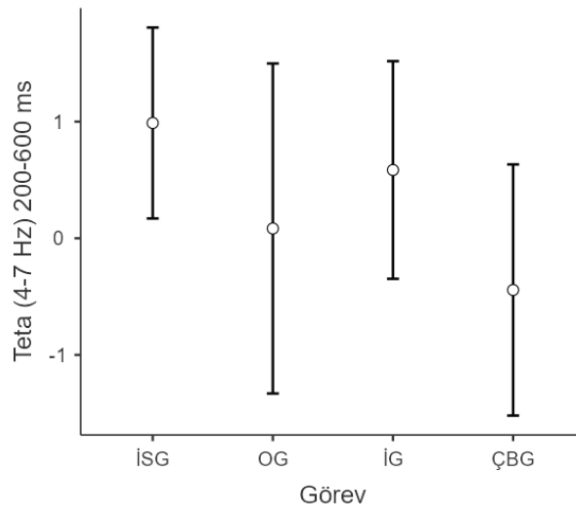


**Şekil 6.2.1.2.** Lokasyonlar için 0-500 ms'de teta yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



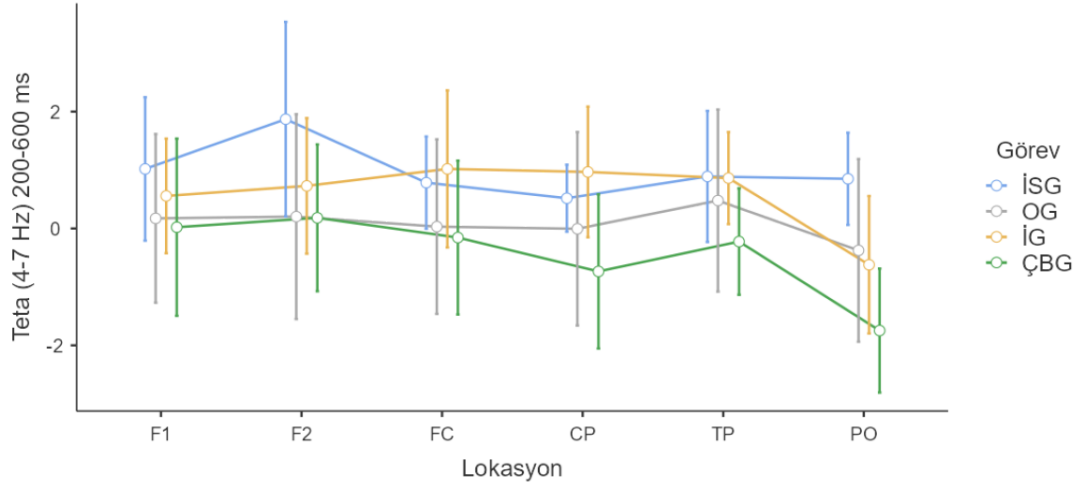
**Şekil 6.2.1.3.** Görev\*Lokasyon için 0-500 ms'de teta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

200-600 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; görev farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p=0,020$ ). Post hoc analizlerde anlamlı fark görülmesine de en yüksek teta yanıtının istemli adım başlatma görevinde ortaya çıktığı görüldü. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevindeki teta yanıtının, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevindeki teta yanıtından anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p=0,009$ ) (Şekil 6.2.1.4).



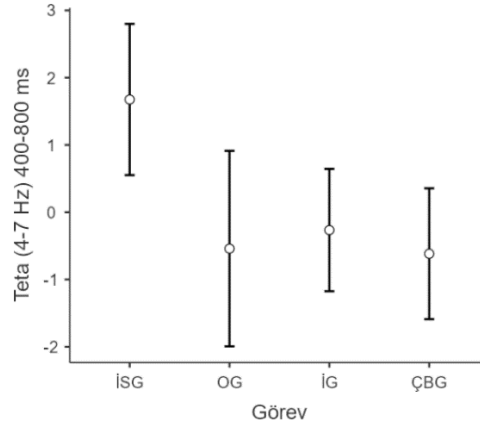
**Şekil 6.2.1.4.** Görevler için 200-600 ms'de teta yanıtı (X eksenini görevleri, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

200-600 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p < ,001$ ). Post hoc analizlerde Görev\*Lokasyonda istemli adım başlatma görevinde en yüksek teta yanıtının Frontal Bölge 2’de, otomatik adım başlatma görevinde Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral ve Santro-Parietal bölgelerde, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2’de olduğu görüldü (Şekil 6.2.1.5). 200-600 milisaniyede tüm görevler için sol hemisferde sağ hemisfere göre anlamlı fark bulundu ( $p=0,033$ ).



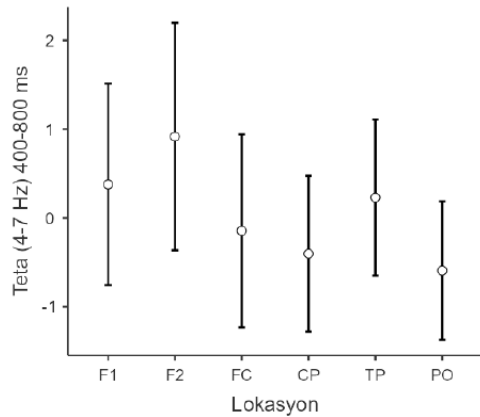
**Şekil 6.2.1.5.** Görev\*Lokasyon için 200-600 ms’de teta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

400-800 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; görevler arasındaki fark istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p < ,001$ ). Post hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde teta yanıtının diğer görevlere kıyasla anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü (İSG-OG için  $p=0,043$ ; İSG-İG için  $p < ,001$ ; İSG-ÇBG için  $p=0,004$ ) (Şekil 6.2.1.6).

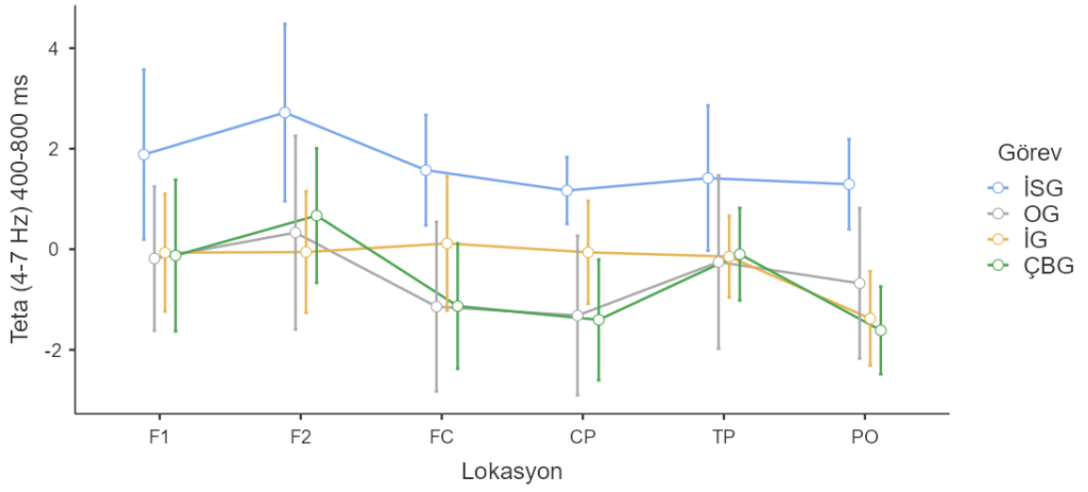


**Şekil 6.2.1.6.** Görevler için 400-800 ms'de teta yanıtı (X eksenini görevleri, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

400-800 milisaniye zaman aralığında lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p < .001$ ). Post-hoc analizlerde tüm görevler için Frontal Bölge 2'de Parieto-Oksipital bölgeye kıyasla teta yanıtının anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p = 0.019$ ) (Şekil 6.2.1.7). Görev\*Lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmuştur ( $p = 0.039$ ). Post-hoc analizlerde teta yanıtının istemli adım başlatma ve otomatik adım başlatma görevlerinde Frontal Bölge 2'de, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2'de en yüksek olduğu görüldü (Şekil 6.2.1.8).



**Şekil 6.2.1.7.** Lokasyonlar için 400-800 ms'de teta yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

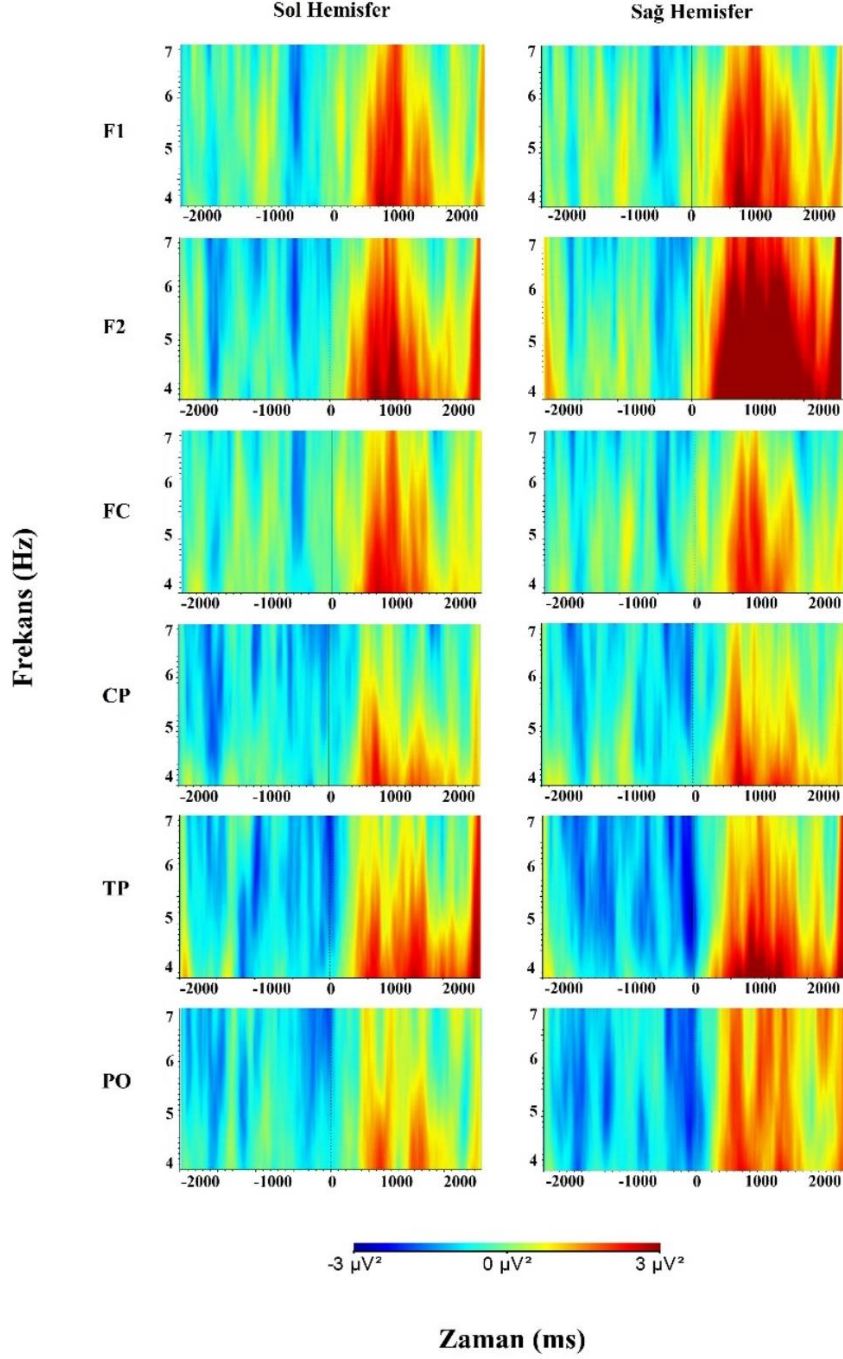


**Şekil 6.2.1.8.** Görev\*Lokasyon için 400-800 ms’de teta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini teta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

Adım başlatma görevleri sırasında ortaya çıkan teta yanıtının büyük ortalaması görselleri Şekil 6.2.1.9, Şekil 6.2.1.10, Şekil 6.2.1.11 ve Şekil 6.2.1.12 ’de gösterilmektedir.

## Teta (4-7 Hz) Güç Spektrumu

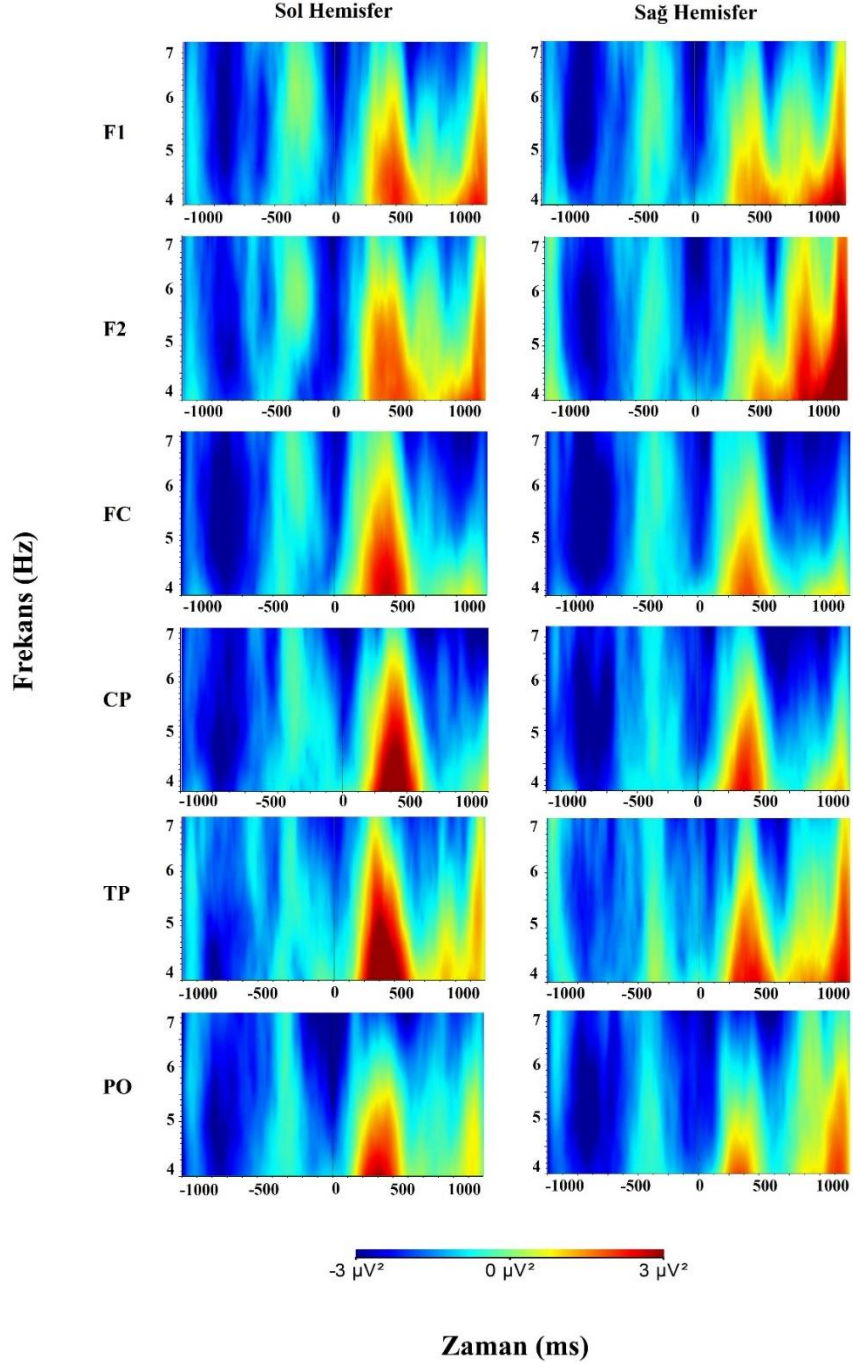
### İSG



**Şekil 6.2.1.9.** İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası istemli adımın başladığı noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Teta (4-7 Hz) Güç Spektrumu

OG

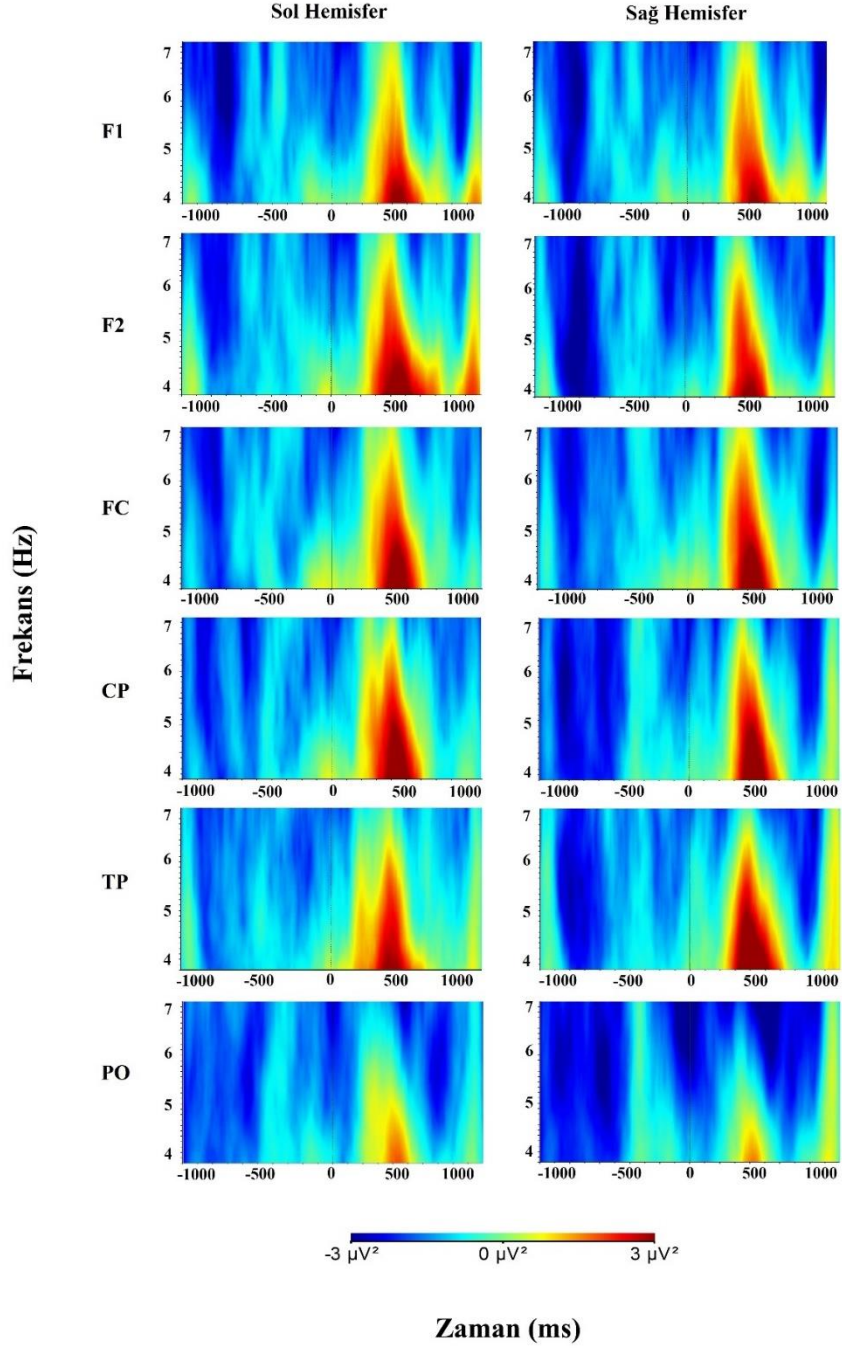


**Şekil 6.2.1.10.** Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



## Teta (4-7 Hz) Güç Spektrumu

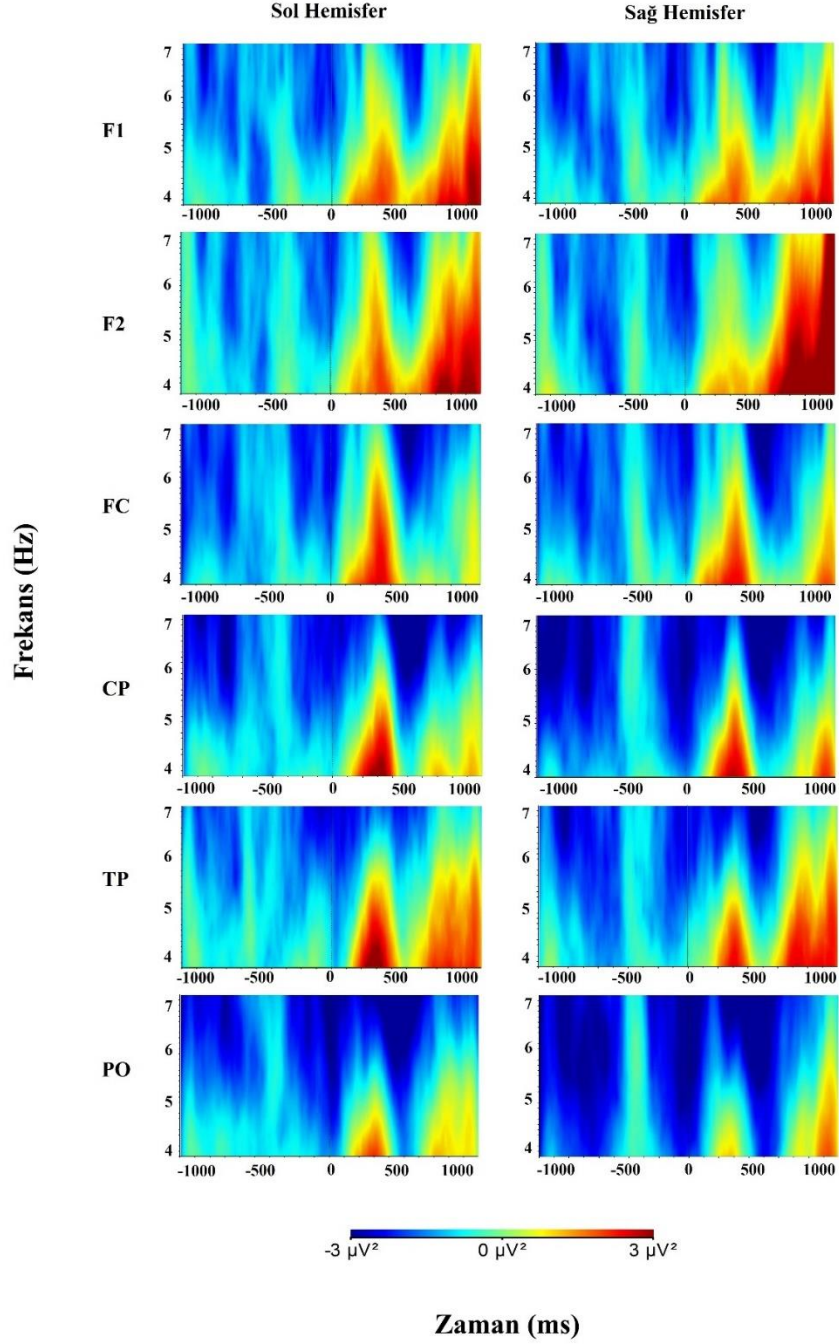
İG



Şekil 6.2.1.11. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması (X eksenı zamanı, Y eksenı frekansını temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Teta (4-7 Hz) Güç Spektrumu

### ÇBG

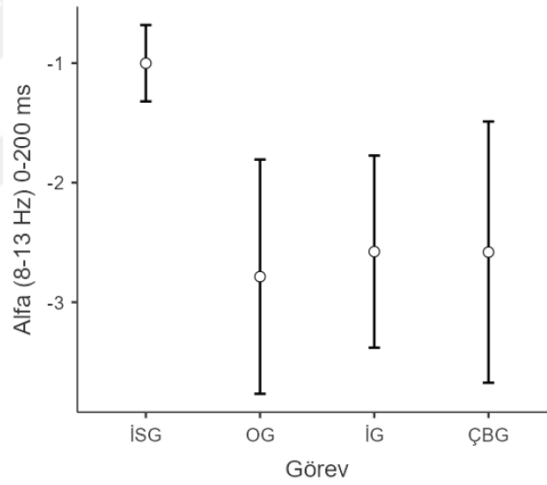


**Şekil 6.2.1.12.** Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan teta yanıtının genel ortalaması (X eksenı zamanı, Y eksenı frekansını temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

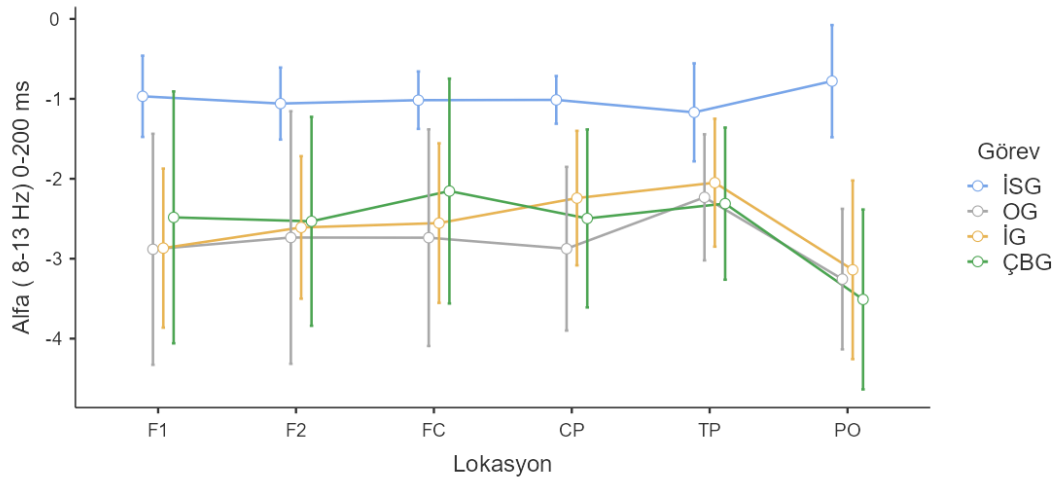
### 6.2.2. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan alfa yanıtları

Alfa yanıtının istatistiksel analizinde, grup içi faktör olarak 4 farklı adım başlatma görevi, 6 farklı lokasyon ve 2 hemisfer alınarak tekrarlayan ölçümler için ANOVA analizi yapıldı.

0-200 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için; Görevler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p=0,002$ ). Post-hoc analizlerde alfa yanıtının istemli adım başlatma görevinde, diğer tüm görevlerden daha yüksek çıktığı, otomatik adım başlatma görevine göre anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p=0,049$ ) (Şekil 6.2.2.1). Görev\*Lokasyonda çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde Temporo-Parietal lokasyondaki alfa yanıtının Parieto-Oksipital lokasyondaki yanıtın anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p=0,021$ ) (Şekil 6.2.2.2).



**Şekil 6.2.2.1.** Görevler için 0-200 ms’de alfa yanıtı (X eksen görevleri, Y eksen alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

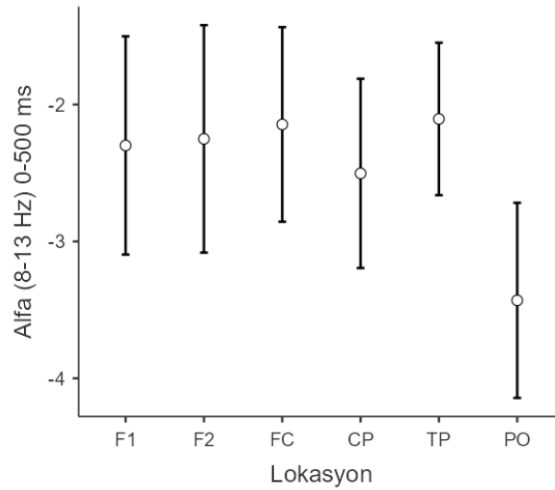


**Şekil 6.2.2.2.** Görev\*Lokasyon için 0-200 ms’de alfa yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

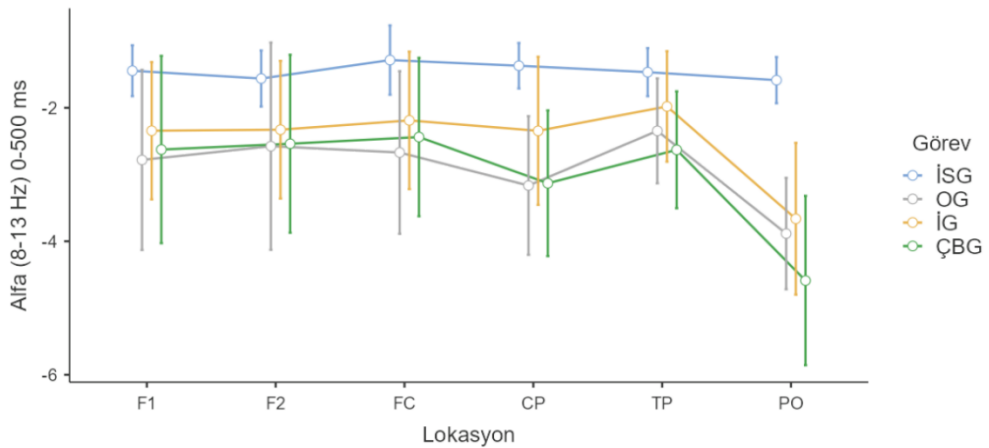
0-500 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için; görev farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p=0.004$ ). Post-hoc analizlerde görevler arasında anlamlı fark bulunmadı.

0-500 milisaniye zaman aralığında lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p<,001$ ). Tüm görevlerde Parieto-Oksipital lokasyona kıyasla Frontal Bölge 2, Fronto-Santral bölge ve Temporo-Parietal bölgelerde alfa yanıtında anlamlı fark bulundu (F2-PO için  $p=0,03$ ; FC-PO için  $p=0,022$ ; TP-PO için  $p<,001$ ) (Şekil 6.2.2.3).

Görev\*Lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark olduğu görüldü ( $p=0,002$ ). Post-hoc analizlerde anlamlı fark bulunmasa da en yüksek alfa yanıtının istemli adım başlatma görevinde Fronto-Santral bölgede, otomatik adım başlatma ve otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevlerinde Temporo-Parietal bölgede, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Fronto-Santral bölgede olduğu görüldü (Şekil 6.2.2.4).

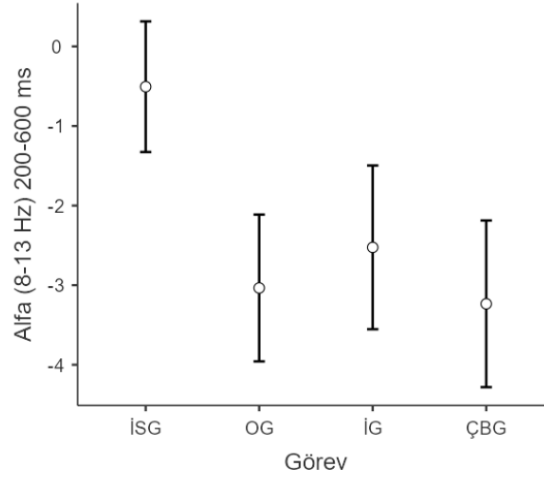


**Şekil 6.2.2.3.** Lokasyonlar için 0-500 ms'de alfa yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



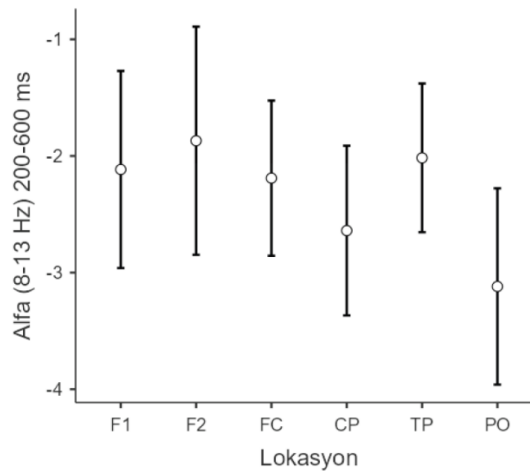
**Şekil 6.2.2.4.** Görev\*Lokasyon için 0-500 ms'de alfa yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

200-600 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için; Görevler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p < ,001$ ). Post-hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde alfa yanıtının, diğer tüm görevlerden daha yüksek çıktığı; otomatik adım başlatma ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevine göre anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü (İSG-OG için  $p = 0,020$ ; İSG-ÇBG için  $p = 0,008$ ) (Şekil 6.2.2.5).



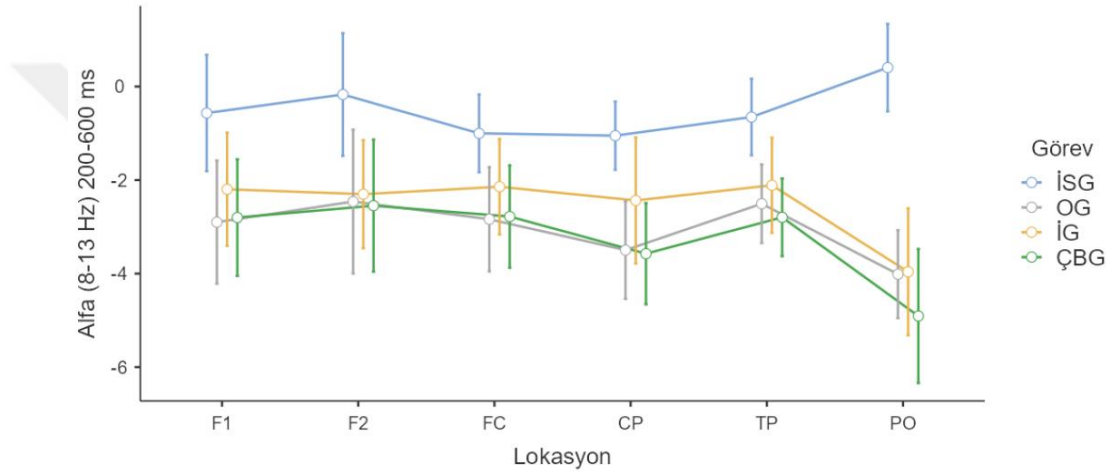
**Şekil 6.2.2.5.** Görevler için 200-600 ms'de alfa yanıtı (X eksenini görevleri, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

200-600 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p < ,001$ ). Post-hoc analizlerde tüm görevlerde Temporo-Parietal bölgede, Parieto-Oksipital bölgeye kıyasla alfa yanıtının anlamlı derecede yüksek olduğu görüldü ( $p = 0,003$ ) (Şekil 6.2.2.6).



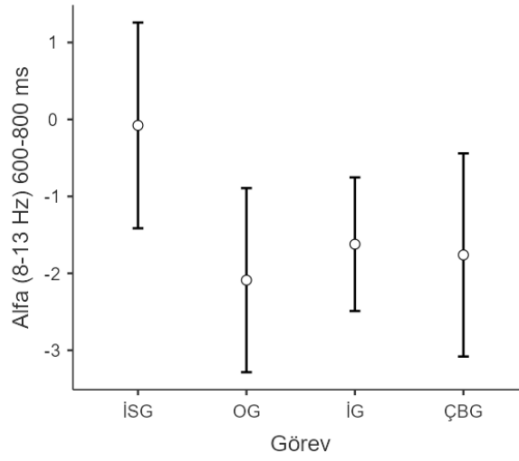
**Şekil 6.2.2.6.** Lokasyonlar için 200-600 ms'de alfa yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

200-600 milisaniyede Görev\*Lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark görüldü ( $p<,001$ ). Post-hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde Parieto-Oksipital bölgede; otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Temporo-Parietal bölgede; otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede; çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 2’de alfa yanıtının daha yüksek olduğu görüldü (Şekil 6.2.2.7).



**Şekil 6.2.2.7.** Görev\*Lokasyon için 200-600 ms’de alfa yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

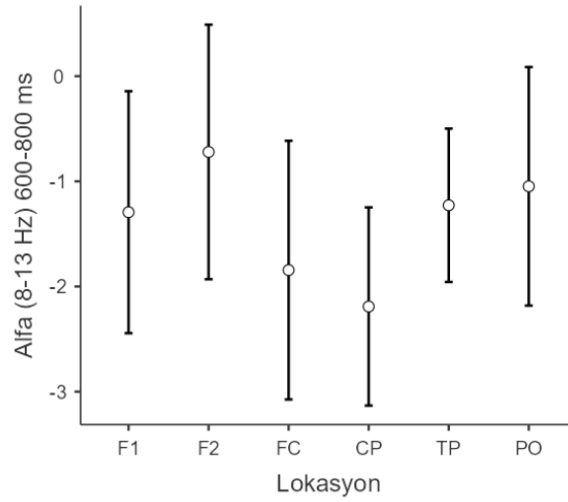
600-800 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için; Görevler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p=0.002$ ). Post-hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde alfa yanıtının, diğer görevlerden yüksek olduğu; otomatik adım başlatma ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevine göre anlamlı derecede yüksek olduğu saptandı (İSG-OG için  $p=0,027$ ; İSG-ÇBG için  $p=0,031$ ) (Şekil 6.2.2.8).



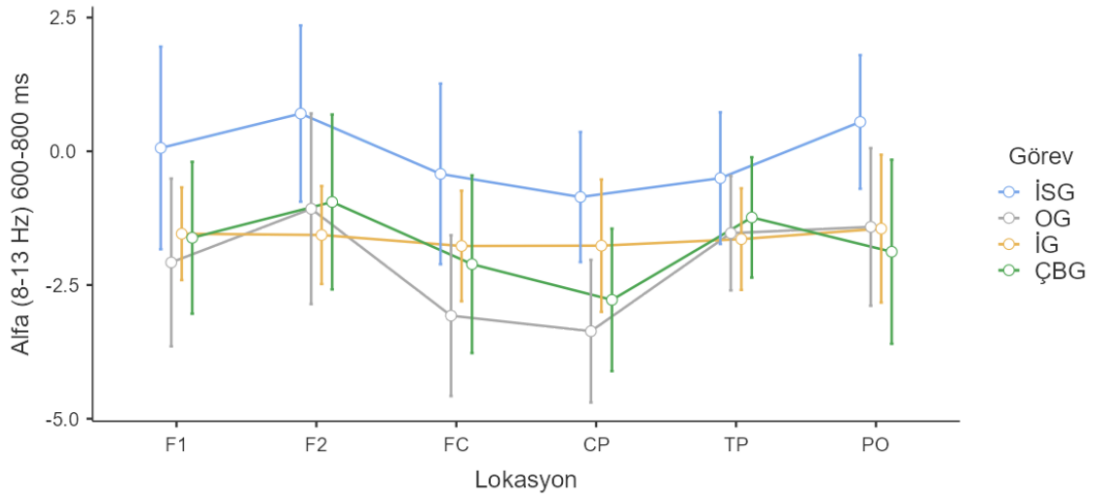
**Şekil 6.2.2.8.** Görevler için 600-800 ms’de alfa yanıtı (X eksenini görevleri, Y eksenini alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

600-800 milisaniye zaman aralığında alfa yanıtı için lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p < ,001$ ) (Şekil 6.2.2.9). Görev\*Lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark görüldü ( $p = 0,032$ ). Post-hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgede; otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2’de; çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Temporo-Parietal bölgede alfa yanıtının yüksek olduğu bulundu (Şekil 6.2.2.10). 600-800 milisaniyede tüm görevler için sağ hemisferde sol hemisfere göre anlamlı fark olduğu görüldü ( $p = 0,029$ ).





**Şekil 6.2.2.9.** Lokasyonlar için 600-800 ms'de alfa yanıtı (X eksen lokasyonları, Y eksen alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

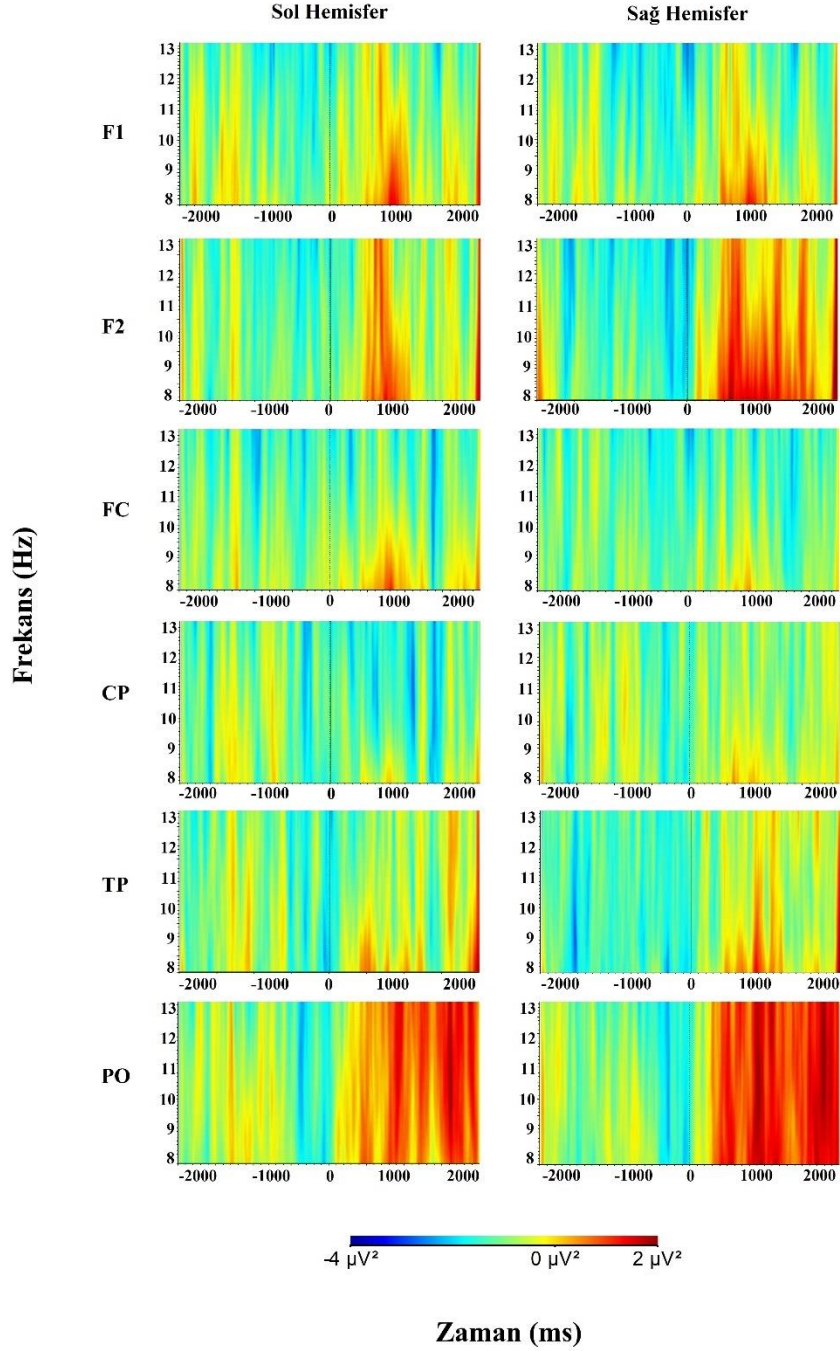


**Şekil 6.2.2.10.** Görev\*Lokasyon için 600-800 ms'de alfa yanıtı (X eksen lokasyonu, Y eksen alfa yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

Adım başlatma görevleri sırasında ortaya çıkan alfa yanıtının büyük ortalaması görselleri Şekil 6.2.2.11, Şekil 6.2.2.12, Şekil 6.2.2.13 ve Şekil 6.2.2.14'de gösterilmektedir.

## Alfa (8-13 Hz) Güç Spektrumu

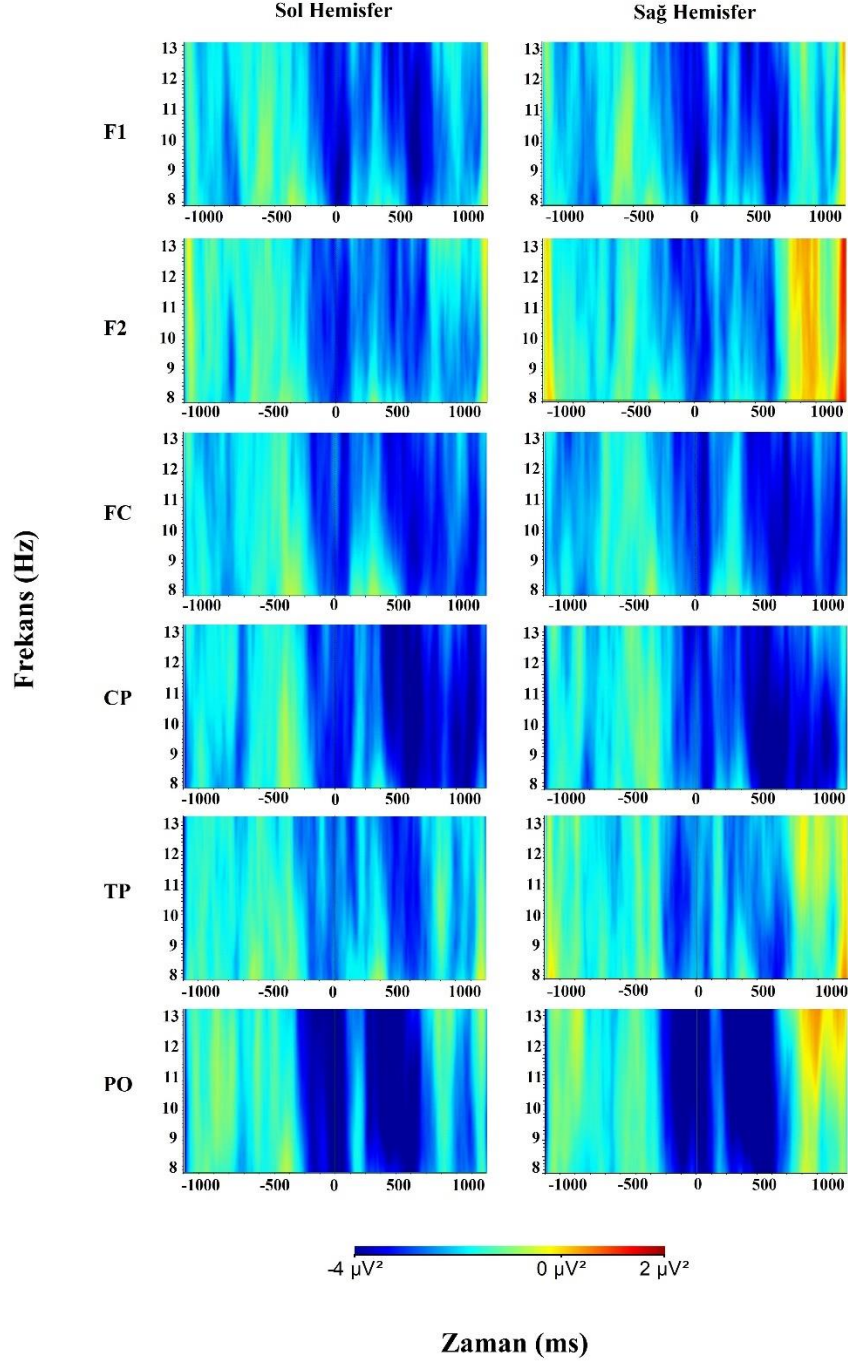
### İSG



**Şekil 6.2.2.11.** İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası istemli adımın başladığı noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Alfa (8-13 Hz) Güç Spektrumu

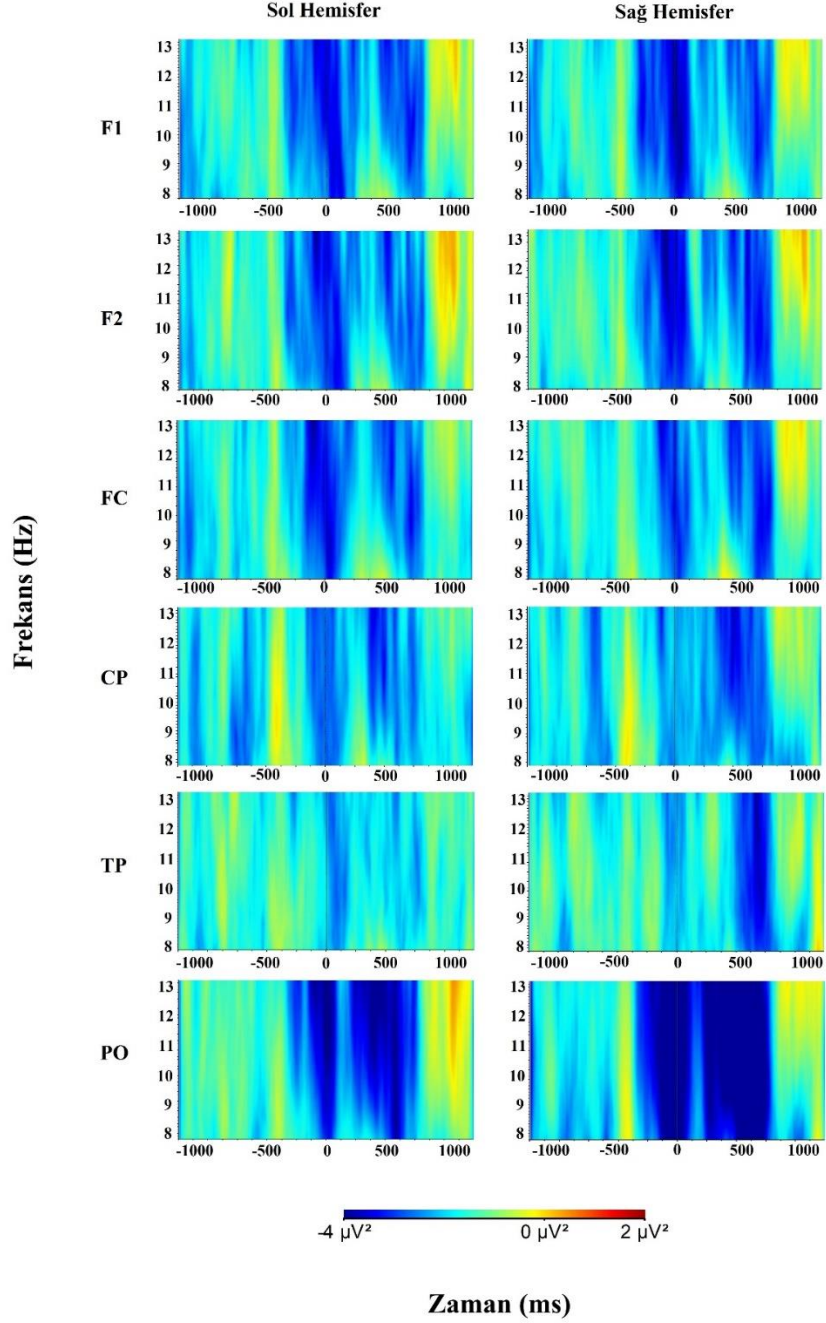
OG



**Şekil 6.2.2.12.** Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Alfa (8-13 Hz) Güç Spektrumu

İG

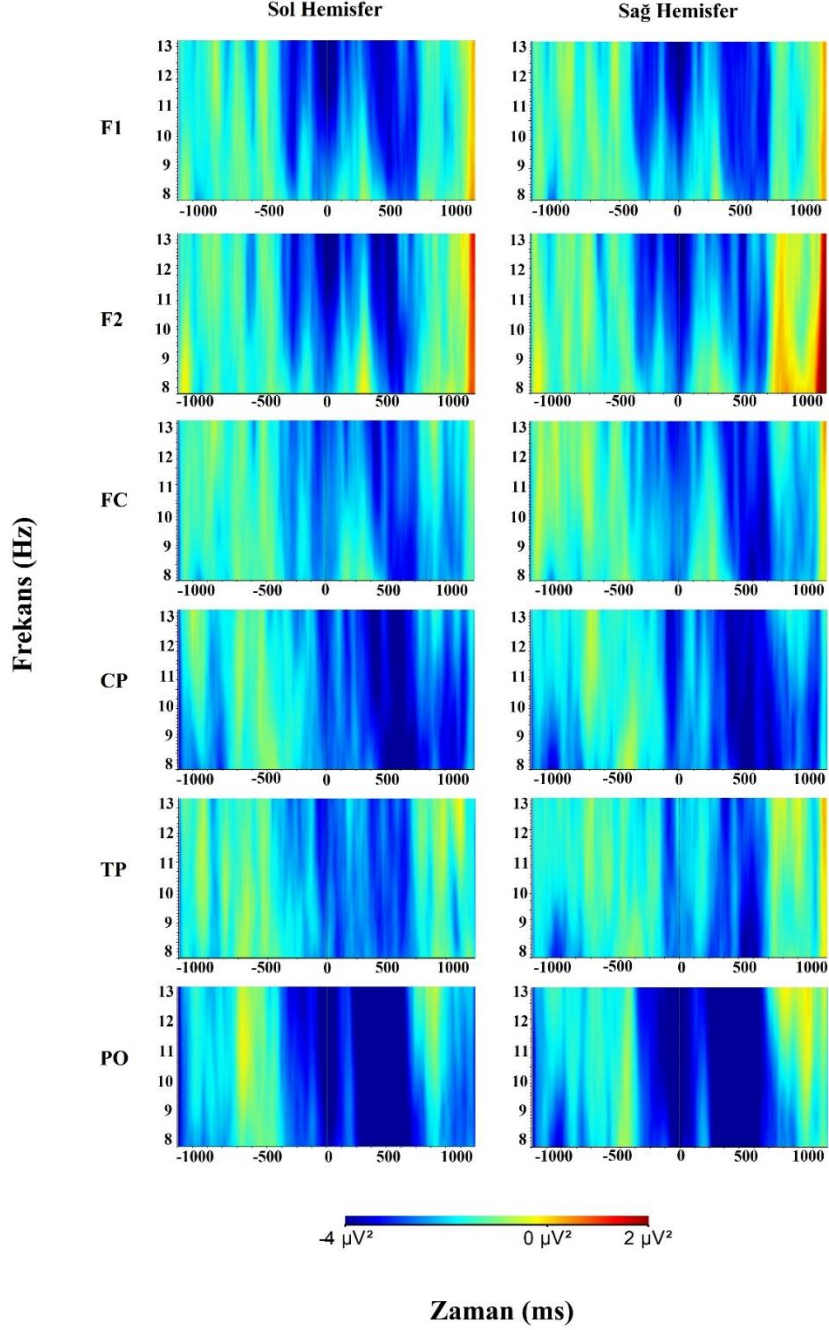


**Şekil 6.2.2.13.** Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması (X eksenı zamanı, Y eksenı frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyaranın geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



## Alfa (8-13 Hz) Güç Spektrumu

### ÇBG



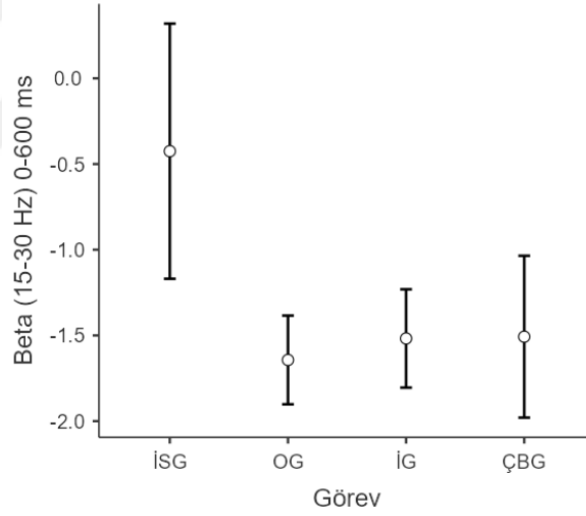
**Şekil 6.2.2.14.** Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan alfa yanıtının genel ortalaması (X ekseninde zamanı, Y ekseninde frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

### 6.2.3. Adım başlatma görevleri sırasında beyinde ortaya çıkan beta yanıtları

Beta yanıtının istatistiksel analizinde, grup içi faktör olarak 4 farklı adım başlatma görevi, 6 farklı lokasyon ve 2 hemisfer alınarak tekrarlayan ölçümler için ANOVA analizi yapıldı.

0-500 milisaniye zaman aralığında beta yanıtı için; lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu ( $p=0.014$ ). Post-hoc analizlerde lokasyonlar arasında anlamlı fark bulunmadı.

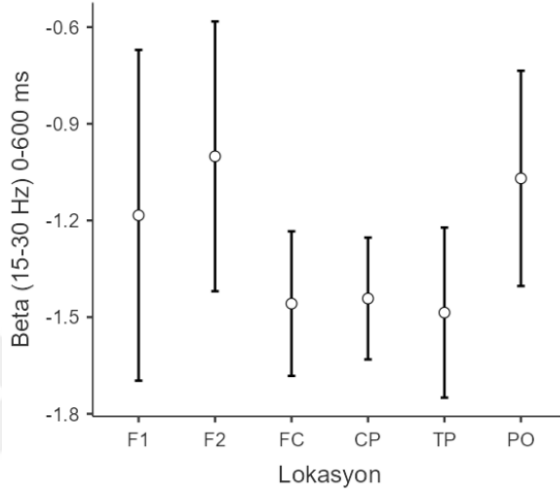
0-600 milisaniye zaman aralığında beta yanıtı için; Görevler arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p<,001$ ). Post-hoc analizlerde istemli adım başlatma görevinde beta yanıtının, otomatik adım başlatma ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevlerine göre anlamlı derecede yüksek olduğu saptandı (İSG-OG için  $p=0,042$ ; İSG-ÇBG için  $p=0,027$ ) (Şekil 6.2.3.1).



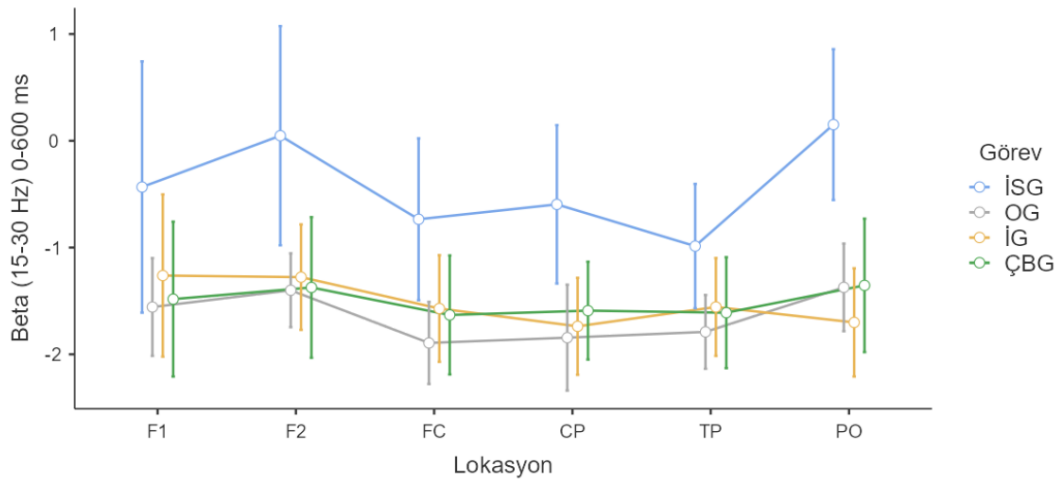
**Şekil 6.2.3.1.** Görevler için 0-600 ms’de beta yanıtı (X eksen görevleri, Y eksen beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

0-600 milisaniyede lokasyonda istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p=0,003$ ). Post-hoc analizlerde tüm görevlerde Frontal Bölge 2’de beta yanıtının, Fronto-Santral bölgeye kıyasla anlamlı olduğu görüldü ( $p=0,03$ ) (Şekil 6.2.3.2). Görev\*Lokasyonda en yüksek beta yanıtının istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgede; otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge

2 ve Parieto-Oksipital bölgede; otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Frontal Bölge 1 ve Frontal Bölge 2’de; çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgelerde olduğu görüldü (Şekil 6.2.3.3).

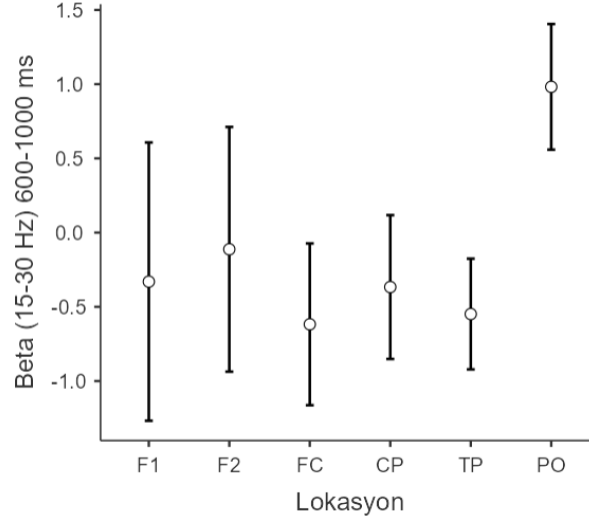


**Şekil 6.2.3.2.** Lokasyonlar için 0-600 ms’de beta yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



**Şekil 6.2.3.3.** Görev\*Lokasyon için 0-600 ms’de beta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

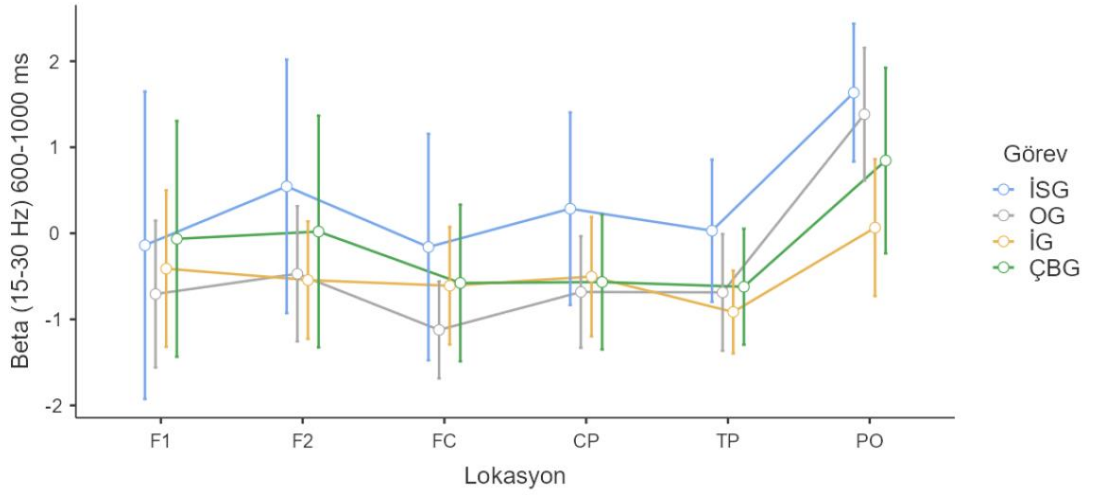
600-1000 milisaniye zaman aralığında beta yanıtı için; Lokasyonlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulundu ( $p<,001$ ). Post-hoc analizlerde Parieto-Oksipital lokasyondaki beta yanıtının Fronto-Santral, Santro-Parietal ve Temporo-Parietal lokasyonlara göre anlamlı derecede yüksek olduğu saptandı (PO-FC için  $p=0,003$ ; PO-CP için  $p<,001$ ; PO-TP için  $p<,001$ ) (Şekil 6.2.3.4).



**Şekil 6.2.3.4.** Lokasyonlar için 600-1000 ms’de beta yanıtı (X eksenini lokasyonları, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

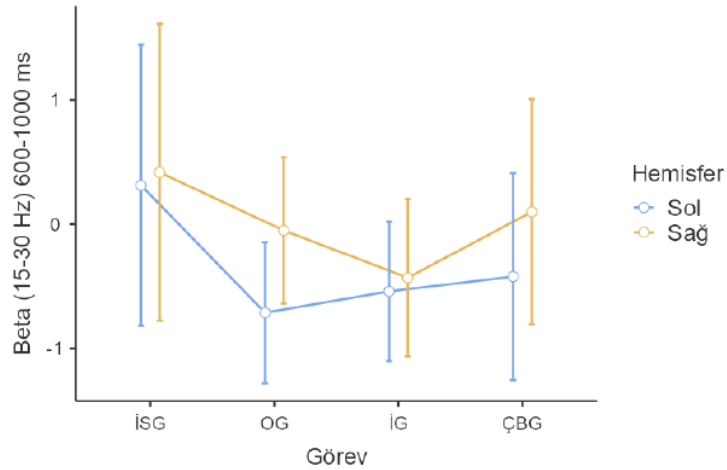
600-1000 milisaniyede Görev\*Lokasyonda beta yanıtında anlamlı fark olduğu görüldü ( $p=0,012$ ). Tüm görevlerde, her görevin kendi içerisinde en yüksek beta aktivasyonunun Parieto-Oksipital bölgede olduğu bulundu (Şekil 6.2.3.5).



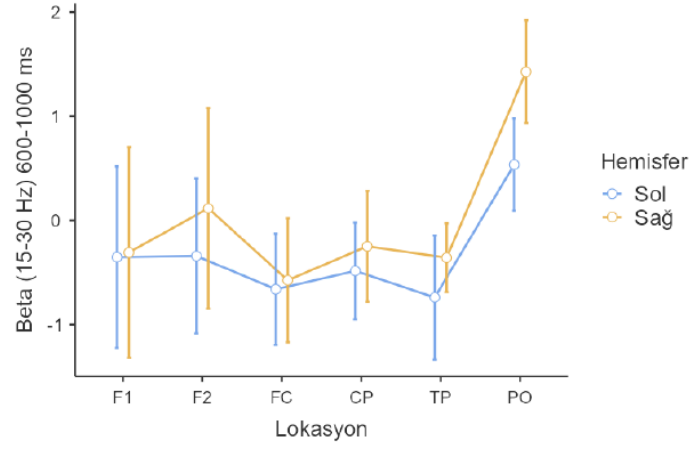


**Şekil 6.2.3.5.** Görev\*Lokasyon için 600-1000 ms’de beta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

600-1000 milisaniyede Görev\*Hemisferde görevler sırasında sağ hemisferdeki beta yanıtının sol hemisferdeki beta yanıtına göre anlamlı derecede yüksek olduğu bulundu ( $p=0,01$ ) (Şekil 6.2.3.6). Lokasyon\*Hemisferde beta yanıtında anlamlı fark olduğu görüldü ( $p=0,014$ ). Tüm lokasyonlarda sağ hemisferdeki beta yanıtının sol hemisfere kıyasla yüksek olduğu bulundu (Şekil 6.2.3.7).



**Şekil 6.2.3.6.** Görev\*Hemisfer 600-1000 ms’de beta yanıtı (X eksenini görevleri, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. İSG: İstemli Adım Başlatma Görevi; OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

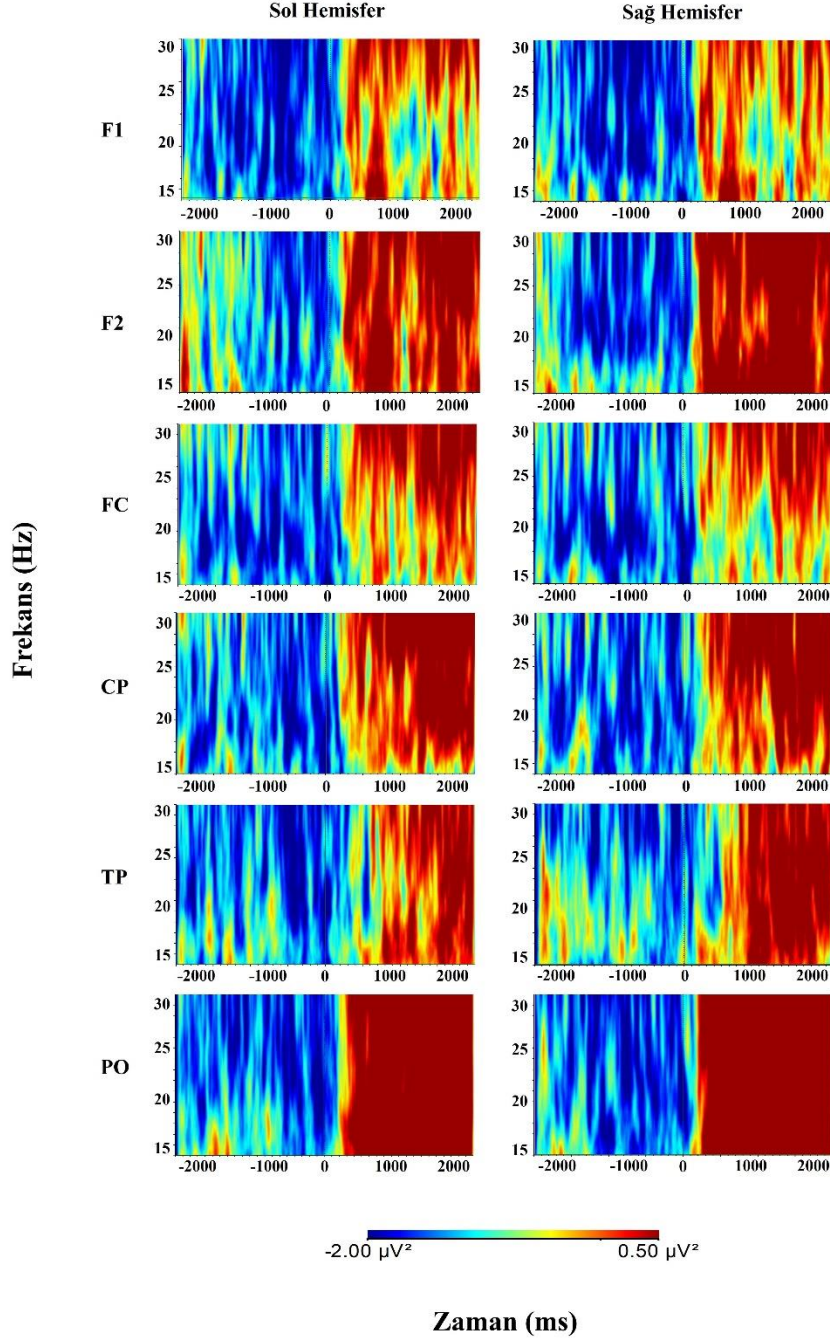


**Şekil 6.2.3.7.** Lokasyon\*Hemisfer için 600-1000 ms’de beta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini beta yanıtı gücünü temsil etmektedir. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

Adım başlatma görevleri sırasında ortaya çıkan beta yanıtının büyük ortalaması görselleri Şekil 6.2.3.8, Şekil 6.2.3.9, Şekil 6.2.3.10 ve Şekil 6.2.3.11’de gösterilmektedir.

## Beta (15-30 Hz) Güç Spektrumu

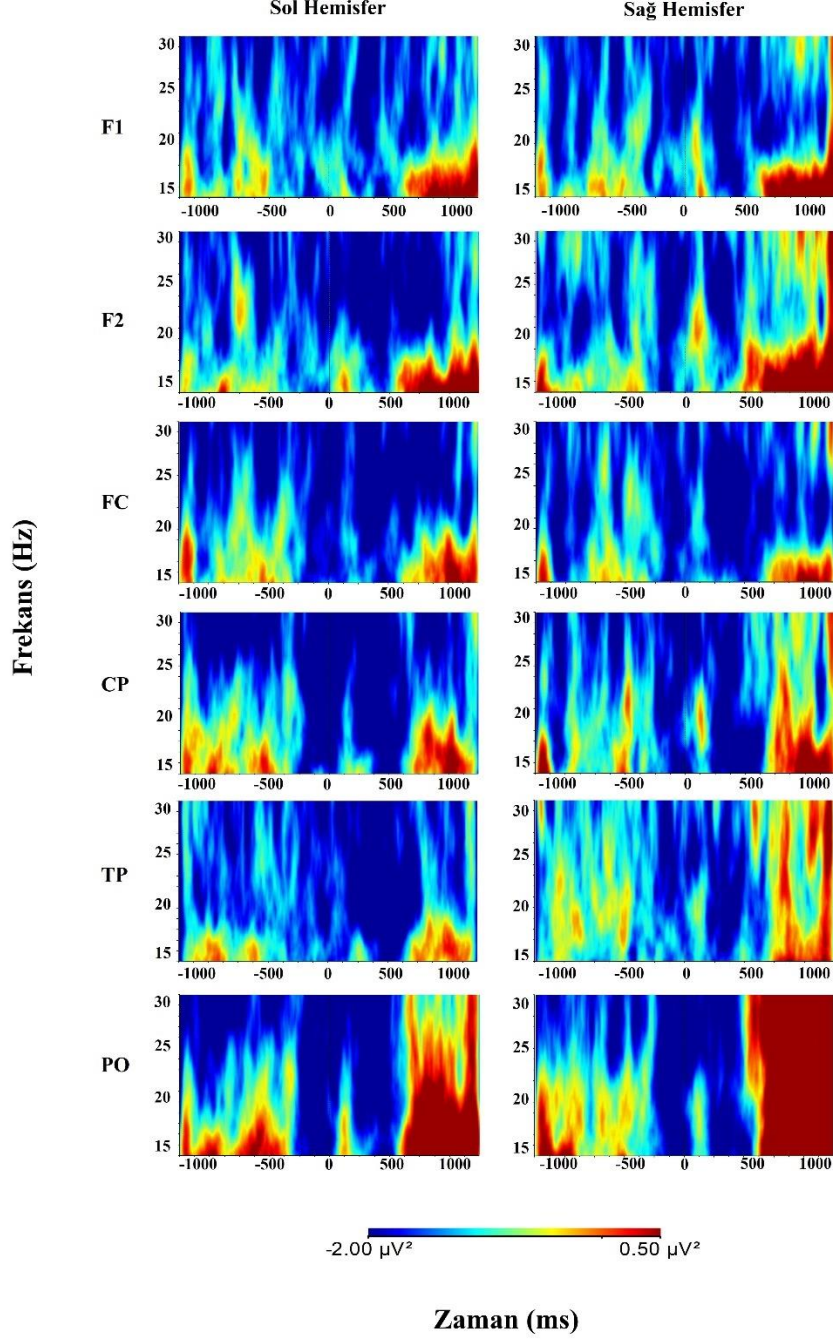
### İSG



**Şekil 6.2.3.8.** İstemli adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası istemli adımın başladığı noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Beta (15-30 Hz) Güç Spektrumu

OG

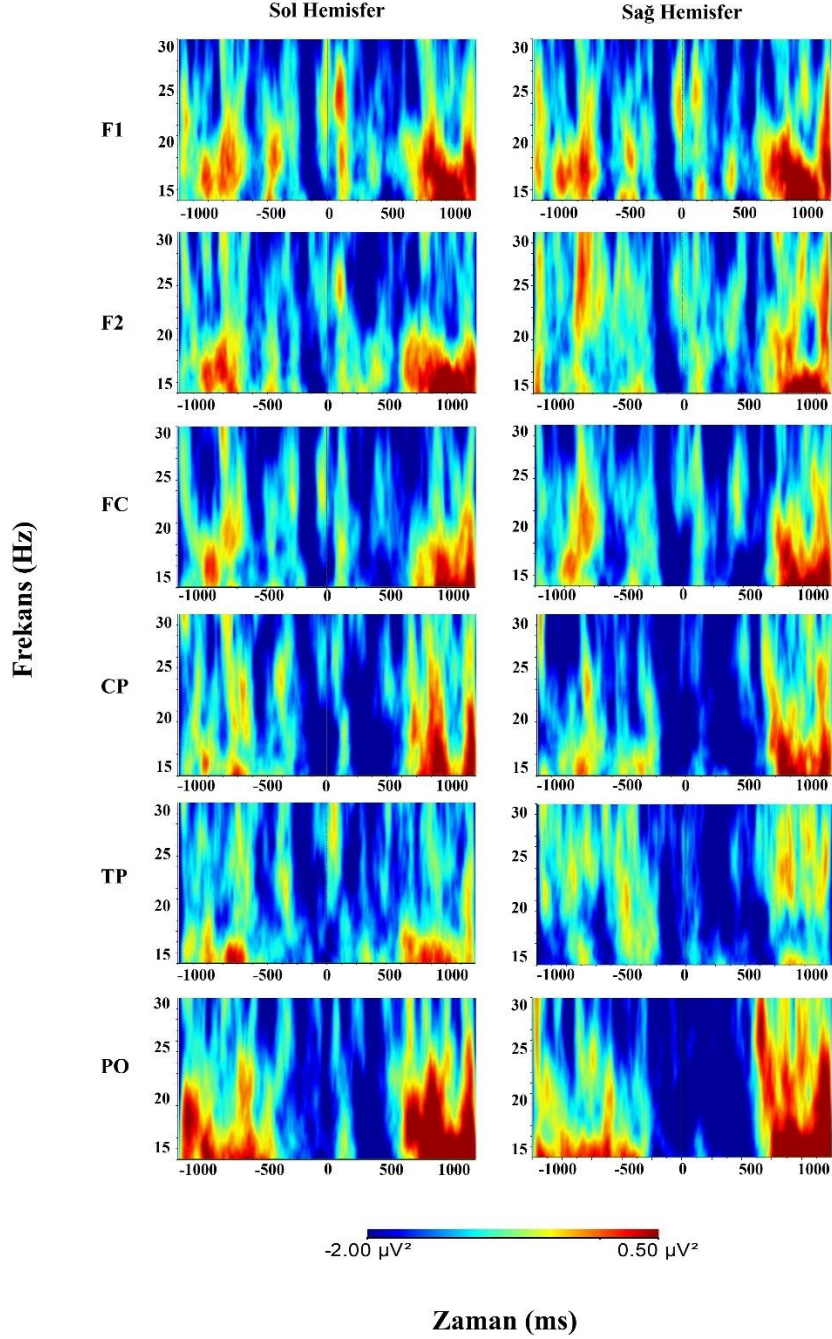


**Şekil 6.2.3.9.** Otomatik adım başlatma görevi sırasında beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması (X eksenini zamanı, Y eksenini frekansı temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)



## Beta (15-30 Hz) Güç Spektrumu

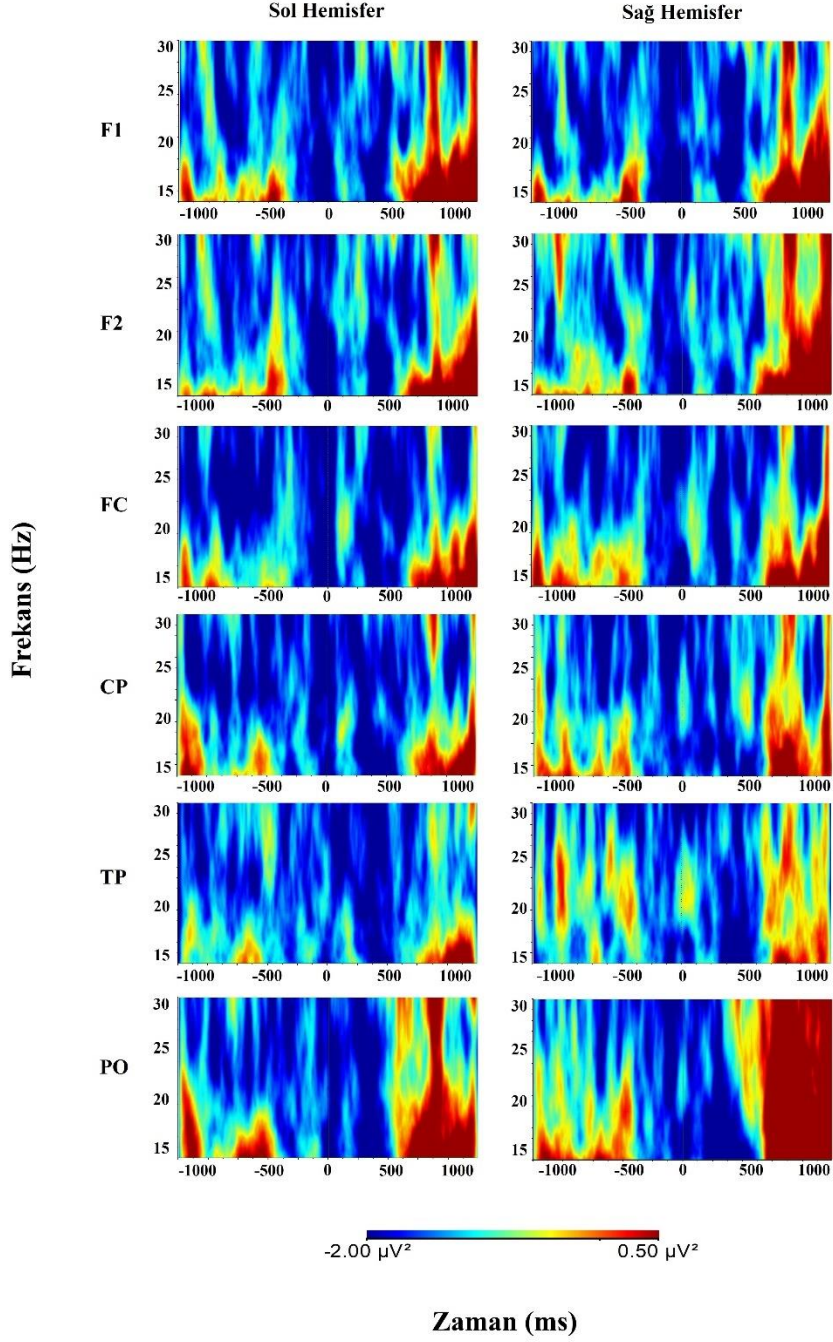
İG



**Şekil 6.2.3.10.** Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması (X eksenı zamanı, Y eksenı frekansını temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

## Beta (15-30 Hz) Güç Spektrumu

### ÇBG



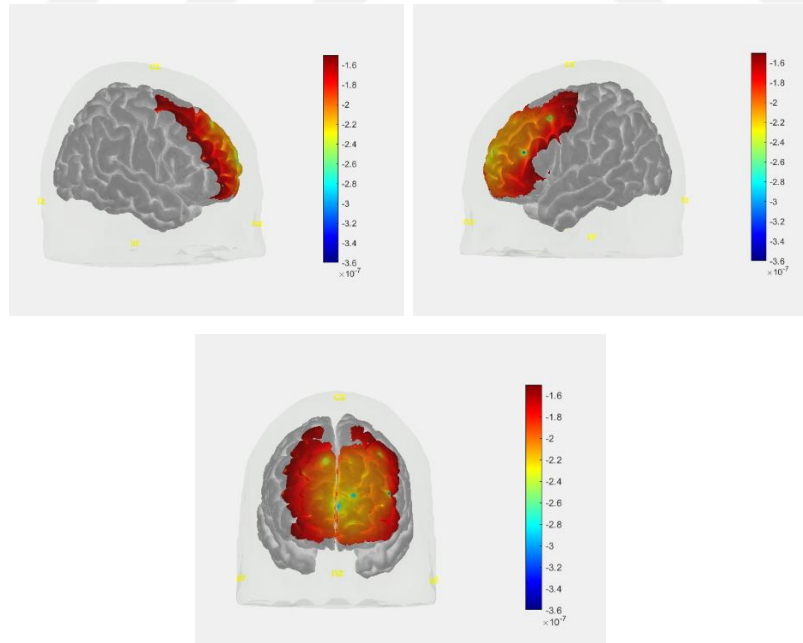
**Şekil 6.2.3.11.** Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde beyin lokasyonlarında ortaya çıkan beta yanıtının genel ortalaması (X eksenı zamanı, Y eksenı frekansını temsil etmektedir. X ekseninde 0 noktası uyarının geldiği noktadır. F1: Frontal Bölge 1; F2: Frontal Bölge 2; FC: Fronto-Santral Bölge; CP: Santro-Parietal Bölge; TP: Temporo-Parietal Bölge; PO: Parieto-Oksipital Bölge)

### 6.3. fYKS Bulguları

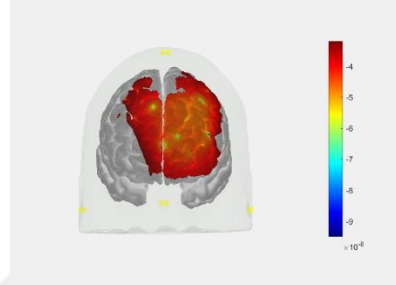
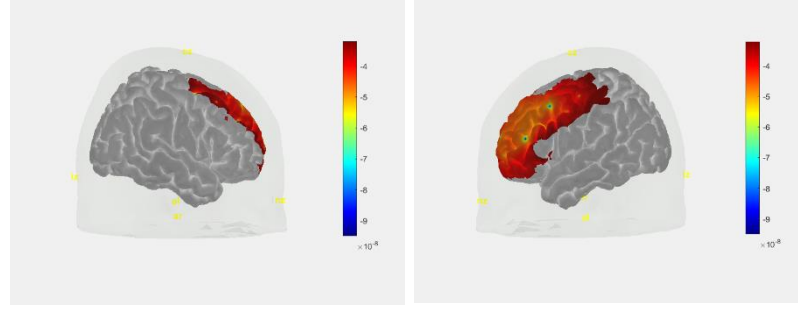
10 sağlıklı katılımcı ile yapmış olduğumuz fYKS çekimlerinin analizi yapıldığında, 1 kişinin verisi gürültülü bulundu. İstatistiksel analizin sağlıklı yapılabilmesi adına elimizde bulunan verilerden 9 katılımcıya ait fYKS verilerinin kıyaslaması yapıldı. Metodolojik bazı nedenlerden dolayı istemli adım başlatma görevi için fYKS analizi yapılamadı. Otomatik adım başlatma, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevlerinde katılımcıların hemodinamik beyin aktiviteleri karşılaştırıldı.

#### 6.3.1. Adım başlatma sırasında beyinde ortaya çıkan oksihemoglobin konsantrasyonunun görevler arası karşılaştırması

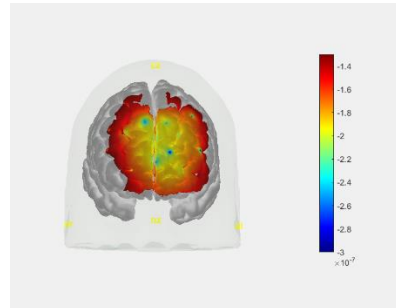
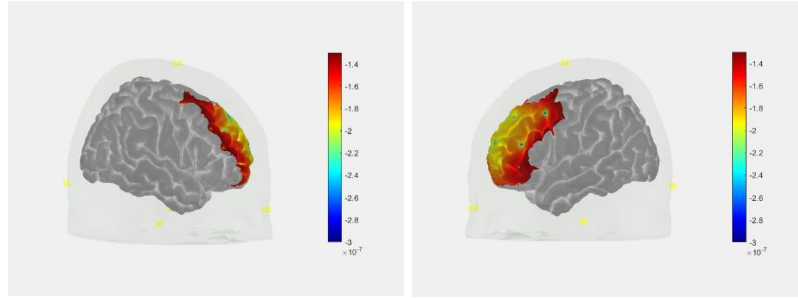
Katılımcıların farklı görevlerde adım başlatma sırasında oksihemoglobin konsantrasyonları ortalaması Tablo 6.3.1.1'de gösterilmiştir. Kanal 1, 2, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 26, 29, 30, 31, 32 ve 40'ta diğer kanallara göre istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olduğu görüldü ( $p < 0,05$ ) (Şekil 6.3.1.1, Şekil 6.3.1.2, Şekil 6.3.1.3).



**Şekil 6.3.1.1.** Otomatik adım başlatma görevi sırasında meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü (Sırasıyla Sağ Hemisfer, Sol Hemisfer ve Orta Hat)



**Şekil 6.3.1.2.** Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü (Sırasıyla Sağ Hemisfer, Sol Hemisfer ve Orta Hat)



**Şekil 6.3.1.3.** Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde meydana gelen ortalama oksihemoglobin konsantrasyon değişiminin görüntüsü (Sırasıyla Sağ Hemisfer, Sol Hemisfer ve Orta Hat)



**Tablo 6.3.1.1.** Kanalların oksihemoglobin (HbO) konsantrasyonlarının görevler arasındaki karşılaştırması (n=9)

Kanallar	OG		İG		ÇBG		F	Etki	
	ORT	SS	ORT	SS	ORT	SS		Büyük	p
<b>Kanal 1</b>	-2,43E-03	2,44E-03	-4,35E-04	7,22E-04	-1,73E-03	1,81E-03	5,709	,416	<b>0,016*</b>
<b>Kanal 2</b>	-3,30E-03	2,49E-03	-7,47E-04	6,68E-04	-2,54E-03	2,38E-03	5,366	,401	<b>0,022*</b>
<b>Kanal 3</b>	-1,99E-03	3,13E-03	-2,88E-04	8,55E-04	-1,32E-03	2,00E-03	2,573	,243	0,115
<b>Kanal 4</b>	-1,56E-03	1,81E-03	-2,79E-04	6,10E-04	-1,28E-03	2,11E-03	1,559	,163	0,247
<b>Kanal 5</b>	-1,13E-03	2,76E-03	-2,57E-04	8,27E-04	-4,82E-04	2,26E-03	,613	,071	0,523
<b>Kanal 6</b>	-1,93E-03	1,42E-03	-5,46E-04	4,45E-04	-1,97E-03	2,02E-03	3,118	,280	0,080
<b>Kanal 7</b>	-2,44E-03	1,80E-03	-5,50E-04	7,63E-04	-2,12E-03	2,31E-03	5,526	,409	<b>0,016*</b>
<b>Kanal 8</b>	-1,89E-03	2,42E-03	-4,59E-04	7,91E-04	-1,26E-03	2,26E-03	2,392	,230	0,124
<b>Kanal 9</b>	-2,84E-03	1,80E-03	-7,82E-04	6,79E-04	-2,21E-03	2,24E-03	4,854	,378	<b>0,028*</b>
<b>Kanal 10</b>	-2,95E-03	2,05E-03	-8,05E-04	9,45E-04	-2,75E-03	2,11E-03	7,822	,494	<b>0,005*</b>
<b>Kanal 11</b>	-2,75E-03	2,15E-03	-7,46E-04	6,74E-04	-1,95E-03	1,74E-03	6,817	,460	<b>0,010</b>
<b>Kanal 12</b>	1,16E-03	2,20E-03	2,54E-04	7,34E-04	9,30E-04	2,45E-03	,972	,108	0,394
<b>Kanal 13</b>	-1,02E-03	1,10E-03	-2,45E-04	7,26E-04	-8,47E-04	1,37E-03	2,675	,251	0,124
<b>Kanal 14</b>	2,31E-03	2,93E-03	4,85E-04	7,00E-04	1,47E-03	1,68E-03	3,023	,274	0,103
<b>Kanal 15</b>	-2,66E-03	2,29E-03	-6,86E-04	9,11E-04	-2,19E-03	1,88E-03	7,554	,486	<b>0,010*</b>
<b>Kanal 16</b>	-2,44E-03	1,81E-03	-7,10E-04	7,05E-04	-2,16E-03	1,74E-03	7,173	,473	<b>0,010*</b>
<b>Kanal 17</b>	-1,12E-03	1,14E-03	-3,17E-04	6,39E-04	-5,98E-04	1,53E-03	1,496	,158	0,257

<b>Kanal 18</b>	-1,78E-03	2,06E-03	-5,61E-04	8,03E-04	-1,30E-03	1,16E-03	2,446	,234	0,140
<b>Kanal 19</b>	-1,69E-04	1,19E-03	-1,17E-04	5,99E-04	7,56E-05	1,13E-03	,211	,026	0,810
<b>Kanal 20</b>	-7,19E-04	1,78E-03	-4,34E-04	7,68E-04	-6,68E-04	1,24E-03	,220	,027	0,739
<b>Kanal 21</b>	-1,29E-03	1,65E-03	-2,08E-04	7,17E-04	-1,04E-04	1,27E-03	3,242	,288	0,075
<b>Kanal 22</b>	-5,41E-04	9,99E-04	-1,92E-04	6,27E-04	4,61E-05	1,86E-03	,700	,080	0,494
<b>Kanal 23</b>	-1,09E-03	1,20E-03	-2,31E-04	8,91E-04	-4,75E-04	1,64E-03	2,469	,236	0,128
<b>Kanal 24</b>	-1,06E-03	2,96E-03	4,71E-05	7,22E-04	-1,92E-04	1,92E-03	,607	,071	0,501
<b>Kanal 25</b>	8,14E-05	2,62E-03	3,65E-04	8,26E-04	3,49E-04	2,41E-03	,059	,007	0,925
<b>Kanal 26</b>	-3,00E-03	2,91E-03	-5,27E-04	6,89E-04	-2,69E-03	2,90E-03	5,583	,411	<b>0,016</b>
<b>Kanal 27</b>	-1,75E-03	2,67E-03	-2,33E-04	6,30E-04	-1,58E-03	2,33E-03	1,892	,191	0,189
<b>Kanal 28</b>	-1,60E-03	3,51E-03	-7,54E-05	8,60E-04	-9,52E-04	2,27E-03	1,345	,144	0,289
<b>Kanal 29</b>	-2,57E-03	1,79E-03	-5,58E-04	5,17E-04	-2,51E-03	1,99E-03	6,551	,450	<b>0,011*</b>
<b>Kanal 30</b>	-2,02E-03	1,41E-03	-4,34E-04	6,41E-04	-2,10E-03	1,60E-03	7,739	,492	<b>0,006*</b>
<b>Kanal 31</b>	-2,49E-03	2,28E-03	-6,26E-04	8,85E-04	-2,55E-03	2,77E-03	5,155	,392	<b>0,020*</b>
<b>Kanal 32</b>	-2,18E-03	2,42E-03	-5,77E-04	7,44E-04	-2,37E-03	2,24E-03	5,498	,407	<b>0,021*</b>
<b>Kanal 33</b>	-1,83E-03	2,97E-03	-1,22E-04	6,98E-04	-1,38E-03	2,25E-03	2,036	,203	0,168
<b>Kanal 34</b>	-1,85E-03	2,58E-03	-3,87E-04	5,67E-04	-1,37E-03	2,24E-03	2,026	,202	0,170
<b>Kanal 35</b>	-1,27E-03	2,18E-03	-4,24E-04	6,52E-04	-1,22E-03	1,51E-03	1,503	,158	0,255
<b>Kanal 36</b>	-1,45E-03	2,34E-03	-4,56E-04	7,40E-04	-1,00E-03	1,77E-03	1,439	,152	0,268
<b>Kanal 37</b>	-2,27E-03	2,76E-03	-8,63E-04	1,03E-03	-2,20E-03	2,94E-03	3,107	,280	0,091
<b>Kanal 38</b>	3,18E-03	3,25E-03	8,87E-04	1,26E-03	2,15E-03	1,87E-03	3,870	,326	0,075
<b>Kanal 39</b>	9,28E-04	1,85E-03	3,34E-04	6,54E-04	2,83E-04	1,25E-03	,834	,094	0,440
<b>Kanal 40</b>	4,06E-03	2,68E-03	9,92E-04	7,55E-04	2,93E-03	1,86E-03	8,153	,505	<b>0,010*</b>

<b>Kanal 41</b>	-9,56E-04	2,61E-03	2,94E-05	7,76E-04	-1,25E-04	1,93E-03	1,255	,136	0,304
<b>Kanal 42</b>	-5,49E-04	2,51E-03	-1,70E-04	7,45E-04	-3,94E-04	2,36E-03	,142	,017	0,864
<b>Kanal 43</b>	7,02E-04	1,76E-03	4,20E-04	6,23E-04	6,78E-04	1,37E-03	,195	,024	0,822
<b>Kanal 44</b>	-8,33E-04	2,54E-03	-1,41E-04	8,95E-04	2,16E-04	1,99E-03	1,807	,184	0,213
<b>Kanal 45</b>	-9,27E-04	1,50E-03	1,62E-04	9,73E-04	5,66E-05	1,81E-03	2,751	,256	0,116
<b>Kanal 46</b>	-9,41E-04	2,36E-03	-3,12E-04	1,06E-03	-2,74E-04	2,57E-03	1,165	,127	0,320

**ORT:** Ortalama; **SS:** Standart Sapma; **\***:  $p < 0,05$  (**OG:** Otomatik Adım Başlatma Görevi; **İG:** Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; **ÇBG:** Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

Post-hoc analizlerde farklı görevlerde adım başlatma esnasında oksihemoglobin konsantrasyonları ve görev\*kanal durumundaki anlamlılık değerleri, görevlerin ikili karşılaştırmaları şeklinde Tablo 6.3.1.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 6.3.1.2.** Kanalların oksihemoglobin (HbO) konsantrasyonlarının görevler arasındaki ikili karşılaştırması (n=9)

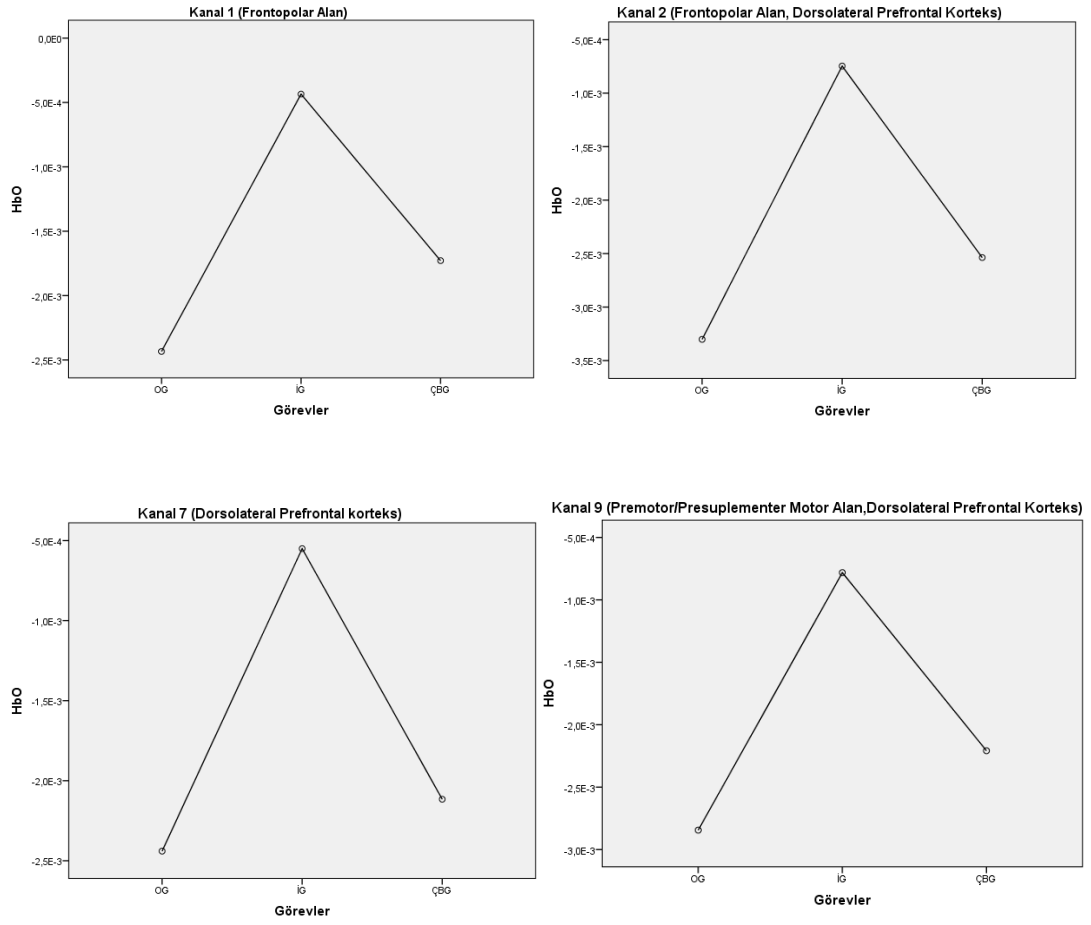
Kanallar	Görevler	SH	p	%95 Güven Aralığı		
				Alt Sınır	Üst Sınır	
<b>Kanal 1</b>	OG	İG	,001	<b>0,045*</b>	-,004	-4,350E-5
		ÇBG	,001	0,878	-,003	,001
	İG	OG	,001	<b>0,045*</b>	4,350E-5	,004
		ÇBG	,001	0,110	,000	,003
	ÇBG	OG	,001	0,878	-,001	,003
		İG	,001	0,110	-,003	,000
<b>Kanal 2</b>	OG	İG	,001	<b>0,032*</b>	-,005	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,004	,002
	İG	OG	,001	<b>0,032*</b>	,000	,005
		ÇBG	,001	0,083	,000	,004
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,004
		İG	,001	0,083	-,004	,000
<b>Kanal 7</b>	OG	İG	,001	<b>0,031*</b>	-,004	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,001	<b>0,031*</b>	,000	,004
		ÇBG	,001	0,100	,000	,003
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,001	0,100	-,003	,000
<b>Kanal 9</b>	OG	İG	,001	<b>0,017*</b>	-,004	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,003	,002
	İG	OG	,001	<b>0,017*</b>	,000	,004
		ÇBG	,001	0,218	-,001	,004
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,003
		İG	,001	0,218	-,004	,001
<b>Kanal 10</b>	OG	İG	,001	<b>0,029*</b>	-,004	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,001	<b>0,029*</b>	,000	,004

		ÇBG	,001	<b>0,024*</b>	,000	,004
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,001	<b>0,024*</b>	-,004	,000
<b>Kanal 11</b>	OG	İG	,001	<b>0,038*</b>	-,004	,000
		ÇBG	,000	0,336	-,002	,001
	İG	OG	,001	<b>0,038*</b>	,000	,004
		ÇBG	,001	0,180	,000	,003
	ÇBG	OG	,000	0,336	-,001	,002
		İG	,001	0,180	-,003	,000
<b>Kanal 15</b>	OG	İG	,001	<b>0,050*</b>	-,004	-4,299E-6
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,001
	İG	OG	,001	<b>0,050*</b>	4,299E-6	,004
		ÇBG	,000	<b>0,018*</b>	,000	,003
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,001	,002
		İG	,000	<b>0,018*</b>	-,003	,000
<b>Kanal 16</b>	OG	İG	,001	<b>0,040*</b>	-,003	-8,407E-5
		ÇBG	,000	1,000	-,001	,001
	İG	OG	,001	<b>0,040*</b>	8,407E-5	,003
		ÇBG	,001	0,081	,000	,003
	ÇBG	OG	,000	1,000	-,001	,001
		İG	,001	0,081	-,003	,000
<b>Kanal 26</b>	OG	İG	,001	0,053	-,005	3,589E-5
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,001	0,053	-3,589E-5	,005
		ÇBG	,001	0,108	,000	,005
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,001	0,108	-,005	,000
<b>Kanal 29</b>	OG	İG	,001	<b>0,023*</b>	-,004	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,001	<b>0,023*</b>	,000	,004
		ÇBG	,001	<b>0,033*</b>	,000	,004
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,001	<b>0,033*</b>	-,004	,000
<b>Kanal 30</b>	OG	İG	,000	<b>0,017*</b>	-,003	,000
		ÇBG	,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,000	<b>0,017*</b>	,000	,003
		ÇBG	,000	<b>0,016*</b>	,000	,003

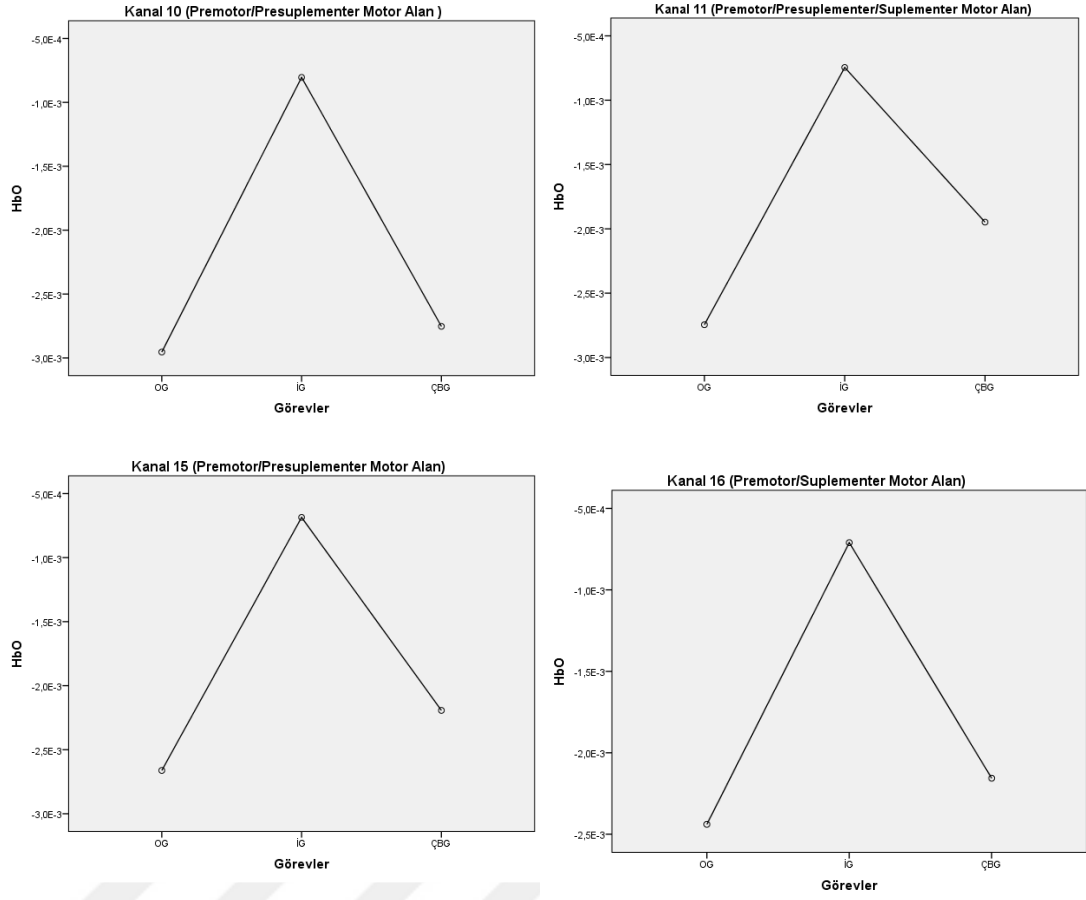
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,000	<b>0,016*</b>	-,003	,000
<b>Kanal 31</b>	OG	İG	,001	0,060	-,004	7,455E-5
	ÇBG		,001	1,000	-,002	,002
	İG	OG	,001	0,060	-7,455E-5	,004
	ÇBG		,001	0,100	,000	,004
	ÇBG	OG	,001	1,000	-,002	,002
		İG	,001	0,100	-,004	,000
<b>Kanal 32</b>	OG	İG	,001	0,123	-,004	,000
	ÇBG		,000	1,000	-,001	,002
	İG	OG	,001	0,123	,000	,004
	ÇBG		,001	0,074	,000	,004
	ÇBG	OG	,000	1,000	-,002	,001
		İG	,001	0,074	-,004	,000
<b>Kanal 40</b>	OG	İG	,001	<b>0,007*</b>	,001	,005
	ÇBG		,001	0,852	-,002	,004
	İG	OG	,001	<b>0,007*</b>	-,005	-,001
	ÇBG		,001	<b>0,026*</b>	-,004	,000
	ÇBG	OG	,001	0,852	-,004	,002
		İG	,001	<b>0,026*</b>	,000	,004

**SH:** Standart Hata; **\***:  $p < 0,05$  (**OG:** Otomatik Adım Başlatma Görevi; **İG:** Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; **ÇBG:** Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

Kanal 1, 2, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 26 ve 29'da sırasıyla en az oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma görevinde, daha fazlası çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ve en fazla konsantrasyon otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde olduğu görüldü (Şekil 6.3.1.4, Şekil 6.3.1.5, Şekil 6.3.1.6). Bu kanallara denk gelen bölgeler, Dorsolateral Prefrontal korteks, Frontopolar alan, Premotor, Presuplementer ve Suplementer motor alanlardır

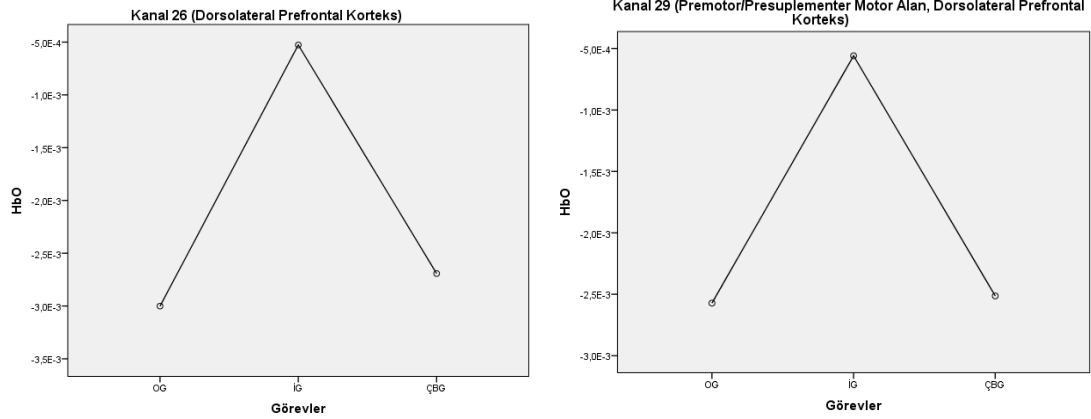


**Şekil 6.3.1.4.** Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 1, 2, 7 ve 9. (X eksenı görevleri, Y eksenı oksihemoglobin konsantrasyon gücünü temsil etmektedir. OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi).



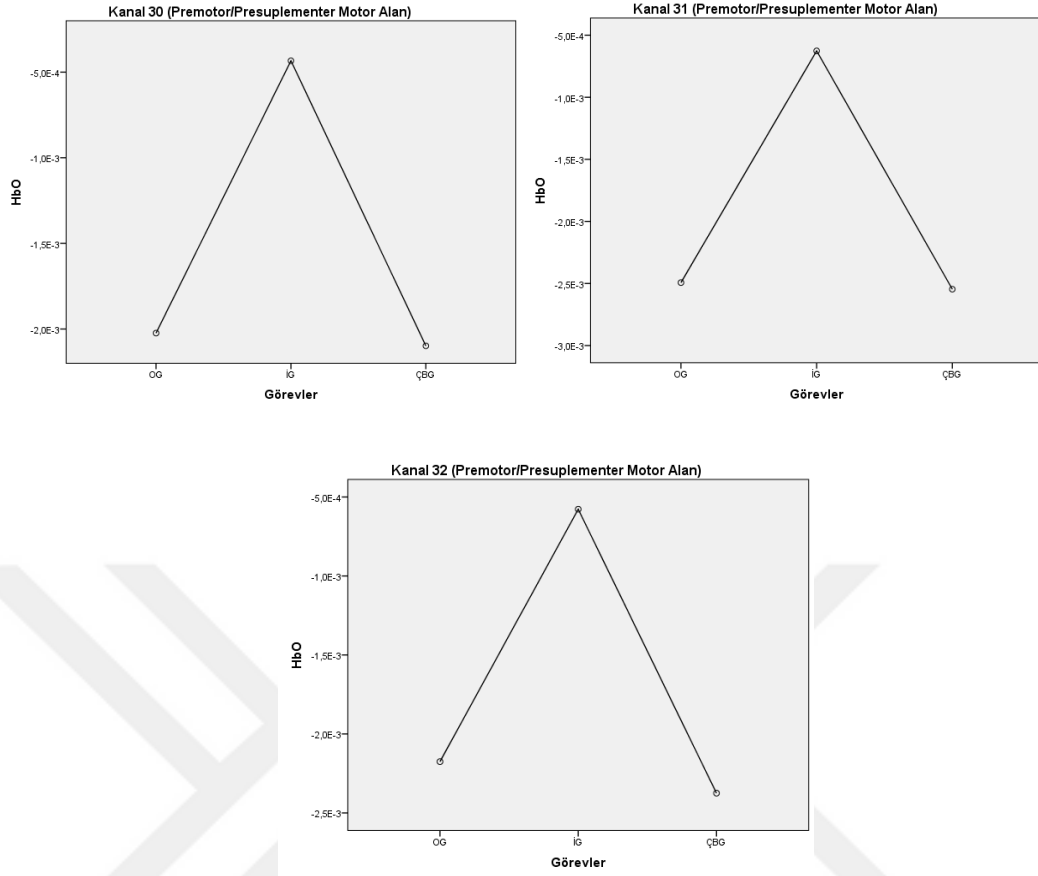
**Şekil 6.3.1.5.** Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 10, 11, 15 ve 16. (X eksen görevleri, Y eksen oksihemoglobin konsantrasyon gücünü temsil etmektedir. OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi).





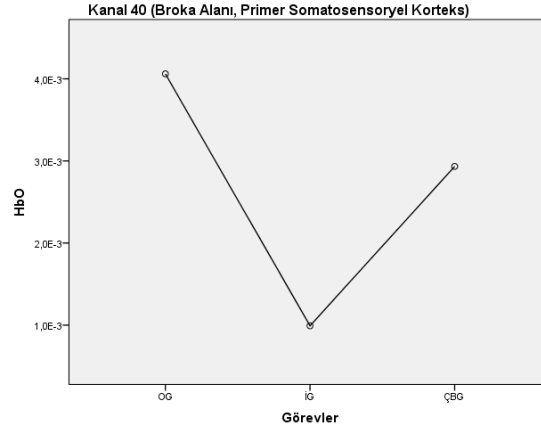
**Şekil 6.3.1.6.** Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 26 ve 29. (X eksenini görevleri, Y eksenini oksihemoglobin konsantrasyon gücünü temsil etmektedir. OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi).

Kanal 30, 31 ve 32’de en yüksek konsantrasyon yine otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde ortaya çıkmış, bu kanallarda otomatik adım başlatma görevinde ortaya çıkan oksihemoglobin konsantrasyonunun, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ortaya çıkan konsantrasyondan daha büyük olduğu görülmüştür (Şekil 6.3.1.4). Bu kanallara denk gelen bölgeler Premotor/Presuplementer Motor Alandır.



**Şekil 6.3.1.7.** Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde maksimum olup, sırasıyla otomatik adım başlatma görevi ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi şeklinde azalan kanal 30, 31 ve 32. (X eksenini görevleri, Y eksenini oksihemoglobin konsantrasyon gücünü temsil etmektedir. OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi).

Kanal 40'ta ise en az oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde ortaya çıkmış, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ve otomatik adım başlatma görevinde oksihemoglobin konsantrasyonu giderek artmıştır (Şekil 6.3.1.5). Bu kanala denk gelen bölgeler Broka Alanı ve Primer Somatosensoriyel Kortektir.



**Şekil 6.3.1.8.** Oksihemoglobin konsantrasyonu otomatik adım başlatma görevinde maksimum olup, sırasıyla çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi ve otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi şeklinde azalan kanal 40. (X eksen görevleri, Y eksen oksihemoglobin konsantrasyon gücünü temsil etmektedir. OG: Otomatik Adım Başlatma Görevi; İG: Otomatik Adım Başlatma Sırasında İnhibisyon Görevi; ÇBG: Çalışma Belleği Sırasında Adım Başlatma Görevi)

## 7. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, farklı adım başlatma görevleri sırasında beyinde gerçekleşen elektrofizyolojik değişiklikleri EEG osilasyon yöntemi ve hemodinamik değişiklikleri fYKS yöntemi ile araştırmak, istemli ve otomatik başlatılan alt ekstremitte motor hareketlerinde yanıt ile ilişkili nöral mekanizmaları incelemek, böylece sağlıklı yürüyüş başlatmada bilinçli kararların anlaşılmasına katkıda bulunmaktır. Çalışmamız, dört farklı adım başlatma görevinde ortaya çıkan teta, alfa ve beta frekans bantlarında olaya ilişkin yanıtların ve oksihemoglobin konsantrasyonunun farklı dinamik yapılarını göstermiştir.

İnsan hareketleri geniş anlamda uyarana yanıt olarak başlatılan (otomatik) ve kendiliğinden başlatılan (istemli) hareketler olmak üzere iki türe ayrılmaktadır (1). Bilinçli kararlarımızı günlük hareketler yapmaya hazırlayan faktörler, içsel olarak üretilen ve dışsal olarak üretilen tetikleyiciler arasındaki bir süreklilik boyunca var olmaktadır. İstemli motor hareketlerin nöroanatomik yapıları bilinse de hareketin ortaya çıkma isteğinin mekanizması tam olarak açıklanamamıştır. Belirli bir anda istemli bir hareket gerçekleştirme niyetinin, istemli hareketlerin zamanlamasından sorumlu iç içe geçmiş ağlar tarafından desteklenebilecek hemodinamik değişkenlerle ilgili olabileceği varsayılmıştır (2,3). Yavaş kortikal ve salınımlı beyin sinyallerinin istemli eylemin başlangıcından önce ölçülmesi, bilinçli eylem kararının yanı sıra hareketin başlatılmasının incelenmesi için zamansal göstergeler sağlamaktadır (1).

Nörogörüntüleme çalışmalarına bakıldığında istemli hareket başlangıcından önceki son 2 saniye içinde primer motor kortekste, suplementer ve presuplementer motor alanda meydana gelen bir aktivite söz konusudur (4-7). Bu aktivasyon Kornhuber ve Deecke tarafından "hazırlık potansiyeli" olarak tanımlanmıştır. Bu konuda yapılan ilk çalışmada istemli hareketler gerçekleştirilmeden önce motor bölgeler üzerindeki negatif beyin potansiyelindeki kademeli artışlar, yaklaşan istemli motor hareketlerin hazırlığında spesifik bir süreci yansıttığı düşünülmüştür (4). HP'nin hareket başlangıcından 0,5 saniye önce meydana gelen kısmı, kontralateral elektrotlar üzerinde ipsilaterale göre daha büyük belirgin bir aktivasyon göstermektedir. Libet'in çalışmasında, katılımcıların fiilen hareket etmeden önce yaklaşık 200 ms hareket etme niyetinde olduklarını, ancak hazırlık potansiyelinin EMG başlangıcından 1 saniye öncesine kadar tutarlı bir şekilde mevcut olduğunu gösterilmiştir (5). Bu hareket

öncesi aktivite, hareketten 1 saniyeden daha uzun bir süre önce başlamakta, zamanla önemli ölçüde artmakta ve orta hat ve sol hemisferde karakteristik HP modelini temsil etmektedir (153). Aksine, daha yakın zamanda yapılan çalışmalar hazırlık potansiyeli tarafından temsil edilen hareket öncesi aktivitenin, sadece istemli bir hareketin meydana gelme olasılığını değiştiren altta yatan beyin osilasyonlarında devam eden değişiklikleri yansıttığını bildirmektedir (6,8,9).

Uyarana yanıt olarak başlatılan hareketlerin sağlıklı katılımcılarda çoğunlukla kontralateral olduğu, aksine uyarın olmadan oluşturulan hareketlerin ise her iki beyin yarıküresinde de yaygın olarak dağıtılmış ağlar tarafından desteklendiği ve hareket başlatmak için istemli komutun daha geniş beyin aktivasyonu gerektirdiği belirtilmiştir. Yapılan bir çalışmada sağlıklı katılımcılara kıyasla, parkinson hastalarında uyarana tetiklenen hareketler sırasında suplemer motor alanda daha küçük bir aktivasyon olduğu ve istemli hareketlerde aktivasyonun sensorimotor alanlardan suplemer motor alana yer değiştirdiği gözlemlenmiştir (10). Başka bir çalışmada uyarana yanıt olarak hareket başlatma durumunda suplemer motor alandaki hareket öncesi aktivasyonun, istemli harekete kıyasla önemli ölçüde daha güçlü olduğu belirtilmiştir (11). Bu hareket türlerinin lokalizasyonu, frontal korteksin kapsamının ötesine geçmektedir. Serebellar döngü, lateral premotor kortekse ve parietal bölgelere güçlü bir şekilde bağlanmakta ve duyusal-motor dönüşümde (otomatik başlatılan hareketlerde) yer almaktadır. Buna karşılık, bazal ganglion halkası SMA ile yüksek afiniteye sahiptir ve istemli hareketlerin başlatılması ve yürütülmesinde yer almaktadır (57). Uyarana göre hareket tanımlamasının altında yatan nöral sistemlerin hem dorsal hem de ventral sistemlerle ilgili olduğu belirtilmiştir. Ventral sistem, nesne tanımlama işlevi için daha özelleşmiş iken, dorsal sistem uzaysal dönüşümleri içeren diğer görevlerin yanı sıra nesne tanımlamasının uygun eyleme dönüştürülmesinde yer almaktadır. Bu ayırım, bir hareket başlatmak için hangi efektörlerin kullanıldığına bağlı olarak, parietal korteksin farklı alanları ile dorsal akımın dahil olduğu hedeflenen eylemler için geçerlidir (154,155).

Motor bölgelere ek olarak, özellikle yaklaşmakta olan hareket artan bilişsel taleplerle ilişkili olduğunda, prefrontal ve parietal kortekslerin de hareket öncesi dönemde aktivasyon gösterdiği sonucuna varılmıştır. Bu sonuç göz önüne alındığında, dikkat veya yürütücü işlev gibi bilişsel taleplerin karmaşık istemli hareketleri

gerçekleştirmek için gerekli bir koşul olan psikolojik süreçlerin katılımını yansıttığı düşünülmüştür (7).

Çalışma belleği, bilginin depolanmasını ve işlenmesini içeren bir tür yürütücü işlevdir (156). Semantik, duyuşsal veya motor bilgiler, çeşitli farklı bilişsel ve davranışsal görevleri kolaylaştırmak için çalışma belleğine kodlanabilmektedir (157). Çalışma belleği, bir rotayı takip etmek veya değişen çevreyi işlemek için gerekli olduğu için yürüme ile de ilişkilidir (99). Çalışma belleği, beynin birden fazla bölgesini içerir. Özellikle, prefrontal ve parietal kortekslerin alt bölümlerinden, bazal ganglionlardan ve ayrıca primer somaosensoriyel korteksten kaydedilen çok sayıda nöral aktivite tanımlanmıştır (156). Örneğin, inferior temporal korteksteki nöronlar, çalışma belleği göreviyle belirli görsel uyarılara seçici olarak yanıt verirken, prefrontal nöronlar, belirli bir uyarının başlangıçta sunulan örneklerle eşleşip eşleşmediği hakkında bilgi iletir (158). Çalışma belleğinin beynin çeşitli bölgelerine dağıtılmış bir süreç olduğunu ve bu sayede hiçbir beyin yapısının çalışma belleğine özgü olmadığı ifade edilmiştir (159). Bunun yerine çalışma belleği, serebral korteks boyunca birden çok bölgeyi kapsayan büyük ölçekli ağlar kullanmaktadır.

Duyuşsal sistemlerde bulunan alfa ve beta aktivitesinin aksine, frontal bölgeler üzerinden kaydedilen teta aktivitesindeki artış, odaklanmış dikkat, hata işleme, hafıza süreçleri ve hareket ayarlama gibi yürütücü işlevlerle ilişkilendirilmiştir. Teta, yüksek genlikli, düşük frekanslı bir sinyal olduğundan, görev performansı sırasında beyin bölgelerini farklı frekans bantlarında koordine etmek için özellikle önemli olmaktadır. Alfa modülasyonunun, görsel sistemin duyarlılığında dikkatle indüklenen değişikliklerin göstergesi olduğu göz önüne alındığında, frontal tetanın, dikkatin oksipital alfa aktivitesinin lateralizasyonunu yönlendirdiği mekanizma olabileceği ve bu frekanslar arası etkileşimin uzamsal dikkatin bir belirteci olduğu varsayılmaktadır. (160).

Üst ekstremitelerde motor kontrol çalışmalarının aksine, alt ekstremitelerde ile ilgili araştırmalar çok daha sınırlıdır. Bu durum özellikle yaşlılık ve çeşitli nörolojik hastalıklar sonucunda oluşan denge problemleri dolayısıyla düşme ve motor planlama becerileri açısından önemlidir. Yürüme görevini önleyici bir bilişsel görev eklendiğinde ise yaşlı yetişkinlerde bu bozulmalar daha da kötüleşmiştir, bu da yürüyüş sırasında adım ayarlamalarında bilişsel süreçlerin rolünü göstermektedir (15).

Bazı çalışmalar yürüme sırasında ikili görevin elektriksel aktivite üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Oddball ve görsel Go-NoGo paradigmaları, dikkat ve bilişsel düşüşü değerlendirmek açısından en çok çalışılanlardır. Genç ve yaşlı yetişkinlerde ayakta durmaya kıyasla yürüme sırasında olaya ilişkin potansiyellerde gecikme ve zayıflama gözlenmiştir (143,161). Bu bulgular, yürümenin motor-bilişsel yükü artırdığını ve bunun sonucunda dikkat işleme hızını azalttığını ve gecikmeyi uzattığını göstermektedir.

0-400, 200-600 ve 400-800 milisaniye arasında teta yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; en yüksek teta yanıtının istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2’de, otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral, Santro-Parietal ve Temporo-Parietal bölgelerde, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 2 ve Fronto-Santral bölgede olduğu görüldü. Ayrıca sağ hemisfere kıyasla sol hemisferde teta gücünde anlamlı fark olduğu görüldü. Yordanova ve ark. yaptıkları çalışmada görsel ve işitsel uyaranlar kullanarak motor hareket başlatma mekanizmalarını incelemişlerdir. Motor hareket başlatmada premotor, motor ve sensorimotor kortikal bölgelerde hareket başlangıcı ile senkronize olan belirgin teta aktivitesinin (3,5-7 Hz) eşlik ettiğini göstermişlerdir. Sağ el hareket başlangıcına kilitlenmiş teta aktivitesinin kaynağının esas olarak sol hemisferin premotor bölgelerinde lokalize olduğunu belirtmişlerdir (162). Popovych ve arkadaşları, istemli ve görsel uyaran koşullarında hareket kilitli bileşik delta-teta (2–7 Hz) osilasyonlarını analiz etmişlerdir. Her iki koşulda da teta yanıtının kontralateral primer motor kortekse en yakın elektrotlarda en güçlü olduğunu bulmuşlardır (163). Araştırmalar, tepki inhibisyonunu ölçmek için Go-Nogo görevlerini kullanırken, inhibisyon sırasında medial frontal teta bandı aktivitesinin arttığını yaygın olarak bulmuştur (164–167). Medial frontal teta, yürütücü ve bilişsel kontrolün temel unsurlarıyla -çatışma işleme, hataların tespiti, inhibisyon, performans izleme ve hareketleri yeniden ayarlama- ilişkilendirilmiştir (168–170). Duyusal bilgi karmaşık veya çelişkili olduğunda, ancak davranışsal kontrol için gerekli olduğunda, parietal alanların bilişsel kontrolde yer aldığı belirtilmiştir (171). Teta aktivitesinin muhtemelen bir "alarm/sürpriz sinyalinin" kodlanmasını yansıttığı ve yanıt inhibisyonu sırasında göreve özel ayarlamalara yol açtığı gösterilmiştir (165). Parietal

alanların da bu tür sürpriz sinyal işlemeye dahil olduğu gösterilmiştir (172). Başka bir çalışmada dürtüsel hatalara karşı hassas olan inhibisyon gereksinimlerinin sürekli dikkat gerektirdiği gösterilmiştir (173). Bu nedenle, bilişsel kontrol süreçlerine aracılık eden medial frontal alanların yanı sıra dikkat kontrolüne aracılık eden posterior parietal ve oksipital alanların da devreye girmesi mümkün olduğu belirtilmiştir (174,175). Bu bağlamda, temporo-parietal bileşkenin özellikle önemli olabileceği vurgulanmıştır. Bunun nedeni, bu beyin bölgesinin, özellikle beklenmedik veya nadir olduklarında, görevle ilgili uyaranların işlenmesi için önemli olmasıdır (176). Bulgularımız istemli adım başlatma görevinde sol hemisfere lateralize premotor ve suplementer motor alanda yüksek teta yanıtı bulgularıyla uyumludur. Bu görevde teta yanıtı hareketin yürütüldüğü süreye denk gelmektedir. Otomatik adım başlatma görevindeki bulgularımız, yine sol hemisfere lateralize premotor ve suplementer motor alanda yüksek teta yanıtı bulgularıyla uyumludur. Ek olarak bu görevde Temporo-Parietal bölgede de yüksek teta yanıtı bulunmuştur. Bu bulgumuz da literatürle uyumlu olmakla beraber motor olmayan alanlar üzerindeki aktivasyonun, yürüyüşün başlatılmasına özgü olmadığını, hareket hazırlığının kendisinden çok bilişsel kontrolün dikkat süreçlerini yansıttığını düşünmekteyiz. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevindeki bulgularımız sol hemisfere lateralize primer motor, premotor ve suplementer motor alanlarda yüksek teta yanıtı bulgularıyla uyumludur. Ek olarak Temporo-Parietal bölgedeki yüksek teta yanıtının, literatürle uyumlu olarak inhibisyon süreçlerini bilgilendirmek için bir araç olabileceği temporo-parietal bileşkede ortaya çıkmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Bu bağlamda temporo-parietal bileşkenin hareket inhibisyonu sürecinde yer aldığını düşünmekteyiz. Bilişsel kontrol süreçleri bu nedenle sadece medial frontal değil, aynı zamanda parietal teta salınımları ile ilişkili olabilir. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevindeki bulgularımız literatürle uyumlu olarak dikkat ve çalışma belleği süreçlerine prefrontal bölgenin, medial frontal alanların ve adım başlatma ile bağlantılı olarak sensorimotor bölgelerin katılımını göstermektedir.

0-500 milisaniye arasında (istemli adım başlatma görevi için -500-0 olarak adım başlatma öncesi) teta yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; en yüksek teta yanıtının istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 1 ve Fronto-Santral bölgede, otomatik adım başlatma görevinde Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma



sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 1 ve 2 ile Fronto-Santral bölgede olduğu bulundu. Ayrıca sağ hemisfere kıyasla sol hemisferde teta gücünde anlamlı fark olduğu görüldü. Başar'ın olayla ilgili beyin salınımları kavramına göre, zaman alanındaki olayla ilgili potansiyellerin, devam eden EEG ritimlerinin olayla ilgili yeniden düzenlenmesinden kaynaklanan çoklu frekansa özgü yanıtlardan oluştuğu kabul edilmektedir (177,178). Sensorimotor görevlerde zaman alanlı yanıtla ilgili potansiyellerin heterojen bir frekans yapısına sahip olduğu gösterilmiştir. Bu potansiyeller, hareket tarafından faz kilitli olan ve hareket başlangıcında 200 ms içinde ortaya çıkan teta EEG aktivitesinin (3.5-7 Hz) büyük bir bölümünü içermektedir. Tepki kilitli teta aktivitesi, cevaba kontralateral hemisferin motor kortikal bölgelerinde görülmektedir (162). Popovych ve arkadaşları, kontralateral motor bölgelerde uzamsal olarak senkronize delta teta (2-7 Hz) salınımlarının hem istemli hareketler hem de otomatik hareketler için meydana geldiklerinden, motor hareket üretiminin spesifik bir özelliği olduğunu doğrulamıştır (163). Önemli olarak, motor kortikal teta salınımlarının medial frontal korteksteki teta aktivitesi ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Daha önceki çalışmalar, hareketin tüm aşamalarında (hazırlık, başlatma ve yürütme) harekete karşı primer motor korteks, primer somatosensoriyel korteks ve suplemer motor alanın birlikte aktivasyonunu ortaya koymuştur (179). Önceki bulgular, istemli hareket etme kararının zamanlamasının, beynin premotor ve primer motor bölgeleri üzerinde artan yavaş dalga salınımları aşamasında meydana gelme olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir (6,9,153). Bulgularımız istemli adım başlatma görevinde, motor hareketin başlangıcından önce primer motor korteks, premotor ve suplemer motor alanda yüksek teta yanıtını göstermektedir. Bu yanıt istatistiksel olarak anlamlı değildir ancak, literatürde istemli hareket niyetinin zamanlamasıyla ve lokasyonu ile uyumlu görünmektedir. Literatürde istemli hareket niyeti, olaya ilişkin potansiyel analizleri ile belirlenmiş olsa da potansiyellerin heterojen bir frekans yapısına sahip olduğundan yola çıkarak bu bulgumuzun istemli hareketin niyeti ile ilgili bir işaret olduğunu düşünmekteyiz. Diğer görevler için bu süre aralığı uyaran sonrası süreye denk gelmektedir ve teta yanıtı ile ilgili bulgularımız yukarıda tartıştığımız diğer zaman aralıklarıyla benzerdir. Bulgularımız, motor teta salınımlarının, eylem

koordinasyonu ve entegrasyonu ile ilgili olarak insanlarda hareket oluşturma süreçlerini desteklediğini doğrulamaktadır.

0-200, 200-600 ve 600-800 milisaniye arasında alfa yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; en yüksek alfa yanıtının istemli adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgede, otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Temporo-Parietal bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 2 ve Temporo-Parietal bölgede olduğu görüldü. Alfa modülasyonunun, görsel sistemin duyarlılığında dikkatle indüklenen değişikliklerin göstergesi olduğu göz önüne alındığında, frontal tetanın, dikkatin oksipital alfa aktivitesinin lateralizasyonunu yönlendirdiği mekanizma olabileceğini ve bu frekanslar arası etkileşimin, uzamsal dikkatin bir belirteci olduğu varsayılmaktadır (160). Yürüyüş sırasındaki kortikal aktivasyonun ana modeli, ağırlıklı olarak bir yürüyüş döngüsünün salınım fazı sırasında ve yürüyüşün başlaması için hareketin hazırlanması sırasında alfa ve beta desenkronizasyonları tarafından yansıtılan sensorimotor alanların aktivasyonudur. Genel olarak, alfa ve beta ritimlerinin genliği, hareketin yürütülmesinden hemen önce azalır ve sonlandırıldıktan sonra yeniden senkronize olur. Dikkate alınan frekans bandı ne olursa olsun, bu salınımların harekete özgü olmadığı ve hafıza ya da dikkat gibi çok sayıda bilişsel sürece atfedildiği belirtilmektedir (1,114). Pfurtscheller ve arkadaşları yaptıkları çalışmada aktif yürüme sırasında sensorimotor ve parietal alanlarda alfa ve beta gücünde desenkronizasyon ile hareketlerin hazırlanması ve istemli olarak yürütülmesi sırasında motor sistemde alfa ve beta gücünde senkronizasyon olduğunu bulmuşlardır (180). Nöroanatomik alt yapısına baktığımızda motor planlamanın prefrontal korteksi içerdiği, hızlı yanıtların posterior parietal korteks tarafından oluşturulduğu bilinmektedir. Ancak, hareketle ilgili posterior parietal korteksin istemli ve otomatik başlatılan hareketlere aracılık etmede aynı işlevsel rolü oynayıp oynamadığı tartışma konusudur (14). Bazı çalışmalarda duyuşsal entegrasyon ve hareketlerin planlanmasında medial temporal lobun, özellikle de hipokampusun rolü öne sürülmüştür (181,182). Bununla birlikte, medial temporal lobun hareketlerin programlanmasındaki rolüne ilişkin az sayıda çalışma vardır. Çoğu çalışma, özellikle çeşitli kaynaklardan gelen bilgileri birleştirme ile ilgili olarak, hafıza görevlerinde medial temporal lobun rolüne odaklanmıştır.

(183). Bulgularımız, istemli adım başlatma görevinde hareketin yürütülmesi sırasında Prefrontal, Premotor/Presuplementer motor alanlardaki yüksek alfa yanıtının literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir. Ek olarak bu görev sırasında posterior parietal-oksipital bölgelerde bulmuş olduğumuz yüksek alfa yanıtının görev sırasında görsel uyarının işlenmesi (Libet saati) ile ilgili olduğunu ve literatürle uyumlu olarak hızlı yanıtların üretilmesinde posterior parietal bölgenin göreviyle de ilişkili olduğunu düşünmekteyiz. Otomatik adım başlatma görevinde, yüksek alfa yanıtı literatürle uyumlu olarak prefrontal, Premotor/Presuplementer motor alanlarda görülmektedir. Ek olarak bu görevde Temporo-Parietal bölgede yüksek alfa yanıtı görülmektedir. Bu bulgumuz, duyuşsal entegrasyon ve hareketlerin planlanmasında medial temporal lobun görev aldığını belirten çalışmalarla uyumludur. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Fronto-Santral bölgede görmüş olduğumuz yüksek alfa yanıtı, daha önce de bahsedilen SMA'nın hareketin inhibisyonu süreçlerinde aktif rol aldığı bulgularıyla uyumludur. Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde yüksek alfa yanıtı bulduğumuz lokasyonlar, literatürle uyumlu olarak motor hareketin hazırlanması ve düzenlenmesinden sorumlu Prefrontal, Premotor/Presuplementer motor alanlardır. Bu bölgeler daha önce de belirttiğimiz gibi hareketin başlatılması karmaşık dikkat gerektirdiğinde rol almaktadır ve bulgumuz literatürle uyumludur. Ek olarak Temporo-Parietal bölgedeki bulgumuz duyuşsal entegrasyon ve hareketlerin planlanmasında medial temporal lobun aktivasyonu ile ilişkili görünmektedir. Sürekli dikkat ve çalışma belleği ile ilgili olarak bu bölgelerdeki yanıtın Fronto-Parietal ağ aktivasyonu ile ilgili olduğunu düşünmekteyiz. Son olarak Şekil 6.2.2.11, Şekil 6.2.2.12, Şekil 6.2.2.13 ve Şekil 6.2.2.14'te görüldüğü gibi belirgin ERD-ERS kalıpları bulunmaktadır. Bu bulgu Pfurtscheller ve arkadaşlarının ERD-ERS tanımlarıyla uyumlu görünmektedir.

0-500 milisaniye arasında (istemli adım başlatma görevi için -500-0 olarak adım başlatma öncesi) alfa yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; en yüksek alfa yanıtının istemli adım başlatma görevinde Fronto-Santral bölgede, otomatik adım başlatma ve otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevlerinde Temporo-Parietal bölgede, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Fronto-Santral bölgede olduğu görüldü. Pfurtscheller ve arkadaşları yaptıkları çalışmada aktif yürüme sırasında merkezi sensorimotor ve parietal alanlarda alfa ve beta gücünde

desenkronizasyon ile hareketlerin hazırlanması ve istemli olarak yürütülmesi sırasında motor sistemde alfa ve beta gücünde senkronizasyon olduğunu bulmuşlardır (180). Bulgularımız istemli adım başlatma görevinde hareketin başlatılmasından önceki süreçte Fronto-Santral lokasyonda yüksek alfa yanıtı olduğunu göstermektedir. Bu yanıtın istemli adımın başlatılmasından yaklaşık 1 saniye öncesine kadar gücünün yüksek olduğunu, daha sonra hareket başlangıcına kadar gücünün azaldığını görmekteyiz (Şekil 6.2.2.11). Hareketin tamamlanmasının ardından görmüş olduğumuz yüksek alfa yanıtı, bu süreçlerin desenkronizasyon-senkronizasyon kalıplarıyla uyumlu olduğunu düşündürmektedir. Bu ERD-ERS kalıpları diğer görevler için daha belirgindir (Şekil 6.2.2.12, Şekil 6.2.2.13, Şekil 6.2.2.14). Ek olarak inhibisyon ve çalışma belleği görevlerinde özellikle artan bilişsel yüke özel olarak bağlanan alfa ve beta ERD ve ERS'nin temporal kortekste de mevcut olması, bu bölgenin frontal alanlarla birlikte yürütücü işlevleri yönlendiren bilişsel bir ağ oluşturduğunu düşündürmektedir.

0-600 ve 600-1000 milisaniye arasında beta yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; en yüksek beta yanıtının istemli adım başlatma ve otomatik adım başlatma görevinde Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgede, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde Frontal Bölge 1 ve 2'de, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ise Frontal Bölge 2 ve Parieto-Oksipital bölgede olduğu görüldü. Ayrıca sol hemisfere kıyasla sağ hemisferde teta gücünde anlamlı fark olduğu görüldü. Motorla ilgili beta salınımlarının, mevcut motor setinin korunmasını ve yeni hareketlerle ilişkili durumların bastırılmasını yansıttığı düşünülmektedir. Buna karşılık, hareket hazırlama ve yürütme, beta salınımlarının zayıflamasıyla ilişkilidir (184). Önceki çalışmalarda, bilişsel işlemeyi içeren farklı yürüme koşullarında posterior parietal korteks ve M1'de aktivasyonda farklılıklar meydana geldiği gösterilmiştir. Bu bölgelerde alfa ve beta ERD'nin, daha zorlu yürüyüş koşulları için yürüyüş döngüsünün başlangıcında daha belirgin olduğu, ayrıca beta ERD'nin posterior parietal kortekste daha büyük olduğu belirtilmiştir (185). Genel olarak, alfa ve beta dalgalarının genliği, hareketin yürütülmesinden hemen önce azalmakta ve hareketin sonlandırılmasından sonra yeniden senkronize olmaktadır. (1,114).

İstemli eylemlerin yanı sıra ipuçlarının inhibisyonu için nöral mekanizmalar daha önce lateral ve medial prefrontal kortekste, presuplementer motor alanda ve insular

kortekste bulunmuştur (186–188). Birçok inhibisyon çalışması, planlı bir hareketin inhibisyonuna, ağırlıklı olarak sağ inferior PFK'de olmak üzere birçok prefrontal bölgede nöral aktivitenin eşlik ettiğini bildirmiştir. Sağ inferior PFK'nin hem dış uyaranlara hem de hedefler gibi iç süreçlere dayalı hareketleri engelleyebilen bir fren gibi davrandığı öne sürülmüştür (187). Hareket inhibisyonuna dahil olduğu öne sürülen başka bir bölge, medial PFK'dir; ancak rolü daha tartışmalıdır. Bazı inhibisyon çalışmaları, medial PFK'deki aktivitenin doğrudan inhibisyonu yansıtmayabileceğini göstermektedir (189). Bununla birlikte, harici durdurma sinyallerine dayalı olmaktan ziyade, kendiliğinden ve içsel kararlara dayalı hareketlerin iptal edilmesiyle ilgili olabileceği belirtilmiştir (49,190). İnhibisyonu değerlendiren başka bir çalışmada sağ hemisferdeki beta yanıtının, sol hemisfere kıyasla durma süresi boyunca önemli ölçüde daha fazla beta gücüne sahip olduğunu göstermiştir. Yine bu çalışmada, sağlıklı kontrollerde durma sinyalinden yaklaşık 200 ms sonra başlayan bir beta artışı olduğu görülmüştür (191). Swann ve arkadaşları, başlatılan bir yanıtı durdurmanın, sağ inferior frontal korteks ve subtalamik çekirdek dahil olmak üzere bir fronto-bazal-ganglia devresinde beta gücü artışına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu sonuçlar, sağ frontal korteks ve bazal ganglionlar arasında yapısal olarak bağlı bir fonksiyonel devre olduğunu düşündürmektedir (191). Wagner ve arkadaşlarının çalışmasında işitsel işaretlere yanıt olarak adım uzunluğunun ayarlanması durumunda medial frontal ve parietal bölgelerde beta gücünün azaldığını ve sağ dorsolateral PFK'de gücün arttığı gösterilmiştir (192). Bulgularımız, istemli adım başlatma görevinde prefrontal, premotor/presuplementer motor alanın aktivasyonuna ek olarak Parieto-Oksipital bölgede yüksek beta yanıtı olduğunu göstermektedir. Bu süre aralıklarının istemli hareket için hareketi başlatma ve yürütme süresine denk geldiği düşünüldüğünde motor bölgelerin aktivasyonu literatürle uyumludur. Yukarıda, posterior parietal bölgede beta ERD'den bahsedilmiştir. Şekil 6.2.3.8'de görüldüğü gibi hareket başlangıcından yaklaşık 200 ms sonrasına kadar beta desenkronizasyonu ve daha sonrasında güçlü bir senkronizasyon görülmektedir. Bu açıdan bulgumuz, literatürde bahsedilen beta ERD-ERS kalıplarına uyuyor gibi görünmektedir. Ancak bu noktada, bu salınımların sadece harekete özgü olmadığını ve hafıza ya da dikkat gibi çok sayıda bilişsel süreçte atfedildiğini de belirtmek gerekir. Otomatik adım başlatma görevi için de beta yanıtının yüksek olduğu lokasyonlar istemli adım başlatma görevi ile aynıdır. Farklı

olarak burada uyaran sonrası belirgin bir desenkronizasyon ve hareketin tamamlanmasından sonra senkronizasyon görülmektedir. Premotor/Presuplementer motor alandaki beta yanıtları literatürle uyumlu olmakla beraber, bu görevde Parieto-Oksipital bölgedeki yanıtların görsel uyaranların işlenmesi ve dikkat ile ilgili olduğunu düşünmekteyiz. Otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde en yüksek beta yanıtlarının Prefrontal/DLPFK ve Premotor/Presuplementer motor alanlarda olduğu bulunmuştur. Bulgularımız Wagner ve arkadaşlarının çalışmasıyla uyumludur. Yine bu görevde de belirgin ERD ve ERS kalıpları görünmektedir (Şekil 6.2.3.10). Çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde de inhibisyon göreviyle benzer olarak Prefrontal/DLPFK ve Premotor/Presuplementer alanlarda yüksek beta yanıtı görülmektedir. Farklı olarak bu görevde Parieto-Oksipital bölgede de beta yanıtı yüksek çıkmıştır. Bu durumun inhibisyon görevine kıyasla çalışma belleği görevinin daha zor olması daha fazla görsel dikkat gerektirmesi ile ilgili olarak bilişsel süreçlerin ve Fronto-Parietal ağı bir etkisi olduğunu düşünmekteyiz. Bununla birlikte, ortaya çıkan tablo, sağ PFK'nin insanlarda yürüyüş gibi tüm vücut hareketlerinde baskın olarak yer aldığını göstermektedir. Bu nedenle, adım atma sırasında hareket ayarlamalarında önemli olduğunu düşünmekteyiz.

0-500 milisaniye arasında (istemli adım başlatma görevi için -500-0 olarak adım başlatma öncesi) beta yanıtını değerlendirdiğimiz EEG bulgularımızda; lokasyon farkı istatistiksel açıdan anlamlı bulundu. Post-hoc analizlerde lokasyonlar arasında anlamlı fark bulunmadı. Ancak Şekil 6.2.3.8'de görüldüğü gibi, önceki bulgularımızla ve literatürle uyumlu olarak istemli adım başlatma görevinde hareket başlangıcından önce beta yanıtında ERD-ERS bulunmuştur.

Somatosensoryel, görsel ve vestibüler duyu gibi çoklu duyusal bilgiler beynin çeşitli bölgelerine etki ederek postür-yürüyüş kontrolü sağlanmaktadır. Bilişsel postüral kontrol süreci temporoparietal asosiyasyon korteksi tarafından kontrol edilmektedir. Temporoparietal korteks ve serebellum arasındaki karşılıklı bağlantı bu sürece katkıda bulunmaktadır (77). Temporoparietal korteksteki bilişsel bilgi, özellikle kişi yabancı bir ortamla karşılaştığında doğru yürüyüş kontrolü için gereklidir. Bedensel bilgi daha sonra SMA'ya ve bilgilerin motor programları üretmek için materyal olarak kullanılabilmesi PMA'ya iletilir. Planlar ve niyetler de dahil olmak üzere PFK'dan gelen sinyaller, SMA/PMA'da amaçlı hareketler ve postüral

kontrolü ilişkilendiren motor programların çalıştırılmasını tetiklemektedir. Daha sonra motor programlar M1'e gönderilmekte, böylece hedefe yönelik hareketler elde edilmektedir (155). Ek olarak, yürüyüş ile eş zamanlı gerçekleştirilen bir yürütücü işlev görevi sırasında bu sürece DLPFK'nin katıldığı bilinmektedir (193).

Hemodinamik yanıtı değerlendirdiğimiz sonuçlarımızdan ilki, tüm görevlerin birbiri ile karşılaştırılması sonucunda oksihemoglobun yoğunluğunun anlamlı çıktığı bölgelere göre, en düşük konsantrasyondan en yüksek konsantrasyona sırasıyla otomatik adım başlatma görevinde, çalışma belleği sırasında adım başlatma görevinde ve otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevinde DLPFK, Frontopolar alan, PMA, PreSMA ve Suplemer motor alanlardır. Bulgularımız otomatik adım başlatma görevine kıyasla daha fazla bilişsel yük gerektiren otomatik adım başlatma görevinde inhibisyon ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevlerinde yüksek oksihemoglobun konsantrasyonlarını göstermektedir.

Literatürde, daha büyük yürüyüş değişkenliğinin, daha yüksek kortikal aktiviteye neden olduğu belirtilmiştir (194). SMA ve prefrontal korteksler daha karmaşık yürüyüş biçimlerinde rol oynamaktadır (75,195). DLPFK'nin yürüme görevinde yüksek bir dikkat talebi olduğunda görev aldığı daha önceki fYKS çalışmalarında gösterilmiştir (146,196). fYKS sırasında katılımcıların adım başlatma ve adım başlatma sırasında inhibisyon görevlerini gerçekleştirdikleri bir çalışmada, inhibisyonun SMA ve DLPFK arasındaki korelasyonu artırdığı görülmüştür (126). Lin ve arkadaşlarının yürüme ile eş zamanlı olarak n-geri görevini kullandıkları çalışmada yürütücü işlevler ve postüral kontrol üzerindeki ek taleplerin, DLPFK'de nöral aktivasyonu önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur (146). SMA'nın hareketlerin seçimi, planlaması ve koordinasyonunda yer aldığı bilinmektedir. Zor yürüme türleri (geriye doğru yürüme gibi) üzerine yapılan fYKS çalışmalarında Kurz ve arkadaşları daha zor olan geriye doğru yürüme görevi için artan SMA aktivitesini (premotor aktivite ile birlikte) bulmuştur. Bu nedenle, yürüyüş sırasında ve özellikle karmaşık yürüyüş sırasında DLPFK ve SMA önemli görünmektedir. (194,195) Tüm görevler arasında en az bilişsel talep gerektiren görev olduğunda Shimada ve arkadaşları pozitron emisyon tomografisini kullanarak sağlıklı bireylerde koşu bandı yürüyüşü sırasında superior frontal girus, DLPFK, SMA, orbitofrontal girus, posterior singulat korteks ve hipokampusta azalan aktivasyonu göstermişlerdir (197). Otomatik adım

başlatma görevine kıyasla otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevleri için DLPFK, SMA ve premotor alanın aktivasyonuna ilişkin bulgularımız bu bulgularla uyumludur ve normal yürüyüşe kıyasla daha fazla inhibisyon ve dikkat gerektirdiğini göstermektedir. Bu bulgu farklı adım başlatma görevlerinde hemodinamik yanıtların farklılaşması hipotezimizi desteklemektedir. Bu doğrultuda inhibitör kontrol ve çalışma belleğindeki performansın, SMA ve DLPFK aktivitesinin seviyesi ve adım başlangıcındaki performansı ile ilişkili olduğunu düşünmekteyiz.

Bir diğer bulgumuz, broka alanı ve primer somatosensoriyel kortekste adım başlatma görevleri sırasında anlamlı oksihemoglobin konsantrasyonunun görülmesidir. Bu hemodinamik yanıt, otomatik adım başlatma görevinde en yüksektir. Broka alanı Brodmann'ın haritasında 44 ve 45 numaralı alanlara karşılık gelen, inferior frontal girusun pars opercularis ve pars triangularis kısımları olarak tanımlanmaktadır (198). Huppert ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çalışma belleği ve inhibitör kontrol gerektiren yürüme görevi sırasında inferior frontal girusta aktivasyon olduğunu bulmuşlardır (196). Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme tekniğinin kullanıldığı bazı çalışmalarda inferior frontal girusun aktivasyonuna ek olarak, SMA ve preSMA, orta frontal korteks, anterior singulat korteks, inferior temporal korteks, inferior parietal korteks ve insula'da aktivasyon görülmüştür (199,200). Bu bulgumuz literatürle uyumlu görünmektedir ancak bu alanların birçoğu fYKS tekniğiyle ulaşılamayacak kadar derindedir ve hemodinamik yanıtı gözlemlemek zordur. Bu nedenle çalışmamızda bu lokasyonları kapsayacak bir montaj gerçekleştirmiş olsak da diğer bölgelerdeki aktivasyonu gözlemleyemedik.

İnsandaki farklı yürüme karmaşıklıkları sırasında somatosensoriyel korteksin rolü ile ilgili fYKS çalışmaları karışık bir tablo ortaya koymaktadır. Bir çalışmada, normal yürüyüş ve geriye doğru yürüme sırasında anlamlı somatosensoriyel korteks aktivitesi olduğu belirtilmiştir (194). Ancak bu çalışmada yavaş yürüme hızları dikkat çekicidir. Başka bir çalışmada PFK'nin aksine, somatosensoriyel korteksler, farklı yürüme görevleri sırasında neredeyse hiç önemli bir hemodinamik değişiklik göstermemiştir. Ancak görevlerin başında oksihemoglobin konsantrasyonlarında bir zirve fark edilmiştir. Bu zirvenin dinlenme süresinde ayakta durmak ile ilgili bir aktivite olduğu düşünülmüştür (195). Çalışmamızda, katılımcılar kendi adım



uzunluklarında ve yürüme hızlarında adım başlatmışlardır ve çalışma dizaynımızda uyaranlar arasında ayakta bekleme süreleri mevcuttur. Primer somatosensoriyel kortekste bulmuş olduğumuz anlamlı hemodinamik yanıt Kurz ve arkadaşlarının bulgularıyla uyumlu görünmektedir. Ancak istatistiksel olarak anlamlı kanallar içerisinde sadece bir kanalda bu yanıt bulunmuştur. Bu durum, somatosensoriyel korteks aktivitesinin görevler sırasında diğer bölgelere kıyasla daha az olduğunu göstermektedir. Somatosensoriyel korteksin denge kontrolündeki önemli rolü düşünüldüğünde, Koenraadt ve arkadaşlarının çalışmasında olduğu gibi, katılımcılar dinlenme periyotlarında ayakta durdukları için, hemodinamik aktive olması muhtemeldir ve bu durum, yürüme görevi sırasında aktivitede artış görülmemesinin bir nedeni olabilir (195). Ek olarak bulduğumuz hemodinamik yanıtın en fazla otomatik adım başlatma görevinde görülmüş olması, diğer görevler daha karmaşık olmasına rağmen sağlıklı katılımcılar için yeterince zor olmamasıyla ilişkilendirilebilir. Bu tür somatosensoriyel aktivasyonların araştırılmasında daha karmaşık yürüyüş paternlerinin kullanılması gerektirdiğini düşünmekteyiz.

Hemodinamik yanıtı değerlendirdiğimiz bulgularımızda adım başlatma görevleri sırasında çoğunlukla sol hemisfer aktivasyon göstermesine rağmen anlamlı kanalların bazıları sağ hemisferdedir. Bu kanallar DLPFK, PMA/PreSMA ve Primer Somatosensoriyel kortekse karşılık gelmektedir. Önceki araştırmalar, ipsilateral el hareketlerinin kortikal temsillerinin, motor korteksteki kontralateral el hareketlerine konum olarak benzer olduğunu göstermiştir (201). Bunun, benzer bir alanın aktive olmasının, ancak iki hemisfer arasında engelleyici bir rol oynadığı bilinen korpus kallozum tarafından inhibe edilmesinin sonucu olduğu düşünülmüştür (202). Tek taraflı bir hareket sırasında, hemisfer baskınlığı ile açıklanabilecek olan ipsilateral hemisfer inhibe edilmektedir (203). Önceki bulgularla uyumlu olarak, sonuçlarımız ipsilateral aktivitenin küçük ve inhibe olmasına rağmen motor bölgelere doğru çekildiğini göstermektedir. Hemodinamik bulgularımızın motor kontrolü ve adım başlatma süreçlerini yansıttığını düşünmekteyiz, çünkü bu çalışmadaki görevler sağlıklı yetişkinlerin hatasız gerçekleştirebilecekleri iyi öğrenilmiş temel motor becerilerdir.

## 7.1. Çalışmanın Güçlü Yanları

Literatürde farklı durumlarda adım başlatma görevlerini inceleyen çalışmalar olsa da bilginiz dahilinde genellikle istemli ve otomatik adım başlatma veya otomatik adım başlatma ve inhibisyon süreçleri karşılaştırılmış olup, 4 farklı görev sırasında adım başlatma mekanizmalarını inceleyen çalışma henüz yayınlanmamıştır. Yürüyüşün inhibisyonunu değerlendiren çalışmalarda Go-Nogo görevi kullanılmış olmakla beraber biz çalışmamızda, daha aktif inhibisyon gerektiren bir görev tasarımı yaptık. Çalışmamızda önceki çalışmalara kıyasla, elektrofizyolojik ve hemodinamik yanıtı birlikte inceledik. EEG'nin zaman-frekans analizi, beyindeki bilgi işlemenin veya bir hareketin programlanmasının altında yatan nöronal salınımların zamansal olarak daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur, fYKS ise daha iyi mekânsal çözünürlük sunar. Bu nedenle yürüyüşün araştırılmasında iki yöntemin birlikte kullanılması daha faydalı sonuçlar sağlar. İki yöntemin birlikte kullanıldığı deney tasarımları oluşturmak, gelecekteki araştırmalarda hareket bozukluklarının nöral mekanizmalarına ve örneğin beyin-bilgisayar arayüzünde kullanımı ile yürüyüş rehabilitasyonu uygulamalarına dair fikir vermektedir.

## 7.2. Çalışmanın Limitasyonları

Çalışmamızda bazı limitasyonlar bulunmaktadır. Sadece sağ el baskın kullanan bireyleri almış olmamız adım başlatmanın sağ bacak ile değerlendirilmiş olması lateralize networklerinin tanımlanması noktasında bir kısıtlılığa neden olmuş olabilir. Çalışmamızda hemodinamik yanıtı değerlendirdiğimiz fYKS tekniği ile sadece kortikal bölgelerde görüntüleme elde etmiş bulunmaktayız, subkortikal yapılarda gerçekleşmesi muhtemel aktivasyon değişimlerini gösterememiş bulunmaktayız. Ek olarak mevcut deney tasarımıdaki sınırlılıklardan dolayı istemli adım başlatma görevi fYKS tekniği ile değerlendirilememiştir. Çalışmamızda görsel uyaran kullanarak adım başlatma süreçlerini araştırmış bulunmaktayız, uyarıların işitsel olarak sunulması başka beyin bölgelerinde aktivasyona sebep olabilirdi. Adım başlatma görevlerinin bir adım döngüsünü içerecek şekilde olması günlük yaşamda yürüme süreçlerinin karşılığı olmayabilir, daha farklı deney tasarımlarıyla, örneğin koşu bandı ile gerçekleştirilen yürüme görevlerinde istemli ve otomatik adım başlatmanın nöral mekanizmaları araştırılabilir. İstemli adım başlatma görevinde EEG analizlerinde katılımcıların hareket etme isteğini sözel olarak belirttikleri bireysel süreler kullanılmadı, bunun yerine literatürde belirtilen ortalama

süre üzerinden analizler yapıldı. Yine EEG analizlerinde hareket etme niyeti ile ilgili daha yavaş frekansta bir dalga olan delta dalgası incelenmedi. Örneklem büyüklüğünün ve deneme sayısının az olması, bireysel farklılıkların elde ettiğimiz bulguları etkileyebileceği de limitasyonlarımız arasındadır. Daha büyük örneklem büyüklüğüne sahip bir çalışma, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevlerine dikkat ve motor sistemlerin bağımsız katkılarını daha fazla açıklayabilir ve nicelendirebilir.



## 8. SONUÇ

Çalışmamızda, farklı adım başlatma görevleri sırasında beyinde gerçekleşen elektrofizyolojik değişiklikleri EEG osilasyon yöntemi ve hemodinamik değişiklikleri fYKS yöntemi ile araştırmak, istemli ve otomatik başlatılan alt ekstremit motor hareketlerinde yanıt ile ilişkili nöral mekanizmaları incelemeyi, böylece sağlıklı yürüyüş başlatmada bilinçli kararların anlaşılmasına katkıda bulunmayı amaçladık. Çalışmamızın sonucunda:

- Teta, alfa ve beta yanıtlarının farklı durumlarda adım başlatılması sürecinde önemli etkiye sahip olduğu görüldü.
- İstemli adım başlatma görevinde sensorimotor bölgelerdeki hareket öncesi teta yanıtının istemli hareketin niyetini belirttiğini düşünmekteyiz.
- Tüm görevlerde primer motor, suplemer motor ve premotor/presuplemer motor alanların motor hareketin hazırlanması ve yürütülmesi sürecinde rol aldığı, ek olarak istemli adım başlatma için prefrontal bölge başta olmak üzere Fronto-Parieto-Oksipital bölgenin, otomatik adım başlatma görevi için Fronto-Temporo-Parietal bölgenin, otomatik adım başlatma sırasında inhibisyon görevi için Fronto-Santro-Temporo-Parietal bölgenin ve çalışma belleği sırasında adım başlatma görevi için de Fronto-Santro-Temporo-Parietal bölgenin etkili olduğu görüldü.
- Adım başlatma sürecinde temel merkezi bir nöral ağın varlığı ile beraber, görev türüne özel spesifik bölgelerin var olduğu ve bu bölgelerin hemodinamik aktivite derecesinin değişebileceği görüldü.
- Adım başlatma, dikkat ve çalışma belleği gibi daha fazla bilişsel kaynaklar gerektirdiğinde prefrontal ve sensorimotor bölgelerin hareket ayarlamalarında daha fazla rol aldığı görüldü.
- İnhibitör kontrol ve çalışma belleğindeki performansın, suplemer motor alan ve dorsolateral prefrontal korteks hemodinamik aktivitesinin seviyesi ve adım başlangıcındaki performansı ile ilişkili olduğu görüldü.
- Motor hareketler çoğunlukla kontralateral beyin hemisferlerindeki motor bölgeler tarafından temsil edilse de ipsilateral hemisferde de benzer lokasyonlarda daha zayıf aktivasyonlar görüldü.

## 9. KAYNAKLAR

1. Armstrong SD, Sale M V., Cunnington R. Neural oscillations and the initiation of voluntary movement. *Front Psychol.* 2018;9(DEC):1–16.
2. Pfurtscheller G, Bauernfeind G, Neuper C, Lopes da Silva FH. Does conscious intention to perform a motor act depend on slow prefrontal (de)oxyhemoglobin oscillations in the resting brain? *Neurosci Lett* [Internet]. 2012;508(2):89–94. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2011.12.025>
3. Pfurtscheller G, Daly I, Bauernfeind G, Müller-Putz GR. Coupling between intrinsic prefrontal Hbo2 and central EEG beta power oscillations in the resting brain. *PLoS One.* 2012;7(8):1–9.
4. Kornhuber HH, Deecke L. Hirnpotentialänderungen bei Willkürbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale. *Pflugers Arch Gesamte Physiol Menschen Tiere.* 1965;284(1):1–17.
5. Libet B, Gleason CA, Wright EW, Pearl DK. Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain.* 1983;106(3):623–42.
6. Schmidt S, Jo HG, Wittmann M, Hinterberger T. ‘Catching the waves’ – slow cortical potentials as moderator of voluntary action. *Neurosci Biobehav Rev* [Internet]. 2016;68:639–50. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.023>
7. Di Russo F, Berchicci M, Bozzacchi C, Perri RL, Pitzalis S, Spinelli D. Beyond the “Bereitschaftspotential”: Action preparation behind cognitive functions. *Neurosci Biobehav Rev* [Internet]. 2017;78:57–81. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.04.019>
8. Schurger A, Sitt JD, Dehaene S. An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2012;109(42):1–10.
9. Jo HG, Hinterberger T, Wittmann M, Borghardt TL, Schmidt S. Spontaneous EEG fluctuations determine the readiness potential: Is preconscious brain activation a preparation process to move? *Exp Brain Res.* 2013;231(4):495–

500.

10. Filyushkina V, Popov V, Medvednik R, Ushakov V, Batalov A, Tomskiy A, vd. Hyperactivity of basal ganglia in patients with Parkinson's disease during internally guided voluntary movements. *Front Neurol.* 2019;10(JUL):1–7.
11. Sakata H, Itoh K, Suzuki Y, Nakamura K, Watanabe M, Igarashi H, vd. Slow accumulations of neural activities in multiple cortical regions precede self-initiation of movement: An event-related fMRI study. *eNeuro.* 2017;4(5):1–8.
12. Baker KS, Mattingley JB, Chambers CD, Cunnington R. Attention and the readiness for action. *Neuropsychologia* [Internet]. 2011;49(12):3303–13. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.08.003>
13. Fautrelle L, Prablanc C, Berret B, Ballay Y, Bonnetblanc F. Pointing to double-step visual stimuli from a standing position: very short latency (express) corrections are observed in upper and lower limbs and may not require cortical involvement. *Neuroscience.* 2010;169(2):697–705.
14. Potocanac Z, Duysens J. Online adjustments of leg movements in healthy young and old. *Exp Brain Res.* 2017;235(8):2329–48.
15. Mazaheri M, Hoogkamer W, Potocanac Z, Verschueren S, Roerdink M, Beek PJ, vd. Effects of aging and dual tasking on step adjustments to perturbations in visually cued walking. *Exp Brain Res.* 2015;233(12):3467–74.
16. Vervoort G, Alaerts K, Bengevoord A, Nackaerts E, Heremans E, Vandenberghe W, vd. Functional connectivity alterations in the motor and fronto-parietal network relate to behavioral heterogeneity in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord.* 2016;24:48–55.
17. Haggard P. The Neurocognitive Bases of Human Volition. *Annu Rev Psychol.* Ocak 2019;70:9–28.
18. Pujolràs EP. Endogenicity and awareness in voluntary action. 2019;
19. Wolpert DM, Kawato M. Multiple paired forward and inverse models for motor control. *Neural Networks.* 1998;11(7–8):1317–29.
20. Uithol S, Burnston DC, Haselager P. Why we may not find intentions in the brain. *Neuropsychologia.* 2014;56(1):129–39.
21. William B. Carpenter M.D. FR. On the influence of suggestion in modifying and directing muscular movement independently of volition. *R Inst Gt Britain*

- [Internet]. 1852;(10):10. Available at: <https://ia801305.us.archive.org/5/items/b22377074/b22377074.pdf>
22. James W, Burkhardt F, Bowers F, Skrupskelis IK. The principles of psychology. C. 1. Macmillan London; 1890.
  23. Pacherie E. The phenomenology of action: A conceptual framework. Cognition [Internet]. 2008;107(1):179–217. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010027707002521>
  24. Debray SBE, Demeestere J. Alien hand syndrome. Neurology [Internet]. 11 Eylül 2018;91(11):527 LP – 527. Available at: <http://n.neurology.org/content/91/11/527.abstract>
  25. Vierkant T, Deutschländer R, Sinnott-Armstrong W, Haynes J-D. Responsibility Without Freedom? Folk Judgements About Deliberate Actions [Internet]. C. 10, Frontiers in Psychology . 2019. Available at: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2019.01133>
  26. Libet B. Do we have free will? J Conscious Stud. 1999;6(8–9):47–57.
  27. Haggard P. Conscious intention and motor cognition. Trends Cogn Sci. 2005;9(6):290–5.
  28. Passingham RE. Two cortical systems for directing movement. Mot areas Cereb cortex. 1987;132:151–64.
  29. Picard N, Strick PL. Motor areas of the medial wall: a review of their location and functional activation. Cereb cortex. 1996;6(3):342–53.
  30. Deiber M-P, Passingham RE, Colebatch JG, Friston KJ, Nixon PD, Frackowiak RSJ. Cortical areas and the selection of movement: a study with positron emission tomography. Exp brain Res. 1991;84(2):393–402.
  31. Deiber M-P, Honda M, Ibañez V, Sadato N, Hallett M. Mesial motor areas in self-initiated versus externally triggered movements examined with fMRI: effect of movement type and rate. J Neurophysiol. 1999;81(6):3065–77.
  32. Jahanshahi M, Jenkins IH, Brown RG, Marsden CD, Passingham RE, Brooks DJ. Self-initiated versus externally triggered movements: I. An investigation using measurement of regional cerebral blood flow with PET and movement-related potentials in normal and Parkinson's disease subjects. Brain. 1995;118(4):913–33.

33. Fried I, Mukamel R, Kreiman G. Internally generated preactivation of single neurons in human medial frontal cortex predicts volition. *Neuron*. 2011;69(3):548–62.
34. Rizzolatti G, Luppino G. The cortical motor system. *Neuron*. 2001;31(6):889–901.
35. Tanji J, Hoshi E. Behavioral planning in the prefrontal cortex. *Curr Opin Neurobiol*. 2001;11(2):164–70.
36. Frith CD, Friston KJ, Liddle PF, Frackowiak RSJ. Willed action and the prefrontal cortex in man: a study with PET. *Proc R Soc London Ser B Biol Sci*. 1991;244(1311):241–6.
37. Hyder F, Phelps EA, Wiggins CJ, Labar KS, Blamire AM, Shulman RG. “Willed action”: a functional MRI study of the human prefrontal cortex during a sensorimotor task. *Proc Natl Acad Sci*. 1997;94(13):6989–94.
38. Caminiti R, Borra E, Visco-Comandini F, Battaglia-Mayer A, Averbeck BB, Luppino G. Computational architecture of the parieto-frontal network underlying cognitive-motor control in monkeys. *eneuro*. 2017;4(1).
39. Nachev P, Kennard C, Husain M. Functional role of the supplementary and pre-supplementary motor areas. *Nat Rev Neurosci*. 2008;9(11):856–69.
40. Nachev P, Husain M. Action and the fallacy of the ‘internal’: comment on Passingham et al. *Trends Cogn Sci*. 2010;14(5):192–3.
41. Hughes G, Schütz-Bosbach S, Waszak F. One action system or two? Evidence for common central preparatory mechanisms in voluntary and stimulus-driven actions. *J Neurosci*. 2011;31(46):16692–9.
42. Shibasaki H, Hallett M. What is the Bereitschaftspotential? *Clin Neurophysiol*. 2006;117(11):2341–56.
43. Haggard P, Eimer M. On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements. *Exp brain Res*. 1999;126(1):128–33.
44. Trevena JA, Miller J. Cortical movement preparation before and after a conscious decision to move. *Conscious Cogn*. 2002;11(2):162–90.
45. Schlegel A, Alexander P, Sinnott-Armstrong W, Roskies A, Tse PU, Wheatley T. Barking up the wrong tree: Readiness potentials reflect processes independent of conscious will. *Exp Brain Res*. 2013;229(3):329–35.



46. Mirabella G. Endogenous inhibition and the neural basis of “free won’t”. *J Neurosci*. 2007;27(51):13919–20.
47. Verbaarschot C, Farquhar J, Haselager P. Lost in time...The search for intentions and Readiness Potentials. *Conscious Cogn* [Internet]. 2015;33:300–15. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.concog.2015.01.011>
48. Brass M, Furstenberg A, Mele AR. Why neuroscience does not disprove free will. *Neurosci Biobehav Rev*. 2019;102:251–63.
49. Schultze-Kraft M, Birman D, Rusconi M, Allefeld C, Görden K, Dähne S, vd. The point of no return in vetoing self-initiated movements. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016;113(4):1080–5.
50. Kriehoff V, Waszak F, Prinz W, Brass M. Neural and behavioral correlates of intentional actions. *Neuropsychologia* [Internet]. 2011;49(5):767–76. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.025>
51. Hoffstaedter F, Grefkes C, Caspers S, Roski C, Palomero-Gallagher N, Laird AR, vd. The role of anterior midcingulate cortex in cognitive motor control: evidence from functional connectivity analyses. *Hum Brain Mapp*. 2014;35(6):2741–53.
52. Ariani G, Wurm MF, Lingnau A. Decoding internally and externally driven movement plans. *J Neurosci*. 2015;35(42):14160–71.
53. Michely J, Volz LJ, Barbe MT, Hoffstaedter F, Viswanathan S, Timmermann L, vd. Dopaminergic modulation of motor network dynamics in Parkinson’s disease. *Brain*. 2015;138(3):664–78.
54. Wisniewski D, Goschke T, Haynes JD. Similar coding of freely chosen and externally cued intentions in a fronto-parietal network. *Neuroimage* [Internet]. 2016;134:450–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.04.044>
55. Brass M, Lynn MT, Demanet J, Rigoni D. Imaging volition: what the brain can tell us about the will. *Exp brain Res*. 2013;229(3):301–12.
56. Cunnington R, Windischberger C, Deecke L, Moser E. The preparation and execution of self-initiated and externally-triggered movement: a study of event-related fMRI. *Neuroimage*. 2002;15(2):373–85.
57. Haggard P. Human volition: Towards a neuroscience of will. *Nat Rev Neurosci*.

- 2008;9(12):934–46.
58. Rizzolatti G, Luppino G, Matelli M. The organization of the cortical motor system: new concepts. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. 1998;106(4):283–96.
  59. Dum RP, Strick PL. The origin of corticospinal projections from the premotor areas in the frontal lobe. *J Neurosci*. 1991;11(3):667–89.
  60. Benoit C-E, Dalla Bella S, Farrugia N, Obrig H, Mainka S, Kotz SA. Musically cued gait-training improves both perceptual and motor timing in Parkinson’s disease. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:494.
  61. Vercruyse S, Spildooren J, Heremans E, Vandenbossche J, Wenderoth N, Swinnen SP, vd. Abnormalities and cue dependence of rhythmical upper-limb movements in Parkinson patients with freezing of gait. *Neurorehabil Neural Repair*. 2012;26(6):636–45.
  62. Yu H, Sternad D, Corcos DM, Vaillancourt DE. Role of hyperactive cerebellum and motor cortex in Parkinson’s disease. *Neuroimage*. 2007;35(1):222–33.
  63. Herz DM, Florin E, Christensen MS, Reck C, Barbe MT, Tscheuschler MK, vd. Dopamine replacement modulates oscillatory coupling between premotor and motor cortical areas in Parkinson’s disease. *Cereb cortex*. 2014;24(11):2873–83.
  64. Hoffstaedter F, Grefkes C, Zilles K, Eickhoff SB. The “what” and “when” of self-initiated movements. *Cereb Cortex*. 2013;23(3):520–30.
  65. te Woerd ES. Feeling the beat: the neurophysiology of cueing in Parkinson’s disease. [SI: sn]; 2019.
  66. Filevich E, Kühn S, Haggard P. Intentional inhibition in human action: The power of “no”. *Neurosci Biobehav Rev* [Internet]. 2012;36(4):1107–18. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.01.006>
  67. Whittle MW. *Gait analysis: an introduction*. Butterworth-Heinemann; 2014.
  68. Hausdorff JM, Nelson ME, Kaliton D, Layne JE, Bernstein MJ, Nuernberger A, vd. Etiology and modification of gait instability in older adults: a randomized controlled trial of exercise. *J Appl Physiol*. 2001;90(6):2117–29.
  69. Rosso AL, Studenski SA, Chen WG, Aizenstein HJ, Alexander NB, Bennett DA, vd. Aging, the central nervous system, and mobility. *Journals Gerontol Ser*

- A Biomed Sci Med Sci. 2013;68(11):1379–86.
70. Baezner H, Blahak C, Poggesi A, Pantoni L, Inzitari D, Chabriat H, vd. Association of gait and balance disorders with age-related white matter changes: the LADIS study. *Neurology*. 2008;70(12):935–42.
  71. Srikanth V, Beare R, Blizzard L, Phan T, Stapleton J, Chen J, vd. Cerebral white matter lesions, gait, and the risk of incident falls: a prospective population-based study. *Stroke*. 2009;40(1):175–80.
  72. Marder E, Bucher D. Central pattern generators and the control of rhythmic movements. *Curr Biol*. 2001;11(23):R986–96.
  73. Montero-Odasso M, Verghese J, Beauchet O, Hausdorff JM. Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J Am Geriatr Soc*. 2012;60(11):2127–36.
  74. Parihar R, Mahoney JR, Verghese J. Relationship of gait and cognition in the elderly. *Curr Transl Geriatr Exp Gerontol Rep*. 2013;2(3):167–73.
  75. Yogev-Seligmann G, Hausdorff JM, Giladi N. The role of executive function and attention in gait. *Mov Disord Off J Mov Disord Soc*. 2008;23(3):329–42.
  76. Sheridan PL, Solomont J, Kowall N, Hausdorff JM. Influence of executive function on locomotor function: divided attention increases gait variability in Alzheimer’s disease. *J Am Geriatr Soc*. 2003;51(11):1633–7.
  77. Takakusaki K. Functional Neuroanatomy for Posture and Gait Control. *J Mov Disord*. 2017;10(1):1–17.
  78. Bostan AC, Dum RP, Strick PL. Cerebellar networks with the cerebral cortex and basal ganglia. *Trends Cogn Sci*. 2013;17(5):241–54.
  79. Cohen RG, Nutt JG, Horak FB. Errors in postural preparation lead to increased choice reaction times for step initiation in older adults. *Journals Gerontol Ser A Biomed Sci Med Sci*. 2011;66(6):705–13.
  80. Jacobs J V, Lou J-S, Kraakevik JA, Horak FB. The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson’s disease. *Neuroscience*. 2009;164(2):877–85.
  81. Kharb A, Saini V, Jain YK, Dhiman S. A review of gait cycle and its parameters. *IJCEM Int J Comput Eng Manag*. 2011;13:78–83.

82. Pirker W, Katzenschlager R. Gait disorders in adults and the elderly. *Wien Klin Wochenschr.* 2017;129(3):81–95.
83. Magee DJ. *Orthopedic physical assessment-E-Book.* Elsevier Health Sciences; 2014.
84. Coxon JP, Van Impe A, Wenderoth N, Swinnen SP. Aging and inhibitory control of action: cortico-subthalamic connection strength predicts stopping performance. *J Neurosci.* 2012;32(24):8401–12.
85. Sparto PJ, Fuhrman SI, Redfern MS, Richard Jennings J, Perera S, Nebes RD, vd. Postural adjustment errors reveal deficits in inhibition during lateral step initiation in older adults. *J Neurophysiol.* 2013;109(2):415–28.
86. Potocanac Z, Smulders E, Pijnappels M, Verschueren S, Duysens J. Response inhibition and avoidance of virtual obstacles during gait in healthy young and older adults. *Hum Mov Sci [Internet].* 2015;39:27–40. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2014.08.015>
87. Uemura K, Oya T, Uchiyama Y. Effects of visual interference on initial motor program errors and execution times in the choice step reaction. *Gait Posture.* 2013;38(1):68–72.
88. Boisgontier MP, Beets IAM, Duysens J, Nieuwboer A, Krampe RT, Swinnen SP. Age-related differences in attentional cost associated with postural dual tasks: increased recruitment of generic cognitive resources in older adults. *Neurosci Biobehav Rev.* 2013;37(8):1824–37.
89. Mirelman A, Herman T, Brozgol M, Dorfman M, Sprecher E, Schweiger A, vd. Executive function and falls in older adults: New findings from a five-year prospective study link fall risk to cognition. *PLoS One.* 2012;7(6):1–8.
90. Gaveau V, Pisella L, Priot AE, Fukui T, Rossetti Y, Péllisson D, vd. Automatic online control of motor adjustments in reaching and grasping. *Neuropsychologia [Internet].* 2014;55(1):25–40. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.12.005>
91. Smeets JBJ, Oostwoud Wijdenes L, Brenner E, Smeets JB. Movement adjustments have short latencies because there is no need to detect anything. *Motor Control.* 2016;20(2).
92. Begin ME, Langlois MF, Lorrain D, Cunnane SC. Thyroid function and

- cognition during aging. *Curr Gerontol Geriatr Res.* 2008;2008.
93. Neisser U. *Cognitive psychology: Classic edition.* Psychology press; 2014.
  94. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A, Wager TD. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cogn Psychol.* 2000;41(1):49–100.
  95. Watson NL, Rosano C, Boudreau RM, Simonsick EM, Ferrucci L, Sutton-Tyrrell K, vd. Executive function, memory, and gait speed decline in well-functioning older adults. *Journals Gerontol Ser A Biomed Sci Med Sci.* 2010;65(10):1093–100.
  96. Collette F, Hogge M, Salmon E, Van der Linden M. Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience.* 2006;139(1):209–21.
  97. Carlson MC, Xue Q-L, Zhou J, Fried LP. Executive decline and dysfunction precedes declines in memory: the Women’s Health and Aging Study II. *Journals Gerontol Ser A Biomed Sci Med Sci.* 2009;64(1):110–7.
  98. Kearney FC, Harwood RH, Gladman JRF, Lincoln N, Masud T. The relationship between executive function and falls and gait abnormalities in older adults: a systematic review. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2013;36(1–2):20–35.
  99. Budson AE, Price BH. Memory dysfunction. *N Engl J Med.* 2005;352(7):692–9.
  100. Montero-Odasso M, Bergman H, Phillips NA, Wong CH, Sourial N, Chertkow H. Dual-tasking and gait in people with mild cognitive impairment. The effect of working memory. *BMC Geriatr.* 2009;9(1):1–8.
  101. Lezak MD, Howieson DB, Loring DW, Fischer JS. *Neuropsychological assessment.* Oxford University Press, USA; 2004.
  102. Sarter M, Givens B, Bruno JP. The cognitive neuroscience of sustained attention: where top-down meets bottom-up. *Brain Res Rev.* 2001;35(2):146–60.
  103. Yogev G, Giladi N, Peretz C, Springer S, Simon ES, Hausdorff JM. Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson’s disease: which aspects of gait are attention demanding? *Eur J Neurosci.* 2005;22(5):1248–56.

104. Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait Posture*. 2002;16(1):1–14.
105. Montero-Odasso M, Camicioli R. Falls and Cognition in Older Persons: Fundamentals, Assessment and Therapeutic Options. Springer Nature; 2019.
106. Cullen S, Montero-Odasso M, Bherer L, Almeida Q, Fraser S, Muir-Hunter S, vd. Guidelines for gait assessments in the Canadian Consortium on Neurodegeneration in Aging (CCNA). *Can Geriatr J*. 2018;21(2):157.
107. Khanna P. Using Brain-Machine Interfaces to Study Motor Cortical Population Activity. University of California, Berkeley; 2017.
108. Haas LF. Hans berger (1873–1941), richard caton (1842–1926), and electroencephalography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003;74(1):9.
109. Van Albada SJ, Robinson PA. Relationships between electroencephalographic spectral peaks across frequency bands. *Front Hum Neurosci*. 2013;7:56.
110. Başar-Eroglu C, Başar E, Demiralp T, Schürmann M. P300-response: possible psychophysiological correlates in delta and theta frequency channels. A review. *Int J Psychophysiol*. 1992;13(2):161–79.
111. Karakaş S. A review of theta oscillation and its functional correlates. *Int J Psychophysiol*. 2020;157:82–99.
112. Huster RJ, Enriquez-Geppert S, Lavallee CF, Falkenstein M, Herrmann CS. Electroencephalography of response inhibition tasks: functional networks and cognitive contributions. *Int J Psychophysiol*. 2013;87(3):217–33.
113. Altındış F, Yılmaz B. Feature extraction and classification in a two-state brain-computer interface. İçinde: 2016 Medical Technologies National Congress (TIPTEKNO). IEEE; 2016. s. 1–4.
114. Delval A, Bayot M, Defebvre L, Dujardin K. Cortical oscillations during gait: Wouldn't walking be so automatic? *Brain Sci*. 2020;10(2):1–15.
115. Dilek B, Hanoğlu L. Kognitif Rehabilitasyonda Teknoloji & Technology in Cognitive Rehabilitation. İçinde 2019.
116. Engel AK, Fries P. Beta-band oscillations—signalling the status quo? *Curr Opin Neurobiol*. 2010;20(2):156–65.
117. Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science (80- )*. 1977;198(4323):1264–

- 7.
118. Li R, Nguyen T, Potter T, Zhang Y. Dynamic cortical connectivity alterations associated with Alzheimer's disease: An EEG and fNIRS integration study. *NeuroImage Clin* [Internet]. 2019;21(November 2018):101622. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.101622>
  119. Scholkmann F, Kleiser S, Metz AJ, Zimmermann R, Mata Pavia J, Wolf U, vd. A review on continuous wave functional near-infrared spectroscopy and imaging instrumentation and methodology. *Neuroimage* [Internet]. 2014;85:6–27. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.004>
  120. de Lima-Pardini AC, Zimeo Morais GA, Balardin JB, Coelho DB, Azzi NM, Teixeira LA, vd. Measuring cortical motor hemodynamics during assisted stepping – An fNIRS feasibility study of using a walker. *Gait Posture* [Internet]. 2017;56:112–8. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.05.018>
  121. Naseer N, Hong K-S. fNIRS-based brain-computer interfaces: a review. *Front Hum Neurosci*. 2015;9:3.
  122. Seraglia B, Gamberini L, Priftis K, Scatturin P, Martinelli M, Cutini S. An exploratory fNIRS study with immersive virtual reality: a new method for technical implementation. *Front Hum Neurosci*. 2011;5:176.
  123. Costa Á, Iáñez E, Úbeda A, Hortal E, Del-Ama AJ, Gil-Agudo A, vd. Decoding the attentional demands of gait through EEG gamma band features. *PLoS One*. 2016;11(4):e0154136.
  124. Kim HY, Yang SP, Park GL, Kim EJ, You JSH. Best facilitated cortical activation during different stepping, treadmill, and robot-assisted walking training paradigms and speeds: a functional near-infrared spectroscopy neuroimaging study. *NeuroRehabilitation*. 2016;38(2):171–8.
  125. Maidan I, Nieuwhof F, Bernad-Elazari H, Reelick MF, Bloem BR, Giladi N, vd. The role of the frontal lobe in complex walking among patients with Parkinson's disease and healthy older adults: an fNIRS study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2016;30(10):963–71.
  126. Coelho DB, Bazán PR, Zimeo Morais GA, Balardin JB, Batista AX, de Oliveira CEN, vd. Frontal Hemodynamic Response During Step Initiation Under Cognitive Conflict in Older and Young Healthy People. *Journals Gerontol Ser*

- A [Internet]. 01 Şubat 2021;76(2):216–23. Available at: <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa125>
127. Balardin JB, Zimeo Morais GA, Furucho RA, Trambaiolli L, Vanzella P, Biazoli C, vd. Imaging brain function with functional near-infrared spectroscopy in unconstrained environments. *Front Hum Neurosci*. 2017;11(May):1–7.
  128. Balconi M, Molteni E. Past and future of near-infrared spectroscopy in studies of emotion and social neuroscience. *J Cogn Psychol*. 2016;28(2):129–46.
  129. Hamacher D, Herold F, Wiegel P, Hamacher D, Schega L. Brain activity during walking: A systematic review. *Neurosci Biobehav Rev* [Internet]. 2015;57:310–27. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.08.002>
  130. Howard R. The application of data analysis methods for surface electromyography in shot putting and sprinting The application of data analysis methods for surface electromyography in shot putting and sprinting View project. 2017;(November). Available at: <https://www.researchgate.net/publication/316688980>
  131. Howard RM, Conway R, Harrison AJ. An exploration of eliminating cross-talk in surface electromyography using independent component analysis. İçinde: 2015 26th Irish Signals and Systems Conference (ISSC). IEEE; 2015. s. 1–6.
  132. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R, Stegeman D, Blok J, Rau G, vd. European recommendations for surface electromyography. *Roessingh Res Dev*. 1999;8(2):13–54.
  133. Hooda N, Das R, Kumar N. Fusion of EEG and EMG signals for classification of unilateral foot movements. *Biomed Signal Process Control* [Internet]. 2020;60:101990. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.101990>
  134. Nazmi N, Rahman MAA, Yamamoto S-I, Ahmad SA. Walking gait event detection based on electromyography signals using artificial neural network. *Biomed Signal Process Control*. 2019;47:334–43.
  135. Senna I, Bolognini N, Maravita A. Grasping with the foot: goal and motor expertise in action observation. *Hum Brain Mapp*. 2014;35(4):1750–60.
  136. Liu D, Chen W, Lee K, Chavarriaga R, Iwane F, Bouri M, vd. EEG-based lower-limb movement onset decoding: Continuous classification and



- asynchronous detection. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2018;26(8):1626–35.
137. Nasreddine ZS, Phillips NA, Bédirian V, Charbonneau S, Whitehead V, Collin I, vd. The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: a brief screening tool for mild cognitive impairment. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53(4):695–9.
  138. Ozdilek B, Kenangil G. Validation of the Turkish Version of the Montreal Cognitive Assessment Scale (MoCA-TR) in patients with Parkinson’s disease. *Clin Neuropsychol.* 2014;28(2):333–43.
  139. UYSAL SA, EKİNCİ Y, ÇOBAN F, YAKUT Y. Edinburgh el tercihi anketi Türkçe güvenilirliğinin araştırılması. *J Exerc Ther Rehabil.* 2019;6(2):112–8.
  140. Garaizar P, Cubillas CP, Matute H. A HTML5 open source tool to conduct studies based on Libet’s clock paradigm. *Sci Rep.* 2016;6(August):1–9.
  141. Tosoni A, Altomare EC, Brunetti M, Croce P, Zappasodi F, Committeri G. Sensory-motor modulations of eeg event-related potentials reflect walking-related macro-affordances. *Brain Sci.* 2021;11(11):1506.
  142. Schneider L, Houdayer E, Bai O, Hallett M. What we think before a voluntary movement. *J Cogn Neurosci.* 2013;25(6):822–9.
  143. Maidan I, Patashov D, Shustak S, Fahoum F, Gazit E, Shapiro B, vd. A new approach to quantifying the EEG during walking: Initial evidence of gait related potentials and their changes with aging and dual tasking. *Exp Gerontol.* 2019;126(June):1–7.
  144. Maus B, van Breukelen GJP, Goebel R, Berger MPF. Optimal design for nonlinear estimation of the hemodynamic response function. *Hum Brain Mapp.* 2012;33(6):1253–67.
  145. Beaulne-Séguin Z, Nantel J. Conflicting and non-conflicting visual cues lead to error in gait initiation and gait inhibition in individuals with freezing of gait. *Gait Posture.* 2016;49:443–7.
  146. Lin MIB, Lin KH. Walking while performing working memory tasks changes the prefrontal cortex hemodynamic activations and gait kinematics. *Front Behav Neurosci.* 2016;10(MAY).
  147. Christensen SC, Wright HH. Verbal and non-verbal working memory in aphasia: What three n-back tasks reveal. *Aphasiology.* 2010;24(6–8):752–62.

148. Laine M, Fellman D, Waris O, Nyman TJ. The early effects of external and internal strategies on working memory updating training. *Sci Rep* [Internet]. 2018;8(1):1–12. Available at: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-22396-5>
149. Cooper RJ, Selb J, Gagnon L, Phillip D, Schytz HW, Iversen HK, vd. A systematic comparison of motion artifact correction techniques for functional near-infrared spectroscopy. *Front Neurosci*. 2012;0(OCT):147.
150. Sburlea AI, Montesano L, Minguez J. Continuous detection of the self-initiated walking pre-movement state from EEG correlates without session-to-session recalibration. *J Neural Eng* [Internet]. 2015;12(3):36007. Available at: <http://dx.doi.org/10.1088/1741-2560/12/3/036007>
151. Planelles D, Hortal E, Costa A, Iáñez E, Azorín JM. First steps in the development of an EEG-based system to detect intention of gait initiation. *8th Annu IEEE Int Syst Conf SysCon 2014 - Proc*. 2014;167–71.
152. De Tommaso M, Vecchio E, Ricci K, Montemurno A, De Venuto D, Annese VF. Combined EEG/EMG evaluation during a novel dual task paradigm for gait analysis. *Proc - 2015 6th IEEE Int Work Adv Sensors Interfaces, IWASI 2015*. 2015;181–6.
153. Armstrong S, Bland NS, Sale M V, Cunnington R. Unconscious Influences on “Free Will” Movement Initiation: Slow-wave Brain Stimulation and the Readiness Potential. *J Cogn Neurosci* [Internet]. 02 May 2022;34(6):1038–52. Available at: [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_01840](https://doi.org/10.1162/jocn_a_01840)
154. Obhi SS. Psychomotor Combinations of Action. 2003;(March).
155. Balconi M, Cortesi L, Crivelli D. Motor planning and performance in transitive and intransitive gesture execution and imagination: Does EEG (RP) activity predict hemodynamic (fNIRS) response? *Neurosci Lett* [Internet]. 2017;648:59–65. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2017.03.049>
156. Leavitt ML, Mendoza-Halliday D, Martinez-Trujillo JC. Sustained activity encoding working memories: not fully distributed. *Trends Neurosci*. 2017;40(6):328–46.
157. D’Esposito M, Postle BR. The cognitive neuroscience of working memory. *Annu Rev Psychol*. 2015;66:115.
158. Stokes MG, Kusunoki M, Sigala N, Nili H, Gaffan D, Duncan J. Dynamic

- coding for cognitive control in prefrontal cortex. *Neuron*. 2013;78(2):364–75.
159. Eriksson J, Vogel EK, Lansner A, Bergström F, Nyberg L. Neurocognitive architecture of working memory. *Neuron*. 2015;88(1):33–46.
160. Bengson JJ, Mangun GR, Mazaheri A. The neural markers of an imminent failure of response inhibition. *Neuroimage* [Internet]. 2012;59(2):1534–9. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.08.034>
161. Malcolm BR, Foxe JJ, Butler JS, De Sanctis P. The aging brain shows less flexible reallocation of cognitive resources during dual-task walking: A mobile brain/body imaging (MoBI) study. *Neuroimage* [Internet]. 2015;117:230–42. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811915004085>
162. Yordanova J, Falkenstein M, Kolev V. Aging-related changes in motor response-related theta activity. *Int J Psychophysiol* [Internet]. 2020;153(March):95–106. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.03.005>
163. Popovych S, Rosjat N, Toth TI, Wang BA, Liu L, Abdollahi RO, vd. Movement-related phase locking in the delta–theta frequency band. *Neuroimage* [Internet]. 2016;139:439–49. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.06.052>
164. Chmielewski WX, Mückschel M, Dippel G, Beste C. Concurrent information affects response inhibition processes via the modulation of theta oscillations in cognitive control networks. *Brain Struct Funct*. 2016;221(8):3949–61.
165. Dippel G, Mückschel M, Ziemssen T, Beste C. Demands on response inhibition processes determine modulations of theta band activity in superior frontal areas and correlations with pupillometry—Implications for the norepinephrine system during inhibitory control. *Neuroimage*. 2017;157:575–85.
166. Müller V, Anokhin AP, Lindenberger U. Genetic influences on phase synchrony of brain oscillations supporting response inhibition. *Int J Psychophysiol*. 2017;115:125–32.
167. Vahid A, Mückschel M, Neuhaus A, Stock A-K, Beste C. Machine learning provides novel neurophysiological features that predict performance to inhibit automated responses. *Sci Rep*. 2018;8(1):1–15.

168. McDermott TJ, Wiesman AI, Proskovec AL, Heinrichs-Graham E, Wilson TW. Spatiotemporal oscillatory dynamics of visual selective attention during a flanker task. *Neuroimage*. 2017;156:277–85.
169. Fusco G, Scandola M, Feurra M, Pavone EF, Rossi S, Aglioti SM. Midfrontal theta transcranial alternating current stimulation modulates behavioural adjustment after error execution. *Eur J Neurosci*. 2018;48(10):3159–70.
170. Kaiser J, Simon NA, Sauseng P, Schütz-Bosbach S. Midfrontal neural dynamics distinguish between general control and inhibition-specific processes in the stopping of motor actions. *Sci Rep*. 2019;9(1):1–11.
171. Adelhöfer N, Gohil K, Passow S, Teufert B, Roessner V, Li S, vd. The system-neurophysiological basis for how methylphenidate modulates perceptual–attentional conflicts during auditory processing. *Hum Brain Mapp*. 2018;39(12):5050–61.
172. O’Reilly JX, Schüffelgen U, Cuell SF, Behrens TEJ, Mars RB, Rushworth MFS. Dissociable effects of surprise and model update in parietal and anterior cingulate cortex. *Proc Natl Acad Sci*. 2013;110(38):E3660–9.
173. Dippel G, Chmielewski W, Mückschel M, Beste C. Response mode-dependent differences in neurofunctional networks during response inhibition: an EEG-beamforming study. *Brain Struct Funct*. 2016;221(8):4091–101.
174. Vossel S, Geng JJ, Fink GR. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles. *Neurosci*. 2014;20(2):150–9.
175. Bressler SL, Richter CG. Interareal oscillatory synchronization in top-down neocortical processing. *Curr Opin Neurobiol*. 2015;31:62–6.
176. Geng JJ, Vossel S. Re-evaluating the role of TPJ in attentional control: contextual updating? *Neurosci Biobehav Rev*. 2013;37(10):2608–20.
177. Başar E, Gönder A, Ungan P. Important relation between EEG and brain evoked potentials. *Biol Cybern*. 1976;25(1):27–40.
178. Başar E. Brain function and oscillations: volume I: brain oscillations. Principles and approaches. Springer Science & Business Media; 2012.
179. Hoffmann S, Labrenz F, Themann M, Wascher E, Beste C. Crosslinking EEG time–frequency decomposition and fMRI in error monitoring. *Brain Struct Funct*. 2014;219(2):595–605.

180. Pfurtscheller G, Da Silva FHL. Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clin Neurophysiol.* 1999;110(11):1842–57.
181. Oddie SD, Bland BH. Hippocampal formation theta activity and movement selection. *Neurosci Biobehav Rev.* 1998;22(2):221–31.
182. Oddie SD, Kirk IJ, Whishaw IQ, Bland BH. Hippocampal formation is involved in movement selection: evidence from medial septal cholinergic modulation and concurrent slow-wave (theta rhythm) recording. *Behav Brain Res.* 1997;88(2):169–80.
183. Amador N, Fried I. Single-neuron activity in the human supplementary motor area underlying preparation for action. *J Neurosurg.* 2004;100(2):250–9.
184. Maiquez BM, Jackson GM, Jackson SR. Entraining movement-related brain oscillations using rhythmic median nerve stimulation. *bioRxiv* [Internet]. 2020;2020.03.30.016097. Available at: <http://biorxiv.org/content/early/2020/04/01/2020.03.30.016097.abstract>
185. Luu TP, Brantley JA, Zhu F, Contreras-Vidal JL. Electrocortical amplitude modulations of human level-ground, slope, and stair walking. İçinde: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). 2017. s. 1913–6.
186. Rae CL, Hughes LE, Weaver C, Anderson MC, Rowe JB. Selection and stopping in voluntary action: a meta-analysis and combined fMRI study. *Neuroimage.* 2014;86:381–91.
187. Aron AR, Robbins TW, Poldrack RA. Inhibition and the right inferior frontal cortex: one decade on. *Trends Cogn Sci.* 2014;18(4):177–85.
188. Verbruggen F, Logan GD. Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *J Exp Psychol Gen.* 2008;137(4):649.
189. Rubia K, Smith AB, Brammer MJ, Taylor E. Right inferior prefrontal cortex mediates response inhibition while mesial prefrontal cortex is responsible for error detection. *Neuroimage.* 2003;20(1):351–8.
190. Brass M, Haggard P. To do or not to do: the neural signature of self-control. *J Neurosci.* 2007;27(34):9141–5.


191. Swann N, Poizner H, Houser M, Gould S, Greenhouse I, Cai W, vd. Deep Brain Stimulation of the Subthalamic Nucleus Alters the Cortical Profile of Response Inhibition in the Beta Frequency Band: A Scalp EEG Study in Parkinson's Disease. *J Neurosci* [Internet]. 13 Nisan 2011;31(15):5721 LP – 5729. Available at: <http://www.jneurosci.org/content/31/15/5721.abstract>
192. Wagner J, Makeig S, Gola M, Neuper C, Müller-Putz G. Distinct  $\beta$  band oscillatory networks subserving motor and cognitive control during gait adaptation. *J Neurosci*. 2016;36(7):2212–26.
193. Polskaia N, St-Amant G, Fraser S, Lajoie Y. A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) examination of how self-initiated sequential movements become automatic. *Exp Brain Res* [Internet]. 2020;238(3):657–66. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05742-w>
194. Kurz MJ, Wilson TW, Arpin DJ. Stride-time variability and sensorimotor cortical activation during walking. *Neuroimage*. 2012;59(2):1602–7.
195. Koenraadt KLM, Roelofsen EGJ, Duysens J, Keijsers NLW. Cortical control of normal gait and precision stepping: An fNIRS study. *Neuroimage* [Internet]. 2014;85:415–22. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.070>
196. Huppert T, Schmidt B, Beluk N, Furman J, Sparto P. Measurement of brain activation during an upright stepping reaction task using functional near-infrared spectroscopy. *Hum Brain Mapp*. 2013;34(11):2817–28.
197. Shimada H, Ishii K, Ishiwata K, Oda K, Suzukawa M, Makizako H, vd. Gait adaptability and brain activity during unaccustomed treadmill walking in healthy elderly females. *Gait Posture*. 2013;38(2):203–8.
198. Dronkers NF, Plaisant O, Iba-Zizen MT, Cabanis EA. Paul Broca's historic cases: high resolution MR imaging of the brains of Leborgne and Lelong. *Brain* [Internet]. 01 Mayıs 2007;130(5):1432–41. Available at: <https://doi.org/10.1093/brain/awm042>
199. Peterson BS, Kane MJ, Alexander GM, Lacadie C, Skudlarski P, Leung H-C, vd. An event-related functional MRI study comparing interference effects in the Simon and Stroop tasks. *Cogn Brain Res*. 2002;13(3):427–40.
200. Liu X, Banich MT, Jacobson BL, Tanabe JL. Common and distinct neural

substrates of attentional control in an integrated Simon and spatial Stroop task as assessed by event-related fMRI. *Neuroimage*. 2004;22(3):1097–106.

201. Ziemann U, Ishii K, Borgheresi A, Yaseen Z, Battaglia F, Hallett M, vd. Dissociation of the pathways mediating ipsilateral and contralateral motor-evoked potentials in human hand and arm muscles. *J Physiol*. 1999;518(3):895–906.
202. Nishiyori R, Bisconti S, Ulrich B. Motor Cortex Activity During Functional Motor Skills: An fNIRS Study. *Brain Topogr*. 2016;29(1):42–55.
203. Vidal AC, Banca P, Pascoal AG, Cordeiro G, Sargento-Freitas J, Castelo-Branco M. Modulation of cortical interhemispheric interactions by motor facilitation or restraint. *Neural Plast*. 2014;2014.

## 10. EKLER

### Ek 1

 <p><b>MEDİPOL</b> UNV İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ</p>	<p><b>BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU</b></p>
---	---

#### **Çalışmanın Adı: Otomatik ve İstemli Başlatılan Alt Ekstremitte Motor Hareketine Eşlik Eden Beyin Hemodinamik ve Elektrofizyolojik Mekanizmalarının İncelenmesi**

Bu araştırmanın amacı; genç erişkinlerde otomatik ve kendiliğinden başlatılan alt ekstremitte motor hareket görevleri sırasında hemodinamik ve elektrofizyolojik mekanizmaları incelemek ve sağlıklı bir yürüş mekanizmasını araştırmaktır.

Bu çalışmada katılımcıların, Elektroensefalogram (EEG) ve fonksiyonel yakın-kızılötesi spektrokopi (fNIRS) adı verilen elektronik cihazlarla 4 adım başlatma görevi sırasında beyin aktivitelerinin ölçümü yapılacaktır. Bu sırada Elektromiyografi (EMG), kas aktivasyonunu tespit etmek ve EEG verisinin üstüne işaretleme yapmak için kullanılacaktır. Bu çalışmada kullanılacak değerlendirme araçları şu şekildedir: “Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği (MBDÖ)” ve “Edinburg El Tercihi Anketi”.

Çalışmaya katılmayı kabul eden katılımcıların onay vermesi halinde, katılımcılar araştırmaya alınacak ve elde ettiğimiz veriler çalışmamızda kullanılacaktır. Katılımcıların yazılı olarak bize onay verdiğini belirtmesi gerekir. Elde ettiğimiz beyin aktivitesi verileri bilgisayar ortamında analiz edilip katılımcının klinik durumuyla ilişkisine bakılacaktır. Çalışmamızda gönüllülerin maruz kalacağı herhangi bir risk veya rahatsızlık öngörülmemektedir. Çalışma bilimsel bilgi birikimine katkı sağlamayı amaçlamakta olup, araştırma boyunca yapılacak değerlendirme ve uygulamalar için katılımcılardan hiçbir ücret talep edilmeyecektir. Katılımcılara da bir ödeme yapılmayacaktır.

Gönüllünün araştırmaya katılımı isteğe bağlıdır. Katılımcının araştırmaya katılmasının uygun görülmediği durumda veya araştırma esnasında katılımcı araştırmadan çekilebilir. Bu durumda herhangi bir ceza veya yaptırım uygulanmaz, katılımcı hiçbir hakkını kaybetmez. İzleyiciler, yoklama yapan kişiler, etik kurul, kurum ve diğer ilgili sağlık otoritelerinin gönüllünün orijinal tıbbi kayıtlarına doğrudan erişimi bulunur, ancak bu bilgiler gizli tutulur. Yazılı bilgilendirilmiş olur formunun imzalanmasıyla gönüllü söz konusu erişime izin vermiş olur. İlgili mevzuat gereğince gönüllünün



kimliğini ortaya çıkaracak kayıtlar gizli tutulacak, kamuoyuna açıklanmayacak, araştırmanın sonuçlarının yayınlanması halinde dahi gönüllünün kimliği gizli kalacaktır. Araştırma konusuyla ilgili, gönüllünün araştırmaya katılmaya devam etme isteğini etkileyebilecek yeni bilgiler elde edildiğinde gönüllü zamanında bilgilendirilecektir.

Gönüllünün araştırma veya araştırmayla ilgili herhangi bir istenmeyen olay hakkında daha fazla bilgi temin edebilmesi için temasa geçebileceği kişilerin isimleri ile bunların günün 24 saatinde erişebileceği telefon numaraları: Seda AVCI Tel: +90

XXXXXXXXXX

Nörolojik ve psikiyatrik hastalık öyküsüne sahip olan, sol el baskın olan ve Montreal Bilişsel Değerlendirme Ölçeği'nden 21 ve altında puan almış olan kişiler çalışmaya dahil edilmeyecektir. Çalışmamız İstanbul Medipol Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sinirbilim Yüksek Lisans Programı'nda Ekim 2021-Mart 2022 tarihleri arasında yürütülecek olup; gönüllülerin bu tarihler arasında araştırmaya devam etmesi gerekmektedir. Gönüllülerden herhangi bir biyolojik materyal (Kan, idrar vb.) alınmayacaktır.

**“Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formundaki tüm açıklamaları okudum. Bana yukarıda konusu ve amacı belirtilen araştırma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklama adı belirtilen hekim tarafından yapıldı. Araştırmaya gönüllü olarak katıldığımı, istediğim zaman gerekçeli veya gerekçesiz olarak araştırmadan ayrılabileceğimi biliyorum. Söz konusu araştırmaya, hiçbir baskı ve zorlama olmaksızın kendi rızamla katılmayı kabul ediyorum.”**

Gönüllü Adı Soyadı:

Tarih:

İmza:

Telefon Numarası:

Araştırmacının Adı Soyadı:

Tarih:

İmza:

**MONTREAL BİLİŞSEL DEĞERLENDİRME ÖLÇEĞİ**  
 Montreal Cognitive Assessment (MOCA)

 İsim:  
 Eğitim:  
 Cinsiyet:

 Protokol:  
 Test Tarihi:  
 Doğum Tarihi:

GÖRSEL MEKANSAL / YÖNETİCİ İŞLEVLER		Küp Kopyalama		SAAT çizme (On biri on geçe) (3 puan)		PUAN	
				Çevresi [ ] Rakamlar [ ] Kollar [ ]			___/5
ADLANDIRMA							
						___/3	
BELLEK							
Kelime listesini okuyun ve hastaya tekrar ettirin. İki deneme yapın. 5 dakika sonra tekrar sorun.		BURUN	KADİFE	CAMİ	PAPATYA	MOR	Puan yok
		1.deneme					
		2.deneme					
DİKKAT							
Sayı listesini okuyun (1 sayı / san.) Hasta sayıları baştan sona doğru saymalı.		Hasta sayıları sondan başa doğru saymalı.		[ ] 2 1 8 5 4 [ ] 7 4 2		___/2	
Harf listesini hastaya okuyun. Hastaya her A harfi okunduğunda masaya eli ile vurmasını söyleyin. İki veya daha fazla hata var ise puan vermeyin.		[ ] FBACMNAAJKLBFAKDEAAAJAMOF AAB				___/1	
100 den başlayarak yedişer çıkarma		[ ] 93	[ ] 86	[ ] 79	[ ] 72	[ ] 65	___/3
4 veya 5 doğru çıkarma: 3 puan, 2 veya 3 doğru çıkarma: 2 puan, 1 doğru :1 puan, 0 doğru 0 puan.							
LİSAN							
Tekrar ettirin: Tek bildiğim bugün yardıma ihtiyacı olan kişinin Ahmet olduğudur. Köpekler odadayken kedi hep kanapenin altında saklanır.		[ ]		[ ]		___/2	
Akıcılık / 1 dakikada K harfi ile başlayan maksimum sayıda kelime saydırın.		[ ]		N ≥ 11 kelime		___/1	
SOYUT DÜŞÜNME							
Benzerlik. Örn. muz-portakal = meyve.		[ ] tren - bisiklet	[ ] saat - cetvel			___/2	
GECİKMELİ HATIRLAMA							
Kelimeleri İPUCU OLMADAN hatırlama		BURUN	KADİFE	CAMİ	PAPATYA	MOR	___/5
Kategori ipucu		[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Sadece İPUCUSUZ hatırlanan kelimeler için puan verin
Çoklu seçmeli ipucu		[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	
YÖNELİM							
[ ] Gün [ ] Ay [ ] Yıl [ ] Gün adı [ ] Yer [ ] Şehir						___/6	
© Z.Nasreddine MD Version November 7, 2004 www.mocatest.org Normal 21 / 30		TOPLAM				___/30	
Türkçe versiyon 2009. K. Selekler & B. Cangöz							

### Ek 3

Ad/Soyad:

Tarih:

Lütfen, aşağıdaki aktivitelerde sağ veya sol hangi elinizi kullanıyorsanız onun bulunduğu kutuyu işaretleyiniz ve lütfen bütün soruları cevaplayınız.

AKTİVİTELER	Daima Sol El Tercih Edilir	Genellikle Sol El	Her İki Elle Aynı Derecede	Daima Sağ El Tercih Edilir	Genellikle Sağ El	Puan
1. Yazı yazma						
2. Resim yapma						
3. Top veya taş atmak/fırlatma						
4. Makas kullanma						
5. Diş fırçalama						
6. Bıçak kullanma (çatal kullanmadan)						
7. Kaşık kullanma						
8. Süpürge kullanma						
9. Kibrit yakma						
10. Kavanoz kapağı açma						
TOPLAM						

## 11. ETİK KURUL ONAYI

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

Sayı : E-10840098-772.02-4604  
Konu: Etik Kurulu Kararı

21/09/2021

<b>BAŞVURU BİLGİLERİ</b>	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Otomatik ve İstemli Başlatılan Alt Eksternite Motor Hareketine Eşlik Eden Beyin Hemodinamik ve Elektrofizyolojik Mekanizmasının İncelenmesi			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	SEDA AVCI			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Ergoterapist			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İstanbul			
	DESTEKLEYİCİ	-			
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZLİ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input checked="" type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.  
Evrakımızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden D2868EA5X2 kodu ile doğrulayabilirsiniz.

Sa:



**İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ**  
**GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR**  
**ETİK KURULU KARAR FORMU**

Değerlendirilen Belgeler	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili		
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI			Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/>	İngilizce <input type="checkbox"/>	Diğer <input type="checkbox"/>
Karar Bilgileri	<b>Karar No:948</b>	<b>Tarih: 16/09/2021</b>				
	Yukarıda bilgileri verilen Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve araştırmanın etik ve bilimsel yönden uygun olduğuna “ <b>oybirliği</b> ” ile karar verilmiştir.					

**İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU**

<b>BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI</b>	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TOKAÇ
---------------------------------------	-----------------------------

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım *		İmza
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TOKAÇ	Tıp Tarihi ve Etik	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Prof. Dr. Mete ÜNGÖR	Endodonti	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Doç. Dr. Mehmet Kemal ÖZDEMİR	Elektrik ve Elektronik	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Doç. Dr. İlknur KESKİN	Histoloji ve Embriyoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input type="checkbox"/>	K <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Doç. Dr. Devrim TARAKCI	Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input checked="" type="checkbox"/>	K <input type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Dr. Öğr. Üyesi Nezih HACIHASANOĞLU ÇAKMAK	Biyokimya	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input type="checkbox"/>	K <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur
Dr. Öğr. Üyesi Neriman İpek KIRMIZI	Tıbbi Farmakoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	E <input type="checkbox"/>	K <input checked="" type="checkbox"/>	E <input type="checkbox"/>	H <input checked="" type="checkbox"/>	E <input checked="" type="checkbox"/>	H <input type="checkbox"/>	Uygundur

\* :Toplantıda Bulunma

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.  
Evrakımızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden D2868EA5X2 kodu ile doğrulayabilirsiniz.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ  
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR  
ETİK KURULU KARAR FORMU

---

---

COVID-19 (Pandemi) nedeniyle etik kurulumuz sanal olarak toplanmış olup kurul üyelerimizden uygunluk kararı sanal ortamda alınmıştır. Araştırmacı tarafından talep edilirse, COVID-19 (Pandemi) sonrası ıslak imzalı karar formu ayrıca hazırlanabilir.

Girişimsel Olmayan Etik Kurulu Sekreteri  
Bilge KAYA

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.  
Evrakımızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden D2868EA5X2 kodu ile doğrulayabilirsiniz.