



**MOTOR BECERİ KAZANIM DÜZEYİNE GÖRE
AYNA NÖRON AKTİVİTESİNİN EEG
SİNYALLERİNDEKİ MU RİTMİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ferhat CANYURT

**Yüksek Lisans Tezi
Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Deniz BEDİR

**2025
Her hakkı saklıdır.**



SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MOTOR BECERİ KAZANIM DÜZEYİNE GÖRE AYNA NÖRON
AKTİVİTESİNİN EEG SİNYALLERİNDEKİ MU RİTMİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ferhat CANYURT

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Deniz BEDİR

Anabilim Dalı: Beden Eğitimi ve Spor Ana Bilim Dalı

Erzurum

2025

Her hakkı saklıdır

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BEYANNAME	I
TEŞEKKÜR.....	II
ÖZET	III
ABSTRACT.....	IV
TABLolar DİZİNİ	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Motor Beceri	5
2.1.1. Motor beceri kazanımı.....	6
2.2. Motor Öğrenme Alanına Ait Teorik Yaklaşımlar ve Modeller	6
2.2.1. Basamak teorisi	6
2.2.2. Kibernetik teori.....	7
2.2.3. Fitts ve Posner Modeli	7
2.2.4. Gentile'nin iki aşamalı öğrenme modeli.....	10
2.2.5. Gallahue'nin motor beceri öğrenme modeli	12
2.3. Motor Beceri Kazanımının Nöroanatomi.....	16
2.4. Beyin Yapısı ve İşleyişi	16
2.4.1. Beyin (serebrum).....	16
2.4.2. Sağ hemisfer	17
2.4.3. Sol Hemisfer	17
2.4.4. Korpus kallosum: iki beyin yarımküresi arasındaki bağlantı.....	18
2.4.5. Beyincik (serebellum).....	19
2.4.6. Beyin sapı	20
2.5. Beyin Bölümleri	20
2.5.1. Frontal lob	20
2.5.2. Temporal lob	21
2.5.3. Parietal lob	22
2.5.4. Oksipital lob	22
2.6. Limbik Sistem	23

2.6.1. Hipokampus	23
2.6.2. Talamus	23
2.6.3. Hipotalamus	24
2.6.4. Amigdala	24
2.6.5. Bazal gangliyonlar	24
2.7. Nöronların İşlevi ve Genel Yapısı	25
2.7.1. Nöronlar	25
2.8. Ayna Nöronlar	26
2.8.1. Ayna nöronların keşfi	26
2.8.2. İnsan beyinde ayna nöron sistemi	27
2.8.3. Ayna nöronların fonksiyonları	29
2.8.4. Ayna nöronların çeşitli psikiyatrik ve nörolojik hastalıklar üzerindeki rolü.....	35
2.8.5. Ayna nöron sisteminin mu ve beta ritimleriyle ilişkisi	38
2.8.6. Görüntüleme yöntemleri.....	39
3. YÖNTEM	45
3.1. Araştırma Deseni	45
3.2. Katılımcıların Belirlenmesi	45
3.3. Süreç.....	48
3.4. Veri Toplama Araçları	50
3.4.1. Demografik bilgi formu	50
3.4.2. Edinburgh envanteri el tercihi anketi	50
3.4.3. Elektroensefalografi (EEG)	50
3.5. Deneysel Tasarım.....	51
3.6. EEG Verilerin Analizi	53
3.7. İstatistiksel Analiz.....	57
4. BULGULAR.....	59
5. TARTIŞMA	80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
KAYNAKLAR	90
EKLER	101

BEYANNAME

Bu tez çalışmasının Erzurum Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun olarak hazırlanarak yazıldığını; tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçların akademik ve etik kurallara bağlı kalınarak sunulduğunu; bu tezin özgün bir bilimsel araştırma olduğunu; tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını; tezin çalışılması ve yazımı aşamalarında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Bu tez çalışması Erzurum Teknik Üniversitesi BAP tarafından 2025/024 nolu proje ile desteklenmiştir.

20.08.2025

İmzası

Ferhat CANYURT

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim boyunca bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan, akademik rehberliği, yapıcı eleştirileri ve yönlendirmeleriyle bana ışık tutan değerli danışman hocam Doç. Dr. Deniz BEDİR'e; akademik hayatım boyunca bilgi, tecrübe ve destekleriyle motivasyonumu artıran, bilimsel gelişime önemli katkılar sağlayan değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Cebail GENÇOĞLU ve Dr. Öğr. Üyesi Burak KARABABA'ya; bilimsel sürecin her aşamasında bilgi, tecrübe ve dostluğuyla yanımda olarak hem akademik hem de moral anlamında büyük destek veren, birlikte çalışmaktan her zaman mutluluk duyduğum kıymetli çalışma arkadaşım Arş. Gör. Salih ÇABUK'a; katılımcıların belirlenmesinde büyük desteğini sunan değerli dostum Furkan ŞENDURA'a; motivasyonumu her zaman yüksek tutmamı sağlayan, sabır, anlayış ve sevgileriyle en büyük güç kaynağım olan aileme; hayatım boyunca fedakârlıklarıyla bugünlere gelmemi sağlayan tüm yakınlarıma ve araştırmamın gerçekleşmesinde sağladıkları maddi katkılardan dolayı Erzurum Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezimi, bilimin ışığında ülkemizin gelişimine katkı sunmak için özveriyle çalışan tüm araştırmacılara, sporun her alanında emek veren antrenörlere, sporculara ve spor bilimcilerine ithaf ediyorum.

20/08/2025

İmza

Ferhat CANYURT

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Motor Beceri Kazanım Düzeyine Göre Ayna Nöron Aktivitesinin EEG Sinyallerindeki Mu Ritmi Açısından Değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışma, farklı motor beceri düzeylerindeki bireylerde ayna nöron aktivitesindeki değişimleri inceleyerek beceri edinim sürecinin sinirsel temellerini anlamayı ve spor eğitiminde bilimsel temelli stratejiler geliştirmeye katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Yöntem: Çalışma yarı deneysel desen kullanılmıştır. Katılımcılar voleybol sporcularından seçilmiş ve Fitts ve Posner'in Motor Öğrenme Modeli'ne göre gruplara ayrılmıştır. Deneysel süreçte her sporcuya dört farklı video senaryosu izletilmiş, bu oturumlar sırasında EEG kayıtları alınmıştır. Ayna nöron aktivitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilen mu ritmi (8–13 Hz) C3, Cz ve C4 bölgelerinden analiz edilmiş, bant gücü hesaplamaları BrainVision Analyzer ile yapılmış ve gruplar ile görev türleri arasındaki farklılıklar SPSS 27 paket programında istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Bulgular: Yapılan analiz sonuçlarına göre, görev türü ve grup düzeyinin tüm kanallarda anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). C3 ve Cz'de görev, grup ve etkileşimler anlamlı bulunurken, C4'te yalnızca görev ve grup etkilerinin anlamlı olduğu saptanmıştır. Bulgular, motor beceri düzeyi ile görev türünün ayna nöron aktivitesini etkilediğini ortaya koymaktadır.

Sonuç: Çalışmada, farklı motor beceri düzeylerindeki bireylerde ayna nöron sisteminin etkinliğinin öğrenme aşamalarına ve görev zorluk düzeylerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği ortaya konulmuştur. Bulgulara göre, özellikle zor motor görevlerde mu ritmi baskılanmasının daha güçlü sensorimotor aktivasyonla ilişkili olduğu, buna karşın orta düzeyde aşinalıkta aktivasyonun sınırlı kaldığı görülmüştür. Ayrıca hem yeni bir uyarının hem de yüksek aşinalık içeren uyarının sistemi güçlü biçimde harekete geçirdiği; bunun öğrenmenin erken aşamalarında anlamlandırma çabasıyla, ileri aşamalarında ise otomatik zihinsel simülasyon süreçleriyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ayna Nöron Sistemi, elektroensefalografi, gözlemsel öğrenme, motor öğrenme, Mu Ritmi

ABSTRACT

MS. Thesis

Evaluation of Mirror Neuron Activity in Terms of Mu Rhythm in EEG Signals According to Motor Skill Acquisition Levels

Aim: This study aims to examine the changes in mirror neuron activity among individuals with different motor skill levels and to contribute to the development of evidence-based strategies in sports training by better understanding the neural foundations of skill acquisition

Methods: The study employed a quasi-experimental design. Participants were selected from volleyball athletes and grouped according to Fitts and Posner's Motor Learning Model. During the experimental procedure, each athlete was presented with four different video scenarios while EEG recordings were collected. The mu rhythm (8–13 Hz), considered an indicator of mirror neuron activity, was analyzed from the C3, Cz, and C4 regions. Band power calculations were performed using BrainVision Analyzer, and differences between groups and task types were statistically compared using the SPSS 27 software package.

Results: According to the analysis results, task type and group level were found to have significant effects across all channels ($p < 0.05$). While task, group, and their interactions were significant in C3 and Cz, only task and group effects were significant in C4. These findings reveal that both motor skill level and task type influence mirror neuron activity.

Conclusion: The study demonstrated that the effectiveness of the mirror neuron system varies according to learning stages and task difficulty levels in individuals with different motor skill levels. The findings indicated that, particularly in difficult motor tasks, mu rhythm suppression is associated with stronger sensorimotor activation, whereas activation remains limited under moderate familiarity. Moreover, both novel stimuli and highly familiar stimuli were found to strongly activate the system; this activation is thought to be associated with the effort of interpretation during the early stages of learning and with automatic mental simulation processes in the later stages.

Keywords: Mirror Neuron System, electroencephalography, observational learning, motor learning, Mu rhythm

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Motor Öğrenme Modellerinin Karşılaştırılması .	16
Tablo 3.1. C3, C4 ve Cz Kanallarında Gruplar (BA, İA, OA) ve Görev Türleri (BOH, KG, ZG, MG) İçin Shapiro-Wilk Normallik Testi Sonuçları.	58
Tablo 4.1. Voleybolcuların Yaş Değişkenine Ait Tanımlayıcı Özelliklerine Göre Tek Yönlü ANOVA Testi Sonuçları	59
Tablo 4.2. C3 Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları	59
Tablo 4.3. C3 Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları	60
Tablo 4.4. C4 Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları	64
Tablo 4.3. C4 Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları	64
Tablo 4.4. Cz Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları	67
Tablo 4.5. Cz Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Fitts ve Posner Üç Aşamalı Öğrenme Modeli	8
Şekil 2.2. Gentile'nin İki Aşamalı Öğrenme Modeli.....	10
Şekil 2.3. İnsan Beyninin Önden ve Yandan Görünümü	17
Şekil 2.4. Beyincik (Serebellum) Yandan ve Arkadan Görünümü	19
Şekil 2.5. Beyin Bölümleri Görünümü.	20
Şekil 2.6. Limbik Sistem	23
Şekil 2.7. Nöronların Genel Yapısı	26
Şekil 2.8. Ayna Nöronların Motor Kontroldeki Rolü	29
Şekil 2.9. Uluslararası 10-20 Elektrot Yerleşim Düzeni	41
Şekil 2.10. EEG’de Beyin Dalgaları Görünümü	44
Şekil 3.1. Ölçümlerin Alındığı Laboratuvar Ortamı	49
Şekil 3.2. ActiChamp Cihazı	51
Şekil 3.3. Atatürk Üniversitesi Spor Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Nöropsikoloji Laboratuvarı – EEG Kayıtlarının Alındığı Deneysel Ortam.....	51
Şekil 3.4. Çapraz Desenli Deneysel Protokolün Şematik Gösterimi	52
Şekil 3.5. Deneysel Tasarım	53
Şekil 3.6. Analyzer2 Paket Programında Yapılan Ham Veri İncelemesi	55
Şekil 3.7. Hızlı Fourier Dönüşümü Algoritması.....	56
Şekil 3.8. Bant Gücü Hesaplama Adımları	57
Şekil 3.9. Yapılan Analize Ait Blok Diyagram	57
Şekil 4.1. C3 Kanalına ait mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	61
Şekil 4.2. C3 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	62
Şekil 4.3. C3 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	63
Şekil 4.4. C4 Kanalına Mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	65
Şekil 4.5. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	66
Şekil 4.6. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	67

Şekil 4.7. Cz Kanalına Mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	69
Şekil 4.8. Cz Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	70
Şekil 4.9. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.	71
Şekil 4.10. C3 Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	72
Şekil 4.11. C3 Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	72
Şekil 4.12. Cz Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	73
Şekil 4.13. C3 Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	73
Şekil 4.14. C4 Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	74
Şekil 4.15. Cz Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	74
Şekil 4.17. C3 Kanalı bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	75
Şekil 4.18. C4 Kanalı bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	75
Şekil 4.19. Cz Kanalı bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	76
Şekil 4.20. C3 Kanalı ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	76
Şekil 4.21. C4 Kanalı ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	77
Şekil 4.22. Cz Kanalı ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	77
Şekil 4.23. C3 Kanalı otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	78
Şekil 4.24. C4 Kanalı otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.	78

Şekil 4.25. C4 Kanalında otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması. 79



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
F	Varyans oranı istatistiği
Hz	Hertz
P	İstatistiksel Anlamlılık Düzeyi
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama
δ	Delta
ϵ	Epsilon
η^2	Kısmi Eta Kare
θ	Teta
μV	Mikrovolt

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AH	Alzheimer Hastalığı
ANS	Ayna Nöron Sistemi
BA	Bilişsel Aşama
BBA	Beyin Bilgisayar Arayüz
BOH	Biyolojik Olmayan Hareket
EEG	Elektroensefalografi
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response
fMRI	Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme
HKB	Hafif Bilişsel Bozukluk
IIR	Infinite Impulse Response
İA	İlişkisel Aşama

KG	Kolay Görev
MEG	Manyetoensefalografi
MG	Manzara Görüntüsü
MS	Multipl Skleroz
OA	Otonomi Aşama
OSB	Otizm Spektrum Bozuklukları
PET	Pozitron Emisyon Tomografisi
TMS	Transkraniyal Manyetik Uyarım
ZG	Zor Görev

1. GİRİŞ

Motor beceri öğrenimi, yalnızca tekrar eden pratik yolla değil, başkalarının performansını gözlemleyerek de gerçekleşebilen dinamik bir süreçtir (Rizzolatti & Craighero, 2004) Bu öğrenme biçiminin sinirsel temelini, birey bir eylemi gerçekleştirirken veya başkasını izlerken benzer şekilde aktive olan ayna nöronlar oluşturmaktadır (Rodríguez et al., 2014). Bu sayede gözlemlenen hareketler motor komutlara dönüştürülerek yeni becerilerin kazanımı kolaylaştırılmakta olup, model-temelli gözlemsel öğrenmenin hem algısal beceri hem de uygulama performansını geliştirdiği gösterilmiştir (Han et al., 2022).

Spor bilimleri alanında motor becerilerin etkili bir şekilde öğretilmesi ve atletik performansın geliştirilmesi sürecinde gözlemsel öğrenme ve model kullanımının sağladığı bilişsel ve sinirsel avantajlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Trabelsi & Souissi, 2024). Özellikle, bir sporcunun bir hareketi yalnızca fiziksel tekrar yoluyla değil, aynı zamanda yetkin bir modelin sergilediği performansı dikkatle gözlemleyerek öğrenebilmesi, modern antrenman ve öğretim yaklaşımlarında kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Han et al., 2022). Bu bağlamda, gözlemsel öğrenme sürecinin altında yatan ayna nöron sisteminin işleyişi, sporcuların izledikleri hareketleri kendi sinir ağlarında zihinsel olarak simüle edebilmesini sağlayarak hem motor beceri kazanımını hem de performansın nörobilimsel düzeyde desteklenmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Çalışmalar, uzman sporcuların kendi branşlarındaki hareketleri izlerken acemilere kıyasla daha güçlü ayna nöron aktivasyonu gösterdiğini ortaya koymaktadır (Calvo-Merino et al., 2005; Cross et al., 2006; Fox et al., 2016; Sestito et al., 2018). Özellikle deneyimli bireylerde bu sistemin daha etkin çalışması (Ashraf et al., 2023), gözlemsel öğrenmenin elit sporcuların performans gelişiminde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Bütün bu bilgiler ışığında, motor beceri kazanımında ayna nöronların rolü, sporda beceri öğretimi ve öğrenim süreçlerinin nörobilimsel açıdan anlaşılması için kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Ancak mevcut literatür incelendiğinde, özellikle sportif becerilerin gözlem yoluyla öğrenilmesi sürecinde, farklı beceri seviyelerine sahip bireylerde ayna nöron aktivitesinin nasıl değiştiğine dair çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bu noktada, söz konusu eksikliğin anlaşılabilmesi için öncelikle ayna nöron sisteminin temel işlevsel mekanizmasının açıklanması önem arz

etmektedir. Başkalarının eylemlerini anlamamızı ve onları taklit yoluyla öğrenmemizi sağlayan ayna nöron sistemi, görsel bilgiyi motor komutlara dönüştüren algısal-motor dönüşüm mekanizmasının merkezinde yer almaktadır (Rizzolatti & Craighero, 2004). Bu sistem sayesinde gözlemci, bir modelin sergilediği hareketleri kendi sinir ağlarında simüle edebilmekte ve böylece benzer hareketleri gerçekleştirmeyi öğrenebilmektedir (Ashraf et al., 2023). Dolayısıyla, gözlemsel öğrenmenin sinirsel temelleri doğrultusunda geliştirilen yöntemler, özellikle teknolojik araçların desteğiyle spor eğitiminde daha sistematik biçimde uygulanmaya başlanmıştır (Michalski et al., 2019). Teknolojideki gelişmelere paralel olarak, spor eğitiminde video modelleme yöntemi son yıllarda giderek daha yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Becerilerin video kayıtları aracılığıyla öğretilmesini temel alan bu yaklaşım, geleneksel yüz yüze gösterim yöntemine kıyasla çeşitli avantajlar sunmaktadır. Nitekim, gerçekleştirilen birçok çalışma dijital video modellemenin motor beceri ediniminde etkili bir pedagojik araç olduğunu ortaya koymuştur (Trabelsi & Souissi, 2024). Video modelleme yöntemi, hedef motor becerilerin hassas ve kontrollü biçimde sunulmasına olanak tanımaktadır. Özenle hazırlanan videolarda, hareketin adımları, zamanlaması ve beden mekaniği net biçimde vurgulanabilmektedir. Canlı gösterimlerde ortaya çıkabilecek model tutarsızlıkları ve çevresel etkiler, video kullanımıyla büyük ölçüde azaltılmaktadır. Ayrıca videoların tekrar izlenebilmesi sayesinde, hareketin ayrıntılarının zihinsel olarak kodlanması ve içselleştirilmesi mümkün olmaktadır. Bu süreç, pratik yapılmasa dahi sinirsel temsillerin güçlendirilmesine ve becerinin uzun süreli bellekte korunmasına katkı sağlamaktadır. Yapılan araştırmalarda, video modellemenin motor öğrenme ve performans gelişimini farklı yaş, yetenek ve özel gereksinim gruplarında tutarlı biçimde desteklediği ortaya konmuştur (Tannoubi et al., 2023; Trabelsi & Souissi, 2024).

Motor beceri kazanımı üzerine yapılan araştırmalar, yalnızca fiziksel pratik içeren yöntemlerin yanı sıra gözlemsel öğrenme ve bilişsel/görsel öğrenme stratejileri içeren yaklaşımların kombinasyonunun, öğrenme hızını artırarak performans kazanımlarında üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır (Han et al., 2022; Larssen et al., 2021). Bu durum, bilişsel katılımı zenginleştirip bellek süreçlerini desteklemesi açısından, motor öğrenme sürecinin yalnızca fiziksel tekrarlarla sınırlı olmaması gerektiğini göstermektedir. Bir motor becerinin hem

gözlem yoluyla hem de pratik yapılarak öğrenilmesinin, yalnızca fiziksel pratikle sınırlı yaklaşımlara kıyasla daha yüksek performans kazanımları sağladığı bildirilmiştir (Sakai et al., 2023). Gözlem sürecinde ayna-nöron sisteminin etkinleşmesi, bireyin hareketi gerçekleştirmeden önce bir tür “nöral hazırlık” durumu oluşturduğu şeklinde değerlendirilmektedir (Bazzini et al., 2022; Rodríguez et al., 2014). Bu bağlamda, video model gibi bilişsel ve görsel öğrenme yöntemleri, fiziksel antrenmanın yerine geçen değil, onu destekleyen ve sonuçlarını en üst düzeye çıkaran tamamlayıcı araçlar olarak konumlandırılmaktadır. Bu bütünlük yaklaşımın, motor becerilerin hem daha hızlı edinilmesine hem de daha kalıcı biçimde pekişmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bireysel farklılıkların hem antrenman programlarının hem de gözlemsel öğrenme yöntemlerinin etkinliğini etkilediği ve gözlemlenen hareket bireyin motor repertuvarında bulunmadığında ayna-nöron sisteminin daha düşük düzeyde baskılanacağı ifade edilmektedir (Buccino & Riggio, 2006). Başka bir ifadeyle, izleyici açısından biyomekanik olarak imkânsız ya da tamamen yeni bir hareketin gözlemlenmesi, beyinde beklenen yansıtıcı (ayna-nöron) aktivasyonunu oluşturmayabilir. Öte yandan, ilgili hareketi gerçekleştirme becerisinin artmasıyla birlikte, gözlem sırasında beyinde uyarılan ayna nöronlarının düzeyinin de arttığı gözlemlenmektedir (Calvo-Merino et al., 2005). Bu bulgu, gözlem yoluyla motor becerilerin öğrenilmesinde ayna nöronlarının önemli bir rol üstlendiğini göstermektedir. Bu durum, öğrenenin seviyesine uygun bir model seçiminin önemini vurgulamaktadır. Örneğin, yeni başlayan sporcular için, beceriyi yeni öğrenen bir modelin kademeli gelişimini izlemek veya hata yapıp düzeltme süreçlerini gözlemlemek daha öğretici olabilir. İleri seviye sporcular ise, kendi performans videolarını (öz model) analiz ederek veya elit düzeydeki sporcuların mükemmel uygulamalarını izleyerek daha ince detayları kavrayabilir. Güncel çalışmalar, model ile gözlemci arasındaki benzerliğin (seviyeye veya diğer özelliklere göre) gözlemsel öğrenmenin dikkat ve motivasyon bileşenlerini güçlendirdiğini, bu sayede öğrenme çıktılarını iyileştirebileceğini vurgulamaktadır (Hoogerheide et al., 2018). Bu nedenle, tıpkı antrenman planlarının kişiselleştirilmesi gibi, video model ile beceri öğretiminde de her bir sporcunun deneyim ve öğrenme düzeyine uygun içerik ve model seçilmesi, en etkili sonuçları almak açısından kritik bir öneme sahip olabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak, ayna nöron sisteminin motor beceri kazanımındaki rolünün anlaşılması, spor eēitiminde daha etkili ērenme stratejileri ve ēretim yöntemlerinin geliştirilmesine, ayrıca gözlemsel ērenmenin sporcuların performansını artırmada nasıl daha verimli kullanılabileceēine dair önemli ipuçları sunabilir. Günümüzde nörobilim alanındaki deneysel çalışmalar, ayna nöron sisteminin motor beceri kazanımındaki rolünü anlamak için önemli veriler sunmaktadır. Özellikle elektroensefalografi (EEG) ile yapılan lmler, 8–13 Hz bandındaki Mu ritminin gözlem sırasında baskılanmasının, ayna nöron aktivitesinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Fox et al., 2016). Bu tez çalışmasında, motor beceri ērenimi sürecinde ayna nöron aktivitesinin çözümlenmesi amacıyla mevcut kuramsal bilgiler ve güncel deneysel yöntemler bir araya getirilmiştir. Özellikle, video model destekli gözlemsel ērenme ortamında, farklı uzmanlık düzeylerindeki bireylerin EEG ile ölçülen ayna nöron tepkilerinin karşılaştırılması yoluyla, motor beceri kazanımının sinirsel mekanizmalarına dair özgün bir anlayış elde edilmesi hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Motor Beceri

Beceri, ilgili alanda deneyim kazanılması ve bir hareketin doğru biçimde icra edilebilmesiyle tanımlanmaktadır (Özer & Özer, 1998). Bu durum, problem çözme yeteneğinin bir yansıması olarak değerlendirilmektedir. Problemlerin analiz edilmesi ve eylemlerin bir problem çözme aracı olarak kullanılabilmesi amacıyla kaynakların organize edilme düzeyi arttıkça, bireyin beceri seviyesi de buna paralel olarak yükselmektedir (Higgins, 1991). Motor kavramı, kelime anlamı itibarıyla 'hareket' anlamına gelmektedir. İnsanların fiziksel gelişim süreci, anne karnında başlamakta ve doğumun ardından hızlı bir şekilde ilerlemektedir (Gümüldağ & Yıldırım, 2018).

Motor beceriler, belirli bir amaca yönelik kas hareketlerinin sinir sistemi, kaslar ve beyin tarafından eşgüdömlü bir şekilde gerçekleştirilmesiyle ortaya çıkan, yaş özelliklerine göre değerlendirilen ve deneyim ile öğrenme sonucunda kazanılan hareket ve eylem bütünüdür (Sayın, 2011). “Motor beceri, deneyim ve eğitim yoluyla kazanılan, öğrenilmiş bir amaca ya da istemli bir motor göreve yönelik olarak vücudun bir ya da birden fazla bölümünün hareket ettirilmesiyle tanımlanmaktadır (Özer & Aktop, 2014). Motor becerilerin, birkaç seansta kademeli olarak kazanıldığı; bir beceride ustalaştığında ise bu becerinin uzun süre minimum bozulma ile sürdürülebildiği belirtilmekte, motor öğrenmenin ise hareketin tekrar edilmesiyle performansta öğrenmeye bağılı olarak gerçekleşen artışı açıkladığı ifade edilmektedir (Özer & Özer, 1998). Motor becerilerin kazanılması ya da geliştirilmesi, hazırlık ve olgunlaşma süreçlerinin, dolayısıyla motor gelişimin olumlu yönde ilerlemesine bağılı olarak gerçekleşmekte; bu nedenle motor beceri kavramının, motor becerilerin gelişimiyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir (Özdemir, 2023). Motor gelişim, vücudun büyük ve küçük kaslarının kademeli olarak kontrol edilmesi ve kullanılması şeklinde tanımlanmaktadır. Bu gelişim alanı, literatürde genellikle “algısal motor gelişim” ya da “fiziksel-motor koordinasyon” olarak da adlandırılmaktadır. Doğumdan sonraki ilk birkaç ay ve yılı kapsayan dönemde, bir çocuğun gelişim hızını ve genel gelişim düzeyini değerlendirmede yaygın olarak kabul gören bir araç olarak kullanılmakta olup, çocuğun gelişimi açısından önemli bir unsur olarak değerlendirilmektedir (Özdemir, 2023). Tüm bu davranışsal kazanımların,

yetişkinlik dönemindeki işlevselliğin temel unsurlarını önceden işaret ettiği ve çocuğun motor gelişimi için yeterli bir temel kazanımına bağlı olduğu kabul edilmektedir. Motor gelişimin ilk yılları, bireyin yaşamı boyunca zihinsel, sosyal, duygusal ve eğlenceye yönelik birçok alanı kontrol etmede kullandığı nöromüsküler koordinasyonun temelini oluşturmaktadır. Erken dönemdeki öğrenme süreci ise genellikle oyun, fiziksel aktivite ve çeşitli motor becerilerin kullanımına odaklanan fiziksel olarak aktif bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Alay, 2023).

2.1.1. Motor beceri kazanımı

Spor bilimciler tarafından yürütülen teorik ve pratik çalışmalara dayalı olarak, sporcuların teknik becerilerinin en üst düzeye ulaşabilmesi için uzun bir eğitim sürecinin gerekli olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca, bazı motor becerilerin kayda değer biçimde gelişmesinin onlarca yılı bulabileceği ifade edilmektedir (Hänggi et al., 2010). Motor becerilerin öğrenilmesini geliştirmek amacıyla kullanılan faktörler arasında gözlemsel uygulama, bireyin dikkat odağının yönlendirilmesi, geribildirim sağlanması ve kendi kendini kontrol eden uygulamaların kullanılması bulunmaktadır. Bu faktörlerin, öğrenme sürecine olumlu katkılar sağladığı kabul edilmektedir (Özdemir, 2023; Wulf et al., 2010). Hareket örüntüsü, zamanlama ve hareket sıralaması, motor öğrenmenin derin yapıları arasında kabul edilmektedir. Buna karşılık, hareketin büyüklüğü, aralığı ve hızı gibi unsurlar, motor öğrenmenin yüzeysel yönleri arasında yer almakta ve bu yönlerin uygulama sürecinde bireyin beceri düzeyine, çevresel koşullara ya da verilen geri bildirimle ilgili olarak değişkenlik gösterebileceği ifade edilmektedir. (Schmidt & Wrisberg, 2008). Bu nedenle, motor becerilerin öğretiminde sürece mi yoksa sonuca mı odaklanılacağı belirlenirken, sporcuların bulundukları gelişim aşamalarının dikkate alınması gerektiği, antrenörler tarafından göz önünde bulundurulmalıdır.

2.2. Motor Öğrenme Alanına Ait Teorik Yaklaşımlar ve Modeller

2.2.1. Basamak teorisi

Meinel ve Shabel tarafından geliştirilen bu teori, motor öğrenme alanında en yaygın kabul gören yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilmektedir. Farklı spor dallarında çeşitli biçimlerde gözlemlenebilen motor öğrenme sürecinin üç aşamada

gerçekleştigi belirtilmektedir: kaba koordinasyon seviyesi, ince koordinasyon seviyesi ve ince koordinasyonun pekiştirilmesi evresi. Söz konusu teori doğrultusunda, öğrenme süreci; başlama düzeyi, hedefe ulaşmak amacıyla tercih edilen yollar ve uygulanan alıştırmalar temelinde şekillenmektedir (Özdemir, 2023).

Kaba Koordinasyon Evresi: Bu aşamada, deneyim eksikliğine bağlı olarak hareketlerde güvensizlik ve hatalar gözlemlenmekte, motor performansın tutarlılığı sağlanamamaktadır (Meinel & Schnabel, 1987).

İnce Koordinasyon Evresi: Bu aşamada hareket tasarımı daha ayrıntılı ve amaca yönelik hale getirilmekte; kinestetik ve optik bilgi işleme süreçleri gelişmekte, hareketlerin zamanlaması, ritmi ve koordinasyonu üzerinde daha fazla kontrol sağlanmaktadır. Sonuç olarak, hareketler güvenli, ekonomik ve yüksek düzeyde organize bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir (Meinel & Schnabel, 1987).

İnce Koordinasyon Pekiştirme Evresi: Bu aşamada, hareketlerin zorlu koşullar altında istikrarlı biçimde uygulanabilmesi amacıyla kinestetik dürtülerin etkinliğinin artırıldığı; ayrıca yüksek hareket yoğunluğu, değişken koşullar altında başarıyı sürdürme, hareket sırasında düzenleme yapabilme, uygulamadaki küçük detaylara dikkat etme, bilgiye hızlı tepki verme ve değişen durumlara uyum sağlama gibi becerilerde belirgin gelişmelerin gözlemlendiği belirtilmektedir (Meinel & Schnabel, 1987).

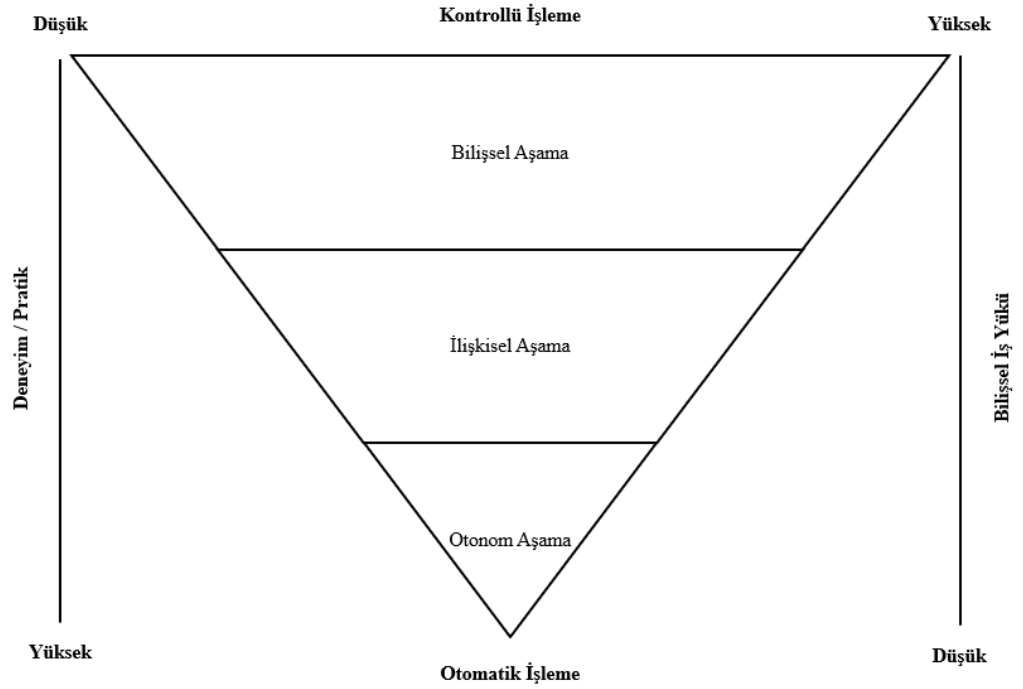
2.2.2. Kibernetik teori

Bu teoriye göre, hareket öğrenimi kendi kendini düzenleyen bir sistem içinde gerçekleşmekte; tekrar, hata tespiti ve düzeltme süreçleri öğrenmenin temel unsurları olarak değerlendirilmektedir. Öğrenme, sporcunun gerçek performans ile ideal performansı karşılaştırarak bilişsel düzenlemeler yapmasıyla sağlanmaktadır. Hareket tasarımı afferent sentezle oluşturulmakta ve bilgi, içgüdü, hafıza ile desteklenmektedir. Ortaya çıkan farklılıklar, yüksek sayıda tekrar yoluyla giderilmeye çalışılmaktadır (Özdemir, 2023).

2.2.3. Fitts ve Posner Modeli

Fitts ve Posner'ın (1967) üç aşamalı öğrenme modeli, motor becerilerin gelişimini açıklamak üzere literatürde klasik bir yaklaşım olarak

değerlendirilmektedir. Bu modele göre, ilk aşama olan bilişsel aşamada, istenen becerinin gerçekleştirilmesine yönelik olarak bilinçli bir çaba gösterilmekte ve ilgili yönergelerin hatırlanması sağlanmaktadır. İlişkisel aşamada, dış yönlendirmelere olan bağımlılık azaltılmakta ve becerinin durumsal koşullara uygun şekilde uygulanabilirliği artırılmaktadır. Son aşama olan özerk aşamada ise, becerinin içselleştirildiği ve bilişsel süreçlere doğrudan ihtiyaç duyulmaksızın otomatik olarak gerçekleştirilebildiği belirtilmektedir (Fitts & Posner, 1967). Farkındalık becerilerinin kullanımının zamanla içselleştirildiği ve uygulama süreciyle birlikte giderek daha az bilişsel çaba gerektirdiği varsayılmaktadır. Bu nedenle, söz konusu becerilerin gelişiminin Fitts ve Posner'ın üç aşamalı öğrenme modeli çerçevesinde ele alınabileceği ileri sürülmektedir. Bu bağlamda, sporcuların farkındalık becerilerinin desteklenmesine yönelik olarak, her bir öğrenme aşamasının karakteristik özelliklerine uygun pratik önerilerin sunulması gerekli görülmektedir (Kee, 2019).



Şekil 2.1. Fitts ve Posner Üç Aşamalı Öğrenme Modeli (Furley & Memmert, 2010).

Bilişsel Aşama: Bu aşama, bilişsel problem çözme süreci olarak değerlendirilmektedir. Karar verme mekanizmaları bu düzeyde belirgin bir öneme sahiptir. Birey, gerçekleştireceği hareketle ilgili genel ve temel bilgileri edinmeye çalışır. Birey, kendi kendine konuşarak stratejiler geliştirmekte ve başarıya ulaşmak amacıyla zihinsel süreçlere yoğunlaşmaktadır. Bu aşama, yüksek düzeyde dikkat

gerektirmektedir. Performans gelişimleri genellikle hızlı ve tekrarlayıcı bir biçimde gözlemlenir. Bununla birlikte, hareketler bu evrede düzensiz, kararsız ve zamansal açıdan uyumsuz olma eğilimindedir (Çimen, 2022). Fitts ve Posner'ın (1967) motor öğrenme aşamaları modeli bağlamında değerlendirildiğinde, özellikle başlangıç düzeyindeki bireylerin, bilişsel yükün yüksek olduğu durumlarda sunulan yönergeleri anlamada ve hatırlamada güçlük yaşayabildikleri görülmektedir. Bu doğrultuda, yeni motor becerilerin edinim sürecinde stratejik yaklaşım, sunulan talimatların sayısını ve karmaşıklığını sınırlamak üzerine temellendirilmelidir. Benzer bir şekilde, farkındalık temelli becerilerin öğrenilmesi sürecinde de başlangıç aşamasında verilen yönergelerin sadeleştirilmesi ve asgari düzeyde tutulması ifade edilmektedir (Özdemir, 2023). Öğrenme sürecinin etkinliğinin artırılması amacıyla, bireylerin talimatları anlamalarına ve belirsizlikleri gidermelerine olanak tanıyacak yeterli zamanın ayrılması önem taşımaktadır. Ayrıca, uygulama sürecine eşlik eden zamanında ve yapılandırılmış geri bildirimlerin, öğrenme sürecini destekleyici bir unsur olarak işlev görmektedir.

İlişkisel Aşama: Uygulama süreciyle birlikte, birey tarafından ne yapılacağına dair bilgi geliştirilmektedir. Bu aşamada bulunan öğrencilerin, ilişkisel ya da ara aşamada oldukları ifade edilmektedir. Bu aşamaya geçişin, belirli bir miktarda uygulama ve performansta gözlemlenen iyileşmeler sonrasında gerçekleştiği kabul edilmektedir. Bu süreçte, öğrenci tarafından belirli çevresel ipuçları, becerinin amacına ulaşmak için gerekli olan hareketlerle ilişkilendirilmeye çalışılmaktadır. Becerinin temel yapısı ve mekanikleri öğrenci tarafından edinildikçe, yapılan hata sayısında azalma gözlenmektedir. Fitts ve Posner tarafından bu aşama, bireyin beceriyi başarıyla yerine getirmeye ve her denemede daha tutarlı bir performans sergilemeye odaklandığı bir “iyileştirme aşaması” olarak tanımlanmaktadır (Magill & Anderson, 2010). Bu aşamada, becerinin mükemmelleştirilmesi ve öğrenmeyi yansıtan tutarlı, koordinatif hareketlerin geliştirilmesi amacıyla uygulama yapılması gerekmektedir (McMorris, 2014).

Otonomi Aşama: Üçüncü aşama, becerilerin uygulanmasının otomatik hâle geldiği özerk aşama olarak kabul edilmektedir. Farkındalık becerileri açısından, bu aşamada fazla çaba harcanmadan makul bir süre boyunca sürdürülebilir şekilde katılım sağlanabilmektedir (Kee, 2019). Öğrenenin tutarlı bir şekilde ve çok az belirgin bilişsel etkinlik ya da bilinçli dikkat gerektirmeden performans

Fikrin Kazanılması: Yeni bir motor becerinin öğrenilme sürecinin ilk aşamasında, hareketin neyi içerdiğine dair temel bir fikir edinilmesi amaçlanmaktadır. Bu aşamada, hareketin amacına ulaşmayı mümkün kılacak uygun bir hareket modeli oluşturulmaktadır. Başarının sağlanabilmesi için, düzenleyici ve düzenleyici olmayan çevresel koşullar arasında etkili bir ayırım yapılması gerekmektedir. Düzenleyici koşullar tarafından, görevin gerçekleştirilmesi için gerekli olan hareket özellikleri belirlenirken; düzenleyici olmayan koşulların ise motor tepkilerin üretilmesi ile doğrudan ilişkili olmadığı kabul edilmektedir (Coker, 2017; Magill & Anderson, 2010).

Bu süreçte, temel motor kalıplar geliştirilmekte ve görevin gerçekleştirilmesine yönelik bilgi sınırlı düzeyde edinilmektedir. Öğrenme süreci, belirli ve özgül çevresel koşullar altında hareketin nasıl uygulanacağını öğrenilmesine odaklanmaktadır. Ancak, çevresel koşullarda meydana gelen değişikliklerin öğrenilen hareket kalıplarının geçerliliğini sınırlayabileceği belirtilmektedir. Bu nedenle, her yeni çevresel durum için hareket stratejilerinin yeniden yapılandırılması gerekmektedir (Gallahue, 1989).

Bu aşamada, ilgili ve ilgisiz çevresel ipuçları arasında ayırım yapılabilmesi ve bu doğrultuda seçici dikkatin geliştirilmesi beklenmektedir. Sonrasında, ne yapılacağına ilişkin bir eylem planının oluşturulması süreci yürütülmektedir. Bu süreç, Fitts ve Posner tarafından tanımlanan bilişsel aşama ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca, çevresel bağlamın otomatik olarak izlenebilmesi ve hareketlerin bu bağlama uygun biçimde uyarlanabilmesi yetisinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu nedenle, açık becerilerin öğrenilmesi sırasında, öğrenenlere çevresel değişkenlik içeren uygulama deneyimleri sunulmasının gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Salehi et al., 2021).

Sabitlenme/Çeşitlendirme: Motor öğrenmenin bu ikinci aşamasında, öğrenenin öncelikle değişen çevresel koşullara ve görevin açık ya da kapalı beceri olma özelliğine uyum sağlama yetisinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, becerinin amacına ulaşmadaki performans tutarlılığının artırılması ve becerinin enerji açısından verimli bir şekilde uygulanması beklenmektedir (Salehi et al., 2021)

Kapalı becerilerin öğreniminde, denemeler arasında hareketin tutarlılığı sağlanmakta ve hareket modeli, herhangi bir zamanda doğru ve istikrarlı biçimde uygulanabilecek şekilde düzenlenmektedir. Buna karşılık, açık becerilerin öğreniminde, ilk aşamada edinilmiş olan temel hareket modelinin çeşitlendirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte, sürekli değişen çevresel taleplere karşı akışkan ve uyarlanabilir hareket stratejilerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir (Gallahue, 1989).

2.2.5. Gallahue'nin motor beceri öğrenme modeli

Motor beceri öğrenimi, Fitts ve Posner ile Gentile modellerinde sunulan öğelere dayanmaktadır (Salehi et al., 2021); bu model zaman içerisinde çeşitli değişiklikler ve genişletmelerle geliştirilmiştir (Gallahue, 1982; Gallahue & Donnelly, 2007). Gallahue'ye göre, Fitts ve Posner tarafından önerilen modeller, üç düzeyli ve buna eşlik eden öğrenme aşamalarını içeren bir modele uyarlanabilir ve genişletilebilir. Bu doğrultuda, Gallahue'nin motor beceri öğrenimine yönelik yaklaşımı, hem Fitts ve Posner'in (1967) hem de Gentile'in (1972) modellerinden öğeler uyarlamakta; böylece hem öğrenenin bilişsel durumunu hem de öğrenenin hedeflerini dikkate alan bir yapı sunmaktadır.

Bu öğrenme düzeyleri şunlardır:

- Başlangıç düzeyi
- Orta veya uygulama düzeyi
- İleri düzey, yani yeni bir motor becerinin öğrenilmesinin en gelişmiş aşaması.

Başlangıç Düzeyi: Gallahue'nin motor öğrenme modelinde, yeni bir beceri öğrenme düzeylerinin ilk seviyesi, başlangıç ya da acemi düzeyidir. Bu düzeyde, öğrenen, becerinin gereksinimlerine yönelik bilinçli bir zihinsel plan geliştirmeye çalışır. Göreve yönelik gösterilen bu bilinçli dikkat nedeniyle, öğrenenin performansı genellikle tutarsız, değişken ve dalgalanmalar ve hatalar görülür. Öğrenmenin erken düzeylerinde genellikle bir tür yorgunluk da yaşanır; çünkü öğrenen, görevin gerçekleştirilmesinde yer alan tüm bileşenlere dikkat eder ve ilgili unsurları ilgisiz olanlardan ayırmakta güçlük çeker. Yeni bir beceriyi öğrenmenin bu başlangıç veya acemi düzeyi, üç aşamayı içermektedir: farkındalık aşaması, araştırma aşaması ve keşif aşaması (Salehi et al., 2021).

- a) **Farkındalık Aşaması:** Bu aşamada, bireyin bilişsel durumu oldukça ilkel ve basittir ve kişi, görevi tanımlamada yer alan temel gerekliliklerin ve uygun kavramların farkına varır. Farkındalık aşamasındaki öğrenenin amacı, görevin genel özelliklerine ilişkin temel bilgi ve bilinçli farkındalık kazanmaktır. Bu aşama, “hareket fikrini edinme” aşaması olarak da adlandırılmaktadır (Gallahue, 1989).
- b) **Araştırma Aşaması:** Bu aşamada, öğrenen görevin temel gerekliliklerine ilişkin bilinçli bir farkındalığa sahiptir ve artık görevi yerine getirmenin farklı yollarını deneyimlemeye başlar. Öğrenenin bilişsel durumu, hangi görevleri yerine getirmesi gerektiğini bilmekle birlikte, bunları koordineli ve tutarlı bir şekilde gerçekleştirememesi durumu ile tanımlanır. Araştırma aşamasında, öğrenenin hedefi, görevin nasıl gerçekleştirilebileceğine dair farklı olasılıkları deneyimlemektir. Bu aşama, performansta yüksek düzeyde değişkenlik ve belirgin hataların görüldüğü kontrol öncesi aşama (pre-control stage) olarak da bilinir (Salehi et al., 2021).
- c) **Keşif Aşaması:** Bu aşamada, öğrenenin bilişsel durumu, görevin nasıl gerçekleştirilmesi gerektiğine ilişkin bilinçli bir zihinsel plan oluşturma sürecindedir. Öğrenenin amacı, görevi yerine getirmenin daha etkin yollarını bulmaktır. Gallahue’ye göre, bu aşama, öğrenenin daha fazla motor kontrol kazandığı ve görevi nasıl gerçekleştireceğini keşfetmeye başladığı bir koordinasyon ve kontrol aşamasıdır (Gallahue, 1989).

Orta veya Uygulama Düzeyi: Gallahue’nin düzeyler ve aşamalar modeline göre, motor beceri öğreniminin ikinci düzeyi ara (intermediate) veya uygulama (practice) düzeyi olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada, öğrenen tarafından görevin gereklilikleri genel hatlarıyla kavranmakta ve beceri, hedef performansına yakın bir şekilde sergilenebilmektedir. Becerinin hem statik hem de dinamik koşullarda icrası için zihinsel bir plan oluşturulmuş durumdadır. Görev unsurlarına yönelik bilinçli dikkat azalırken, görevin amacına yönelik odaklanma artmaktadır. Başlangıç düzeyine özgü koordinasyon eksiklikleri ortadan kalkmakta ve hareketin “hissî” daha belirgin hâle gelmektedir; bu süreçte kinematik duyarlılık artmaktadır. Öğrenme sürecinde, başlangıçta ağırlık verilen sözel ve görsel ipuçlarının yerini, kas duyusuna (propriocepsiyona) dayalı geri bildirim almaktadır. Bu düzey,

kombinasyon aşaması ve uygulama aşaması olmak üzere iki aşama ile karakterize edilmektedir (Salehi et al., 2021).

a) Kombinasyon Aşaması: Kombinasyon aşamasında, öğrenen tarafından hareket becerilerinin farklı kombinasyonlar hâlinde bir araya getirilmesine başlanmaktadır. Bu süreçte beceriler önce ikili gruplar hâlinde, ardından artan düzeyde karmaşık diziler şeklinde bütünleştirilmektedir. Bilişsel olarak, becerilerin birleşimi sırasında görevin öğelerine yönelik bilinçli dikkat giderek azalmaktadır. Bu aşamada amaç, birden fazla motor becerinin zaman ve mekân boyutlarında akıcı ve koordineli bir dizilim hâlinde bütünleştirilmesidir. Gallahue tarafından bu aşama, motor becerilerin bütünleştirilerek ve uygulamaya dönüştürülerek öğrenildiği bir dönem olarak tanımlanmaktadır (Gallahue & Donnelly, 2007).

b) Uygulama Aşaması: Bu aşamada öğrenen tarafından becerilerin uygulamalı bağlamlarda kullanılması hedeflenmekte ve dikkat, görevin ötesine, becerilerin işlevsel kullanımına yönlendirilmektedir. Motor becerilerin bu şekilde düzenlenmesi ve uygulanması sürecinde, eğitmen tarafından uygulama koşullarının beceri gelişimini destekleyecek şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda, yoğun ve çeşitli uygulama fırsatlarının sunulması, destekleyici ve güvenli bir öğrenme ortamının oluşturulması, aşamalı ve odaklanmış uygulama durumlarının geliştirilmesi ve öğrenenin öz değerlendirme becerisinin desteklenmesi önem arz etmektedir. Ayrıca, uygulama seanslarının kalitesine, bireysel öğrenme hızına ve becerinin bütüncül biçimde geliştirilmesine odaklanılmalıdır. Gerçek yaşam koşullarını yansıtan uygulama ortamlarının sağlanması da öğrenilen motor becerilerin transferini ve işlevsel kullanımını artırmada etkili olmaktadır (Balyi et al., 2013; Gallahue & Donnelly, 2007).

İleri Düzey: Gallahue'nin motor öğrenme modelinde, ileri düzey, yeni bir motor becerinin öğrenilmesindeki üçüncü ve son düzey olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada öğrenenin bilişsel durumu, beceriyi tam anlamıyla kavramış olma durumudur. Beceriye ilişkin zihinsel plan son derece gelişmiş durumdadır ve görevin bilişsel unsurlarına yönelik çok az veya hiç bilinçli dikkat gösterilmez. Birey, ilgisiz bilgileri ayıklayabilmekte ve dikkati dağıtan unsurlardan etkilenmemektedir. Hareketlerin zamanlaması ve önceden kestirilebilmesi

(anticipation) mükemmel düzeydedir ve eylem neredeyse otomatik bir biçimde gerçekleşmektedir (Gallahue, 1989).

a) Performans Aşaması: Bu aşamadaki bilişsel durumda, göreve yönelik çok az veya hiç bilinçli dikkat gösterilmez ve öğrenenin hedefi, hareketi yüksek düzeyde kontrol ve etkinlik ile doğru biçimde gerçekleştirmektir. Gallahue'ye göre bu aşama bir "kesinlik (precision) aşamasıdır (Salehi et al., 2021).

b) Bireyselleştirilmiş Aşama: Yeni bir motor becerinin öğreniminde kişiselleştirme aşaması, sürecin son aşaması olarak tanımlanmakta; bu aşamada öğrenen tarafından performansa, bireysel güçlü ve zayıf yönleri, fiziksel özelliklere ve bilişsel gerekliliklere göre düzenlenmektedir (Gallahue & Donnelly, 2007). Performansın kişiselleştirilmesi yoluyla, başarı düzeyinin artırılması hedeflenmektedir. Eğitimcilerin ise, bu düzeyde öğrenenlere yönelik olarak becerinin daha ileri düzeyde geliştirilmesi, sürdürülmesi ve uygun geri bildirim sağlanması üzerinde durmaları gerektiği, ayrıca öğrenenlerden bilinçli ve genel analiz talep edilmemesi gerektiği vurgulanmaktadır; zira bu durum "paralysis by analysis" (fazla analiz nedeniyle performansın bozulması) olasılığını artırmaktadır (Balyi et al., 2013; Gallahue & Donnelly, 2007). Bu aşamada uygulama seanslarının gerçek yaşam koşullarını yansıtır biçimde, yoğunluk ve motivasyonu destekleyecek şekilde yapılandırılması, öğrenene yönelik teşvik ve destek sağlanması, bireysel farklılıklara duyarlı olunması ve beceriye ilişkin spesifik geri bildirim sunulması önemli görülmektedir (Salehi et al., 2021). Motor öğrenmenin farklı aşamalarında, beyin yapılarının etkinliği de aşamaya göre değişmektedir. Başlangıçta prefrontal korteks, serebellum, birincil motor korteks, bazal ganglionlar, parietal ve oksipital korteks gibi alanların aktif olduğu (Savion-Lemieux & Penhune, 2010), öğrenme ilerledikçe prefrontal korteksin rolünün azaldığı ve otomatikleşmiş performansın esasen motor korteks, yardımcı motor alan, bazal ganglionlar, parietal korteks ve serebellum tarafından kontrol edildiği gösterilmiştir (Doyon et al., 2003; McMorris, 2014; Parsons et al., 2005). Literatürde, motor görevlerin öğrenme aşamalarında hangi beyin yapılarına işlev verildiği konusunda motor öğrenme ve davranış bilimcileri arasında genel

bir fikir birliği olduğu ifade edilmektedir (Savion-Lemieux & Penhune, 2010).

Tablo 2.1. Motor Öğrenme Modellerinin Karşılaştırılması (Salehi et al., 2021).

Fitts ve Posner'in Beceri Öğrenme Modeli	Gentile'nin Beceri Öğrenme Modeli	Gallahue'nin Beceri Öğrenme Modeli
• Bilişsel Aşama • İlişkilendirme Aşaması • Otonomi Aşama	• Fikir Edinme Aşaması • Sabitleme/Çeşitleme Aşaması	• Başlangıç Düzeyi • İleri Düzey • Orta Düzey

2.3. Motor Beceri Kazanımının Nöroanatomisi

Yeni motor becerilerin kazanımı sürecinde, beynin farklı bölgeleri aktifleşmekte ve bu süreçte uyumlu bir şekilde işlev görmektedir. Her ne kadar beyin yapısı günümüzde hâlâ tam anlamıyla çözülememiş olsa da gerçekleştirilen araştırmalar bu süreçte görsel hafızadan sorumlu bölgeleri belirlemiştir. Nörolojik bulgular, yeni motor beceri edinimi sırasında görsel hafızanın yürütülmesine görsel korteks, motor korteks, prefrontal korteks, basal ganglia, beyincik ve hipokampusün etkin biçimde katkıda bulunduğunu ortaya koymaktadır (Özdemir, 2023).

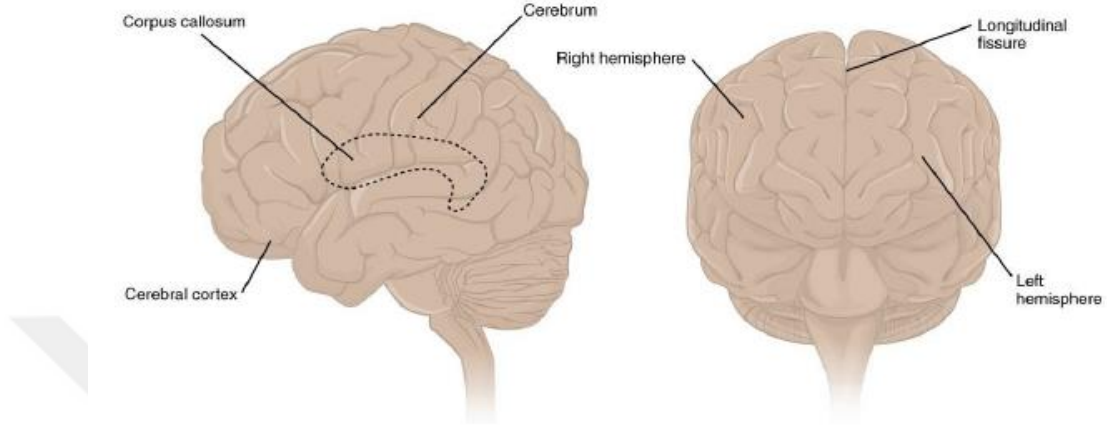
2.4. Beyin Yapısı ve İşleyişi

2.4.1. Beyin (serebrum)

Beyin, kafatası boşluğu içerisinde konumlanmış, ortalama 1400 gram ağırlığında olup vücut ağırlığının yaklaşık %2'sine karşılık gelen; yapısal olarak sağ ve sol olmak üzere iki yarım küreden oluşan ve bileşiminin yaklaşık %78'i su, %10'u yağ ve %8'i proteinden meydana gelen bir yapıya sahiptir (Akşit, 2023). Uyku sırasında dahi kesintisiz olarak çalışmaya devam eden beyin, vücut ağırlığının yalnızca %2'sini oluşturmasına karşın, günlük kalori tüketimimizin yaklaşık %20'sini harcadığı bilinmektedir (Şahin, 2023). Beyin dokusu, yaklaşık 100 milyar sinir hücresi (nöron) ve dokunun stabilitesini sağlayan yaklaşık bir trilyon destek hücreden oluşmaktadır (Zhang, 2019).

Serebral korteks, beynin dış yüzeyini oluşturan ve gri maddeden meydana gelen yapıdır; kalınlığı 2 ila 6 mm arasında değişir ve yüzeyi girinti (sulkus) ve çıkıntılarla (girus) karakterizedir. Duyusal girdilerin işlendiği ve motor çıktının

başladığı merkezlerin yer aldığı bu bölge, sinirsel iletimin büyük bir kısmından sorumludur. Korteksin altında yer alan beyaz madde, miyelinli sinir liflerini ve bazal gangliyonlar olarak adlandırılan gri madde yapıları içerir. Bazal gangliyonlar, serebellum ve serebral korteks ile etkileşim içinde olup istemli motor hareketlerin düzenlenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir (Buzdağı, 2022).



Şekil 2.3. İnsan Beyninin Önden ve Yandan Görünümü (Çemç, 2023)

2.4.2. Sağ hemisfer

Sağ hemisfer, vücudun sol tarafının motor kontrolünden sorumlu olmasının yanı sıra dokunsal algı ve duyguların ifade edilmesi gibi bilişsel ve yaratıcı işlevlerde etkindir. Ayrıca, Sağ hemisfer, yüz ifadelerinin yorumlanması, görsel ayrıntıların algılanması, üç boyutlu düşünme, mekânsal analiz, beden dili ve çevresel uyarıların bütüncül olarak değerlendirilmesi gibi görsel-sosyal bilişsel işlevlerde sorumludur. Bu yarımküre, sezgisel, duygusal ve imgesel düşünmenin yanı sıra sembollerin zihinsel temsili, manipülatif motor beceriler ve el-göz koordinasyonu gerektiren faaliyetlerde de işlevseldir (Börklü, 2008; Deutsch, 1997).

2.4.3. Sol Hemisfer

Sol hemisfer hem anatomik hem de işlevsel açıdan sağ hemisferden farklılaşmakta olup vücudun sağ tarafının motor kontrolünden sorumlu beyin bölgesidir. Dilin bilinçli kullanımı, konuşma, heceleme, okuma-yazma, dil bilgisi kurallarının öğrenilmesi ve uygulanması gibi sözel işlevler; sözel zekâ, sözel bellek, sözel düşünme ve konuşma içeriğinin yapılandırılması gibi bilişsel süreçler bu hemisferde yoğunlaşmıştır. Ayrıca ritim, ardışık bilgi işleme, tempolu yürüyüş,

daktilo yazımı, matematiksel işlemler ve detay algısı gibi görevlerde de sol hemisferin belirgin bir rolü bulunmaktadır (Börklü, 2008; Çemç, 2023).

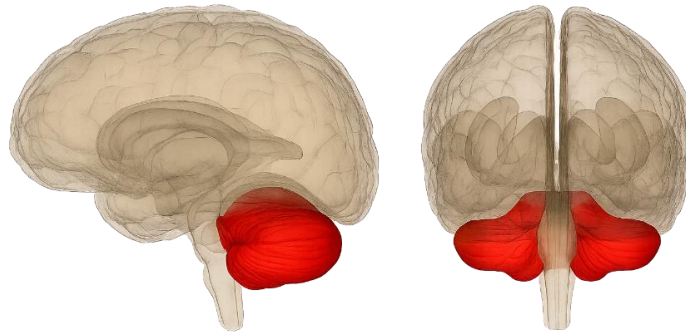
2.4.4. Korpus kallosum: iki beyin yarımküresi arasındaki bağlantı

Korpus kallosum, ilk kez Bergamalı Galenos tarafından “callus” (sert doku) kelimesinden türetilerek adlandırılmıştır. 16. yüzyılda Vesalius bu yapının anatomik tanımını yapmış, 17. yüzyılda Thomas Willis fonksiyonel olarak hayal gücüyle ilişkili olabileceğini öne sürmüştür. Aynı dönemde La Peyronie, bu bölgeyi ruhun merkezi olarak değerlendirmiştir. 18. yüzyılda Vicq D’Azir ise korpus kallosumun iki beyin yarım küresi arasında bağlantı kuran ana yapı olduğunu bilimsel olarak açıklamıştır (Apak, 2009). KK, sol ve sağ yarımküreler arasındaki ana anatomik bağlantıdır ve dolayısıyla yarımküreler arası etkileşimlerde önemli bir işlevsel rol oynar (Gazzaniga, 2000). Korpus kallosumun fonksiyonel önemine yönelik en erken ve temel katkılardan biri, Dejerine’nin 1892 yılında yaptığı lezyon lokalizasyonudur. Okuma bozukluğu olan bir hastanın otopsisinde sol parietal lobun posteroinferior bölgesinde ve korpus kallosumun spleniumunda (kuyruk bölümünde) lezyon tespit eden Dejerine, okuma bozukluğunun esas nedeninin bu bölgedeki hasar olduğunu ileri sürmüştür. Bu bulgu, spleniumun her iki oksipital korteks arasında bilgi iletimini sağlayan ana geçiş yolu olduğuna dair anlayışın temelini oluşturmuştur (Tanrıdağ, 1994). Korpus kallosumun rolüne dair önemli kanıtlardan biri diğeri ise, Liepmann’ın sağ hemipleji ve sol el beceri kaybı olan bir hastaya ilişkin otopsi bulgularıdır. Çalışmasında Liepmann, hemiplejiyi ponsun sol tarafındaki lezyona, el beceri kaybını ise sol frontal lobun iç yüzeyi ile korpus kallosumun ön bölümündeki hasara bağlamıştır. Bu bulgular, korpus kallosumun anterior kısmının, her iki yarım küredeki motor alanlar arasında bilgi aktarımını sağlayan kritik bir yapı olduğunu göstermektedir (Tanrıdağ, 1994). Zamanla korpus kallosum üzerine yapılan çalışmalar artmış, konuya ilişkin çok sayıda bilimsel makale ve monografi yayımlanmıştır. Bu alandaki öncü eserlerden biri Mingazzini ve Probst’un monografisidir. Beyin cerrahisindeki ilerlemeler ve kallozotomi ile komisirotomi gibi girişimlerin yaygınlaşması, korpus kallosumun işlevleri ve lezyonlarına dair bulguların erişkin bireylerde sistematik olarak incelenmesini sağlamıştır. Özellikle Amerikan ekolünden Sperry, Bogen ve çalışma arkadaşlarının “ayrık beyin” araştırmaları, bu alandaki en çarpıcı katkılardan biri olarak Nobel Ödülü ile taçlandırılmıştır (Apak, 2009). Bu deneyde, bir maymunda

korpus kallosum ve optik kiyazma uzunlamasına kesilerek, görsel bilginin yalnızca ilgili gözün bağlı olduğu beyin yarım küresine iletilmesi sağlanmıştır. Sol gözü kapatılan maymuna, sağ gözüyle belirli nesneleri tanıma görevi öğretilmiş; ardından sağ gözü kapatıldığında, sol gözüyle bu nesneleri tanıyamadığı gözlemlenmiştir. Ancak aynı deney, yalnızca optik kiyazma kesilerek ve korpus kallosum korunarak tekrarlandığında, maymun nesneleri her iki gözle de tanımış; bu durum, bir hemisferde edinilen görsel bilginin korpus kallosum aracılığıyla diğer hemisfere de aktarıldığını ortaya koymuştur (Guyton et al., 2007).

2.4.5. Beyincik (serebellum)

Serebellum, beyin ile beyin sapı arasında konumlanmış olup, serebrum gibi korteksle çevrili ve yüzeyinde girinti (sulcus) ve çıkıntılar (gyrus) bulunan bir yapıdır; bu nedenle “küçük beyin” olarak da adlandırılmaktadır. Serebellum, motor hareketlerin gerçekleştirilmesi sırasında koordinasyonun sağlanmasında önemli bir rol oynar. Motor korteksten hareketin planlanmasına ilişkin bilgileri alarak, medulla spinalisten gelen ve hareketin uygulanışına dair duyuşsal verilerle karşılaştırır; böylece istemli hareketlerin düzgün, koordineli ve amaca uygun şekilde gerçekleştirilmesini sağlar (Buzdağı, 2022). İç kulakta yer alan yarım daire kanalları, denge ve hareket koordinasyonunun sağlanmasında merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu yapılar, vücudun mekânsal pozisyonuna ilişkin bilgileri algılayarak, bu verileri merkezi sinir sistemine iletir. Elde edilen duyuşsal bilgiler doğrultusunda, kaslara uygun motor komutlar gönderilir. Bu süreç, kasların senkronize ve koordineli bir şekilde çalışmasını sağlayarak; koşu, yürüyüş, atlama gibi dinamik hareketlerin yanı sıra statik duruşların da etkin ve dengeli bir biçimde gerçekleştirilmesine olanak tanır (Felten et al., 2015; Reeber et al., 2013).



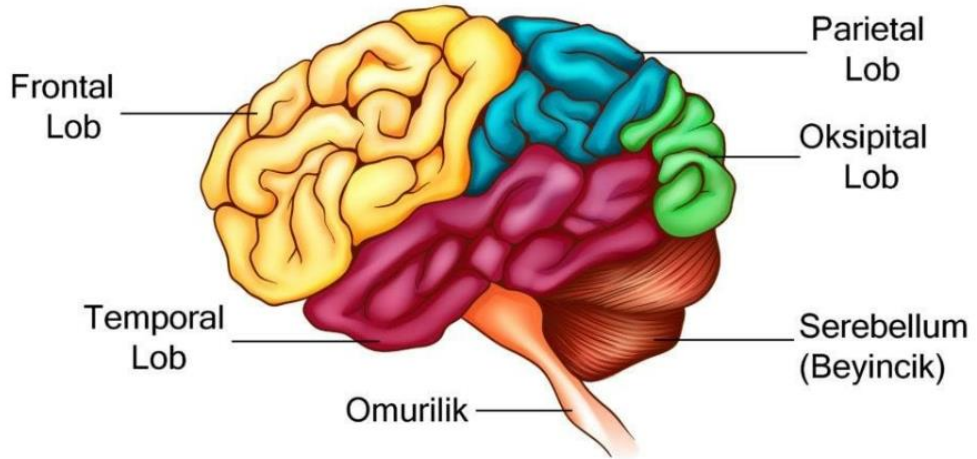
Şekil 2.4. Beyincik (Serebellum) Yandan ve Arkadan Görünümü (Tapper, 2019).

2.4.6. Beyin sapı

Beyin sapı, serebrum ile vücudun geri kalanı arasındaki tüm sinir iletimlerinin geçtiği kritik bir kavşak noktasıdır; bu nedenle yaşamsal işlevlerin sürdürülebilmesi açısından hayati bir rol üstlenmektedir (Smith et al., 2013). Kalp atışları, sindirim sistemi hareketleri, kan dolaşımı, uyku-uyanıklık döngüsü, dikkat ve odaklanma gibi istemsiz gerçekleşen birçok yaşamsal işlevin arkasında beyin sapının yönetici rolü vardır. Beyin sapı, organizmanın bilinçli kontrolü dışında işleyen ve hayatta kalmak için vazgeçilmez olan otonom fonksiyonların merkezidir (Basinger & Hogg, 2019).

2.5. Beyin Bölümleri

Beyin, yapısal olarak frontal, temporal, parietal ve oksipital olmak üzere dört ana lobdan oluşurken, duyguların düzenlenmesinde rol oynayan limbik sistem de bu yapının işlevsel bütünlüğünde önemli bir yer tutar.



Şekil 2.5. Beyin Bölümleri Görünümü (Ekici, 2015).

2.5.1. Frontal lob

Frontal lob, beynin ön bölgesinde yer almakta ve beyin yarı küresinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Lateral sulkusun sol çaprazında ve santral sulkusun önünde konumlanmış olup, duyuşal ve motor ağlarla bağlantılı çeşitli subkortikal yapıları da içerir. Yapısal olarak motor korteks ve prefrontal korteks olmak üzere iki ana bölüme ayrılır (Collins & Koechlin, 2012).

Motor Korteks: Motor korteks, ensefalonun kritik bir bileşeni olup, istemli hareketlerin planlanması, başlatılması ve yürütülmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Frontal lob içerisinde, somatosensoriyel alanın hemen önünde

konumlanan bu bölge, afferent nöronlar aracılığıyla alınan duyuşsal bilgileri işledikten sonra, efferent nöronlar yoluyla efektör organlara ileterek hareketin gerçekleşmesini sağlar. Fonksiyonel açıdan incelendiğinde, motor korteks beş alt alana ayrılmaktadır. Bunlardan ilki olan birincil motor korteks, istemli hareketlerin başlatılmasında birincil komuta merkezi olarak görev yapar. İkinci olarak, suplemer motor alan, bilinçli hareketlerin zihinsel olarak planlandığı ve prova edildiği yapıdır. Premotor korteks ise, karmaşık ve öğrenilmiş hareketlerin koordinasyonunda önemli rol oynar ve ayrıca konuşma için gerekli motor becerileri destekler. Dördüncü olarak yer alan Broca alanı, konuşma üretimi ve dilsel ifadenin düzenlenmesinden sorumludur. Son olarak, arka yan korteks, görsel girdilerin motor tepkilere dönüştürülmesini sağlar (Di Pietro et al., 2013; Nudo et al., 2001; Sanes & Donoghue, 2000).

Prefrontal Korteks: Prefrontal korteks, üç temel işlevsel-anatomik alt bölgeden meydana gelir: dorsolateral prefrontal korteks (beynin arka ve yan kısmında yer alır), orbitofrontal korteks ve ventromedial prefrontal korteks (anterior singulat korteksi de kapsar). Bu bölgeler, karmaşık bilişsel süreçlerin yürütülmesinde kritik rol oynar (Korucu & Kaya, 2021; Stout et al., 2003). Dorsolateral prefrontal korteks; davranışların planlanması, başlatılması ve kontrolünde, orbitofrontal korteks; güdü ve duyguların düzenlenmesinde, ventromedial prefrontal korteks ise dikkat, motivasyon ve bellek gibi bilişsel süreçlerin yönetiminden sorumludur (Kayahan et al., 2005).

2.5.2. Temporal lob

Temporal lob, Temporal lob, şakakların çevresinde ve üst tarafında yer alan, beynin yan alt bölümüdür. Temporal lob; işitsel algı, bellek, kavrama ve dil işlevlerinde merkezi bir rol oynar (Avcı & Yağbasan, 2008; Üngüren, 2015). Temporal lobun şakak ve kulaklara yakın konumu, işitme duyusunun algılanması ve işlenmesinde önemli bir rol oynadığını gösterir. Seslerin algılanması, yorumlanması ve hafızada yeniden hatırlanması süreçleri, doğrudan kulaktan duyuşsal girdi alan superior temporal girus adlı beyin kıvrımında gerçekleşir. Temporal lob, sadece işitsel değil, aynı zamanda görsel hafızanın oluşumuna ve uzun dönemli belleğin işlenmesine de katkı sağlar (Patel et al., 2023) Limbik sistemin önemli yapılarından olan hippokampus ve amigdala ile bilinçli hafızanın oluşumunda görev alır. Hipokampus hem kısa hem de uzun süreli hafızanın

korunmasında kritik bir işleve sahiptir. Ayrıca, sensör girdilerin işlenmesi, dilin algılanması ve adlandırılması gibi süreçlerde aktif rol oynar. Sol temporal lobda yer alan primer işitsel korteks ve Wernicke alanı, konuşmanın anlamlandırılmasında önemlidir. Wernicke alanı hasar gördüğünde bireyler akıcı fakat anlamsız konuşmalar yapar ve bu durum Wernicke afazisi olarak tanımlanır (Çemç, 2023).

2.5.3. Parietal lob

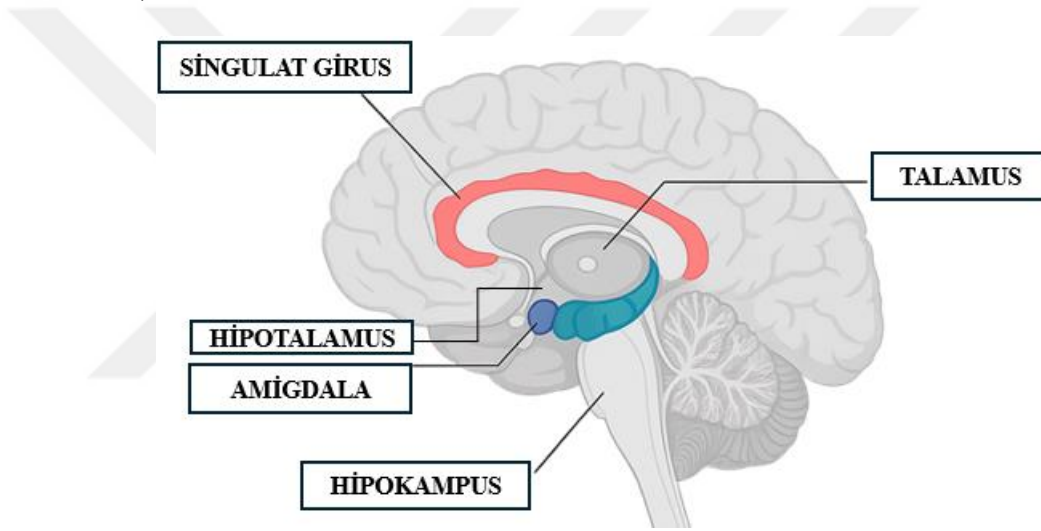
Parietal lob, görsel sistemin belirli yapıları ile somatosensör korteksin birleşiminden oluşmakta olup, duyu (sensör) becerilerin işlenmesinde temel bir rol üstlenmektedir. Bu bölge, vücudun çeşitli bölgelerinden gelen farklı nitelikteki duyu bilgilerin bütünleştirilmesi ve özellikle dokunma duyusuna ilişkin verilerin yorumlanması süreçlerinde aktif olarak görev yapar (Şahin, 2023). Primer duyu alanı, çevresel sinir sisteminden gelen duyu sinyallerin alınıp işlendiği ve farklı duyu organlarından gelen bilgilerin bütünleştirildiği bir yapıdır. Araştırmalar, belirli vücut bölgelerinden alınan duyu girdilerin sayısı arttıkça parietal lobda daha fazla alanın o bölgeye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca parietal lob, nesnelerin işlevsel kullanımını, mekânsal algıyı ve görsel betimlemeyi (visuospatial işleme) destekleyen bilişsel süreçlerde etkin rol oynamaktadır (Bisley & Goldberg, 2010).

2.5.4. Oksipital lob

Beyin, görsel işlemeden sorumlu ana merkez olan görsel korteksi bünyesinde barındırmakta olup, hareket algısının oluşturulması ve renklerin ayrıştırılması gibi karmaşık görsel bilişsel işlevlerde temel bir rol oynamaktadır (Çemç, 2023). Önceki çalışmalar, oksipital lobun yalnızca görsel duyuya ilişkili işlevleri yerine getirdiğini ortaya koymuştur. Ancak son dönem çalışmalar, bu bölgenin beyin diğer bölgeleriyle kapsamlı nöral ağ bağlantıları aracılığıyla etkileşim içerisinde olduğunu açıkça göstermektedir (Rehman & Al Khalili, 2019). Bu bulgular, oksipital lobun yalnızca görsel bilgi işlemeyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda çeşitli bilişsel süreçlerde de rol aldığı ve diğer beyin bölgeleriyle bütüncül bir işleyiş içinde görsel algının oluşumuna katkıda bulunduğu yönündeki görüşü desteklemektedir.

2.6. Limbik Sistem

Limbik sistem, beynin duygusal ve davranışsal tepkileri yöneten temel bölgelerinden biridir. Yaşam için kritik öneme sahip olan hayatta kalma içgüdüleri, üreme ve tehdit karşısında verilen tepkiler gibi davranışları düzenler. Aynı zamanda cinsellik, korku, dikkat, uyku düzeni, hormonlar ve istemsiz hareketlerin kontrolünde de önemli bir rol oynar (Rolls, 2015). Hafıza süreçleri ve duygu durumundaki değişiklikler de limbik sistemin görev alanına girer. Bu sistemin en önemli yapılarından hipokampus ve amigdala, özellikle öğrenme ve duyguların işlenmesinde kilit rol oynar. Ayrıca limbik sistem, beyin içi iletişimde görevli olan talamus, hipotalamus ve bazal gangliyonlar gibi yapıları da kapsar (Buzdağı, 2022).



Şekil 2.6. Limbik Sistem (Buzdağı, 2022).

2.6.1. Hipokampus

Hipokampus, beynin hafıza süreçlerinde kilit rol oynayan bir yapıdır. Şekli ve boyutunun denizatiyla benzerlik göstermesi nedeniyle, Yunanca ‘hipokampos’ (denizati) kelimesinden türetilmiştir. Temporal lobun derinliklerinde yer alan bu yapı, duygusal tepkilerin düzenlenmesinden sorumlu olan limbik sistemin bir parçası olarak, özellikle uzun süreli anıların oluşumu ve depolanmasında görev alır (Deweert et al., 2001).

2.6.2. Talamus

Talamus, beyin sapının hemen üzerinde, yaklaşık 2–2,5 cm uzunluğunda ve 5,7 cm eninde konumlanan bir yapıdır. Koku duyusu hariç tüm somatik, görsel ve işitsel uyarıları ilgili kortikal alanlara iletmekle görevli olan talamus; duygusal

bilgilerin filtrelenmesi, düzenlenmesi ve yönlendirilmesinde kritik bir rol oynar. Bu işlevleri sayesinde bilinç, uyku-uyanıklık döngüsü ve motivasyon gibi bilişsel süreçlerin düzenlenmesine katkı sağlar. Ayrıca proprioseptif duyu ve denge kontrolü ile motor sinyallerin serebral kortekse aktarılmasında görev alır (Torricco & Munakomi, 2019).

2.6.3. Hipotalamus

Beynin ayrılmaz bir parçası olan hipotalamus, özellikle otonom sinir sisteminin işleyişinde merkezi bir rol üstlenir. Aynı zamanda hipofiz beziyle kurduğu iletişim sayesinde, endokrin sistemin düzenlenmesinde belirleyici bir etkisi vardır. Vücudun iç dengesini korumak – yani homeostazı sağlamak – hipotalamusun başlıca görevlerinden biridir. Bu görev kapsamında vücut sıcaklığı, uyku-uyanıklık döngüsü, kan basıncı, kalp ritmi ve sindirim gibi hayati fonksiyonları denetler ve dengede tutar (Buzdağlı, 2022).

2.6.4. Amigdala

Amigdala, Latince kökenli adıyla “badem” şeklinde anılan, sinir hücrelerinden oluşan bir çekirdek grubu olup, özellikle bazolateral kompleks aracılığıyla duygusal öğrenme ve davranışların düzenlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir. Bu yapı; bazal, lateral ve aksesuar-bazal nükleusları içerir ve emosyonel tepkilerin oluşumu ile cinsellik, saldırganlık, açlık, korku, üzüntü, tiksime, neşe ve sosyal ilişkilerin yönetimi gibi temel yaşamsal süreçlerde işlevseldir (Oatley & Jenkins, 1996). Olaylarla duygular arasında bağ kurma ve duygusal belleğin kodlanması gibi görevleriyle, bireyin çevresiyle uyum içinde yaşayabilmesi açısından merkezi bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, amigdalanın yapısal ya da işlevsel bozuklukları, bireyin duygusal ve sosyal yaşamını ciddi biçimde olumsuz etkileyebilir (Buzdağlı, 2022).

2.6.5. Bazal gangliyonlar

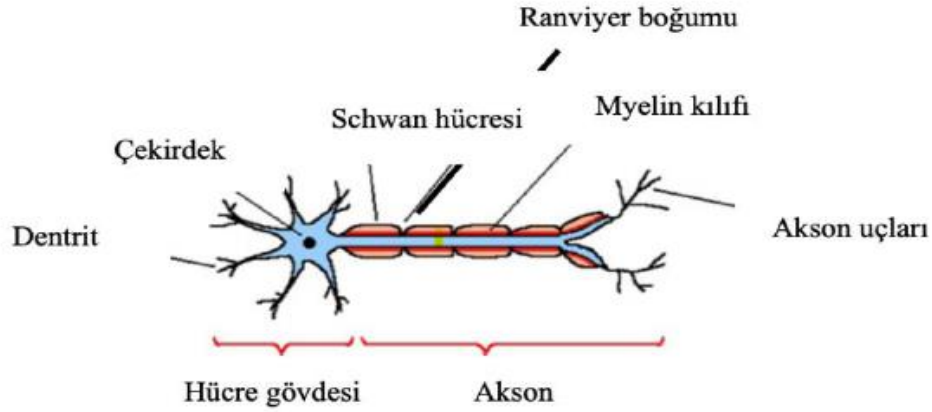
Bazal gangliyonlar, ön beyin derin bölgelerinde konumlanan ve serebral korteks, beyin sapı ile talamus gibi çeşitli beyin yapılarıyla sürekli iletişim halinde olan sinir hücresi kümelerinden oluşur. Bu yapılar, istemli hareketlerin gerçekleştirilmesinde, tekrarlayan davranışların sürdürülmesinde, göz hareketlerinin koordinasyonunda, öğrenme süreçlerinde ve duygusal durumların dengelenmesinde kilit rol oynar (Chaudhuri & Behan, 2000).

2.7. Nöronların İşlevi ve Genel Yapısı

2.7.1. Nöronlar

Beynin temel bileşenini oluşturan nöronlar, yeni bir bilgi alındığında bu bilgiyi işleyip çıktıya dönüştürme işlevi görür. Bu süreç, nöronların oluşturduğu ağda bir nörona girdi ulaşmasıyla başlar; nöron bu girdiyi işler ve ardından, ya bu bilgi diğer nöronlara aktarılır ya da nöron ağı içerisinde nihai bir çıktı üretilir (Akşit, 2023). Nöronların birbirleriyle iletişim kurma yeteneği, onların karmaşık ve özel bir anatomik yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır (Dubin, 2013). Nöronların karmaşık yapısı, farklı bileşenlerden oluşan özel bir organizasyona sahiptir. Bu bileşenler şunlardır:

- **Hücre gövdesi (soma):** Nöronun merkezinde yer alan ve çekirdek içeren yapıdır. Çekirdek, hücre için gerekli genetik bilgiyi barındırır ve hücresel aktiviteleri kontrol eder.
- **Dendrit:** Hücre gövdesinin çevresinde dallanmış yapılar şeklinde yer alır ve nörona gelen girdileri almakla görevlidir. Dendritler, çevredeki diğer nöronlardan veya çevresel uyarlardan gelen sinyalleri toplar ve hücre gövdesine iletir.
- **Akson:** Hücre gövdesinden çıkan uzun ve ince uzantılardır. Aksonlar, nöronun ürettiği sinyalleri taşır ve uç kısımlarında yer alan terminal butonlar (sinapslar) aracılığıyla diğer nöronlara veya hedef organlara bilgi aktarımını sağlar.
- **Sinapslar:** Aksonların uç kısımlarında yer alan bu yapılar, nöronlar arasında kimyasal veya elektriksel iletişim sağlayarak bilgi iletimini gerçekleştirir.
- **Miyelin kılıf:** Aksonları çevreleyen bu yapı, sinyal iletimini hızlandıran ve elektriksel izolasyon sağlayan yağlı bir tabakadır. Miyelin kılıf, sinir iletiminin hızını ve etkinliğini artırarak sinyallerin hedef bölgelere daha hızlı ulaşmasına katkıda bulunur (Dubin, 2013).



Şekil 2.7. Nöronların Genel Yapısı (Akşit, 2023).

2.8. Ayna Nöronlar

Ayna nöronlar, bireyin motor eylemi yaparken veya başkasını izlerken benzer şekilde aktive olan, insan beyninde inferior frontal girus ile inferior parietal lobül bölgelerinde yer alan ve motor hareketlerin yürütülmesinin yanı sıra başkalarının niyetlerini anlama, empati, sosyal öğrenme, taklit, dil gelişimi ve rehabilitasyon gibi süreçlerde kritik rol üstlenen özel sinir hücreleridir (Rizzolatti & Craighero, 2004).

2.8.1. Ayna nöronların keşfi

Ayna nöronlar, 1990'lı yılların başlarında Rizzolatti ve çalışma arkadaşları tarafından, makak beyninde F5 alanı ile inferior parietal lobülde (IPL) yer alan yeni bir nöron sınıfının varlığının gösterilmesiyle keşfedilmiştir (Di Pellegrino et al., 1992). Bu nöron grubunun, makak yalnızca bir nesneyi kavrama ya da kapma gibi bir hareketi bizzat gerçekleştirdiğinde değil, aynı eylemi bir insanın ya da başka bir maddenin yaptığı izlediğinde de aktif hale geldiği gözlemlenmiştir (Ferrari et al., 2005). Ayna nöronların, diğer hayvanların davranışlarını anlamada önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir. Örneğin, bir maymunun kâğıt yırtma eylemini gerçekleştirdiğinde aktif hale gelen bir ayna nöronun, aynı zamanda bir insanın bu eylemi yaptığını gördüğünde ya da yalnızca yırtılma sesini duyduğunda da aktive olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, araştırmacıların ayna nöronların yalnızca fiziksel hareketleri değil, “kâğıt yırtma” gibi soyut eylem kavramlarını da temsil ettiğini düşünmelerine yol açmıştır (Rizzolatti & Craighero, 2004). Bu dikkat çekici keşif üzerine, araştırmacılar bu özel nöron türünü “Ayna Nöronlar” olarak

adlandırmışlardır (Harı et al., 2021). Ayna nöronların keşfi, bilişsel nörobilim açısından dönüm noktası niteliğinde olup, bazı araştırmacılar tarafından DNA'nın biyolojiye kattığı değerle eş düzeyde görülmektedir. Bu buluş yalnızca nörobilim alanında değil; psikoloji, sosyoloji, antropoloji ve hatta sanat dünyasında da derin yankılar uyandırmıştır (Algan, 2019) “Zihin okuma hücreleri” olarak da adlandırılan ayna nöronların, çeşitli bilişsel ve sosyal işlevlerde önemli roller üstlendikleri düşünülmektedir. Bu nöronların temel işlevleri arasında eylemleri anlama, öğrenme sürecini kolaylaştırma, taklit davranışları ve dil işleme yer almaktadır. Bunun yanı sıra, somutlaştırılmış simülasyon, empati kurma, duyguları tanıma, başkalarının niyetlerini anlama, dil edinimi, jest ve mimiklerle iletişim kurma, konuşmanın algılanması ve üretilmesi, müziksel işleme, cinsel yönelimin gelişimi ve estetik deneyim gibi daha karmaşık süreçlerde de ayna nöron sisteminin farklı mekanizmalar aracılığıyla rol oynadığı ileri sürülmektedir (Cook et al., 2014). İnsanlar üzerinde yapılan ilk çalışmalarda, bireylerin hareketleri gözlemlemesi ve gerçekleştirmesi sırasında ventral premotor korteks ile inferior parietal lobül bölgelerinde aktivasyon örtüşmesini ortaya koymak amacıyla fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) yöntemi kullanılmıştır (Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996). Her ne kadar erken dönem çalışmalar insanlarda ayna nöronların varlığına doğrudan ve kesin bir kanıt sunmamış olsa da 2011 sonrası gerçekleştirilen araştırmalar bu nöronların insan beyinde de bulunduğunu güçlü biçimde ortaya koymuştur. İnsanlardaki ayna nöronlar, maymunlarda tanımlanan klasik bölgeler olan ventral premotor korteks ve inferior parietal lobülün yanı sıra; dorsal premotor korteks, superior parietal lobül, serebellum, suplemer motor alan ve mediyal temporal lob gibi alanlarda da bulunmuştur (Molenberghs et al., 2012).

2.8.2. İnsan beyinde ayna nöron sistemi

Maymunlardaki F5 alanının, insan beyindeki Broca alanının (özellikle Brodmann alanı 44) homoloğu olduğu görüşü, araştırmacılar arasında yaygın olarak kabul edilmektedir (Rizzolatti & Arbib, 1998). Bu iki alan arasında işlevsel bir farklılık olduğu belirtilmektedir; insanlarda Broca alanı, özellikle sol inferior frontal girusta (IFG) yer alan BA 44 ve 45 bölgeleriyle birlikte, genellikle konuşma işleviyle ilişkilendirilirken, maymunlarda F5 alanı ağız ve el hareketlerinin kontrolüyle ilişkilendirilmektedir. Kavrama eylemlerinin gözlemlenmesi sırasında

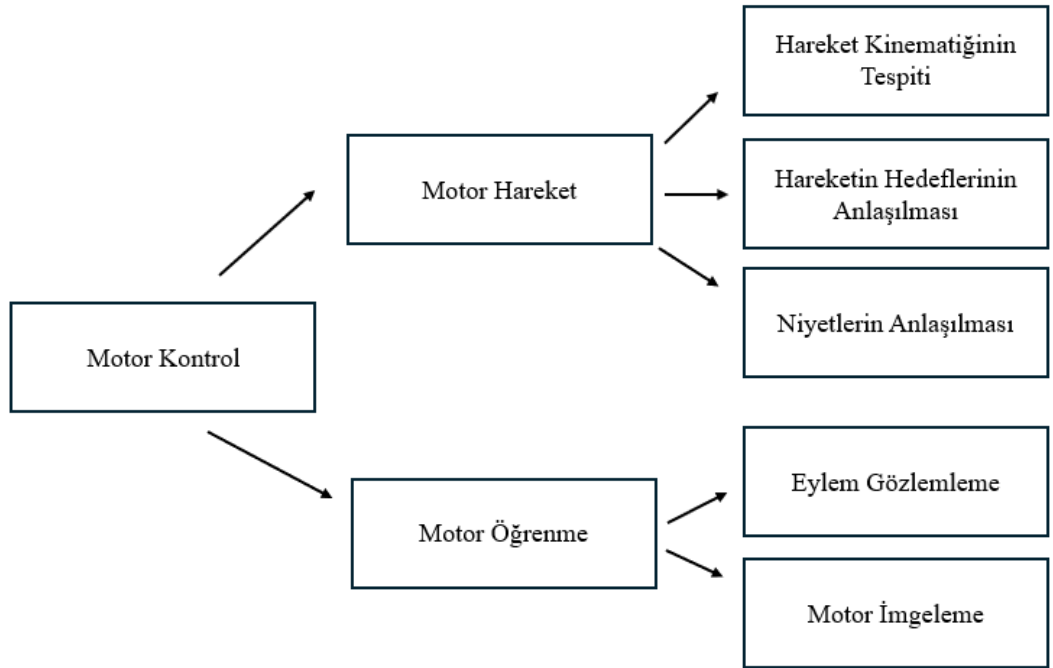
yapılan ilk deneylerde, Broca alanında artan kan akışı gözlemlenmiş, bu durum bu alanın gözlem sürecine katıldığını göstermiştir; ancak aynı alanda, kavrama eyleminin doğrudan gerçekleştirilmesi sırasında benzer bir aktiviteye rastlanmamıştır (Rizzolatti, Fadiga, Matelli, et al., 1996). Bu bulgular doğrultusunda, Broca alanının ayna nöron özelliği taşıyan bir bölge olarak kabul edilemeyeceği öne sürülmüştür. Ancak daha sonra gerçekleştirilen bir pozitron emisyon tomografisi (PET) çalışmasında (Bonda et al., 1994), el hareketlerinden oluşan bir dizinin icrası sırasında Broca alanına karşılık gelen bölgede anlamlı bir kan akışı artışı saptanmış, böylece bu alanın yalnızca gözlem sırasında değil, aynı zamanda hareketin yürütülmesi sürecinde de aktif olabileceği ortaya konmuştur. Broca alanı, dilbilgisel kuralların edinimi ve sözel üretim (özellikle kelime üretimi) işlevlerinin yanı sıra, eylemlerin anlaşılması, eylem planlaması ve taklit gibi bilişsel süreçlerle de ilişkilendirilmektedir (Nishitani et al., 2005). İnsan beyninde ayna nöron sisteminin (ANS), inferior parietal lobül (IPL) ile precentral girusun inferior bölümü ve inferior frontal girusun (IFG) posterior kısmından oluşan parieto-frontal bir devre aracılığıyla yapılandığı öne sürülmektedir (Pineda, 2008). Ayna nöron özellikleri taşımayan üst temporal sulkus gibi bölgelerin, çekirdek ayna nöron sistemiyle anatomik olarak bağlantılı olduğu kabul edilmektedir. Bu bölgelerden çekirdek ANS' ye iletilen bilgi düzeyi, söz konusu bölgeleri ANS' ye atfedilen işlevler açısından kritik hale getirmektedir (Bayer, 2017). Bu nedenle, bu bölgelerin de sürece dahil edilmesiyle genişletilmiş ayna nöron devresinin tanımlanabileceği öne sürülmektedir (Pineda, 2008). Genişletilmiş ayna nöron sisteminin (ANS) hem anatomik hem de işlevsel açıdan bir diğer önemli bileşeninin, motor görevlerin gözlemlenmesi ve yürütülmesi sırasında beyinde eylemlerin temsilinden sorumlu olan sensorimotor korteks olduğu kabul edilmektedir; bu yapı, birincil motor ve somatosensoriyel korteksleri içermektedir (Fadiga & Craighero, 2004; Hari et al., 1998). Sağlıklı bireylerde kortikal aktivasyonu, tüm kafayı kapsayan bir manyetoensefalografi (MEG) çalışmasıyla incelenmiştir (Nishitani & Hari, 2002). Hareket ima eden görsellerin izlenmesinin ardından, kortikal aktivasyonun önce oksipital kortekste başlatıldığı, ardından sırasıyla üst temporal sulkusa (STS), inferior parietal lobüle (IPL), inferior frontal loba (Broca alanı) ve yaklaşık 50–140 ms içinde her iki yarımkürenin birincil motor kortekslerine (fronto-merkez bölgeler) doğru ilerlediği ortaya konmuştur. Taklit sürecinde ise, Broca alanını içeren inferior frontal girusta (BA 44/45) en güçlü manyetik alanların uyarıldığı

belirlenmiş ve bu bulgu, söz konusu bölgenin eylem taklidindeki işlevsel önemini ortaya koyduğu söylenmektedir.

2.8.3. Ayna nöronların fonksiyonları

Son yıllarda yapılan birçok çalışma, ayna nöronların insanlarda eylemlerin tanınması, amaçların yorumlanması, motor taklit, empati, dil, öğrenme ve hafıza gibi karmaşık bilişsel süreçlerde rol oynadığını söylenmektedir (Harı et al., 2021). Bu bulgular, ayna nöron sisteminin bilişsel işlevlerle motor eylemler arasında aracı bir mekanizma olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır.

Ayna Nöronların Motor Fonksiyonlar Üzerindeki Rolü: Motor kontrolle ilişkili eylemler kapsamında, motor hareketlerin algılanması ve motor öğrenme süreçlerinde ayna nöron sisteminin etkin biçimde rol aldığı söylenmektedir (Jerjian et al., 2020).



Şekil 2.8. Ayna Nöronların Motor Kontroldeki Rolü (Tanık et al., 2022).

a) Ayna Nöron Sisteminin Motor Hareketi Anlamadaki Rolü

Ayna nöronların ayırt edici özelliği, bir motor eylemin algılanması sırasında, gözlemcinin bu eylemi kendisinin gerçekleştirmesi için gerekli olan motor ağların da eşzamanlı olarak etkinleşmesidir. Algılama ve uygulama süreçlerinde aktive olan beyin bölgeleri arasındaki örtüşme, gözlemcinin başkalarının eylem ve niyetlerini doğrudan ve hızlı bir biçimde anlamasını mümkün kılmaktadır (Ferrari et al., 2005). Bu daha kapsamlı yapı içerisinde yer alan

bileşenlerin, düşük düzeyli hareket kinematiğine ilişkin farklılıkların (örneğin, hassas bir kavrama ile bütün elin kullanıldığı bir kavrama arasındaki el şekli farklılıklarının) ayırt edilebilmesini; eylemlerin doğrudan hedeflerinin (örneğin bir düğmeye basma eyleminin ışığı açma gibi doğrudan sonucunun) ve bu eylemleri yönlendiren niyetlerin (aynı eylemin ışığı açmak yerine kapatmak amacıyla gerçekleştirilmesi gibi üst düzey zihinsel süreçlerin) anlaşılabilmesini sağladığı kabul edilmektedir (Ruggiero & Catmur, 2018). Eylemlerin anlaşılmasında temel bir işlev üstlendiği düşünülen ayna nöronların, gözlemlenen bir eyleme ilişkin görsel bilginin, bireyin bu eylemi taklit etmesine olanak tanıyan motor temsillere dönüştürülmesini sağladığı öne sürülmektedir. Bu dönüşümün, bireyin diğer insanlarla etkileşim hâlinde olduğu durumlarda meydana geldiği belirtilmektedir. Ayrıca, başka bireylerin davranışları gözlemlendiğinde, ayna nöronların yalnızca önceden deneyimlenmiş görevlerde değil, daha önce karşılaşılmamış eylemler sırasında da aktive edildiği rapor edilmiştir (Schober & Sabitzer, 2013).

b) Ayna Nöron Sisteminin Motor Öğrenme Sürecindeki Rolü

Motor öğrenme, bireyin uygulama yoluyla yeni motor becerilerde ustalık kazanmasını sağlayan dinamik ve aşamalı bir süreçler bütünüdür (Maas et al., 2008). Tekrarlayan aktivasyon, sinaptik bağlantının güçlenmesine imkan sunmaktadır (Kosonogov, 2012). Ayna nöronlar, gözlemlenen eylemlerin beyinde örtük olarak yeniden canlandırılması yoluyla motor programların hazırlanmasına katkı sağlar ve bu süreç, ilişkisel öğrenme mekanizmalarıyla ilişkilendirilmektedir (Tanık et al., 2022). Eylem gözlemi ve motor imgeleme, motor öğrenmede temel süreçlerdir; özellikle ayna nöronların, bir eylemi gerçekleştirmede kullanılan motor temsillerin, başkalarının gerçekleştirdiği eylemler, motor imgeler ve taklit gibi bilişsel motor görevlerle belirli ölçüde örtüştüğü söylenmektedir (Ramsey et al., 2021). Simülasyon teorisine göre, bir hareketin gözlemlenmesi, o hareketin gerçek anlamda icra edilmesiyle aynı nöral ağı etkinleştiren ve motor nöron sistemini bilinçdışı düzeyde harekete geçiren “örtük motor aktivasyon” olarak tanımlanır (Jeannerod, 2001). Ayna nöron aktivasyonu olarak tanımlanan bu kavram ve bunun davranışsal etkileri, ayna nöronlarla ilişkili herhangi bir patolojisi olmayan bireylerde, başkalarının davranışlarını anlama ve öngörebilme yetisi olan “zihin okuma” kapasitesiyle ilişkilendirilmiştir. Zihin okumaya yönelik açıklamalardan biri ise, gözlemlenen hareketin zihinsel temsilin kopyalanması ve simüle edilmesi

sürecini temel alır (Gallese & Goldman, 1998). Özellikle yaşamın erken dönemlerinde, gülümsemek, yemek yemek, öğrenmek ve sosyal kuralları benimsemek gibi birçok davranış, başkalarının gördüklerini ve hissettiklerini gözlemleyerek öğrenilmektedir (Mara, 2017). Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS) ile yapılan araştırmalar, belirli görevlerin yerine getirilmesi sırasında ya da bir hareketin sadece gözlemlenmesi (ayna nöron aktivasyonu) esnasında, primer motor korteks ve kortikospinal yol üzerinde anlamlı bir aktivasyon artışı olduğunu ortaya koymuştur (Clark & Patten, 2013; Munzert et al., 2009). Bu bulgular, motor sistemin hem aktif hareket hem de pasif gözlem sürecinde benzer şekilde devreye girdiğini göstermektedir. Son yıllarda, motor öğrenmenin ayna nöronların gelişimini etkilediğine dair kanıtlar giderek artmakta; bu da öğrenme süreçlerinin ayna nöron sistemiyle güçlü bir etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaktadır (Brunsdon et al., 2020; Köprülüoğlu et al., 2022). Piyanistler ve dansçılar üzerinde yapılan araştırmalar, motor öğrenmenin tek başına ayna nöron sistemini değiştirmekte yeterli olmayabileceğini öne sürse de, müzik ya da dans performanslarını izlerken bu alanlarda uzman olan bireylerde, uzman olmayanlara kıyasla ayna nöron sisteminde belirgin düzeyde daha fazla aktivasyon gözlemlenmiştir (Furukawa et al., 2017; Orlandi et al., 2017).

Ayna Nöronların Sosyal ve Bilişsel Fonksiyonlar Üzerindeki Rolü: Ayna nöronlar, sosyal ve bilişsel işlevlerin gelişiminde temel bir nörobiyolojik mekanizma olarak görülmekte; bireyler arası etkileşim, empati, dil gelişimi, motor öğrenme ve karar verme süreçlerinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Gözlenen eylemlerin anlaşılması ve aynı şekilde taklit edilmesi bu nöronlar aracılığıyla mümkün kılınmakta; bireyin çevresindeki davranışların içselleştirilmesi ve buna bağlı olarak sosyal uyum becerilerinin geliştirilmesi sağlanmaktadır. Ayna nöron sistemi aracılığıyla yalnızca motor eylemlerin taklit edilmesi değil, aynı zamanda duygusal durumların paylaşılması ve başkalarının zihinsel durumlarının öngörülmesi de kolaylaştırılmakta; bu bağlamda, bilişsel ve duygusal empati mekanizmalarının temelini bu sistem tarafından oluşturulduğu kabul edilmektedir (Tanık et al., 2022).

a) Ayna Nöron Sisteminin Dil ve İletişim Becerilerindeki İşlevsel Rolü:

Maymun premotor korteksi ile insan Broca alanı arasındaki karşılaştırmalar, dilin evrimi ve bu sürecin sinirsel temellerine ilişkin önemli bir perspektif

sunmaktadır. Ayna nöron sisteminin, hareketlerin gözlemlenmesi, taklit edilmesi ve öğrenilmesindeki işlevi ile dil ve iletişim süreçlerindeki rolü dikkate alındığında; bu sistemin, insan dilinin başlangıçta hareket ve işaret temelli bir yapıya sahipken, zamanla sesli dile evrilmesinde etkili olduğu ileri sürülmektedir (Arbib, 2005). Bununla birlikte, ayna nöronların yalnızca primatlarda değil, ötücü kuşlarda da bulunduğu gösterilmiştir. “Yüksek vokal merkez” (High Vocal Center) olarak adlandırılan bir premotor alanda tanımlanan ses-vokal ayna nöronlarının; kuşların birbirlerinin ötüş ve şakıma paternlerini tanıma, bu paternler aracılığıyla bireylerin kimliğini ayırt etme, söz konusu paternleri taklit etme ve iletişim amacıyla kullanmayı öğrenme süreçlerinde işlev gördüğü ortaya konmuştur. Bu bulguların, ayna nöron sisteminin insanlarda da dilin ve iletişim becerilerinin kazanımı ve sürdürülmesinde görev aldığına ilişkin yaklaşımlarla örtüştüğü değerlendirilmektedir (Tramacere et al., 2017). Bebeklerin kendi yüzlerini görememelerine rağmen, annelerinin ya da yakın çevrelerinde ilgilenen kişilerin yüz ifadeleri ve duygusal durumları sıkça gözlemlenmekte, bu ifadeler aracılığıyla davranışlarına dair geri bildirim alınmakta ve taklit yoluyla öğrenme gerçekleşmektedir. Bu süreç, davranış örüntülerinin ve duygulanımın gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Emosyonel yüz ifadelerinin edinilmesi, anlaşılması ve oluşturulmasında ayna nöron sisteminin katkıda bulunduğu, bu sayede emosyonel iletişimin desteklendiği belirtilmektedir. Bu işlevler yerine getirilirken özellikle amigdala ve limbik yapılarda artan aktivasyon, fMRI çalışmalarıyla ortaya konmuştur (Ferrari et al., 2017). Sitoarkitektonik düzeyde gerçekleştirilen karşılaştırmalı anatomik incelemeler, insan beyninde yer alan Brodmann 44. alanı ile makak maymununun F5 alanı arasında dikkate değer bir homoloji bulunduğunu ortaya koymaktadır (Rizzolatti & Arbib, 1998). Her iki alanın da el ve ağız hareketlerinin kontrolünden sorumlu motor nöronları içerdiği gösterilmiştir; bu benzerliğin, motor kontrol ile dilsel süreçler arasındaki ilişkinin evrimsel kökenine işaret ettiği öne sürülmektedir (Fogassi & Ferrari, 2007). Fonksiyonel düzeyde, her iki bölgenin de ortak özelliği olarak ayna nöron sistemine ev sahipliği yaptıkları belirtilmektedir. Maymunlardaki F5 alanında tanımlanan ayna nöronların hem bir eylemin gerçekleştirilmesi sırasında hem de aynı eylemin başka bir birey tarafından icra edilmesinin gözlemlenmesi durumunda aktive olduğu gösterilmiştir. Benzer şekilde, insan Broca alanının da, başkaları tarafından gerçekleştirilen hedefe yönelik el ve ağız hareketlerinin gözlemlenmesi esnasında aktif hale geldiği

bildirilmiştir (Rizzolatti & Craighero, 2004). Bu bulgulara rağmen, beyin görüntüleme verileri doğrudan bir ayna nöron mekanizmasına işaret etmemektedir. Bu konuda daha doğrudan kanıt, transkraniyal manyetik uyarmı yoluyla elde edilmiş, eylemle ilgili heceler içeren kelimelerin dinlenmesi sırasında dil kası aktivasyonunun arttığı gösterilmiştir (Rizzolatti & Craighero, 2004). Ancak bu beyin aktivasyonlarının, sadece konuşmaya özgü bir ayna nöron sistemi mi yoksa daha genel bir sistemin dil için kullanımı mı olduğu henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Araştırmalar, ayna nöronların özellikle dilin anlam (semantik) ve ses (fonoloji) ile ilgili yönlerinin işlenmesinde rol oynadığını göstermiştir. Öte yandan, Broca alanının sadece bu işlevlerle sınırlı olmadığı, aynı zamanda dilin kurallı yapısı yani sözdizimiyle de ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Grodzinsky & Friederici, 2006).

b) Aynan Nöronlar ve Taklit

İnsanlardaki ayna nöronların etkinliği dikkate alındığında, gözlemlenen hareketin algılanması ve bu hareketin taklit edilmesi olmak üzere iki temel özelliğinden bahsedilmektedir (Demir & Gergerlioğlu, 2012). Bu bağlamda, taklidin ayna nöronların etkinleşmesinde önemli bir rol üstlendiği kabul edilmektedir. Hareketin algılanmasının ardından taklit edilme süreci göz önünde bulundurulduğunda; hareket, eylem, duygu, icat, dil ve kültür gibi insana özgü pek çok özelliğin bu mekanizma aracılığıyla yayıldığı ileri sürülmektedir (Algan, 2019). Taklidin evrim psikolojisi bağlamındaki önemi ele alındığında, deneyimlerin aktarımını mümkün kılması nedeniyle insan evriminde temel bir işlev üstlendiği düşünülmektedir (Ramachandran, 2016). Kültür, dil ve taklit yoluyla kişiden kişiye aktarılan becerilerin ve bilgilerin birikimi sonucunda şekillenmektedir. Kişiden kişiye aktarım yoluyla yayılan kültür ve dil, insanı birçok yönüyle diğer canlılardan ayıran temel unsurlar arasında yer almaktadır. Dilin bazı yönlerinin ise, kısmen de olsa, taklit yeteneğine bağlı olduğu kabul edilmektedir. Eğer başkaları olağanüstü bir biçimde taklit edilememiş olsaydı, bu alanda önemli bir gelişim sağlanamayacağı öne sürülmektedir. Bu bakış açısından değerlendirildiğinde, ayna nöronların insan gelişiminde önemli bir paya sahip olduğu düşünülmektedir (Ramachandran, 2016). İnsana özgü becerilerin gelişiminde merkezi bir rolün ayna nöronlar tarafından üstlenildiği kabul edilmektedir. Bu nöronların, kişiden kişiye aktarım ve taklit yoluyla dil, kültür ve diğer türlerden farklı olarak insana özgü pek

çok özelliğin gelişiminde etkili olduğu söylenmektedir (Algan, 2019). Gözlemlenen kişilerin taklit edilememesi durumunda, insana özgü yetilerin bu denli gelişmiş olmayacağı ileri sürülmektedir. Ayna nöronların yalnızca kültürün gelişiminde değil, aynı zamanda icatların yayılımında da önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir. Rastlantısal olarak gerçekleşen keşiflerin dahi taklit yoluyla aktarılamaması hâlinde, zamanla kaybolabileceği düşünülmektedir. Örneğin, ateşin keşfi sürecinde, iki taşın birbirine vurulması sonucu ortaya çıkan kıvılcımın fark edilmesi ve bu bilginin ayna nöron sistemi aracılığıyla taklit edilerek aktarılması sayesinde bu bilgi korunabilmiş ve yayılabiliştir. Bu bağlamda, ayna nöronların icat, kültür ve dil gibi insana özgü gelişim alanlarının yaygınlaşmasında aktif bir rol oynadığı öne sürülmektedir. İlk buluşların kimi zaman tesadüfen keşfedildiği bilinmektedir; ancak çevredeki bireylerin bu süreçlere eşlik ederek öğrenmeleri ve taklit yoluyla bu bilgiyi aktarabilmeleri mümkün olmasaydı, yani gelişmiş taklit yetisinin ve başkalarının niyetlerini anlama becerisinin bulunmaması durumunda, söz konusu icatların da mucitleriyle birlikte yok olacağı düşünülmektedir (Ramachandran, 2016). Sosyal öğrenmenin, başkalarının davranışlarının anlaşılması, gözlem yoluyla bilgi edinilmesi, adaptasyon sağlanması ve taklit edilmesi gibi süreçler aracılığıyla belirli eylemlerin gerçekleştirilmesine ve aktarımının sağlanmasına imkân tanıdığı kabul edilmektedir. Ayna nöronların aktifleşmesiyle birlikte empati, konuşma, düşünce, his ve tecrübe gibi birbirini takip eden süreçlerin de devreye girdiği gösterilmiştir. Bu nöronlar aracılığıyla yalnızca bireyin kendi eylemleri değil, aynı zamanda başkalarının eylemleri de kodlamaktadır (Algan, 2019). Karşı tarafın niyetinin ve zihinsel durumunun okunabilmesinin de ayna nöronların etkinliğiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, bu nöronların bilincin ortaya çıkmasında da önemli bir rol oynadığı ileri sürülmektedir. Ayna nöronlar sayesinde empati kuran bireyin, olayları içsel olarak deneyimleyerek hafızasının tetiklendiği ve bu süreç sonucunda düşünsel faaliyetlerin başlatıldığı ifade edilmektedir. Böylece, bilincin gelişmesiyle birlikte bireyin geleceği öngörebilme kapasitesinin de mümkün hâle geldiği savunulmaktadır (Coşan, 2016).

c) Ayna Nöronlar ve Empati

Empati, bireyin kendisini bir başkasının yerine koyarak onun duygularını anlaması ve hissetmesi, ayrıca olaylara onun bakış açısından yaklaşarak

düşüncelerini daha doğru biçimde kavraması ve karşı tarafa iletmesi süreci olarak tanımlanmaktadır. Bilişsel gelişim için zekâ ne denli gerekli görülüyorsa, kişilerarası iletişim açısından da empati benzer derecede önemli kabul edilmektedir (Ersoy & Köşger, 2016). Empati, farklı psikoloji kuramcıları tarafından çeşitli biçimlerde tanımlanmış ve bu süreçle ilişkili biyolojik yansımalar üzerine çeşitli tespitlerde bulunulmuştur. Başlangıçta psikolojik bir olgu olarak ele alınan empatiye ilişkin zamanla biyolojik veriler de ortaya konmuş ve tüm psikolojik süreçlerin biyolojik temellere dayandığına dair görüşler ileri sürülmüştür. Bu bağlamda en önemli gelişmeler, ayna nöronların keşfiyle sağlanmıştır. Söz konusu keşif, empatinin biyolojik yönlerine dair eksik parçaların tamamlanmasına yönelik umutları artırmıştır. Yapılan araştırmalarda, hayvan deneylerinin ardından insanlarda da ayna nöronlar olarak adlandırılan ve 'empati nöronları' şeklinde öne sürülen bir sinir hücresi grubunun varlığı tespit edilmiştir (Algan, 2019). Tür, yaş, cinsiyet ve kişilik gibi faktörlerde benzerlik gösteren bireyler arasında davranışsal empatinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, empatinin istemli değil, güdülenmiş bir süreç olarak işlediği düşünülmektedir. Bu süreç, karşıdaki kişiyi anlamayı kolaylaştırmakta, bilgi birikimini artırmakta ve bireyin daha esnek davranmasına katkıda bulunmaktadır (Altınbaş et al., 2010)

2.8.4. Ayna nöronların çeşitli psikiyatrik ve nörolojik hastalıklar üzerindeki rolü

Parkinson Üzerindeki Rolü: Son yıllarda, bilişsel ve motor nörodejeneratif bozukluklar arasındaki geleneksel ayrımın bulanıklaştığı ve her nörodejeneratif hastalıkta hem bilişsel hem de motor semptomların bir spektrum içinde yer aldığı daha net anlaşılmıştır. Başlangıçta bir hareket bozukluğu olarak tanımlanan Parkinson hastalığında, motor olmayan semptomların (bilişsel ve davranışsal semptomlar) da hastalığın ilerlemesiyle bağlantılı olduğu giderek daha fazla kabul görmektedir. Parkin mutasyon taşıyıcıları ve sağlıklı bireylerin yer aldığı bir fMRI çalışmasında, katılımcılara önce nötr yüz ifadeleri gösterilmiş, ardından duygusal yüz ifadeleri sunulmuş ve sonrasında yüz ifadesi tanıma görevi uygulanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, Parkin mutasyonu taşıyan grup, duygusal yüz ifadelerini gözlemledikleri sırada sağlıklı kontrollere kıyasla ventrolateral premotor kortekste belirgin şekilde artmış aktivasyon göstermiştir (Anders et al., 2012). Ayrıca, parkin mutasyon taşıyıcıları, ventrolateral premotor

korteksteki aktivite artışıyla ters orantılı bir şekilde yüz ifadelerini tanımada sağlıklılara göre daha düşük performans göstermişlerdir. Bu telafi edici mekanizmanın başarısız olması, klinik olarak belirgin Parkinson hastalığında yüz ifadesi ve duygu tanıma bozukluklarına yol açabilir. Bununla birlikte, ayna nöronların aktivasyonunun, en azından hastalığın erken evrelerinde bu telafi mekanizmalarını destekleyebileceği ve bu sayede Parkinson hastalarının sosyal etkileşim becerilerini daha etkili hale getirebileceği düşünülmektedir (Harı et al., 2021). Başka bir fMRI çalışmasında, 13 Parkinson hastası ve sağlıklı kontrol grubu, duygu tanıma görevine tabi tutulmuştur. Katılımcılara emosyonel, emosyonel olmayan ve nötr yüz ifadeleri içeren video klipler gösterilmiş ve bu yüz ifadelerini tanımlamaları istenmiştir. Parkinson hastaları, özellikle karmaşık veya yorum gerektiren yüz ifadelerini tanıma konusunda sağlıklı kontrol grubuna göre biraz daha az başarılı olmuşlardır. Hastalıktan etkilenen grup içinde, duygusal ifadelerin gözlemlenmesi ve gerçekleştirilmesi sırasında, IFG (İnterferansiyal frontal girus) ve IPL (İnterferansiyal parietal lob) bölgelerinde daha düşük aktivasyon düzeyleri gözlenmiş, ayrıca, IPL aktivasyonu, hastaların duygu tanıma yeteneği ile olumlu yönde ilişkilendirilmiştir (Anders et al., 2012).

Alzheimer Üzerindeki Rolü: Alzheimer hastalığı (AH) ve hastalığın preklinik evresi olan hafif bilişsel bozukluk, genellikle sadece bilişsel sorunlarla ilişkilendirilmiştir. Ancak, son yıllarda motor fonksiyonlardaki eksiklikler ile hastalığın ilerleyişi arasında giderek artan bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Bisio et al., 2012). Alzheimer demans spektrumunda, Ayna Nöron Sistemi'nin (ANS) araştırıldığı bir fMRI çalışmasında, 5 hafif bilişsel bozukluklu (HKB) birey, 7 Alzheimer hastası ve 80 bilişsel olarak sağlıklı birey incelenmiştir. Katılımcılara deney koşulunda bir el hareketini (kâğıt parçasını yırtmak) gerçekleştirme görevi verilmiş ve kontrol koşulunda ise sabit bir noktaya odaklanma içeren bir video izlemeleri sağlanmıştır. Deney koşulunda, hafif bilişsel bozukluk ve Alzheimer hastalarıyla karşılaştırıldığında, kontrol grubunda bilateral inferior frontal lob ve inferior parietal lobülde (IPL) anlamlı düzeyde yüksek aktivasyon gözlenmiştir. Bu bulgular, Alzheimer hastalığında görülen kognitif bozulmada Ayna Nöron Sistemi'ndeki (ANS) potansiyel bir disfonksiyonun rol oynayabileceğini göstermektedir (Farina et al., 2017). Son olarak, bir fMRI çalışmasında, Alzheimer hastalarında yüz ifadesi tanıma görevi sırasında nöral aktiviteler incelenmiştir. Bu

çalışmada, hastaların sol hemisferinde ayna nöron sistemiyle ilişkili olduğu bilinen ventral premotor korteks, anterior insula ve frontal operculum yapılarında, kontrol grubuna kıyasla daha düşük aktivasyon düzeyleri gözlemlenmiştir (Lee et al., 2013).

Otizm Üzerindeki Rolü: Bebeklik ve erken çocukluk döneminde başlayan, sosyal iletişim ve davranış bozukluklarıyla karakterize edilen otizm, taklit yeteneği, duygu paylaşımı, görev ve amaçları anlama, iletişim ve sosyal etkileşim gibi önemli süreçlerde bozulmalara yol açabilir. EEG'deki mu ritmi senkronizasyonunun, Ayna Nöron Sistemi'nin (ANS) aktivitesini yansıttığı düşünülmektedir ve bu, eylem yürütme ile algı arasındaki önemli bir sinirsel bağlantıyı temsil eder. Otizm Spektrum Bozuklukları (OSB) üzerinde yapılan EEG çalışmaları, mu ritmi supresyonunun otizmde ANS'de bir bozulma olduğunu desteklemektedir (Oberman et al., 2013). Başka bir çalışmada, Otizm Spektrum Bozuklukları (OSB) olan yüksek işlevli bireyler ile yaş ve cinsiyet açısından uyumlu kontrol denekleri, hareket eden bir elin ve zıplayan bir topun videolarını izlerken ve kendi ellerini hareket ettirirken incelenmiştir. Kontrol grubunda hem kendi el hareketlerinde hem de gözlemlenen el hareketlerinde belirgin mu ritmi baskılaması gözlenmiştir. Buna karşın, OSB grubunda sadece kendi gerçekleştirdikleri el hareketlerinde mu ritmi baskılaması gözlenmiş, ancak gözlemlenen el hareketlerinde mu ritmi baskılaması gözlemlenmemiştir (Oberman et al., 2005). OSB'li yüksek işlevli çocuklar ile yaş ve cinsiyet açısından uyumlu kontrol grubu üzerinde yapılan bir çalışmada, çocuklar bir yabancınn sağ elini açıp kapattığı, ebeveynlerinin veya kardeşlerinin aynı el hareketini yaptığı, kendilerinin aynı el hareketini gerçekleştirdiği ve zıplayan iki topun dikey olarak birbirlerine yaklaşp uzaklaştığı videoları izlerken mu ritimleri incelenmiştir. Araştırmanın sonucunda hem OSB'li çocukların hem de normal gelişim gösteren çocukların, yabancılara kıyasla tanıdık bireyler (örneğin ebeveynleri) tarafından gerçekleştirilen eylemlerde daha fazla mu ritmi baskılaması gösterdiği bulunmuştur. Bu bulgular, otistik çocuklarda gözlem sırasında mu ritmi baskılamasının azaldığını ve ANS' de olası bir işlev bozukluğuna işaret ettiğini göstermektedir (Oberman et al., 2008).

Multipl Skleroz Üzerindeki Rolü: Ayna nöronların Multipl Skleroz (MS) üzerindeki rolü tam olarak açıklığa kavuşmamış olsa da bu sistemin motor kontrol ve öğrenme süreçlerindeki işlevi göz önünde bulundurulduğunda, MS'nin motor

semptomlarının anlaşılması ve rehabilitasyonu açısından potansiyel bir araştırma alanı sunduğu düşünülmektedir. Ancak, konuya ilişkin çalışmalar sınırlı olup, ayna nöronların MS patofizyolojisindeki etkilerinin daha fazla araştırılması gerektiği vurgulanmaktadır (Rocca et al., 2008). MS hastalarında ayna nöron mekanizmasını inceleyen ilk çalışmada, hareket izleme ve sürdürme süreçleri sırasında ayna nöron işleviyle ilişkili fronto-parietal alanlarda artmış bağlantı özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, hastalığın iyileştirilmesine yönelik müdahalelerin bu beyin bölgelerindeki aktiviteyi artırarak kortikal yeniden düzenlenmeyi destekleyebileceğini göstermektedir (Plata-Bello et al., 2017).

2.8.5. Ayna nöron sisteminin mu ve beta ritimleriyle ilişkisi

Maymun beyinde 'ayna nöronların' keşfedilmesinin ardından, bu nöronların insan beyinde de bulunup bulunmadığı araştırılmaya başlanmıştır. İnsanlara özgü 'mu ritmi' ise ilk olarak Fransız bilim insanı Henri Gastaut tarafından tanımlanmıştır (Gastaut & Bert, 1954). 1950'li yıllarda tanımlanan bu ritim, yaklaşık 8–13 Hz frekans aralığında ortaya çıkmakta olup, dalgaların rolandik bölgelerden kaynaklandığı gözlemlendiği için 'rolandik ritim' olarak da adlandırılmıştır (Bayer, 2017). Merkezi derivasyonlardan kaydedilen bu ritmin yalnızca deneklerin aktif hareketleri sırasında değil, aynı zamanda başkaları tarafından gerçekleştirilen eylemleri gözlemlediklerinde de ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Bayer, 2017). Standart 'alfa' bandı (yani saniyede 8–13 Hz dalgalanma) içerisinde yer alan mu ritmi, başlangıçta psikopatolojinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu ritim ile epilepsi arasında bir bağlantı olduğu öne sürülmüştür. Benzer şekilde otizm spektrum bozuklukları ile mu ritmindeki anormallikler arasında bir ilişki olduğu söylenmiştir (Oberman & Ramachandran, 2007). Bununla birlikte, standartlaştırılmış EEG başlıklarının kullanılması ve EEG analizine yönelik yeni gelişmiş tekniklerin/yazılımların uygulanmasıyla, mu ritminin daha önce düşünülenenden daha yaygın olarak görüldüğü ortaya konmuştur. Yaygın kabul gören bir görüşe göre, birey dinlenme hâlindeyken SI (Primary Somatosensory Cortex) korteksindeki sinir hücreleri senkronize şekilde ateşlenmektedir. Buna karşılık, birey bir motor hareket gerçekleştirirken ya da böyle bir hareketi gözlemlerken, bu sinir gruplarının ateşlenmesi desenkronize bir biçimde gerçekleşmekte ve bu durum kortikal aktiviteyi yansıtmakta; dolayısıyla mu bandındaki güç, birey dinlenme hâlindeyken

olduğundan daha düşük olmaktadır (Pfurtscheller et al., 1997). Bu nedenle, mu ritminin baskılanması, insanlarda ayna nöron sisteminin devreye girdiğinin bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Fox et al., 2016). Bu mu ritimleri genellikle, ayna nöron sisteminin etkinliğini yansıttığı düşünülen 15–25 Hz aralığındaki beta ritimleri ile ilişkilendirilmektedir. Mu baskılanmasına benzer şekilde, beta bandındaki spektral güç de bir hareketin gerçekleştirilmesi, motor imgeleme ya da yalnızca bir hareketin gözlemlenmesiyle azalmaktadır (Brinkman et al., 2014; McFarland et al., 2000; Pfurtscheller, 1981). Mu ve beta ritimlerinin, EEG tabanlı bir Beyin-Bilgisayar Arayüzü (BBA) sistemi için bağımsız kontrol sinyalleri sağlayabileceği öne sürülmektedir (McFarland et al., 2000). Mu baskılanması ve ayna nöron sistemi üzerine yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, tüm makalelerin yaklaşık 8–13 Hz aralığındaki düşük frekans bandını incelediği, bazı çalışmaların ise buna ek olarak 15–25 Hz aralığındaki beta frekans bandını da dikkate aldığı görülmektedir (Hobson & Bishop, 2017). Yapılan çalışmalar, EEG ile kaydedilen mu ritminin kaynaklarının, insan beyninin merkezi ve parietal kortikal bölgelerinde yoğunlaştığını göstermiştir (Fox et al., 2016). Bu beyin bölgelerinin, fMRI araştırmalarında hem bir eylemin gerçekleştirilmesi hem de gözlemlenmesi sırasında aktifleştirdiği gösterilen alanlarla benzerlik gösterdiği bulunmuştur (Molenberghs et al., 2012). Ayna özellikleri gösteren bu bölgelerin, inferior parietal lobül, inferior frontal girus ve bitişik ventral premotor kortekste yer aldığı belirtilmektedir (Bayer, 2017).

2.8.6. Görüntüleme yöntemleri

Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme Teknikleri (fMRI):

Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) teknikleri, kan oksijen seviyesi değişikliklerine dayalı sinyal varyasyonlarını kullanarak nöronal aktivitenin dolaylı bir göstergesini sunar. Bu yöntem, beyin fonksiyonlarını non-invaziv bir şekilde değerlendirmek amacıyla etkili bir görüntüleme tekniği olarak kullanılmaktadır (Ertürk & Mutuş, 2022). Doğruluğun teyit edilmesi amacıyla, diğer tekniklerden farklı olarak fMRI tekniği, kontrast çözünürlüğü ve mükemmel uzamsal çözünürlüğü sayesinde bir sinir kaynağının noktasal tayinini ve aktivasyon modellerini belirleyerek, nörogörüntüleme teknolojisinin hızlı ilerlemesi ile belirli görevleri yerine getirirken çalışan beyin bölgelerini doğru bir şekilde tespit eden,

basitleştirilmiş görev tabanlı bir teknik olarak kullanılmakta ve bu yönüyle farklı bilimsel çalışmalar için güçlü bir altyapı oluşturmaktadır (Jing et al., 2020).

Elektroensefalografi (EEG): Elektroensefalografi (EEG), kafa derisi düzeyinde elektriksel sinir akımlarını ölçen, invaziv olmayan bir kayıt yöntemidir. EEG, serebral korteksin kendiliğinden oluşan elektriksel aktivitesini doğrudan izleyebilen, yüksek zamansal çözünürlüğe sahip, girişimsel olmayan ve uygun düzenekler aracılığıyla farklı ortamlarda kullanılmaya elverişli bir yöntemdir (Gökmen et al., 2009).

Nöral salınımlar, farklı frekans bantlarında sınıflandırılmakta olup, 0-4 Hz (delta), 3-7 Hz (teta), 8-12 Hz (alfa), 13-30 Hz (beta) ve 30-50 Hz (gama) şeklinde gruplandırılmaktadır. EEG salınımları, motor nöron sistem aktivasyonu ile ilişkilendirilen mu ritminin (8-13 Hz) belirlenmesine olanak tanımaktadır. Genel olarak, mu ritmi dinlenme halinde sensorimotor kortekste aktive olmakta ve fonksiyonel izleme sırasında baskılanmaktadır. Motor nöron sistem aktivasyonu ile mu ritmi baskılanması arasında pozitif bir korelasyon gözlemlenmektedir. Sensorimotor alan çalışmalarının, birden fazla kortikal alanda ayna nöron aktivasyonuna yol açan mu ritmini ortaya çıkardığı düşünülmektedir (Kim & Lee, 2021). Günümüzde beyin mekanizmasının görüntülenmesine yönelik yöntemler arasında, EEG milisaniye düzeyindeki zamansal çözünürlüğü ile en etkili tekniklerden biri olarak öne çıkmaktadır. EEG kayıtlarında gözlemlenen artefaktlar ya da parazitler ise çeşitli faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu tür bozulmalar genel olarak; biyolojik kaynaklı artefaktlar (elektrokardiyografi, göz ve kas hareketleri, terleme, nabız), elektrotlara bağlı artefaktlar, kayıt cihazındaki teknik arızalardan kaynaklanan artefaktlar, şebeke kaynaklı parazitler (elektrostatik artefaktlar, şehir elektriği kaynaklı gürültü, radyo frekansı girişimi) ve hareketle ilişkili artefaktlar şeklinde sınıflandırılmaktadır (Çemç, 2023)

Elektrotların yerleştirileceği bölgeler ve konumlar, tüm dünyada bireyler arası tutarlılığı sağlamak amacıyla uluslararası 10-20 standardı çerçevesinde belirlenmiştir. International Federation of Clinical Neurophysiology tarafından benimsenen bu standart doğrultusunda, elektrotların kafa derisi üzerindeki yerleşim noktaları ile bu elektrotlara verilecek isimler standartlaştırılmıştır (Jasper, 1958).

daha düşük olduğu ve 0,5–100 μ V aralığında değiştiği belirtilmektedir. Genliğin, nörönlörler arasındaki eşzamanlılık düzeyiyle ilişkili olduğu ve sinyalin çeşitli dokulardan geğerken zayıflatıldığı ifade edilmektedir. EEG'nin geniş bir frekans spektrumuna sahip olduğu, ancak fizyolojik ve klinik ağıdan 0,5–40 Hz aralığına odaklanıldığı bildirilmektedir. EEG aktivitelerinin ise voltaj, frekans, eşzamanlılık, morfoloji ve periyodiklik gibi parametrelere göre sınıflandırıldığı görölmektedir (Çemç, 2023).

Devamlı ve ritmik özellik gösteren sinüzoidal EEG dalgalarının; delta (δ), teta (θ), alfa (α), beta (β) ve gama (γ) olarak sınıflandırıldığı bilinmektedir. Genellikle sağlıklı bireylerde gözlemlenen beyin dalgalarının, bu sınıflandırmalar doğrultusunda düzenlenebildiği ifade edilmektedir (Webster, 2009).

a) Delta (δ): İnsanlarda kaydedilebilen en yavaş beyin dalgaları olarak tanımlanan delta dalgaları, çoğunlukla bebekler ve küçük çocuklarda gözlemlenmekte olup, en derin uyku ve gevşeme durumlarıyla ilişkilendirilmektedir. Bu dalgaların, beyin hasarları, Dikkat Eksikliđi ve Hiperaktivite Bozukluđu (DEHB), öğrenme güçlükleri ve dűřünsel aktivitelerde belirgin bir azalma gibi durumlarla ilişkilendirilebildiği rapor edilmiştir. Delta dalgalarının baskılanması durumunda, vücudun yenilenme kapasitesinde azalma, beynin yeniden yapılanmasında yetersizlik ve uyku ile ilişkili eksiklikler meydana gelebilmektedir. Ancak yeterli düzeyde delta dalgası üretilebildiğinde, bu durumun gençleşmeye katkı sağladığı, doğal iyileşme süreçlerini, restoratif/derin uykuyu ve bağışıklık sistemini desteklediği ifade edilmektedir. Delta frekansı 0.5-4 Hz aralığında değişmekte olup, genlik seviyesi yaklaşık olarak 20-400 μ V arasında gözlemlenmektedir (Çemç, 2023).

b) Theta (θ): Teta dalgaları, 4–8 Hz frekans aralığında ve yaklaşık 5–100 μ V genlik seviyesinde değişiklik gösteren EEG sinyalleri olarak tanımlanmaktadır. Bu dalgaların, gözlerin kapatılması, rahatlama ve hafif uyku durumlarında ortaya çıktığı bilinmektedir. Teta dalgasının hipnotik, uykulu, meditatif ya da uykuya geçiş gibi bilinç düzeylerinin değiştiği durumlarla ilişkili olduğu belirtilmektedir. Bu dalga türü, uyanıklık ve uyku arasındaki geçiş sürecini temsil eden hassas bir aşamayı yansıtmaktadır.

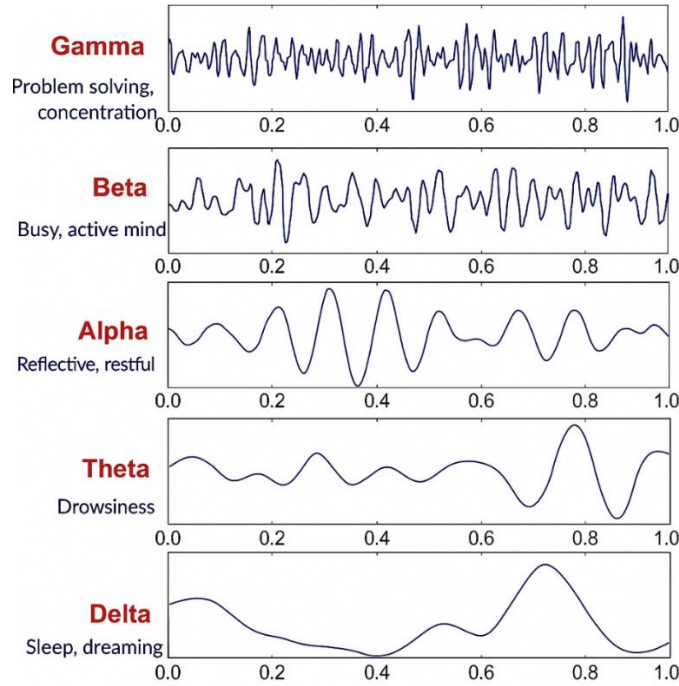
Uyanık durumdaki yetişkin bireylerde teta dalga etkinliğinin yüksek düzeylerde gözlemlenmesi genellikle anormal kabul edilmekte ve çeşitli patolojik durumlarla ilişkilendirilmektedir. Teta dalgasındaki farklılıkların, duygusal süreçler ve bireysel olgunlaşma ile ilişkili olarak incelendiği bildirilmiştir (Ashwal & Rust, 2003). Ayrıca bu dalgaların, özellikle hayal kırıklığı gibi stresli duygusal durumlarda ortaya çıktığı öne sürülmektedir (Zhang et al., 2006). Bunun yanı sıra, yaratıcı ilham, bilinçdışı materyallere erişim ve derin meditasyon durumlarıyla da bağlantılı olduğu ifade edilmektedir.

Yetişkin bireylerde teta düzeylerinin yüksekliği genellikle anormal bir durum olarak değerlendirilmekte ve dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu (DEHB) ile ilişkilendirilmektedir (Heinrich et al., 2007). Teta dalgalarının çoğunlukla parietal bölgede kaydedildiği bildirilmiştir (Çemç, 2023).

c) Alpha (α): Frekans aralığı 8-12 Hz olan bu ritmik aktivitenin, en sık yetişkin bireylerde gözlemlendiği bildirilmektedir. Söz konusu etkinliğin, her iki beyin yarımküresinde senkronize bir biçimde gerçekleştiği, ancak özellikle sağ el baskınlığına sahip bireylerde bir miktar daha yüksek düzeyde olduğu saptanmıştır. Alfa dalgalarının, frontal ve oksipital bölgelerde daha derin bir şekilde izlendiği belirtilmektedir. Sinüzoidal yapıya oldukça yakın olan bu dalgaların, bireyin zihinsel ve fiziksel olarak tam dinlenme hâlinde bulunduğu, herhangi bir dış uyarının olmadığı durumlarda kaydedildiği ifade edilmektedir. Söz konusu dalgaların, beynin arka loblarının tamamında izlenebildiği bildirilmiştir. Bu ritmin, konsantrasyon ya da dikkatin aktif olmadığı; ancak rahat bir farkındalık durumunu yansıttığı varsayılmaktadır. Alfa dalgası, tüm beyin aktivitesi içerisinde en belirgin ritim olarak tanımlanmaktadır. Özellikle oksipital bölgelerde daha yüksek genlik değerlerine ulaşabildiği, fakat genliğinin genellikle 50 μV 'nin altında kaldığı belirtilmektedir. Alfa ritminin, gözlerin kapalı olduğu durumlarda en belirgin hâlini aldığı gözlemlenmektedir. Beynin uyanık ve dinging olduğu anlarda, sağlıklı bireylerin tamamında bu dalgaların gözlenebildiği ifade edilmektedir. Bununla birlikte, alfa dalgasının fizyolojik önemi ve kökeni hâlen tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Kortikal hücrelerden bu ritmin ne şekilde oluştuğunu anlamaya yönelik daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu vurgulanmaktadır (Niedermeyer, 2005).

d) Beta (β): 12–30 Hz frekans aralığında gözlenen, düşük genlikli ve yüksek frekanslı bir dalga formudur. Serebral aktiviteden etkilenmekte olup pariyetal ve frontal kortikal alanlarda kaydedilebilmektedir. Genellikle zihinsel meşguliyet, aktif dikkat, yoğun konsantrasyon ya da kaygılı düşünme durumlarıyla ilişkilendirilmektedir. Yüksek düzeyde beta dalgası, bireyin panik halinde bulunduğu durumlarda gözlemlenebilmektedir. Ritmik beta aktivitesine özellikle merkezi ve frontal beyin bölgelerinde rastlanmaktadır. Beta ritminin genlik düzeyi ise normal koşullar altında genellikle 30 μV 'nin altında ölçülmektedir (Çemç, 2023).

e) Gamma (γ): Gama dalgaları, 30–80 Hz frekans aralığında yer almakta olup, problem çözme, algı, bilinç ve korku gibi daha yüksek düzeydeki bilişsel işlevlerde rol aldığı bildirilmektedir. Genliklerinin oldukça düşük olması ve nadiren ortaya çıkmaları nedeniyle tespit edilmeleri güç olmakla birlikte, bu ritmin belirlenmesi bazı beyin rahatsızlıklarının doğrulanmasında kullanılabilir. Ayrıca, gama bandının, beynin duruma bağlı senkronizasyonunu yansıtmaya açısından güvenilir bir gösterge sunduğu ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra, sol ve sağ işaret parmağı hareketleri, dil ve sağ ayak parmağı hareketleri gibi çeşitli motor işlevler bağlamında da yaygın bir biçimde kullanıldığı görülmektedir (Pfurtscheller et al., 1994).



Şekil 2.10. EEG’de Beyin Dalgaları Görünümü (Abhang et al., 2016).

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma Deseni

Bu çalışmada, nicel araştırma yöntemlerinden yarı deneysel desen araştırma deseni kullanılmıştır. Yarı deneysel desen, örneklemin rastgele atanmadığı durumlarda deney ve kontrol gruplarının oluşturularak müdahale sürecinin yürütüldüğü ve neden-sonuç ilişkilerinin incelendiği bir araştırma yaklaşımıdır (Campbell & Stanley, 2015) Bu araştırma desenin tercih edilme nedeni, motor beceri kazanımı sürecinde ayna nöron aktivitesinde meydana gelen değişimleri analiz etmek ve bu değişimlerin motor öğrenme düzeyine göre nasıl farklılaştığını ortaya koymaktır.

3.2. Katılımcıların Belirlenmesi

3.2.1. Örneklem Büyüklüğünün Belirlenmesi

Örneklem büyüklüğünün belirlenmesi: Örneklem büyüklüğü, G*Power 3.1 programı kullanılarak *F tests* → *ANOVA: Repeated measures, within-between interaction* modülünde, birincil etki olarak *grup × görev* etkileşimi hedeflenerek hesaplandı. Etki büyüklüğü Cohen'in $f^2 = 0.40$ olarak alındı. Bu değer, literatürde raporlanan kısmi η^2 değerlerinin orta-büyük aralığına ($\eta^2 \approx .14-.25$) dayanarak belirlendi ($f = \sqrt{(\eta^2/(1-\eta^2))}$). Nitekim Frenkel-Toledo ve arkadaşları tarafından yürütülen EEG ve motor performans odaklı çalışmalarda, *grup × görev* etkileşimlerinde benzer etki büyüklükleri raporlanmıştır (Frenkel-Toledo et al., 2013). Analizde $\alpha=0.05$, $1-\beta=0.95$, grup sayısı=3, ölçüm sayısı=4 ve ölçümler arası korelasyon $\rho=0.50$ varsayımları girildi. Bu parametrelerle minimum toplam $n=21$ öngörülmüş, olası veri kayıpları ve artefaktlar dikkate alınarak nihai örneklem büyüklüğü $n=24$ (8/8/8) olarak planlanmıştır.

3.2.2 Cinsiyet Seçimi

Bu çalışmada yalnızca erkek katılımcıların seçilmesi, EEG verilerinde cinsiyete bağlı nörofizyolojik farklılıkların deneysel bulgularla ortaya konmuş olmasına dayandırılmıştır. Literatürde erkeklerde beta bandı gücünün kadınlara kıyasla daha yüksek, kadınlarda ise alfa bandı gücünün daha baskın olduğu ifade edilmektedir (Corsi-Cabrera et al., 1993). Ayrıca, kadınlarda yüksek sigma frekans aralığında daha güçlü bağlantı örüntülerinin gözlemlendiği (Ujma et al., 2019) ve

spindle aktivitesi ile sigma gücünün erkeklere oranla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu raporlanmıştır (Markovic et al., 2020). Bu farklılıklar, EEG ölçümlerinde cinsiyetin bağımsız bir varyans kaynağı oluşturduğunu göstermektedir. Çalışmanın asıl amacı olan grup $\times$ görev etkileşimini test ederken cinsiyete bağlı varyansı kontrol etmek ve örnekleme homojen tutmak için yalnızca erkek katılımcılar seçilmiştir. Böylelikle deneysel tasarımda olası karıştırıcı etkiler en aza indirgenmiş ve bulguların iç geçerliği artırılmıştır.

3.2.3. Voleybol Sporcularının Dahil Edilme Gerekçesi

Bu araştırmada katılımcı grubunun voleybol sporcularından seçilmesinin temel nedeni, voleybolun üst ekstremité ağırlıklı, hızlı karar verme, çevresel uyaranlara anlık tepki geliştirme ve yüksek düzeyde motor kontrol gerektiren bir spor branşı olmasıdır. Voleybol, özellikle servis, smaç ve blok gibi becerilerde hem motor beceri asimetrisinin hem de beyin-uzuv koordinasyonunun belirgin şekilde ortaya çıktığı bir spor dalıdır. Literatürde, voleybol sporcularının özellikle üst ekstremité propriyosepsiyona, el-göz koordinasyonu ve reaksiyon süresi bakımından sedanter bireylere kıyasla daha avantajlı oldukları bildirilmiştir (Işık, 2023). Bu durum, EEG temelli nörofizyolojik ölçümlerde daha kararlı ve yorumlanabilir bulgular elde edilmesini kolaylaştırmaktadır.

Ayrıca, voleybol sporcularında dengeli motor öğrenme deneyimi ve spesifik hareket kalıplarına yüksek düzeyde aşinalık bulunması, deneysel koşullar altında ortaya çıkan beyin aktivitesinin motor uzmanlık ile ilişkilendirilmesine olanak sağlamaktadır (Balser et al., 2014). Özellikle servis atışı hem dikkat odağı hem de motor planlamanın eş zamanlı kullanılmasını gerektiren bir beceri olarak, motor öğrenme ve nörofizyolojik ölçümler açısından oldukça uygun bir araştırma modeli oluşturmaktadır (Li et al., 2024; Salles et al., 2013; Stecklow et al., 2010).

3.2.4. Dahil Edilme ve Hariç Tutulma Kriterleri

Çalışmaya katılım için belirlenen dâhil edilme kriterleri, ölçümlerin nörofizyolojik geçerliliğinin ve deneysel kontrolün artırılması amacıyla oluşturulmuştur. Katılımcıların 18–30 yaş aralığında olması, baskın el kullanımının (Edinburgh El Tercihi Envanteri aracılığıyla) sağ el olarak belirlenmesi ve herhangi bir nörolojik, psikiyatrik, görme ya da motor işlev bozukluğu öyküsünün bulunmaması temel koşullar arasında yer almıştır. Bu doğrultuda çalışmada

yalnızca sağ elini baskın olarak kullanan katılımcılar seçilmiştir. Sağ el baskınlığının, frekans aralığı 8–12 Hz olan bu ritmik aktivitenin düzeyi üzerinde etkili olabileceği; söz konusu aktivitenin özellikle sağ el baskın ve yetişkin bireylerde daha yüksek düzeyde, her iki beyin yarımküresinde senkronize biçimde gerçekleştiği ifade edilmektedir (Çemç, 2023). Bu nedenle el baskınlığından kaynaklanabilecek olası farklılıkların kontrol altına alınması amaçlanmıştır.

Ek olarak, ölçümden en az 24 saat önce alkol, nikotin ve kafein içeren maddelerin tüketiminden kaçınmaları katılımcılardan talep edilmiştir.

3.2.5. Katılımcıların Gruplara Ataması

Katılımcılar, motor öğrenme sürecine ilişkin Fitts ve Posner'in üç aşamalı modeli (bilişsel, ilişkisel ve otonomi aşamaları) temel alınarak, voleybol deneyim düzeylerine göre üç gruba ayrılmıştır. Her bir grup, uygulanan becerinin öğrenim sürecinde farklı bir bilişsel ve motor kontrol düzeyini temsil etmektedir:

a) Bilişsel Aşama Grubu: Bu gruba, daha önce herhangi bir voleybol eğitimi almamış, lisanslı spor geçmişi bulunmayan ve resmi müsabakalara katılmamış bireyler dahil edilmiştir. Katılımcıların yalnızca günlük yaşamda sınırlı düzeyde voleybol deneyimine sahip oldukları belirlenmiştir. Bu gruptaki bireyler, motor öğrenmenin ilk aşaması olan bilişsel aşamada yer almaktadır.

Bu evrede katılımcılar, beceriye ilişkin temel bilgileri edinmekte, uygulama sırasında sıklıkla hata yapmakta ve dikkatlerini görevle ilgili çevresel ipuçlarına yoğun şekilde yönlendirmektedirler. Hareketin yapısına ve nasıl yapılacağına ilişkin zihinsel temsiller henüz oluşmamış olduğundan, öğrenme süreci büyük ölçüde bilinçli çaba ve bilişsel yük gerektirir (Fitts & Posner, 1967).

b) İlişkisel Aşama Grubu: Bu grupta yer alan bireyler, üniversite düzeyinde voleybol dersi almış, temel teknik bilgi ve becerileri kazanmış ancak herhangi bir resmi müsabaka deneyimi bulunmayan katılımcılardır. Okullar arası sosyal turnuvalar gibi düşük rekabetli organizasyonlara katılım göstermiş olabilirler.

Bu grup, motor öğrenmenin ikinci aşaması olan ilişkisel aşamayı temsil etmektedir. Bu düzeyde bireyler, uygulanan becerinin temel yapısını anlamış, harekete ilişkin kaba hataları azaltmaya başlamış ve performansta tutarlılık kazanmaya başlamıştır. Geri bildirimlerin analizi daha işlevsel hale gelmiş olup,

dikkat daha az bilişsel yüke maruz kalmakta ve motor cevaplar daha hızlı düzenlenmektedir (Fitts & Posner, 1967).

c) Otonomi Aşama Grubu: Bu gruba, en az üç yıl süreyle voleybol lisansına sahip olan, ulusal düzeyde düzenli olarak resmi müsabakalara katılan ve 2. ile 3. lig takımlarında yer alan bireyler dâhil edilmiştir. Söz konusu katılımcıların, motor öğrenmenin üçüncü ve son aşaması olan otonomi aşamasında bulundukları kabul edilmiştir.

Bu düzeyde, teknik beceriler yüksek otomasyonla ve minimum bilişsel çaba ile gerçekleştirilir. Katılımcıların hareket kontrolünde akıcılık, çevresel değişimlere hızlı adaptasyon ve dikkat kaynaklarını stratejik karar verme gibi daha üst düzey bilişsel süreçlere yönlendirme kapasiteleri gelişmiştir (Fitts & Posner, 1967).

Çalışma süresince verilen talimatlara uygun hareket etmeyen ya da deney prosedürlerini eksiksiz şekilde yerine getirmeyen katılımcılar, çalışmadan hariç tutulmuştur. Bu dahil edilme ve hariç tutulma kriterleri, nörofizyolojik ölçümlerin güvenilirliğini sağlamak ve deneysel tutarlılığı korumak amacıyla belirlenmiştir.

3.3. Süreç

Bu çalışma, Erzurum Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'nun 06.03.2025 tarihli, 04 nolu toplantısında alınan 28 sayılı karar doğrultusunda onaylanmış olup, Helsinki Deklarasyonu'nun güncellenmiş ilkelerine uygun etik çerçevede ve gönüllülük esasına dayalı olarak yürütülmüştür. Katılımcıların çalışmaya katılmadan önce yazılı onamları alınmış; deney sürecine dair tüm bilgiler, şeffaf bir şekilde açıklanarak etik sorumluluklar yerine getirilmiştir. Katılımcılara, ölçüm prosedürleri, deney koşulları ve EEG kayıt süreci hakkında ayrıntılı bilgi verilmiş, çalışmaya istedikleri anda son verme haklarının bulunduğu açıkça belirtilmiştir.

Tüm ölçüm ve test süreçleri, Atatürk Üniversitesi Spor Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Nöropsikoloji Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvar, çevresel koşulların kontrol altında tutulduğu bir ortam olarak yapılandırılmıştır. Ölçümlerin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla, deneysel uygulamalar nispeten elektromanyetik alanlardan izole edilmiş, dış gürültüden arındırılmış, optimum nem düzeyine ve sabit sıcaklık koşullarına sahip bir çalışma ortamında yürütülmüş ve tüm katılımcılar için sabah saat 09.00–

12.00 arasında gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığı, sıcaklık ve nem değerlerini dijital ekranda gösteren, masaüstü/duvar tipi kullanıma uygun SNR HTC-1 dijital termostat aracılığıyla anlık ve sürekli olarak ölçülmüştür. Termal konforun korunması ve ölçüm güvenilirliğinin artırılması amacıyla, 22–25 °C aralığında oda sıcaklığının korunmasına özen gösterilmiştir. Bu sıcaklık aralığında EEG sinyalinin stabil kaldığı ve frekans bantlarının (θ , β_1 , β_2 ve γ) benzerlik gösterdiği belirtilmektedir (Pan et al., 2023).

Veri toplama sürecinde tüm katılımcılar için eşit koşullar sağlanmıştır. Ölçümler her birey için aynı çevresel şartlar altında, tutarlı ve belirlenmiş zaman dilimlerinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların deney sırasında fizyolojik ve bilişsel durumlarını etkileyebilecek olası dışsal faktörlerin (açlık, yorgunluk, rahatsızlık vb.) etkisini en aza indirmek için önceden hazırlık süreci yürütülmüş; bu kapsamda katılımcıların ölçüm öncesi dinlenmeleri sağlanmış ve rahat kıyafetler giymeleri söylenmiştir.

Araştırma süreci boyunca elde edilen verilerin geçerliliği ve güvenilirliği için tüm deneysel uygulamalar dikkatle planlanmış, iç ve dış etkenlerin etkisini en aza indirecek şekilde sistematik biçimde yürütülmüştür.



Şekil 3.1. Ölçümlerin Alındığı Laboratuvar Ortamı

3.4. Veri Toplama Araçları

3.4.1. Demografik bilgi formu

Katılımcıların yaşlarını ve beceri düzeylerini belirlemek amacıyla, araştırmacı tarafından hazırlanan demografik bilgi formu kullanılmıştır.

3.4.2. Edinburgh envanteri el tercihi anketi

Katılımcıların el tercihlerinin belirlenmesi amacıyla Edinburgh Envanteri El Tercihi Anketi (Oldfield, 1971) uygulanmıştır. Bu anket, katılımcılardan el tercihleriyle ilgili çeşitli soruları yanıtlamalarını istemiştir. Elde edilen yanıtlar Geschwind skoru kullanılarak değerlendirilmiştir. Katılımcıların el tercihlerine yönelik verdikleri cevaplara karşılık gelen puanlar toplanmış ve bu doğrultuda bireylerin sağlak, iki elleri veya solak olma düzeyleri belirlenmiştir.

3.4.3. Elektroensefalografi (EEG)

EEG sinyalleri, Brain Products firmasına ait ActiChamp cihazı kullanılarak kaydedildi. EEG kayıtları, uluslararası standartlara uygun olarak 10–20 sistemine dayalı elektrot yerleşimi temel alınarak gerçekleştirildi. Ölçümler, toplamda 32 kanaldan alındı ve bu sayede frontal, parietal, temporal ve sensorimotor korteks dahil olmak üzere tüm beyin bölgeleri kapsandı. Elektrotların empedans seviyeleri 5 k Ω 'un altında tutulmuş ve sinyal kalitesini artırmak amacıyla Fz elektrodu referans kanal olarak belirlenmiştir. Mu ritminin baskılanmasının en güvenilir biçimde duyuşal motor kortekste gerçekleştiğı kabul edildiğinden (Kim & Lee, 2021; Oberman et al., 2005; Raymaekers et al., 2009), ayna nöron aktivasyonunun gözleendiğı sinir bölgelerine daha yakın konumda bulunan C3, Cz ve C4 elektrotlarından elde edilen veriler çalışmaya dahil edilmiştir.

EEG kayıtları, 250 Hz örnekleme frekansı ile gerçekleştirildi. Katılımcılar, 28 inç büyüklüğünde bir LCD ekranın göz hizasında konumlandırıldığı, sessiz ve loş bir ortamda, yaklaşık 1,5 metre mesafede ve ergonomik bir koltukta oturur pozisyonda yer aldı. Ölçümler öncesinde katılımcılara uygulama süreci hakkında detaylı bilgilendirme yapıldı ve gerekli yönlendirmeler sağlandı. EEG verileri, aktif elektrotlu jel bazlı EEG kepi aracılığıyla kaydedilmiştir. Her oturumda katılımcılara LCD ekran üzerinden görsel uyaranlar (motor görevler, biyolojik olmayan hareket ve plasebo) sunuldu ve EEG sinyalleri eş zamanlı olarak kaydedildi. Bu uygulama düzeni, ölçümlerin standart ve güvenilir biçimde gerçekleştirilmesini sağladı.

Özellikle motor korteks aktivitesini yansıttığı bilinen Mu ritmi (8–13 Hz) üzerine odaklanıldı. Tüm EEG verileri, BrainVision Analyzer, EEGLAB, MATLAB ve SPSS 27 yazılımları kullanılarak analiz edildi ve gruplar arası ile görev türüne göre ortaya çıkan nörofizyolojik yanıtlar ayrıntılı biçimde değerlendirildi.



Şekil 3.2. ActiChamp Cihazı



Şekil 3.3. Atatürk Üniversitesi Spor Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Nöropsikoloji Laboratuvarı – EEG Kayıtlarının Alındığı DeneySEL Ortam

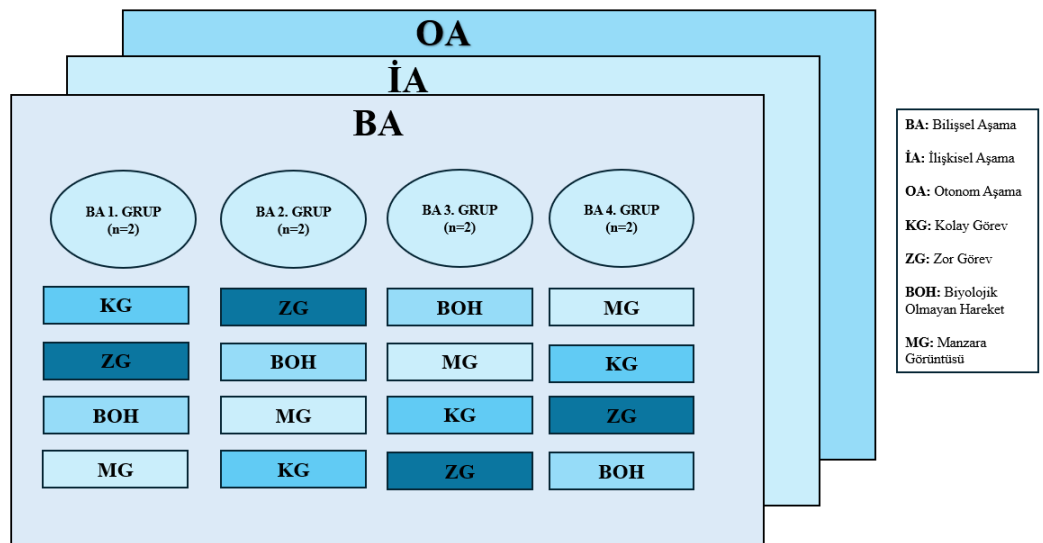
3.5. DeneySEL Tasarım

Bu çalışmada katılımcılar, Fitts ve Posner'in Motor Öğrenme Modeli temel alınarak bilişsel, ilişkisel ve otonom olmak üzere üç farklı gruba ayrılmıştır. Her grup içerisinde, bireyler kendi grubu dahilinde çapraz desenli bir deneySEL protokole tabi tutulmuştur. Bu kapsamda her katılımcı, dört farklı senaryoyu içeren oturumlara pasif gözlemci olarak katılmıştır. Senaryolar şunlardır: (1) kolay motor görev – alttan servis atışı, (2) zor motor görev – smaç servis atışı, (3) biyolojik

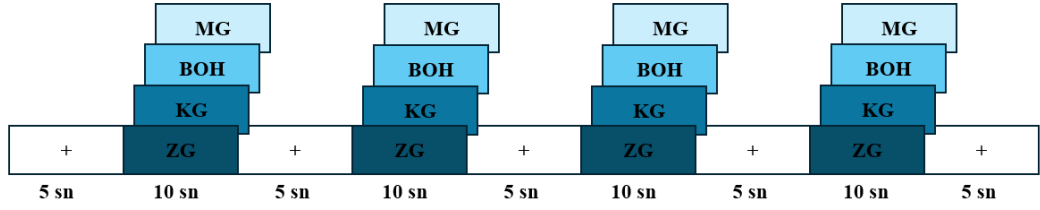
olmayan hareket – zeminde yuvarlanan top ve (4) plasebo koşulu – durağan bir manzara görüntüsü.

Her senaryo için gözlem oturumu, belirli bir zaman yapısına sahip blok tasarım çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Bu yapıda, her senaryo 4 ardışık görev bloğundan oluşmuştur. Her bir görev bloğu şu şekilde yapılandırılmıştır: 5 saniyelik nötr başlangıç (beyaz ekran), ardından 10 saniyelik görev gözlemi, ardından tekrar 5 saniyelik beyaz ekran; toplamda dört görev gözlemi bloğu boyunca bu yapı tekrarlanmıştır. Böylece her senaryo toplamda 65 saniyelik bir gözlem süresine sahip olmuş ve veri güvenilirliğini artırmak amacıyla her bir senaryo dört kez yinelenmiştir. Dolayısıyla, dört farklı görev senaryosu göz önünde bulundurulduğunda toplam gözlem süresi $65 \times 4 = 260$ saniye olarak gerçekleşmiştir.

Farklı senaryoların ayrı oturumlarda sunulması sağlanmış ve öğrenme ile taşıma etkilerini en aza indirmek amacıyla oturumlar arasında en az birer gün ara verilmiştir. EEG kayıtları sırasında özellikle motor korteksle ilişkili olan Mu ritmi (8–13 Hz) üzerine odaklanılmış; bu ritmin görev türlerine ve bireylerin motor yeterlilik düzeylerine göre gösterdiği nörofizyolojik değişimler ayrıntılı şekilde analiz edilmiştir. Bu deneysel yapı, hem görev koşullarına hem de bireysel öğrenme düzeylerine bağlı olarak ayna nöron sisteminin dinamik işleyişini çok boyutlu olarak değerlendirme olanağı sunmuştur.



Şekil 3.4. Çapraz Desenli Deneysel Protokolün Şematik Gösterimi



Şekil 3.5. Deneysel Tasarım

3.6. EEG Verilerin Analizi

Katılımcılardan elde edilen EEG verilerine, 8–13 Hz frekans aralığını kapsayan bant geçiren filtre uygulanmıştır. Filtreleme işlemi, 4. dereceden Butterworth tipi sonsuz dürtü yanıtı (Infinite Impulse Response, IIR) filtre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sayısal filtreler, literatürde sonlu dürtü yanıtı (Finite Impulse Response, FIR) ve sonsuz dürtü yanıtı (IIR) olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Filtreleme sürecinde, giriş ve çıkış sinyalleri arasındaki ilişki evrişim işlemi aracılığıyla sağlanmış ve böylelikle sinyaldeki hedef dışı frekans bileşenleri bastırılarak yalnızca Mu frekans bandı korunmuştur.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k)$$

(3.1)

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k)$$

(3.2)

3.1 ve 3.2 eşitlikler sırası ile IIR ve FIR simgelenmektedir. N filtresinin derecesi, $x(n)$ giriş sinyalini, $y(n)$ çıkış sinyalini ve $h(n)$ ise filtrenin birim dürtü yanıtını temsil etmektedir. IIR filtresi çıkışını pratik olarak Eşitlik 1'deki gibi hesaplamak, darbe yanıtının uzun olması nedeniyle mümkün değildir. Bu nedenle, IIR filtre denklemi, özyinelemeli (recursive) bir biçimde temsil edilmiştir.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)x(n-k) = \sum_{k=0}^N b(k)x(n-k) + \sum_{k=0}^M a(k)x(n-k)$$

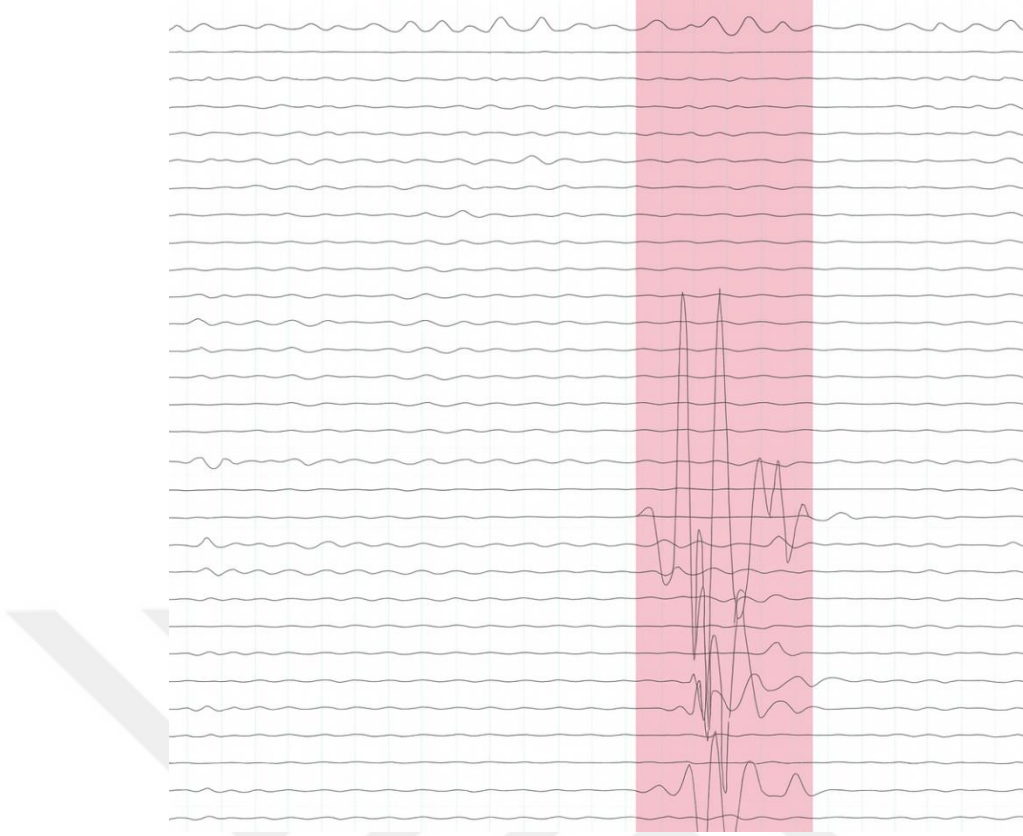
(3.3)

IIR filtre türlerinden Butterworth, bant geçiren filtre tasarımında kullanılmıştır. Filtrenin transfer fonksiyonu aşağıda yer almaktadır.

$$\mathcal{B}(\omega) = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right]^{1/2}}$$

(3.4)

Bant geçiren filtreleme işlemi (8–13 Hz) tamamlandıktan sonra, EEG verilerinin ön işleme süreci cihazın üreticisi tarafından geliştirilen BrainVision Analyzer 2.0.1 yazılımı kullanılarak yürütülmüştür. İlk aşamada tüm ham EEG verileri, olası fiziksel artefaktların belirlenebilmesi amacıyla Raw Data Inspection (Ham Veri İncelemesi) adımıyla değerlendirilmiştir. Ham veri incelemesi üç temel ölçüt üzerinden gerçekleştirilmiştir: Bu ölçütler gradyan, maksimum-minimum ve genlik olarak ifade edilmektedir. Gradyan ölçütü, ardışık iki örnekleme noktası arasındaki ani genlik değişimini göstermekte olup, maksimum voltaj adımı 50 $\mu\text{V}/\text{ms}$ olarak belirlenmiştir; bu değeri aşan örnekleme noktaları gradyan kriterini karşılamayan alanlar olarak işaretlenmiştir. Maksimum-minimum ölçütünde, 200 ms'lik segmentler içerisindeki genlik farkı 200 μV değerinde belirlenmiştir; bu eşiği aşan segmentler artefaktlı kabul edilerek analiz dışı bırakılmıştır. Genlik ölçütünde ise sinyalin genliğinin $\pm 200 \mu\text{V}$ aralığında kalması zorunlu tutulmuş; bu sınırların dışındaki örnekleme noktaları, 200 ms öncesi ve 200 ms sonrasıyla birlikte artefaktlı olarak işaretlenmiştir.



Şekil 3.6. Analyzer2 Paket Programında Yapılan Ham Veri İncelemesi

Yukarıdaki görselde, belirlenen ölçütlerle uyumlu EEG alanları tüm kanallar için kırmızı renkle gösterilmiştir. Uygulanan ön işleme sürecinde, kırmızıyla işaretlenen bu alanlar artefaktlı kabul edilerek veri setinden çıkarılmış ve yalnızca gürültüden arındırılmış EEG verileri analiz kapsamına alınmıştır. Ardından, zaman kilitli olarak kaydedilen EEG sinyalleri genel segmentasyon aşamasında deney tasarımına uygun biçimde dört farklı görev bloğu (Görev 1, Görev 2, Görev 3 ve Görev 4) hâlinde ayrıştırılmıştır. EEG sinyalleri, farklı frekans, genlik ve fazlara sahip sinüs dalgalarının birleşimi olarak değerlendirildiğinden, bu sinyallerin frekans bileşenlerine ayrıştırılması amacıyla Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmıştır. Bu yöntemle, EEG sinyalleri frekans bileşenlerine ayrıştırılmış, ilgili frekans bantlarında bant güçleri hesaplanmış ve dört görev bloğu arasındaki karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

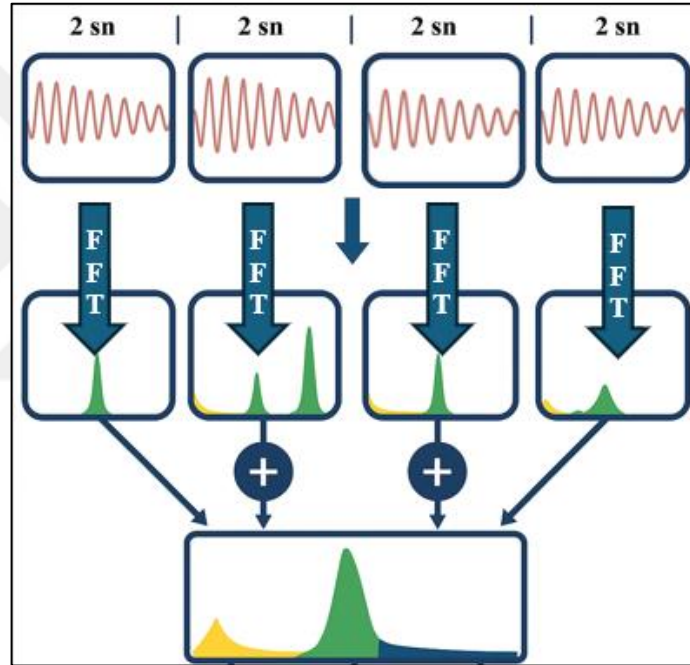
$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j_2\pi ft} dt$$

(3.5)

$$PSD(f) = |x(f)|^2$$

(3.6)

Zaman alanındaki EEG sinyalinin frekans bileşenlerini ortaya koymak amacıyla uygulanan Fourier dönüşümü (3.5), sinyalin frekans alanına aktarılmasını sağlar. Bu dönüşümden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanan güç spektral yoğunluğu (3.6) ise, her bir frekans bileşeninin sinyaldeki enerji dağılımını nicel olarak ifade eder. Grafiklerde görülen dalga biçimleri zaman alanındaki EEG sinyalini, dikey ekseninde yükselen tepeler ise frekans alanında belirli bantlarda yoğunlaşan güç dağılımını temsil etmektedir; bu sayede EEG'nin hangi frekans aralıklarında daha yoğun aktivite sergilediği açıkça ortaya konulmaktadır.



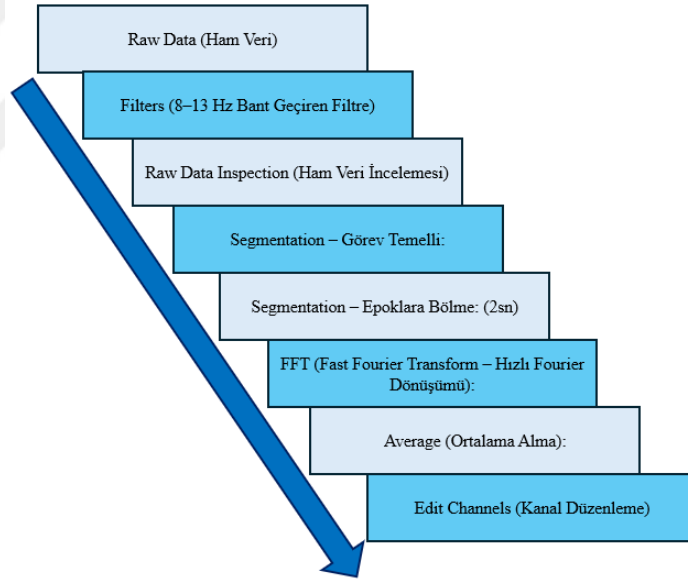
Şekil 3.7. Hızlı Fourier Dönüşümü Algoritması

Yukarıda görüldüğü üzere, EEG verileri her biri yarı stabil kabul edilen küçük segmentlere ayrılmış ve her bir segment için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak frekans bileşenleri elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda, dört farklı deneysel göreve ait EEG verilerinin alfa frekans bandındaki bant güçleri hesaplanmış ve ilgili kanallara yönelik ortalama değerler oluşturulmuştur. Hesaplanan bant güçleri, görevler arası karşılaştırmaların yapılabilmesi amacıyla analiz edilmiştir. Bant gücü hesaplamalarında izlenen adımlar ise aşağıda sistematik biçimde sunulmuştur.



Şekil 3.8. Bant Gücü Hesaplama Adımları

Her bir denek için kaydedilen EEG verileri, ön işleme aşamasında Ham Veri İncelemesi adımlarından geçirilmiş ve biyolojik artefaktlardan arındırılmıştır. Artefakt temizliği tamamlandıktan sonra, ilgili EEG sinyalleri alfa frekans bandına ayrıştırılmıştır. Daha sonra, her bir kanalın EEG verisi 2 saniyelik segmentlere bölünmüş (Oberman et al., 2005; Raymaekers et al., 2009) ve her segmentin bant gücü hesaplanmıştır. Hesaplanan bant güçleri, her görev için ilgili kanallar bazında ortalama değerler oluşturacak şekilde birleştirilmiştir. Böylece dört farklı deneysel göreve ait EEG verileri, Mu ritmi bandındaki (8–13 Hz) bant güçleri açısından karşılaştırmaya hazır hâle getirilmiştir.



Şekil 3.9. Yapılan Analize Ait Blok Diyagram

3.7. İstatistiksel Analiz

Çalışmada elde edilen verilerin istatistiksel analizleri IBM SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş; verilerin görselleştirilmesinde GraphPad Prism 10.2.1 (GraphPad Software, San Diego, ABD) ve BioRender (<https://biorender.com/>) programlarından yararlanılmıştır. Örneklem büyüklüğünün $n < 50$ olması nedeniyle (Myers et al., 2013), verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ve histogram

grafikleriyle değerlendirilmiştir. Shapiro–Wilk testi sonuçlarında p değerlerinin 0.071 ile 0.936 arasında değiştiği belirlenmiş olup, bu aralığın tüm değişkenlerin normal dağılım varsayımını karşıladığını gösterdiği kabul edilmiştir (Ghasemi & Zahediasl, 2012).

Araştırmada, dört farklı görev ve üç farklı gruptan elde edilen veriler arasındaki farklılıkların incelenmesi amacıyla 4x3 karışık desenli tekrarlı ölçümler ANOVA (Mixed ANOVA-RM) uygulanmıştır. Varyansların homojenliği Levene testi ile doğrulanmıştır. Analizde etki büyüklüğü kısmi eta kare (η^2) ile hesaplanmış ve η^2 değerleri küçük ($>0,01$), orta ($\geq 0,06$) ve büyük ($\geq 0,14$) etki büyüklüğü kategorilerinde yorumlanmıştır. Küresellik varsayımı Mauchly testi ile değerlendirilmiş; varsayımın karşılanmadığı durumlarda Epsilon (ϵ) $<0,75$ için Greenhouse-Geisser, $\epsilon>0,75$ için ise Huynh-Feldt düzeltmeleri uygulanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı fark tespit edilmesi hâlinde karşılaştırmalar Bonferroni post-hoc testi ile gerçekleştirilmiştir. Tüm istatistiksel işlemler $p<0,05$ anlamlılık düzeyi esas alınarak yapılmış ve bulgular tablolar ve grafikler aracılığıyla sunulmuştur.

Tablo 3.1. C3, C4 ve Cz Kanallarında Gruplar (BA, İA, OA) ve Görev Türleri (BOH, KG, ZG, MG) İçin Shapiro-Wilk Normallik Testi Sonuçları.

	BA				İA				OA			
	BOH	KG	ZG	MG	BOH	KG	ZG	MG	BOH	KG	ZG	MG
C3	,304	,158	,135	,291	,106	,145	,144	,156	,258	,161	,530	,275
C4	,725	,409	,674	,127	,369	,234	,167	,143	,755	,071	,139	,377
Cz	,139	,303	,217	,218	,137	,404	,451	,936	,207	,718	,128	,122

BA: Bilişsel aşama grubu; İA: İlişkisel aşama grubu; OA: Otonomi aşama grubu; BOH: Biyolojik olmayan hareket; KG: Kolay görev; ZG: Zor görev; MG: Manzara görüntüsü

Tanımlayıcı özelliklere ilişkin verilerin normal dağılıma uygunluğu, sistematik olarak Shapiro-Wilk testi ile değerlendirilmiş ve sonuçlar Tablo 4.2’de sunulmuştur. Test sonuçlarına göre, verilerin normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, normal dağılım varsayımının doğrulanabilmesi amacıyla Shapiro-Wilk testine ek olarak histogram grafikleri gibi görsel analiz yöntemlerinden de yararlanılmış ve bu incelemeler sonucunda verilerin normal dağılıma uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4. BULGULAR

Tablo 4.1. Voleybolcuların Yaş Değişkenine Ait Tanımlayıcı Özelliklerine Göre Tek Yönlü ANOVA Testi Sonuçları

Değişken	Grup	n	$\bar{X}$	SS	Min	Max	$F_{(2,21)}$	p
Yaş (yıl)	BA	8	23,13	3,40	18	27	0,356	0,704
	İA	8	22,00	2,51	19	25		
	OA	8	22,38	2,07	19	25		
	Σ	24	22,50	6,96	18	27		

Σ : Sigma; n: Örneklem sayısı; $\bar{X}$: Ortalama; SS: Standart sapma; Min: Minimum; Maks: Maksimum.

Voleybolcuların yaş değişkenine ait tanımlayıcı özellikleri ve gruplar arasındaki farkı incelemek için yapılan tek yönlü ANOVA analizi sonuçları Tablo 4.1’de sunulmuştur. BA (n=8), İA (n=8) ve OA (n=8) gruplarında bulunan voleybolcuların yaşlarının ortalaması sırasıyla $22,13 \pm 3,40$, $22,00 \pm 2,51$ ve $22,38 \pm 2,07$ yıl olarak tespit edilmiştir. Araştırmaya katılan tüm voleybolcuların yaş ortalaması ise $22,50 \pm 6,96$ yıl olarak saptanmıştır. Buna ek olarak, araştırmaya katılan en genç voleybolcu 18 yaşında, en yaşlısı ise 27 yaşındadır. Tek yönlü ANOVA analizi sonuçlarına göre, yaş değişkeni açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($F_{(2,21)} = 0,356$, $p = 0,704$).

Tablo 4.2. C3 Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları

C3	F	p	η_p^2
Görev	11,393	< 0,001***	0,352
Grup	6,229	0,008**	0,372
Grup × Görev	3,981	0,022*	0,275

C3 Kanalı için iki yönlü karışık desenli tekrarlı ANOVA testi sonuçları Tablo 4.2’de sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre; görev ($F_{(1,312;21)} = 11,393$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,352$) ve grup ($F_{(2;21)} = 6,229$; $p = 0,008$; $\eta_p^2 = 0,372$) ana etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, grup x görev ($F_{(2,623;21)} = 3,981$; $p = 0,022$; $\eta_p^2 = 0,275$) ortak etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.3. C3 Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları

	Grup	BOH		KG		ZG		MG		Σ	
		$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS
C3	BA	5,80	2,81	5,01	1,40	4,36	1,64	13,80* [§]	9,40	7,24 [‡]	6,06
	İA	3,70	2,09	4,57	4,50	3,46	2,46	7,38	3,97	4,78	3,55
	OA	2,85	1,42	2,68	1,65	2,78	1,79	3,12	1,91	2,86	1,60
	Σ	4,11	2,44	4,09	2,94	3,53	2,02	8,10 [£]	7,27		

* BA grubunda, BOH ve KG'den istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

§ BA grubunda, ZG'den istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

£ BOH, ve KG'den istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde yüksek.

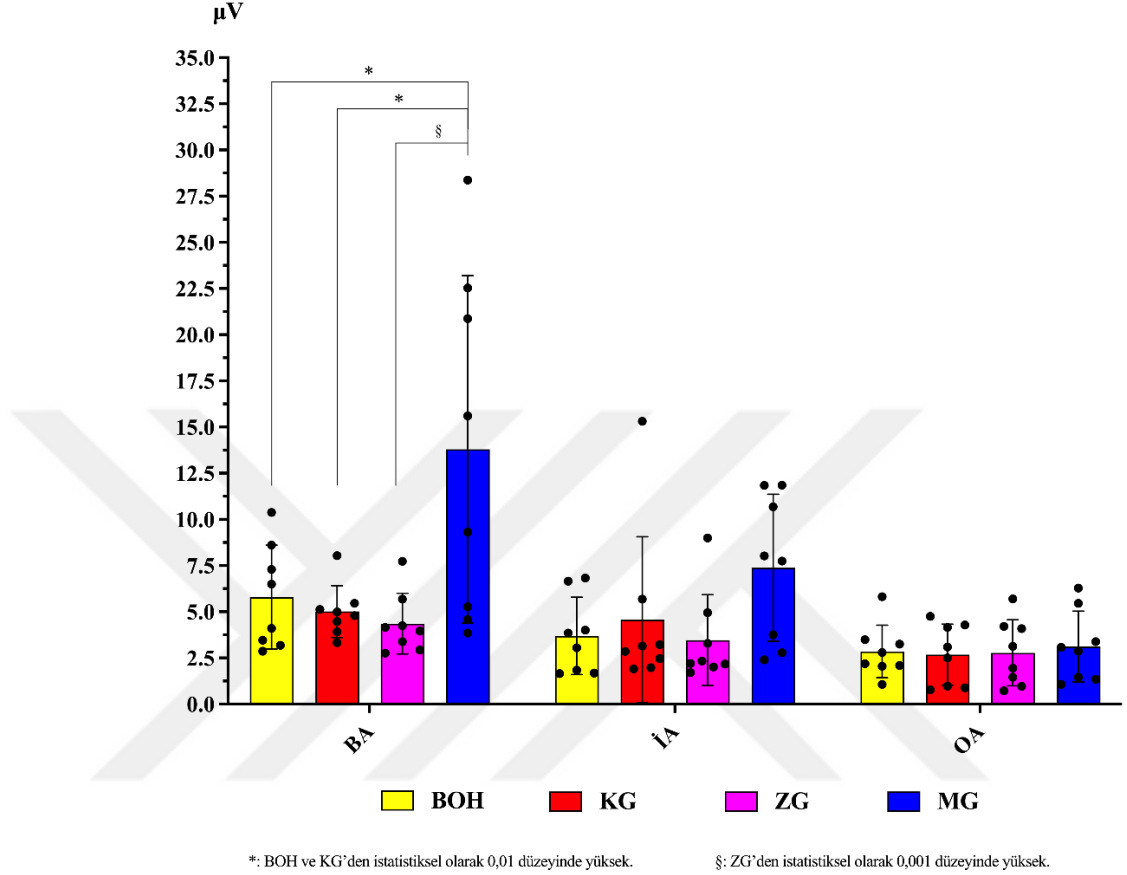
£ ZG'den istatistiksel olarak 0,01 düzeyinden yüksek

‡ OA grubundan istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

C3 Mu ritmi için çoklu karşılaştırma sonuçları Tablo 4.3'te sunulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda BA grubunda, MG görevinde kaydedilen C3 Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 13,80$, $SS = 9,40$), BOH ($\bar{X} = 5,80$, $SS = 2,81$), KG ($\bar{X} = 5,01$, $SS = 1,40$) ve ZG görevlerindeki ($\bar{X} = 4,36$, $SS = 1,64$) değerlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu saptanmıştır (sırasıyla $p = 0,004$; $p = 0,004$; $p < 0,001$). Bununla birlikte, diğer tüm görevler ile gruplar arasında C3 Mu ritmi baskılanma düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). Ayrıca tüm katılımcıların ($n = 24$) MG görevindeki Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 8,10$, $SS = 7,27$), KG'ye ($\bar{X} = 4,09$, $SS = 2,94$) göre $p = 0,028$ düzeyinde, BOH görevine göre ($\bar{X} = 4,11$, $SS = 2,44$) $p = 0,015$ düzeyinde, ZG'ye ($\bar{X} = 3,53$, $SS = 2,02$) göre ise $p = 0,003$ düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı biçimde yüksek olduğu belirlenmiştir. Son olarak BA grubunda yer alan katılımcıların Mu ritmi baskılanma düzeylerinin ($\bar{X} = 7,24$, $SS = 6,06$), OA grubunda yer alan katılımcılardan ($\bar{X} = 2,86$, $SS = 1,60$) istatistiksel olarak $p = 0,006$ düzeyinde yüksek olduğu belirtilmektedir.

C3

Görev= $F_{(1,312;21)} = 11,393$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,352$
 Grup= $F_{(2,21)} = 6,229$; $p = 0,008$; $\eta_p^2 = 0,372$
 Grup $\times$ görev= $F_{(2,623;21)} = 3,981$; $p = 0,022$; $\eta_p^2 = 0,275$

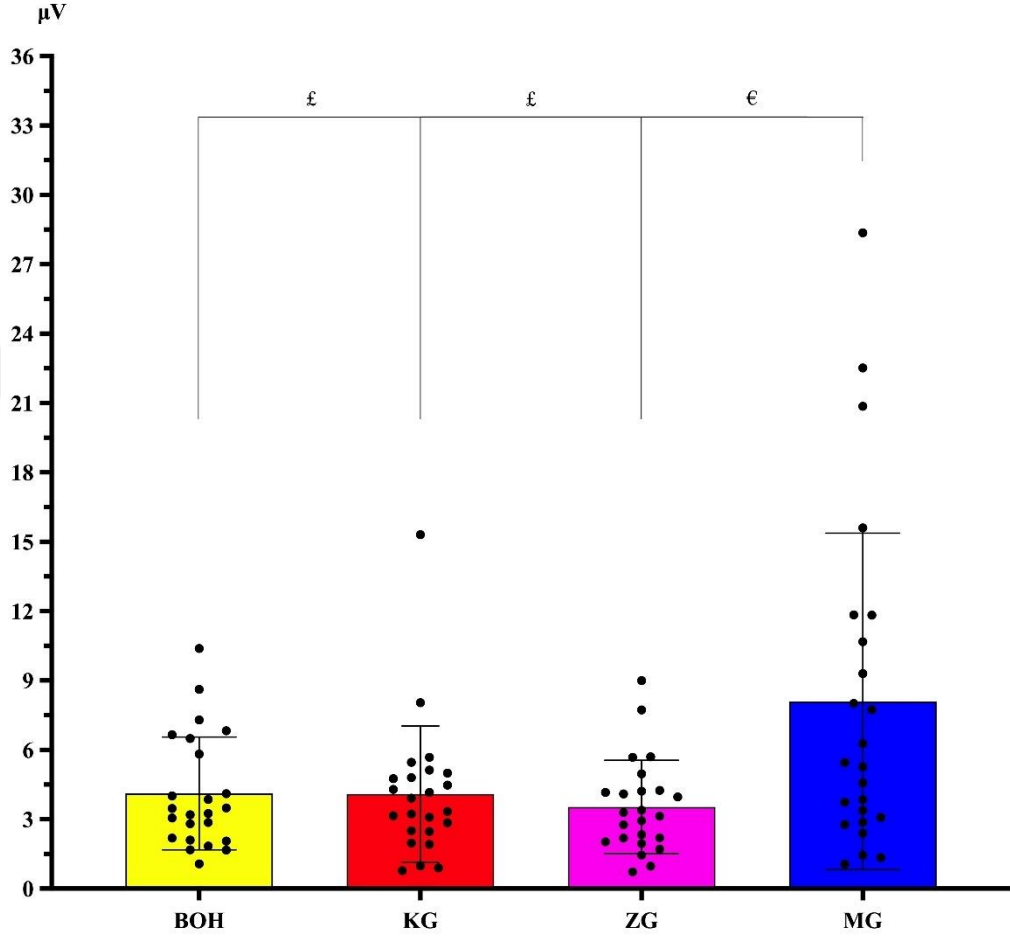


Şekil 4.1. C3 Kanalına ait mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.1 incelendiğinde, genel olarak motor görevlerin (KG ve ZG) tüm gruplarda Mu ritmi baskılanma düzeylerinin biyolojik olmayan hareket (BOH) ve manzara görüntüsüne (MG) kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmektedir. BA grubunda özellikle zor motor görev (ZG) ve kolay motor görev (KG) koşullarında belirgin bir Mu ritmi baskılanmasının ortaya çıktığı, buna karşın manzara görüntüsü koşulunda ise ortalama değerlerin oldukça yüksek seyrettiği dikkat çekmektedir. İA grubunda görevler arasında görece dengeli bir dağılım sergilendiği, ancak motor görevlerde diğer koşullara kıyasla daha fazla Mu ritmi baskılanmasının meydana geldiği görülmektedir. OA grubunda ise tüm görevler arasında ortalamaların birbirine daha yakın olduğu, fakat motor görevlerin diğer koşullara kıyasla daha güçlü bir Mu ritmi baskılanmasıyla sonuçlandığı görülmektedir. Genel olarak şeklin, motor görevlerin tüm öğrenme aşamalarında Mu ritmi baskılanmasını

artırdığı, ancak öğrenme aşamalarına bağlı olarak bu baskılanmanın dağılımında farklılıkların ortaya çıkabileceği belirtilmektedir.

C3

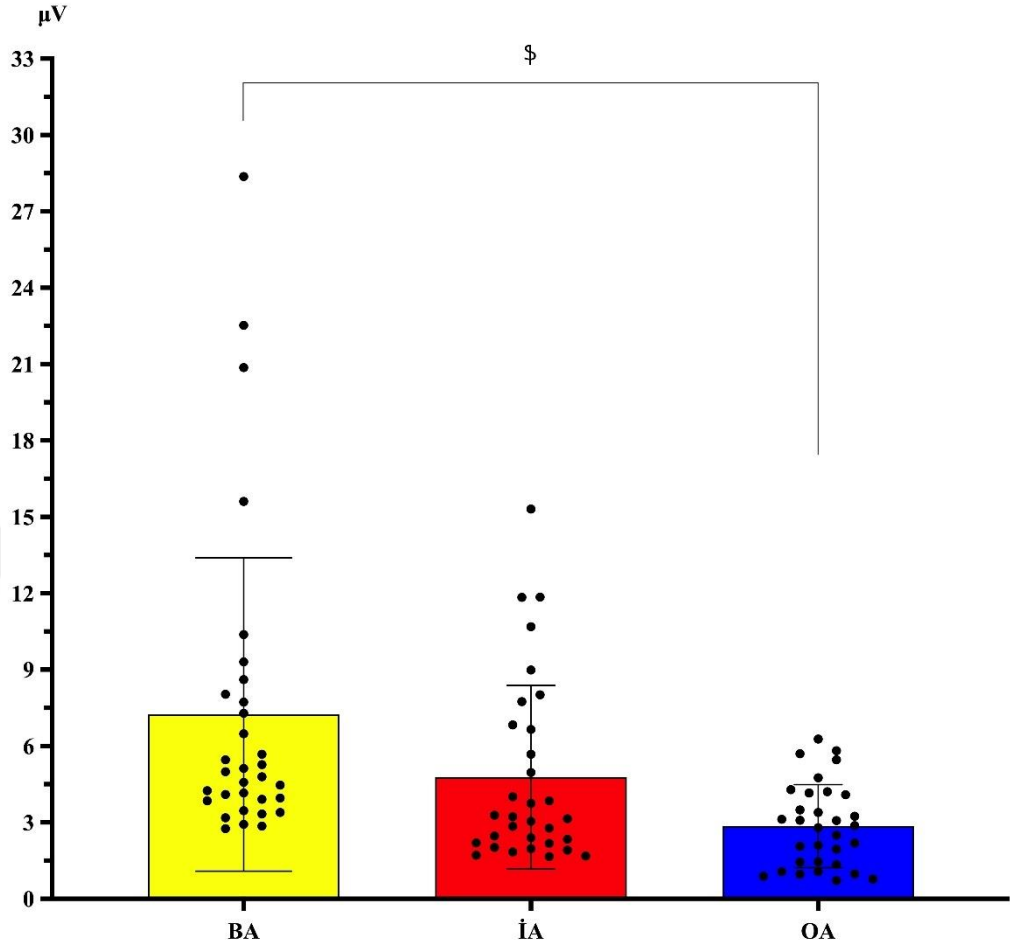


£: BOH ve KG'den istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde yüksek. €: ZG'den istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

Şekil 4.2. C3 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.2'de 24 katılımcının görev bazlı Mu ritmi baskılanma düzeyleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde, manzara görüntüsü (MG) koşulunun, biyolojik olmayan hareket (BOH), kolay görev (KG) ve zor görev (ZG) koşullarına kıyasla daha yüksek ortalama düzeyler ortaya koyduğu, en yüksek ortalamanın MG koşulunda, en düşük ortalamanın ise ZG koşulunda olduğu anlaşılmaktadır.

C3



Şekil 4.3. C3 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.3'te 24 katılımcının öğrenme aşamalarına (BA, İA, OA) göre Mu ritmi baskılanma düzeyleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde, BA grubunun ortalama değerlerinin diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu, İA grubunun orta düzeyde seyrettiği, OA grubunun ise en düşük ortalama değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.4. C4 Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları

C4	F	p	η_p^2
Görev	10,144	< 0,001*	0.326
Grup	21,495	< 0,001*	0,672
Grup × Görev	0,802	0,566	0,071

C4 Kanalı için iki yönlü karışık desenli tekrarlı ANOVA testi sonuçları Tablo 4.4’te sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre; görev ($F_{(2,836;21)} = 10,144$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,326$) ve grup ($F_{(2;21)} = 21,495$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,672$) ana etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, grup x görev ($F_{(5,671;21)} = 0,802$; $p = 0,566$; $\eta_p^2 = 0,071$) ortak etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 4.2. C4 Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları

Grup	BOH		KG		ZG		MG		Σ		
	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	
C4	BA	4,32	1,35	4,04	1,73	3,64	1,36	7,37	3,95	4,85	2,66
	İA	11,65	4,85	10,26	2,66	10,92	3,71	15,22*	5,13	12,01 ^ε	4,37
	OA	5,30	2,15	3,91	3,89	2,85	2,47	5,76	4,55	4,46	3,39
	Σ	7,09	4,49	6,07	4,10	5,80	4,51	9,45 ^{£Φ}	6,07		

* İA grubunda, KG ve ZG görevlerinden istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

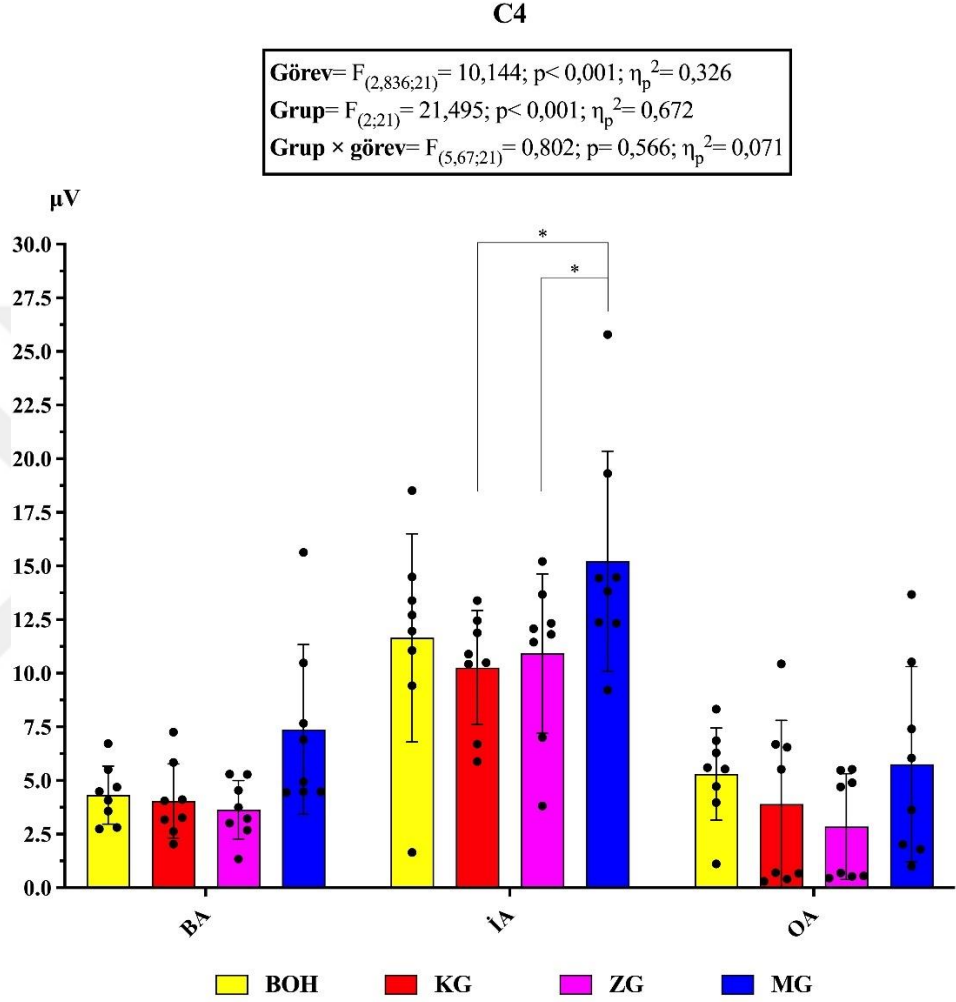
£ KG’den istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

¤ ZG’den istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

€ BA ve OA gruplarından istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

C4 Mu ritmi için çoklu karşılaştırma sonuçları Tablo 4.3’te sunulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, İA grubunda MG görevinde kaydedilen C4 Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 15,22$, $SS = 5,13$), KG ($\bar{X} = 10,26$, $SS = 2,66$) ve ZG ($\bar{X} = 10,92$, $SS = 3,71$) görevlerindeki değerlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu saptanmıştır (sırasıyla $p = 0,015$; $p = 0,024$). Bununla birlikte, diğer tüm görevler ile gruplar arasında C4 Mu ritmi baskılanma düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunmadığı belirlenmiştir ($p > 0,05$). Ayrıca tüm katılımcıların ($n = 24$) MG görevindeki Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 9,45$, $SS = 6,07$), KG’ye ($\bar{X} = 6,07$, $SS = 4,10$; $p = 0,003$) ve ZG’ye ($\bar{X} = 5,80$, $SS = 4,51$; $p < 0,001$) kıyasla istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek olduğu ortaya

konulmuştur. Son olarak, BA grubunda yer alan katılımcıların Mu ritmi baskılanma düzeylerinin ($\bar{X} = 4,85$, $SS = 2,66$), OA grubundaki katılımcılardan ($\bar{X} = 4,46$, $SS = 2,39$) istatistiksel olarak $p < 0,001$ düzeyinde yüksek, İA grubundaki katılımcılardan ($\bar{X} = 4,46$, $SS = 2,39$) ise istatistiksel olarak $p < 0,001$ düzeyinde daha düşük olduğu tespit edilmiştir.



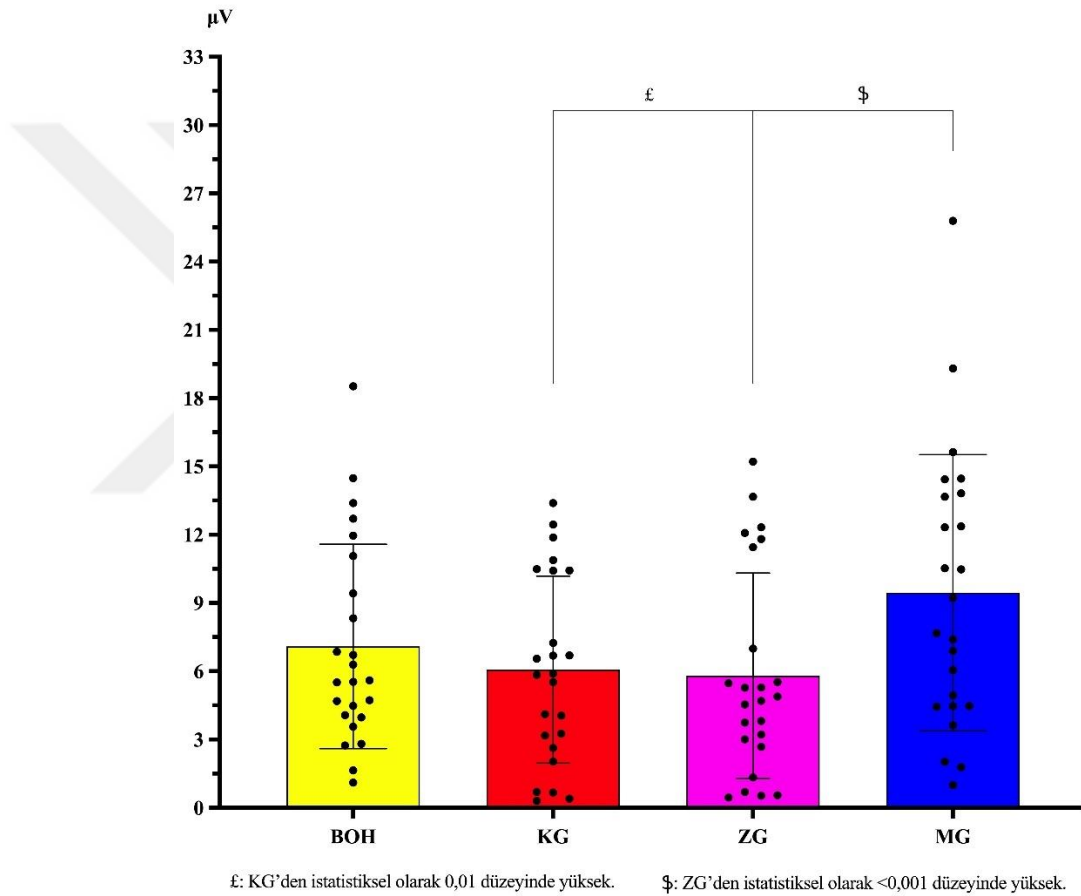
*: KG ve ZG'den istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

Şekil 4.4. C4 Kanalına Mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.4 incelendiğinde, genel olarak motor görevlerin (KG ve ZG) Mu ritmi baskılanma düzeylerinin, biyolojik olmayan hareket (BOH) ve manzara görüntüsü (MG) koşullarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. BA grubunda ortalamaların görece düşük seviyelerde seyrettiği ve görevler arasında belirgin bir artışın olmadığı dikkati çekmektedir. Buna karşılık İA grubunda tüm görevlerde Mu ritmi ortalamasının arttığı, gözlenmektedir. Bu durum, İA grubunda motor görevlerin diğer gruplara kıyasla daha düşük bir Mu ritmi baskılanması

oluşturduğunu göstermektedir. OA grubunda ise tüm görevler arasında ortalamaların birbirine görece daha yakın seyrettiği, genel düzeyin ise diğer gruplara göre daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu bulgular, öğrenmenin erken (BA) ve ileri (OA) aşamalarında Mu ritmi baskılanmasının daha yüksek düzeyde gerçekleştiğini, ortaya koymaktadır. Genel olarak şeklin, motor görevlerin Mu ritmi baskılanmasını artırdığı, ancak öğrenme aşamalarına bağlı olarak bu dağılımında farklılıklar oluşabileceği görülmektedir.

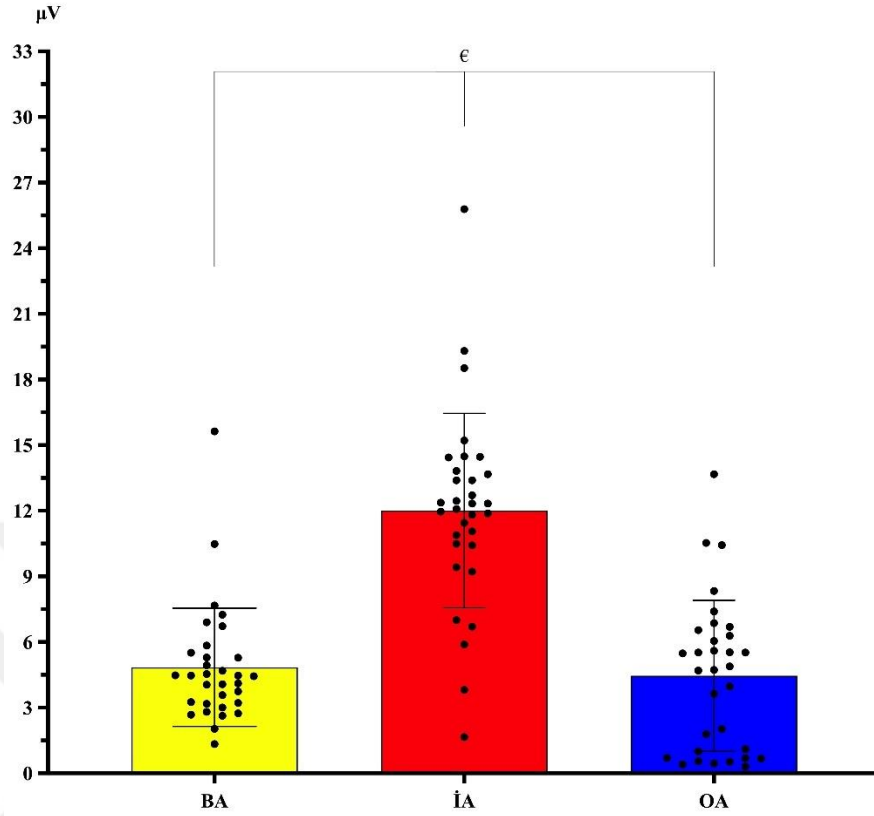
C4



Şekil 4.5. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.2'de 24 katılımcının görev bazlı Mu ritmi baskılanma düzeyleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, manzara görüntüsü (MG) koşulunun, biyolojik olmayan hareket (BOH), kolay görev (KG) ve zor görev (ZG) koşullarına kıyasla daha yüksek ortalama düzeyler ortaya koyduğu; en yüksek ortalamanın MG koşulunda, en düşük ortalamasının ise ZG koşulunda olduğu anlaşılmaktadır.

C4



Ş: BA ve OA gruplarından istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

Şekil 4.6. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.6’da 24 katılımcının öğrenme aşamalarına (BA, İA, OA) göre Mu ritmi baskılanma düzeyleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, İA grubunun ortalama değerlerinin diğer gruplara kıyasla daha yüksek olduğu, BA grubunun orta düzeyde seyrettiği, OA grubunun ise en düşük ortalama değerlere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 4.3. Cz Kanalı İçin Karışık Ölçümlerde Tekrarlı ANOVA Testi Sonuçları

Cz	F	p	η_p^2
Görev	28,175	< 0,001***	0,573
Grup	6,237	0,007**	0,373
Grup × Görev	7,975	< 0,001***	0,432

Cz Kanalı için iki yönlü karışık desenli tekrarlı ANOVA testi sonuçları Tablo 4.6’da sunulmuştur. Elde edilen bulgulara göre; görev ($F_{(1,593;21)} = 28,175$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,573$) ve grup ($F_{(2;21)} = 6,237$; $p = 0,007$; $\eta_p^2 = 0,373$) ana etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, grup x görev

($F_{(3,187;21)} = 7,975$; $p < 0,001$; $\eta_p^2 = 0,432$) ortak etkileşiminin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.4. Cz Kanalı İçin Çoklu Karşılaştırma Sonuçları

	Grup	BOH		KG		ZG		MG		Σ	
		$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS	$\bar{X}$	SS
Cz	BA	3,82	1,90	2,80	0,98	2,68	0,84	9,38 ^{*#}	4,49	4,67 [‡]	3,63
	İA	3,50	2,29	2,88	1,36	2,85	1,08	6,33 [§]	2,66	3,89	2,32
	OA	2,58	1,36	1,95	0,67	2,04	0,81	2,38	1,03	2,24	0,97
	Σ	3,30	1,88	2,54	1,08	2,53	0,95	6,03 [€]	4,14		

* BA grubunda, BOH ve KG görevlerinden istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde yüksek.

BA grubunda, ZG görevinden istatistiksel olarak 0,001 düzeyinde yüksek.

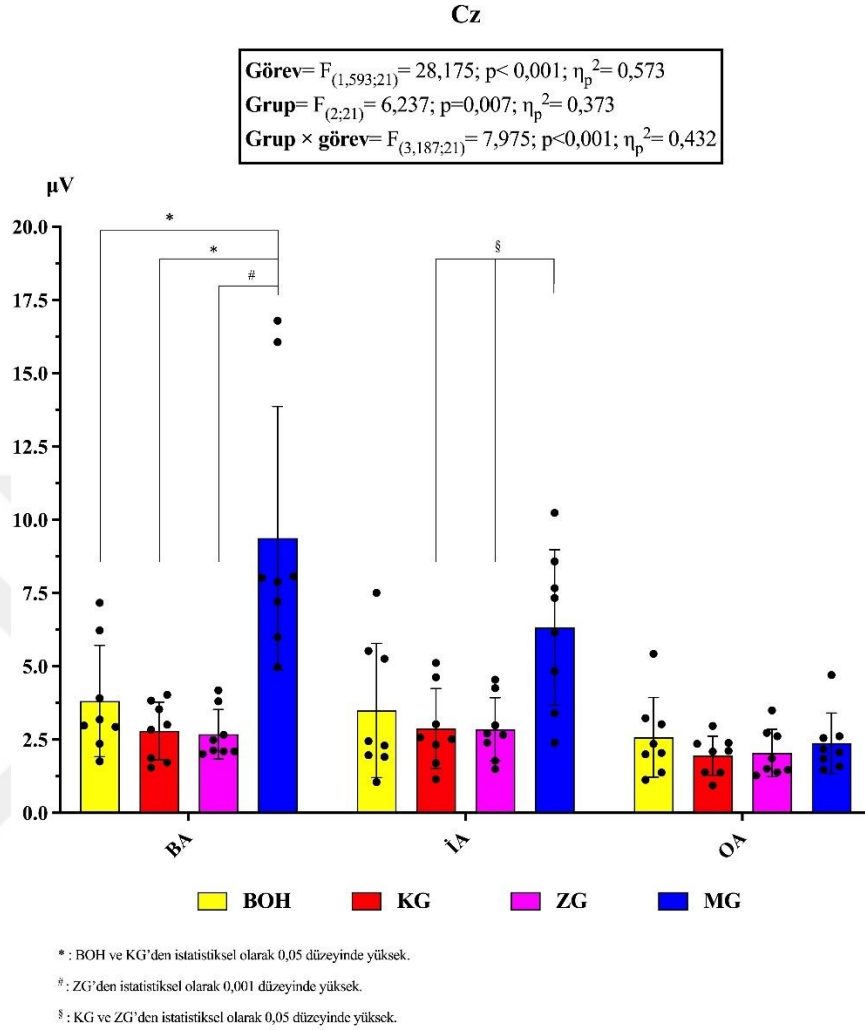
§ İA grubunda, KG ve ZG görevlerinden istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde yüksek.

€ BOH, KG ve ZG'den istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

‡ OA grubundan istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

Cz Mu ritmi baskılanması için çoklu karşılaştırma sonuçları Tablo 4.5'te sunulmuştur. Elde edilen bulgular doğrultusunda, BA grubunda MG görevinde kaydedilen Cz Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 9,38$, $SS = 4,49$), BOH ($\bar{X} = 3,82$, $SS = 1,90$), KG ($\bar{X} = 2,80$, $SS = 0,98$) ve ZG ($\bar{X} = 2,68$, $SS = 0,84$) görevlerindeki değerlere kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir (sırasıyla $p = 0,036$; $p = 0,015$; $p = 0,009$). Ayrıca İA grubunda MG görevinde kaydedilen Cz Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 6,33$, $SS = 2,66$), KG ($\bar{X} = 2,88$, $SS = 1,36$) ve ZG ($\bar{X} = 2,85$, $SS = 1,08$) görevlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksek olduğu saptanmıştır (sırasıyla $p = 0,011$; $p = 0,014$). Bununla birlikte, diğer tüm görevler ile gruplar arasında Cz Mu ritmi baskılanma düzeyleri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p > 0,05$). Ayrıca tüm katılımcıların ($n = 24$) MG görevindeki Cz Mu ritmi baskılanma düzeyinin ($\bar{X} = 6,03$, $SS = 4,14$), diğer görevlerdeki ortalamalara kıyasla BOH görevine göre $p = 0,001$ düzeyinde, KG ve ZG görevlerine göre ise $p < 0,001$ düzeyinde istatistiksel olarak daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Son olarak, BA grubunda yer alan katılımcıların Cz Mu ritmi baskılanma düzeylerinin ($\bar{X} = 4,67$, $SS = 3,63$), OA grubundaki katılımcılardan ($\bar{X}$

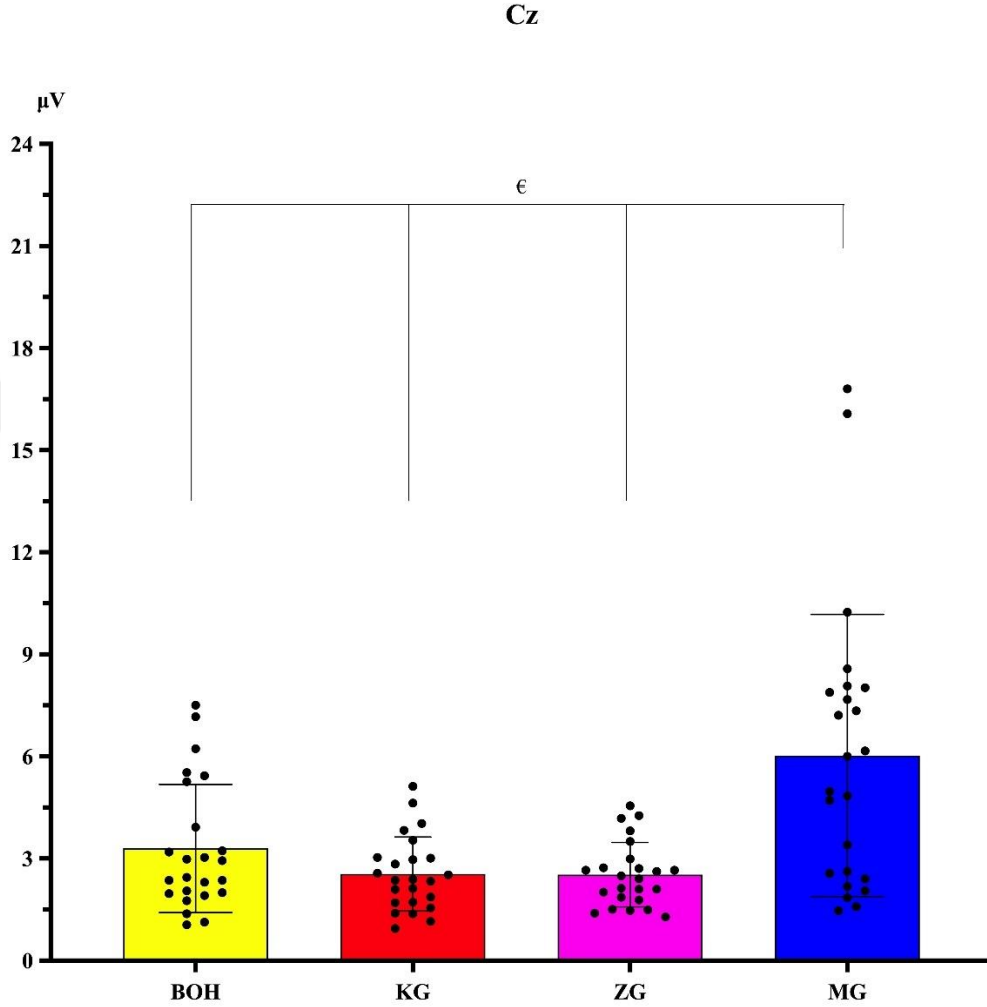
= 2,24, SS = 0,97) istatistiksel olarak $p = 0,007$ düzeyinde daha düşük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.7. Cz Kanalına Mu ritmi bant gücü değerlerinde, gruplar ve görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.7 incelendiğinde, görevler arasında Mu ritmi baskılanma düzeylerinde belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. BA grubunda ortalamaların görece düşük seviyelerde seyrettiği, ancak özellikle manzara görüntüsü (MG) koşulunun biyolojik olmayan hareket (BOH), kolay görev (KG) ve zor görev (ZG) koşullarına kıyasla daha yüksek düzeyler ortaya koyduğu dikkati çekmektedir. İA grubunda ortalamaların daha dengeli seyrettiği, fakat MG koşulunun yine diğer görevlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. OA grubunda ise genel seviyelerin düşük olduğu ve görevler arasındaki farkların sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca MG koşulunun KG ve ZG görevlerine kıyasla istatistiksel olarak anlamlı biçimde daha yüksek olduğu, BA grubunda ise BOH koşulunun KG ve ZG'ye göre daha

yüksek düzeyde gerçekleştiği belirlenmiştir. Genel olarak şekil, MG koşulunun tüm gruplarda diğer görevlerden daha yüksek ortalamalar sergilediğini, bununla birlikte öğrenme aşamalarına bağlı olarak bu baskılanmanın dağılımında farklılıkların ortaya çıktığını göstermektedir.

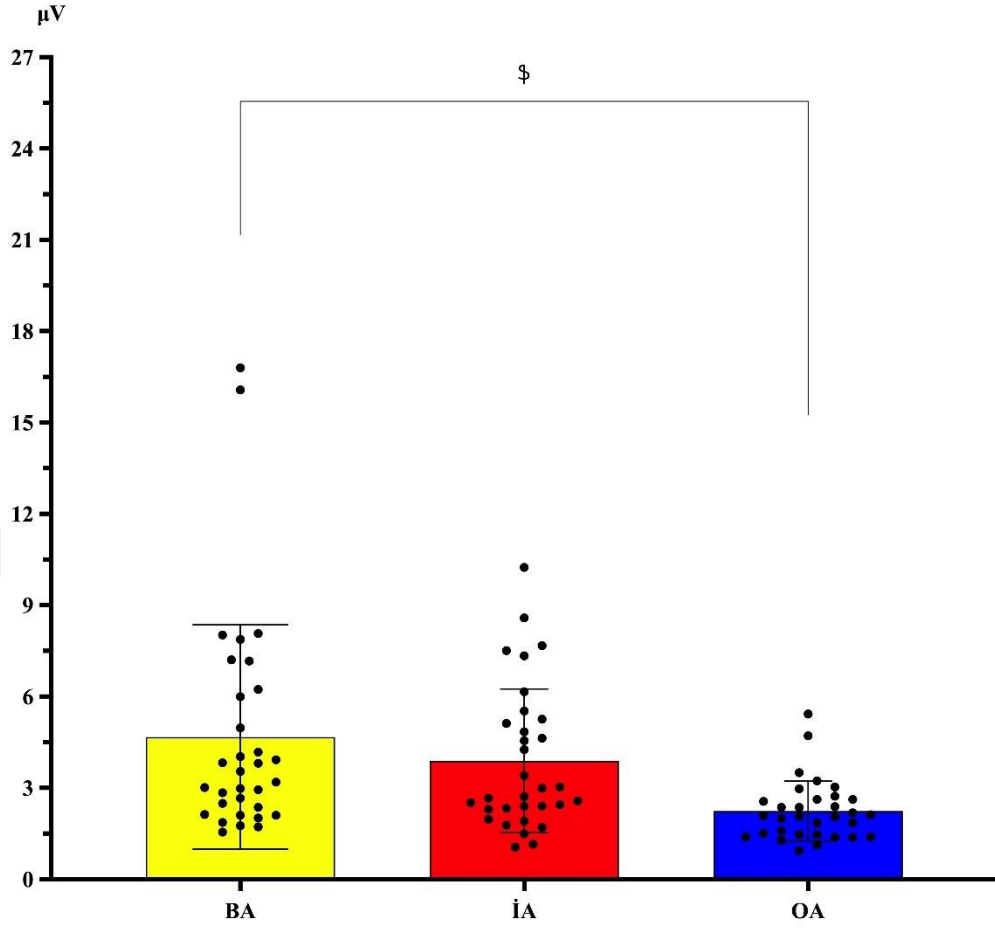


€: BOH, KG ve ZG'den istatistiksel olarak <0,001 düzeyinde yüksek.

Şekil 4.8. Cz Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinde, görev türleri arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.8'de 24 katılımcının görev bazlı Mu ritmi baskılanma düzeyleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, manzara görüntüsü (MG) koşulunun, biyolojik olmayan hareket (BOH), kolay görev (KG) ve zor görev (ZG) koşullarına kıyasla daha yüksek ortalama düzeyler ortaya koyduğu; en yüksek ortalamanın MG koşulunda, en düşük ortalamasının ise ZG koşulunda olduğu anlaşılmaktadır.

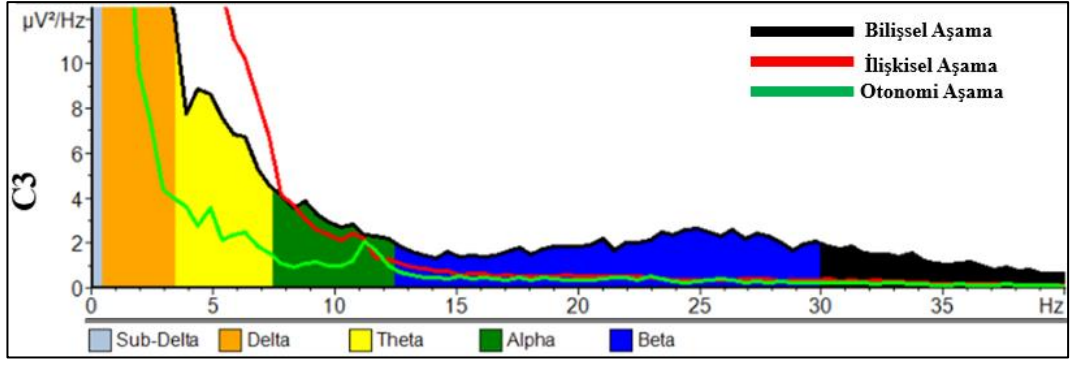
Cz



§: OA grubundan istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde yüksek.

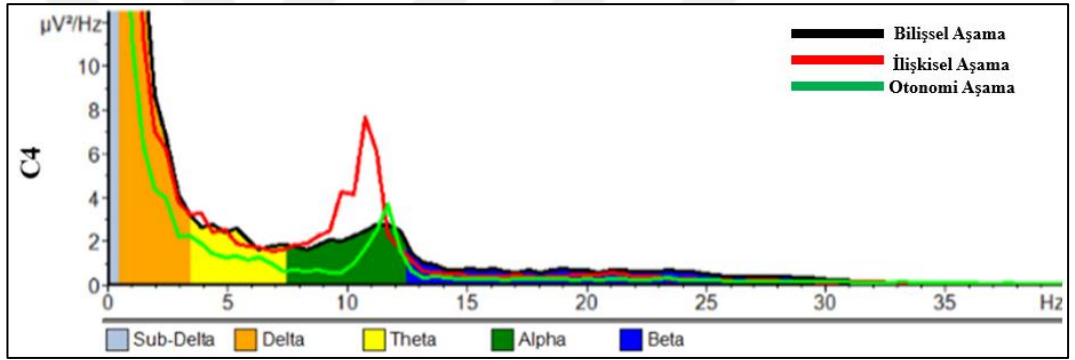
Şekil 4.9. C4 Kanalına ait Mu ritmi bant gücü değerlerinin, gruplara göre arasındaki farklılıkların grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.9'de 24 katılımcının öğrenme aşamalarına (BA, İA, OA) göre Mu ritmi baskılanma düzeyleri gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, BA ve İA gruplarının ortalama değerlerinin birbirine yakın düzeylerde seyrettiği, OA grubunun ise en düşük ortalama değerlere sahip olduğu görülmektedir.



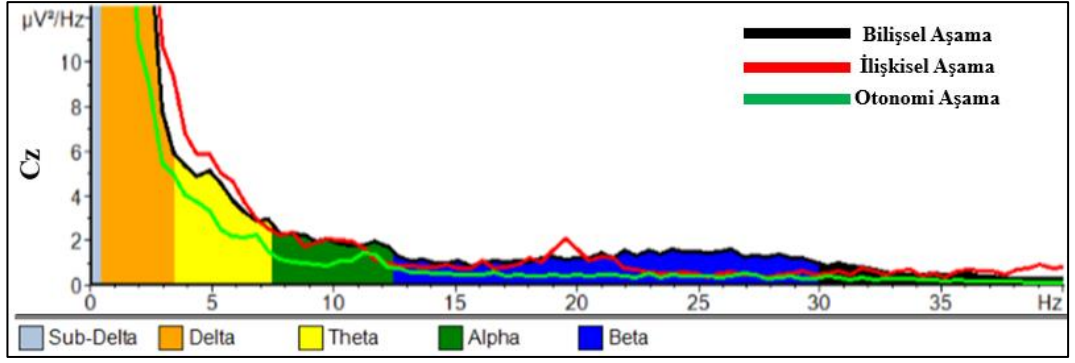
Şekil 4.10. C3 Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.10 incelendiğinde, 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) öğrenme aşamalarına göre belirgin farklılıklar görülmektedir. Bilişsel aşamada güç değerlerinin daha yüksek seyrettiği, ilişkisel aşamada orta düzeyde olduğu, otonom aşamada ise belirgin biçimde azaldığı dikkat çekmektedir.



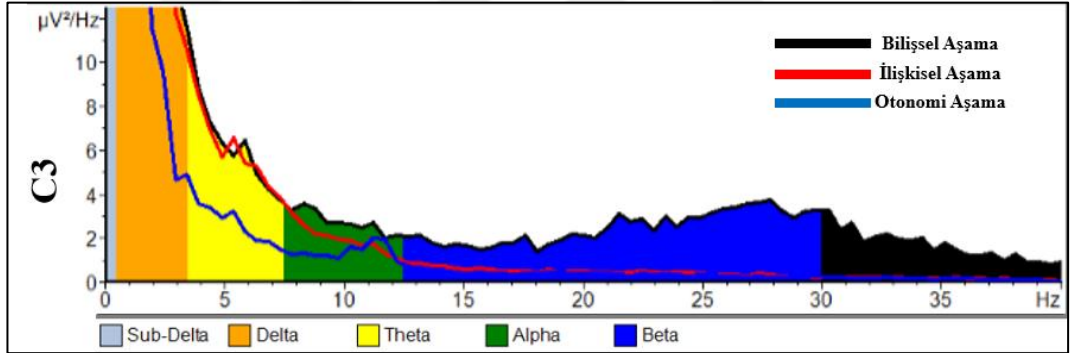
Şekil 4.11. C3 Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.11 incelendiğinde, 8–13 Hz (Mu ritmi) frekans aralığında öğrenme aşamalarına göre belirgin farklılıklar görülmektedir. İlişkisel aşamada (kırmızı) bu bantta en yüksek güç değerlerinin ortaya çıktığı, bilişsel aşamada (siyah) orta düzeyde seyrettiği, otonom aşamada (yeşil) ise belirgin biçimde azaldığı dikkat çekmektedir.



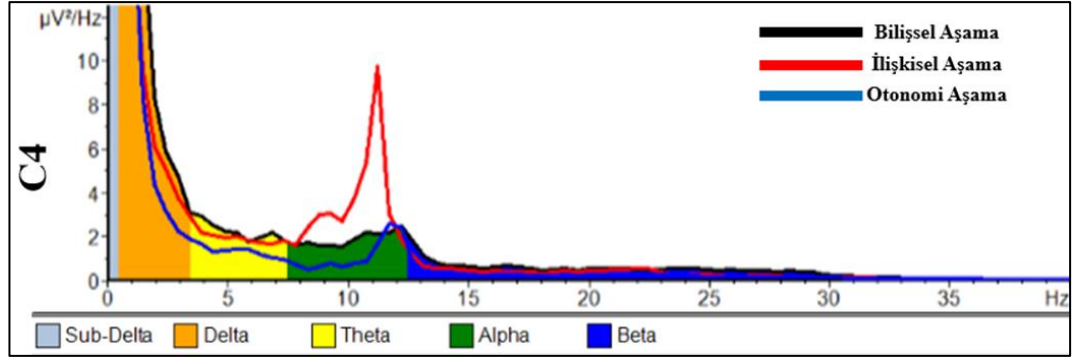
Şekil 4.12. Cz Kanalı kolay görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.12 incelendiğinde, Cz kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) öğrenme aşamalarına göre belirgin farklılıklar gözlenmektedir. İlişkisel aşamada (kırmızı) bu bantta en yüksek güç değerleri ortaya çıkarken, bilişsel aşamada (siyah) daha orta düzeyde, otonom aşamada (yeşil) ise en düşük düzeyde seyrettiği görülmektedir.



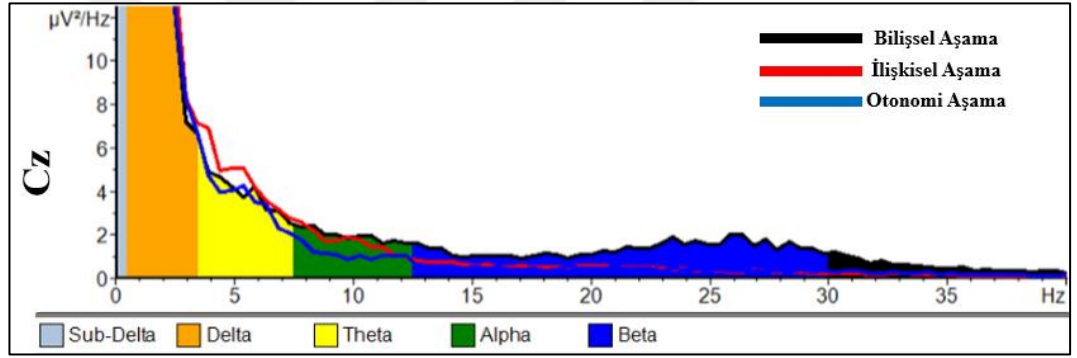
Şekil 4.13. C3 Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil X incelendiğinde, C3 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) öğrenme aşamalarına göre farklılıklar gözlenmektedir. Bilişsel aşamada (siyah) güç değerlerinin orta seviyede seyrettiği, ilişkisel aşamada (kırmızı) bu değerlerin görece daha yüksek olduğu, otonom aşamada (mavi) ise belirgin bir azalma gösterdiği görülmektedir.



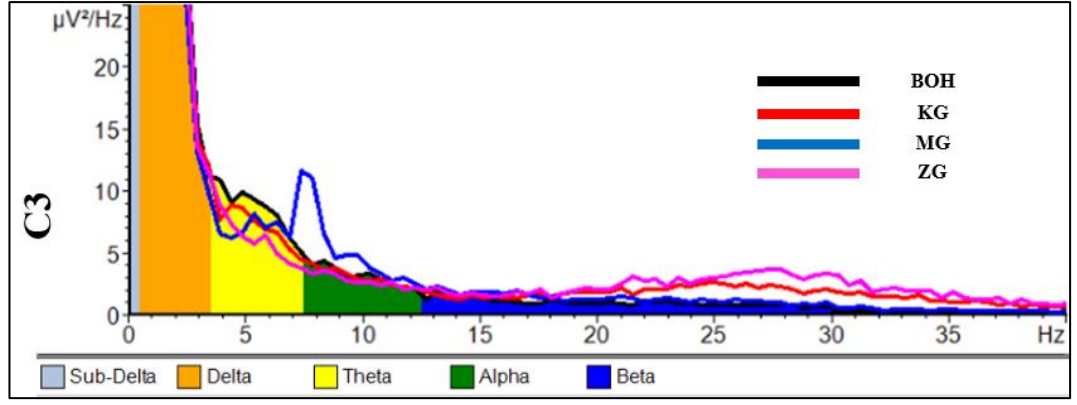
Şekil 4.14. C4 Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.14 incelendiğinde, C4 kanalında 8–13 Hz (Mu ritmi) frekans aralığında öğrenme aşamalarına göre belirgin farklılıklar gözlenmektedir. İlişkisel aşamada (kırmızı) bu bantta en yüksek güç değerleri kaydedilmiş, bilişsel aşamada (siyah) orta düzeyde bir seyir izlenmiş, otonom aşamada (mavi) ise güç değerleri belirgin biçimde görülmektedir.



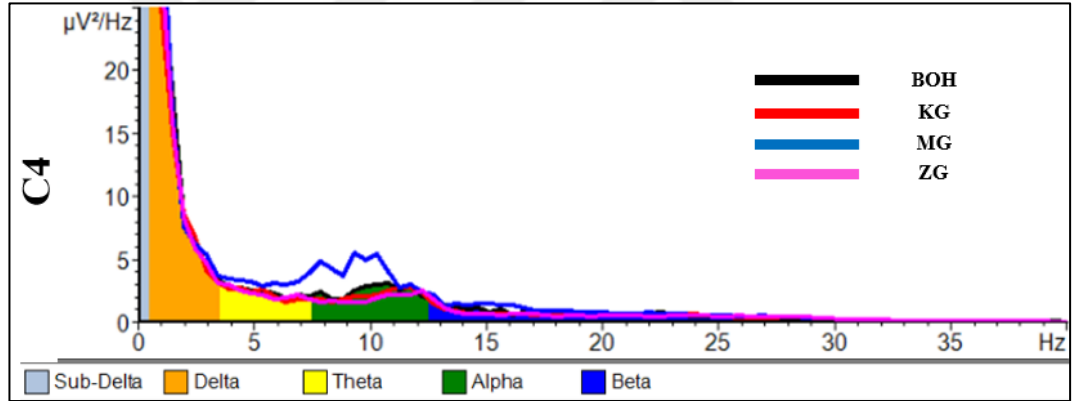
Şekil 4.15. Cz Kanalı zor görev senaryosunda grup değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.15 incelendiğinde, Cz kanalında 8–13 Hz (Mu ritmi) frekans aralığında öğrenme aşamalarına göre farklılıklar gözlenmektedir. İlişkisel aşamada (kırmızı) güç değerlerinin diğer aşamalara kıyasla daha yüksek olduğu, bilişsel aşamada (siyah) orta düzeyde seyrettiği, otonom aşamada (mavi) ise daha düşük düzeylerde gerçekleştiği dikkat çekmektedir.



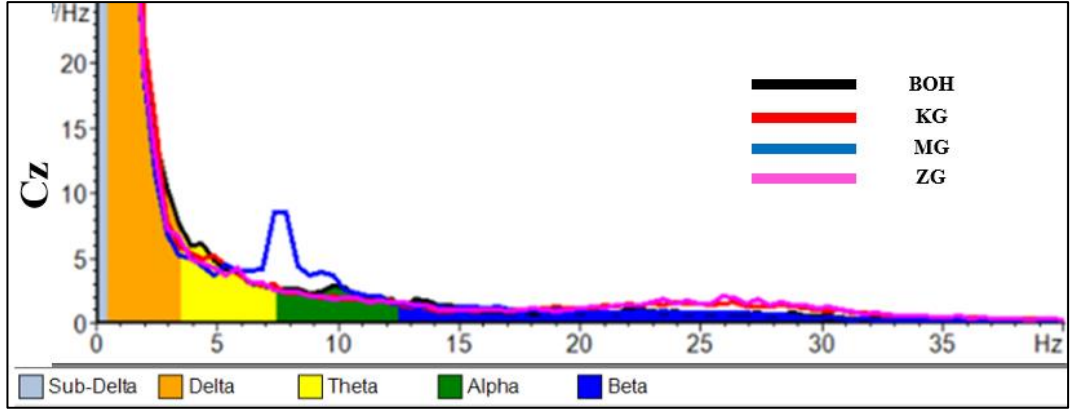
Şekil 4.17. C3 Kanalında bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.17 incelendiğinde, C3 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görev türlerine bağlı farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha belirgin olduğu, biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda bu baskılanmanın görece daha düşük düzeyde seyrettiği görülmektedir.



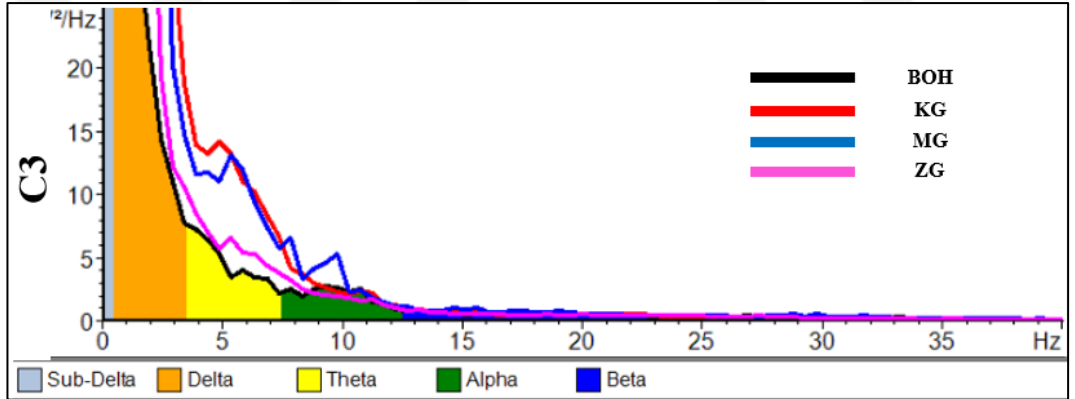
Şekil 4.18. C4 Kanalında bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.18 incelendiğinde, C4 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görev türlerine bağlı farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha belirgin olduğu görülmektedir. Biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanmanın daha sınırlı düzeyde gerçekleştiği, manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda ise diğer görevlerden farklı olarak nispeten daha yüksek güç değerlerinin seyrettiği dikkati çekmektedir.



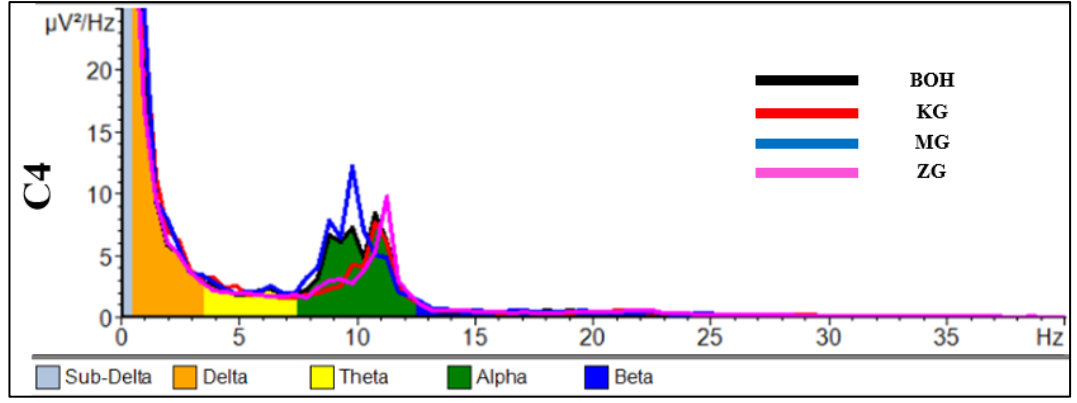
Şekil 4.19. Cz Kanalında bilişsel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.19 incelendiğinde, Cz kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görev türlerine bağlı farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının belirgin olduğu, biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda ise bu baskılanmanın görece daha düşük düzeyde seyrettiği görülmektedir. Manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda ise diğer tüm görevlerden farklı olarak Mu ritmi baskılanmasının daha sınırlı olduğu ve nispeten daha yüksek güç değerleri ile öne çıktığı dikkat çekmektedir.



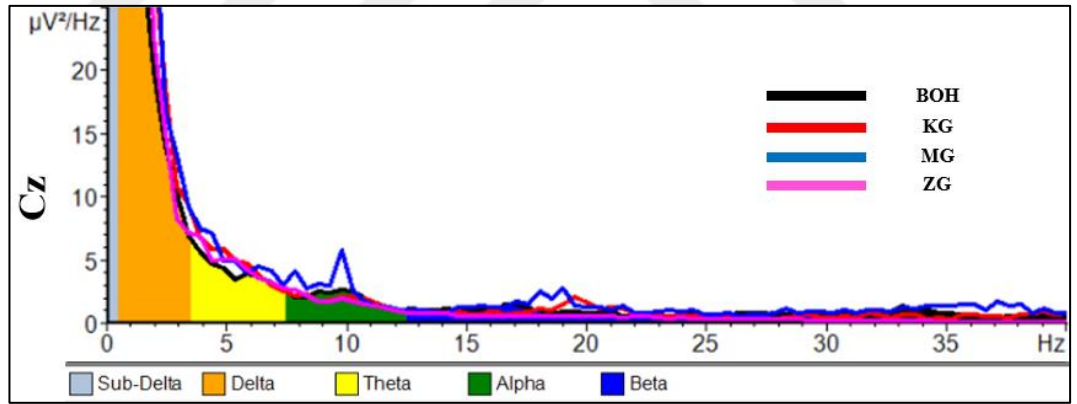
Şekil 4.20. C3 Kanalında ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.20 incelendiğinde, C3 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görev türlerine bağlı belirgin farklılıklar görülmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha güçlü olduğu, biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanmanın daha sınırlı düzeyde gerçekleştiği dikkat çekmektedir. Manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda ise motor görevlerin aksine daha yüksek güç değerlerinin ortaya çıktığı görülmektedir.



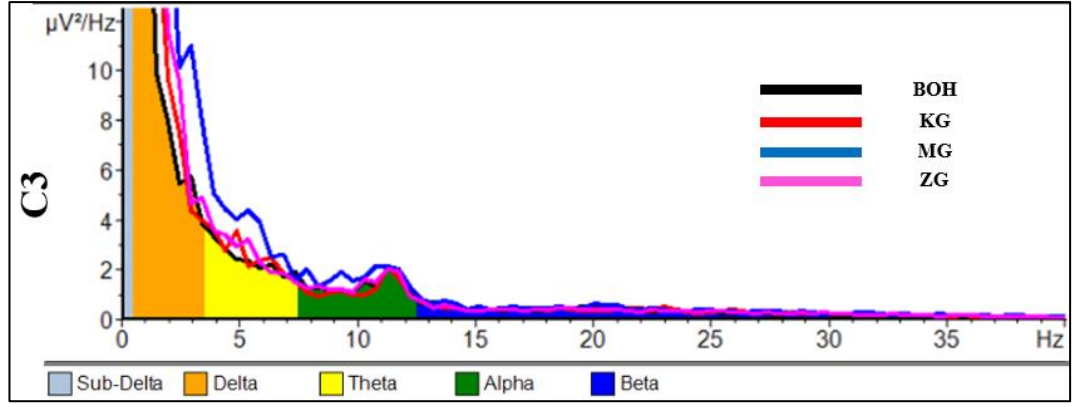
Şekil 4.21. C4 Kanalında ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.21 incelendiğinde, C4 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görev türlerine bağlı farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının belirgin şekilde arttığı görülmektedir. Biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanma görece sınırlı düzeyde kalırken, manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda diğer görevlerden farklı olarak daha yüksek güç değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



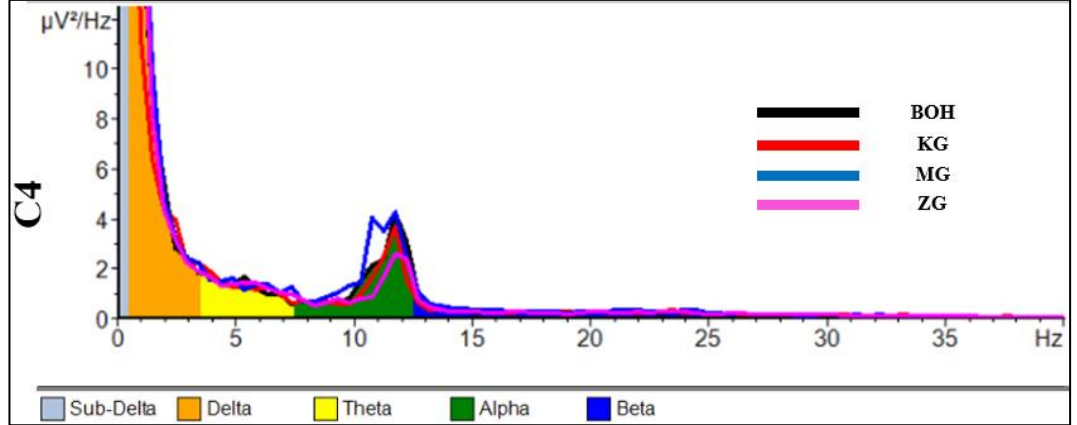
Şekil 4.22. Cz Kanalında ilişkisel aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.22 incelendiğinde, Cz kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görevler arasında belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha güçlü olduğu, biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanmanın görece daha sınırlı kaldığı dikkat çekmektedir. Manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda ise motor görevlerin aksine daha yüksek güç değerleri ortaya çıktığı görülmektedir.



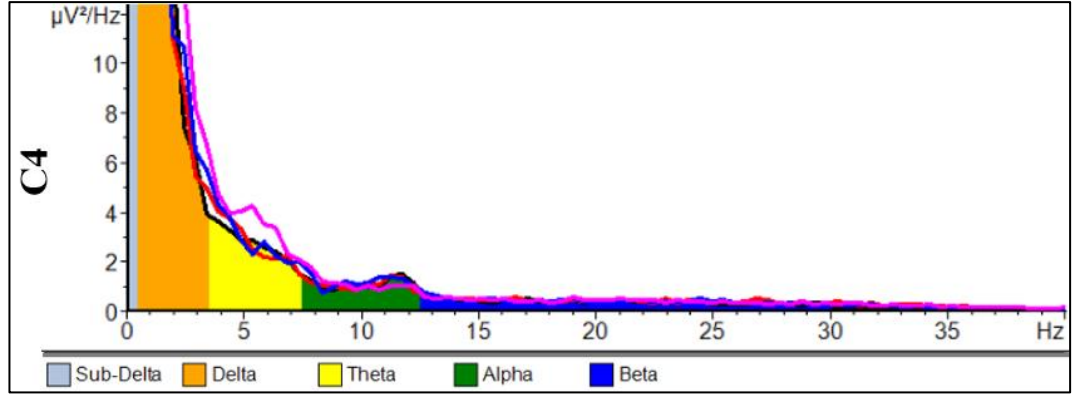
Şekil 4.23. C3 Kanalında otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.23 incelendiğinde, C3 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görevler arasında belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha güçlü olduğu, biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanmanın görece sınırlı düzeyde gerçekleştiği görülmektedir. Manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda ise motor görevlerden farklı olarak daha yüksek güç değerleri sergilendiği görülmektedir.



Şekil 4.24. C4 Kanalında otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.24 incelendiğinde, C4 kanalında 8–13 Hz frekans aralığında (Mu ritmi) görevler arasında belirgin farklılıklar gözlenmektedir. Motor görevler olan kolay görev (KG, kırmızı) ve zor görev (ZG, pembe) koşullarında Mu ritmi baskılanmasının daha belirgin olduğu görülmektedir. Biyolojik olmayan hareket (BOH, siyah) koşulunda baskılanma daha sınırlı düzeyde kalırken, manzara görüntüsü (MG, mavi) koşulunda diğer görevlerden farklı olarak görece daha yüksek güç değerleri sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.25. C4 Kanalında otonomi aşama grubunda görev değişkenine göre mu ritmi (8–13 Hz) bant gücünün karşılaştırılması.

Şekil 4.25 incelendiğinde, C4 kanalında özellikle 8–13 Hz aralığında (Mu ritmi) görevler arasında belirgin bir farklılık gözlenmemektedir. Tüm görevler (BOH, KG, MG, ZG) benzer bir seyir göstermekte olup Mu ritmi baskılanma düzeylerinin birbirine oldukça yakın olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte motor görevler (KG ve ZG) hafif düzeyde daha düşük güç değerleri sergilerken, MG koşulunun göreceli olarak daha yüksek seviyelerde seyrettiği görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, motor beceri öğrenme düzeyinin ayna nöron sistemi üzerindeki etkilerini incelenmek amacıyla tasarlanmıştır. Fitts ve Posner'in motor öğrenme modeline dayanılarak, bilişsel, ilişkisel ve otonom aşamalarda bulunan bireylerin farklı senaryolar karşısında ayna nöron aktivitelerindeki değişiklikler elektroensefalografi (EEG) yöntemiyle kaydedilmiş; böylece motor beceri öğrenme düzeyinin, çeşitli durumlar bağlamında ayna nöron sistemi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, öğrenme süreçlerinin nörofizyolojik temellerine ilişkin yenilikçi bir bakış açısı geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan iki yönlü karışık desenli ANOVA analizleri, görev türü ve grup düzeyi ana etkilerinin çalışmaya dahil edilen tüm kanallarda istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ($p < 0,05$). Ayrıca, C3 ve Cz elektrotlarında grup x görev etkileşiminin de istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). C3 kanalı için görev etkisi ($F(1,31;21) = 11,39$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,35$), grup etkisi ($F(2,21) = 6,22$, $p = 0,008$, $\eta^2 = 0,37$) ve grup x görev etkileşimi ($F(2,62;21) = 3,98$, $p = 0,022$, $\eta^2 = 0,275$) belirlenmiştir. Cz kanalı için görev etkisi ($F(1,59;21) = 28,17$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,57$), grup etkisi ($F(2;21) = 6,23$, $p = 0,007$, $\eta^2 = 0,37$) ve grup x görev etkileşimi ($F(3,18;21) = 7,97$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,43$) belirlenmiştir. Bu bulgular, görev türü ve grup düzeylerinin ayna nöron aktivitesindeki değişimleri istatistiksel olarak güçlü bir şekilde etkilediğini göstermektedir. C4 kanalında ise görev etkisi ($F(2,83;21) = 10,14$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,32$) ve grup etkisi ($F(2;21) = 21,495$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,672$) ana etkilerinin anlamlı olduğu, ancak grup x görev etkileşiminin anlamlı olmadığı ($F(5,67;21) = 0,80$, $p = 0,566$, $\eta^2 = 0,07$) belirlenmiştir ($p > 0,05$).

İnsanlarda ayna nöron sisteminin doğrudan ölçülmesi son derece güç olduğundan, bu sistemin etkinliği genellikle non-invaziv yöntemlerle incelenmekte ve EEG mu ritmi (8–13 Hz) en yaygın kullanılan göstergelerden biri olarak kabul edilmektedir (Fox et al., 2016). Bu çalışmada da katılımcıların motor öğrenme düzeylerine (bilişsel, ilişkisel ve otonom aşama) göre farklı gözlem görevlerinde sergiledikleri mu ritmi (8–13 Hz) aktivitesi karşılaştırılmıştır.

Mu ritmi, elektroensefalogramda (EEG) standart alfa bandı içerisinde (yetişkinlerde yaklaşık 8–13 Hz; çocuklarda ise yaklaşık 6–9 Hz) gözlemlenen ve

genliği bireyin gerçekleştirdiği eylemlere bağlı olarak değişkenlik gösteren bir frekans aktivitesi olarak tanımlanmaktadır (Lepage & Thoret, 2006; Muthukumaraswamy & Johnson, 2004; Pfurtscheller et al., 1997). Mu ritmi, birey dinlenme hâlindeyken özellikle motor korteks üzerinde yüksek genlikte gözlemlenmektedir; ancak birey motor bir hareket gerçekleştirdiğinde ya da başkasının motor hareketini izlediğinde, bu ritmin genliğinde anlamlı bir baskılanma meydana geldiği ifade edilmektedir (Cheron et al., 2016). Başka bir deyişle, mu ritmindeki baskılanma, motor sistem aktivasyonunun bir göstergesi olarak kabul edilmekte ve bu nedenle insanlarda ayna nöron sisteminin etkinliğini dolaylı olarak yansıttığı düşünülmektedir (Hobson & Bishop, 2017; Muthukumaraswamy & Johnson, 2004; Muthukumaraswamy et al., 2004; Oberman et al., 2007; Perry & Bentin, 2009; Pineda, 2005). 2016 yılında gerçekleştirilen ve 85 çalışmadan elde edilen verileri içeren bir meta-analiz, mu ritmindeki genlik azalmasının hem eylem gerçekleştirme (Cohen's $d = 0.46$) hem de eylem gözleme (Cohen's $d = 0.31$) sırasında önemli etki büyüklükleri gösterdiğini ve bu bulguların, EEG lmleri aracılığıyla insan ayna sistemi aktivitesine dair destekleyici kanıtlar sunduğunu ortaya koymuştur (Fox et al., 2016).

Kendine özgü uygulama-gözlem eşleştirme mekanizmalarıyla tanımlanan ayna nöronların, aynı zamanda belirgin bir seçicilik özelliği sergilediği bildirilmiştir. Bu nöronların, algılanan tüm hareketlere karşı değil, daha çok hedef odaklı ve gözlemcinin motor repertuarıyla uyumlu eylemlere karşı aktive oldukları söylenmektedir (Cannon et al., 2014). Örneğin, doğal yaşamlarında alet kullanımı gözlemlenmeyen maymunlar üzerinde yapılan tek hücre kayıtlarına dayalı alışmalar, Rhesus makaklarındaki ayna nöronların, aletle gerçekleştirilen eylemlere kendiliğinden tepki vermediğini göstermiştir. Elde edilen bu erken dönem bulguları, bu nöronların yalnızca elle yapılan kavrama, uzanma ve yerleştirme gibi eylemler sırasında aktive olduğunu; pense gibi bir aletle birlikte gerçekleştirilen hareketlerde ise bu aktivasyonun gözlenmediğini ortaya koymuştur. Bu durum, maymunların alet kullanımına dair motor deneyime sahip olmamaları nedeniyle, söz konusu eylemlerin motor sistemde temsiliyet bulamaması ve dolayısıyla ayna nöron sistemi tarafından eşleştirilememesi şeklinde yorumlanmıştır (Di Pellegrino et al., 1992; Rizzolatti, Fadiga, Gallese, et al., 1996).

Peki, motor beceri düzeyinin ayna nöron sisteminin aktivitesi üzerindeki etkisi nedir? Yapılan araştırmalar, belirli bir eylemde uzmanlaşmış bireylerin, aynı eylemi izlediklerinde beyinlerinde daha belirgin bir ayna nöron yanıtı ortaya koyduklarını ve bu bağlamda, premotor ile parietal korteksleri kapsayan "eylem gözlem ağı" olarak adlandırılan bölgelerdeki aktivitenin, gözlemcinin eyleme yönelik uzmanlık düzeyine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ortaya koymuştur. (Calvo-Merino et al., 2005; Cannon et al., 2014; Liew, Sheng, Margetis, et al., 2013). Bu bağlamda, birçok çalışmada, bireylerin aşına oldukları eylemleri gözlemlediklerinde, aşına olmadıkları eylemlere kıyasla ayna nöron sisteminde (ANS) daha güçlü bir aktivasyon gözlemlendiği belirtilmektedir (Calvo-Merino et al., 2010; Cross et al., 2006; Diersch et al., 2013; Kim et al., 2011). Aksine, bazı araştırmalar da aşına olunmayan eylemlerin gözlemlenmesinin, aşına olunan eylemlere kıyasla daha güçlü bir ayna nöron aktivasyonu ile ilişkilendirilebileceği ileri sürülmektedir (Cross, Liepelt, et al., 2012; Cross et al., 2013; Liew, Sheng, & Aziz-Zadeh, 2013; Liew et al., 2011). Uzman okçular ile okçuluk deneyimi olmayan bireyler arasında eylem gözlemi sırasında ayna nöron sistemi aktivasyonundaki farklılıkların incelendiği bir çalışmada, uzmanlarda premotor ve inferior parietal kortekslerde daha yüksek aktivasyon düzeyi görüldüğü bildirilmektedir (Kim et al., 2011). Ayrıca, zihin kuramı ve epizodik bellekle ilişkili bölgelerde gözlenen belirgin aktivasyon artışı, uzmanlığın motor ve bilişsel temsilleri birlikte etkilediğini ortaya koymaktadır. Calvo-Merino ve arkadaşları tarafından yürütülen diğer bir çalışmada, dansçılar yalnızca uzmanlaştıkları dans figürlerini izlediklerinde, premotor korteks, inferior parietal lobül ve superior temporal sulkus gibi ayna nöronlarla ilişkili beyin bölgelerinde daha güçlü aktivasyon gösterdiği belirtilmiştir (Calvo-Merino et al., 2005). Bu bulgu, ayna sisteminin gözlenen eylemleri bireyin kendi motor deneyimleriyle entegre ederek simüle ettiğini ve motor deneyimin, ayna nöron aktivasyonunu artıran belirleyici bir etken olduğunu ortaya koymaktadır. Cross ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, beş hafta boyunca belirli bir hareket dizisini öğrenen deneyimli dansçılarda, aşına olunmayan hareketlere kıyasla parietal ve premotor bölgelerde artan aktivasyon gözlemlenmiş ve bu bulguların, insan ayna sisteminin yalnızca kısa süreli uygulamalarla dahi modüle edilebileceğini ortaya koyduğu belirtilmiştir (Cross et al., 2006). Cross ve meslektaşları tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise nesne manipülasyonunda görev alan beyin bölgelerinden biri olan

intra parietal sulkusun aktivitesinin, katılımcıların yalnızca farklı düğümleri tanımlama ya da bağlama sürecini öğrenmeye yönelik olarak eğitilmelerine bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir; katılımcılar, sensörimotor deneyim yaşadıkları düğüm türlerini izlerken bu bölgede belirgin bir aktivasyon artışı gözlemlenmiş ve elde edilen bulgular, insan ayna sisteminin belirli motor eylemlerin kısa süreli uygulanmasıyla bile modüle edilebileceğini desteklemektedir (Cross, Cohen, et al., 2012). Marshall ve arkadaşları tarafından raporlandığı üzere, kısa süreli bir taklit deneyiminin bile gözlem sırasında mu ritmi üzerindeki etkinliği artırabildiği ifade edilmektedir (Marshall et al., 2009). Elit basketbol oyuncuları üzerinde yürütülen transkraniyal manyetik uyarım (TMS) ve fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) temelli bir çalışmada, sporcuların bir başkasının basket atışını izlerken gösterdikleri beyin aktivasyonlarının ve motor korteks uyarılabilirliğinin, yalnızca benzer görsel deneyime sahip ancak motor uzmanlığı bulunmayan antrenörler ve spor yazarlarına kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Aglioti et al., 2008). Profesyonel sporcuların, atış henüz tamamlanmadan önce yalnızca vücut diline dayanarak atışın isabetli olup olmayacağını diğer gruplara kıyasla daha hızlı ve doğru biçimde öngörebildikleri ortaya konmuştur. TMS bulguları, her iki grupta da atışların izlenmesi sırasında motor korteks uyarılabilirliğinde artış olduğunu göstermiştir; ancak yalnızca elit sporcularda, başarısız atışlara tepki olarak zamanlamaya duyarlı ve ayırt edici bir motor aktivasyon paterninin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, motor uzmanlığın, gözlenen eylemlerin yalnızca pasif takibini değil, aynı zamanda hareketin sonucunu öngörmeye ve hataları ayırt etmeye yönelik aktif bir motor simülasyon sürecini de desteklediğini göstermektedir. Sestito ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir EEG çalışmasında, uçuş uzmanlığına sahip pilotların iniş senaryolarını gözlemlerken, acemi katılımcılara kıyasla 8–13 Hz frekans bandında mu ritmi baskılanmasının (bant gücünde azalma) belirgin biçimde daha yüksek olduğu rapor edilmiştir (Sestito et al., 2018). Tenis sporcuları üzerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada (Denis ve ark., 2017), deneyimli tenisçilerin, tenis vuruşlarını gözlemlerken acemi oyunculara kıyasla daha erken başlayan ve daha yüksek genlikli mu/beta bandı baskılaması sergiledikleri rapor edilmiştir. Ayrıca, yalnızca deneyimli oyuncuların 11–13 Hz aralığındaki yüksek mu bandında anlamlı bir baskılanma gösterdiği bildirilmiştir (Denis et al., 2017). Bu doğrultuda,

söz konusu bulgular, farklı uzmanlık düzeylerindeki bireyler arasında ayna nöron sistemi aktivasyonunda sistematik farklılıklar bulunduğunu desteklemektedir.

Mevcut çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, ilişkisel (associative) aşamada bulunan katılımcıların her iki görevde de en düşük düzeyde ayna nöron aktivite baskılanması göstermeleridir. Bu bulgu, eylem gözlemine verilen nöral yanıtın doğrusal olmayan bir örüntü sergileyebileceğine işaret etmektedir. Başka bir ifadeyle hem tamamen yeni bir uyarının hem de yüksek düzeyde aşinalık içeren bir uyarının ayna nöron sistemini güçlü biçimde aktive edebildiği; buna karşın, orta düzeyde aşinalık durumunda söz konusu aktivasyonun görece sınırlı düzeyde seyrettiği görülmektedir. Liew ve arkadaşlarının da vurguladığı üzere, alışılmadık bir eylemi anlamlandırmaya yönelik bilişsel çaba ile iyi öğrenilmiş bir eylemin hatırlanması ya da zihinsel olarak simüle edilmesi süreçleri, her iki durumda da ayna nöron ağında yüksek düzeyde aktivasyona yol açabilmektedir (Liew, Sheng, Margetis, et al., 2013). Çalışmamızda gözlemlenen acemi-uzman farkları, aksiyon gözlem ağının hem yenilik hem de uzmanlık etkilerine duyarlı olduğunu göstermektedir. Alışılmadık eylemler, anlamlandırma çabası yoluyla; iyi öğrenilmiş eylemler ise otomatik zihinsel simülasyon yoluyla ayna nöron ağında güçlü aktivasyon oluşturabilmektedir. Zorlayıcı bir hareketin gözlemlenmesi durumunda, gözlemcinin —özellikle bu harekette deneyimli ise— eylemi kendi motor repertuarıyla eşleştirmek ve sonucunu öngörmek için daha güçlü bir sensorimotor katılım sergilemesi olasıdır. Bu durum, EEG verilerinde daha belirgin mu ritmi baskılanması olarak ortaya çıkar. Nitekim literatürde, uzman bir sporcunun karmaşık bir hareketi (örneğin bir jimnastik serisi veya zor bir tenis vuruşu) izlerken, acemi bir bireye kıyasla daha güçlü ayna nöron yanıtları ürettiği gösterilmiştir. Bu bulgu, zorlayıcı hareketlerin daha fazla motor imgeleme ve eylem öngörüsü gerektirmesiyle açıklanmaktadır (Denis et al., 2017). Dolayısıyla, mevcut çalışmada gözlenen “zor görev> kolay görev” hiyerarşisi, eylemin zorluk derecesinin ayna nöron sistemini (ANS) harekete geçirme gücüyle doğru orantılı olabileceğine işaret etmektedir.

Nörogörüntüleme çalışmalarına göre, motor öğrenmenin erken evrelerinde prefrontal ve parietal bölgelerde (özellikle dikkat ve çalışma belleğiyle ilişkili dorsolateral prefrontal kortekste) yüksek aktivite olduğunu; beceri otomatikleştikçe aktivitenin primer motor, premotor ve suplemer motor alanlar gibi sensorimotor

merkezlere kaydığını göstermektedir (Marinelli et al., 2017). Özetle, motor öğrenmenin başlangıç evrelerinde bilişsel kontrol ağları baskın olup frontal korteks yüksek düzeyde etkinlik gösterirken, uzmanlık düzeyi arttıkça motor yürütüm ağları devreye girmekte ve frontal aktivite belirgin şekilde azalmaktadır. Bu geçiş, eylemlerin artık görsel-bilişsel stratejilerden ziyade doğrudan motor programlar aracılığıyla yürütüldüğünü ortaya koymaktadır. Mevcut çalışmada, farklı öğrenme aşamalarındaki gruplar arasında gözlemlenen mu ritmi farklılıkları, yukarıda özetlenen nörofizyolojik model ile uyumludur. BA (acemi) grubu katılımcıları, izledikleri motor eylemleri anlamlandırmak ve kendi motor repertuvarlarında temsil edebilmek için yoğun bir sinirsel çaba sarf etmiş görünmektedir. Nitekim bu grupta, pasif duruma kıyasla eylem gözlemi sırasında mu ritminde belirgin bir baskılanma gözlenmiştir. Bu durum, bilişsel aşamadaki bireylerin gözlemledikleri hareketleri içselleştirmek amacıyla güçlü bir ayna nöron yanıtı ürettiklerini ve eylemi adeta kendileri gerçekleştiriyormuş gibi motor simülasyon süreçlerini devreye aldıklarını düşündürmektedir. İA (ilişkisel) grubunda ise hem zor hem de kolay görevlerde mu ritmi bilişsel aşama (BA) ve otonomi/uzmanlık aşamasına (OA) kıyasla kısmen baskılanmıştır. Bu bulgu, hareketleri kısmen öğrenmiş olan katılımcıların hâlen hataya duyarlı izleme ve pekiştirme mekanizmalarını etkin biçimde kullandığını göstermektedir. Fitts ve Posner'ın üç aşamalı modeline göre ilişkisel aşama, temel hareket sıralamasının öğrenildiği ancak performansın tam olarak otomatikleşmediği bir geçiş dönemidir (Fitts & Posner, 1967). Başka bir ifadeyle, ilişkisel aşamadaki bireyler hareketin temel koordinasyonunu öğrenmiş olsalar da eylemi izlerken hâlen ne yapacaklarını planlama ve bilinçli düzeltmeler yapma eğilimindedir. Bu devam eden bilinçli işleme süreci, eylem gözlemi sırasında motor simülasyon mekanizmalarının kısmen baskılanmasına ve buna bağlı olarak mu ritmindeki baskılanmanın düşük seyretmesine yol açabilir. Dolayısıyla, mevcut çalışmada ilişkisel aşamada gözlemlenen düşük mu desenkronizasyonu, motor öğrenmenin bu geçiş evresine özgü nörofizyolojik adaptasyonları yansıtmakta ve literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. OA grubunun genel olarak diğer gruplara kıyasla daha düşük alfa güç değerlerine, yani daha yüksek düzeyde sürekli mu baskılanmasına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, uzmanların motor kortekslerinde istirahat hâlinde dahi daha baskılanmış bir mu ritmi (veya daha aktif bir ayna sistem temel durumu) bulunduğunu düşündürmektedir. Literatürde sporcularda dinelenimde bile sensomotor ritimlerin

farklılaşabildiğine dair bulgular mevcut olup, uzmanların beyinlerinin ilgili hareketlere karşı daha hazırlıklı ve “verimli” (neural efficiency) çalıştığı öne sürülmektedir (Kim et al., 2011).

Ayna nöron sisteminin dikkat çekici özelliklerinden biri, yalnızca belirli türdeki uyaranlara yanıt vermesidir. Özellikle amaçlı ve biyolojik nitelikteki hareketler, bu sistemi güçlü biçimde aktive ederken; anlamsız veya biyolojik olmayan hareketler benzer bir etki oluşturmaz. İncelenen çalışmada da bu amaç doğrultusunda dört ayrı senaryo tasarlanmıştır: (i) kolay motor görev –voleybolda alttan servis atışı gibi nispeten basit bir insan hareketi, (ii) zor motor görev – smaç servis atışı gibi daha karmaşık ve ustalık gerektiren bir biyolojik hareket, (iii) biyolojik olmayan hareket – insan hareketi içermeyen, yerde yuvarlanan bir top hareketi ve (iv) plasebo/dinlenme koşulu – motor sistem için nötr olan, durağan bir manzara görüntüsü. Bu senaryolar, beynin insan eylemlerine verdiği tepkiler ile yalnızca nesne hareketlerine verdiği tepkileri ayırt etmeyi mümkün kılmaktadır. Ayna nöronlar, doğaları gereği, başka bir canlı tarafından gerçekleştirilen ve amaç içeren hareketlere özgül bir duyarlılık göstermektedir. Nitekim maymunlarda yürütülen klasik deneyler, ayna nöronların bir alet kullanımını bile ancak altında bir biyolojik etken olduğunda kodladığını ortaya koymuştur. Örneğin, bir maymunun elinde bir araçla (örneğin bir sopa) bir objeyi itme hareketi yapması gözlemlendiğinde, belirli ayna nöronlar ateşlenmektedir; ancak aynı aracın kendi kendine, yani hiçbir canlı etken olmadan hareket etmesi, bu nöronlarda herhangi bir aktivasyon oluşturmamaktadır (Fox et al., 2016). Mevcut deneyde, biyolojik olmayan hareket ve durağan görüntü koşulları, motor görevlerin aksine çok sınırlı bir mu ritmi baskılanmasına yol açmıştır ki bu sonuç beklentilerle örtüşmektedir. Nitekim Hobson ve Bishop tarafından yürütülen kapsamlı bir EEG çalışması, insan eli hareketlerinin izlenmesi sırasında merkezi elektrotlarda (C3/C4) anlamlı bir mu ritmi baskılanması gözlemlendiğini, buna karşın kaleidoskop gibi biyolojik olmayan görsel hareketleri izlerken benzer bir etkinin ancak özel karşılaştırma koşulları altında ortaya çıkabildiğini göstermiştir (Hobson & Bishop, 2016).

Çalışmadaki plasebo koşulu, tam anlamıyla bir kontrol durumu işlevi görmektedir. Hareketsiz ve durağan bir görüntünün izlenmesi, katılımcının yalnızca gözleri açık biçimde ekrana baktığı, baseline olarak kabul edilen bir durum sağlar. EEG çalışmalarında bu tür statik sahneler veya boş ekran periyotları, karşılaştırma

amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Çünkü motor sistemi uyaracak herhangi bir bilgi içermeyen bu koşullarda mu ritmi genellikle yüksek genlikli ve senkronize kalır; bu durum, hareket gözlemlenen senaryolarla karşılaştırıldığında güvenilir bir referans noktası sunar. Literatürdeki bulgular, biyolojik hareket ile biyolojik olmayan hareket gözleminin EEG çıktıları açısından belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır. Genel eğilim, biyolojik hareketlerin izlenmesinin, mu ritminde anlamlı bir baskılama (güç azalması) oluşturduğu yönündedir. Bu durum, hareketin gözlemlenmesi sırasında sensörimotor korteksin ve özellikle ayna nöron sistemiyle ilişkili premotor ve parietal bölgelerin aktive olduğunu göstermektedir (Cheron et al., 2016). Özetle, literatür, ayna nöron sisteminin etkin biçimde uyarılabilmesi için hareketin belirli bir anlam ve amaca sahip olmasının kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, incelenen deneyde kullanılan “yuvarlanan top” ve “durağan manzara” koşulları, mu ritmindeki dalgalanmaların gerçekten ayna nöron aktivitesinden mi yoksa yalnızca genel dikkat ve görsel işlemden mi kaynaklandığını ayırt etmek açısından önemli bir işlev görmektedir. Örneğin, bir katılımcının EEG’sinde insan tarafından gerçekleştirilen bir servis atışını izlerken güçlü bir mu baskılanması gözlenirken, yalnızca topun yuvarlanmasını izlerken minimal bir değişim ortaya çıkması, bu farkın ayna nöron sisteminin özgülüğünü yansıttığını gösterir. Bu tür bir bulgu, ayna nöron kuramının temel öngörüsüyle uyumludur: Hareketin arkasında bir insan ve niyet varsa ayna nöronlar devrededir; yoksa beklemededir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, motor beceri öğrenme düzeyinin ayna nöron sistemi aktivitesi üzerindeki etkileri, Fitts ve Posner'in üç aşamalı motor öğrenme modeli çerçevesinde bilişsel, ilişkisel ve otonom aşamalarındaki bireyler üzerinden incelenmiş ve EEG ile kaydedilen mu ritmi (8–13 Hz) baskılanma bulguları hem görev türü hem de grup düzeyinin ayna nöron aktivitesinde anlamlı ve güçlü etkiler yarattığını ortaya koymuştur. Bilişsel (acemi) aşamadaki katılımcılar, izledikleri motor eylemleri anlamlandırmak ve kendi motor repertuarlarında temsil edebilmek için yoğun bir bilişsel çaba sergilemiş; bu süreç motor simülasyon mekanizmalarının güçlü biçimde devreye girmesine ve mu ritminde belirgin baskılanmaya yol açmıştır. İlişkisel (associative) aşamadaki katılımcılar ise her iki görevde de görece düşük düzeyde mu ritmi baskılaması göstermiş, bu durum hareketleri kısmen öğrenmiş olmalarına rağmen eylemi tam anlamıyla otomatikleştirmemiş olmaları ve hâlen hataya duyarlı izleme ile bilinçli düzeltme süreçlerini sürdürmeleriyle açıklanmıştır; bu aşamada ne tamamen yeni bir uyaran karşısında görülen yoğun anlamlandırma çabası ne de yüksek düzeyde uzmanlıkta ortaya çıkan otomatik zihinsel simülasyon süreci tam olarak devreye girmiştir. Otonom (uzman) aşamadaki katılımcılar ise özellikle uzmanlık alanlarına giren karmaşık görevleri izlerken en güçlü ve sürekli mu ritmi baskılanmasını sergilemiş, bu durum hareketlerin motor kortekste yüksek düzeyde temsil edilmesi, sensorimotor ağlarda otomatik olarak tetiklenen zihinsel simülasyon süreçlerinin devreye girmesi ve hareketin sonucuna ilişkin öngörülerin hızlı biçimde yapılabilmesiyle ilişkilendirilmiştir. Görev zorluk düzeyine ilişkin bulgular, zor görevlerin kolay görevlere kıyasla ayna nöron sistemini daha güçlü biçimde aktive ettiğini; biyolojik olmayan hareket ve durağan görüntü koşullarında sınırlı mu ritmi baskılanması gözlenmesi ise sistemin yalnızca anlamlı ve amaçlı insan hareketlerine özgül bir duyarlılık gösterdiğini teyit etmiştir.

Sonuç olarak, motor beceri düzeyi, görev zorluk derecesi ve uyaran türü, ayna nöron aktivitesini birlikte şekillendiren temel faktörler olarak belirlenmiş; elde edilen bulguların spor antrenmanı ve rehabilitasyon alanlarında model gösterimi ve gözlemsel pratiğin stratejik kullanımının öğrenme verimliliğini artırabileceğini ortaya koyduğu sonucuna varılmıştır.

Bu doğrultuda, mevcut bulguların ışığında;

- Gözlemsel pratiğin motor öğrenme üzerindeki etkisini göstermektedir; bu nedenle sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) ortamlarında, farklı zorluk seviyelerindeki görevlerin ayna nöron sistemi aktivasyonuna etkisini inceleyen çalışmalar yapılabilir.
- Ayna nöron aktivitesini artırmaya yönelik EEG tabanlı nörofeedback protokolleri geliştirilerek, sporcuların veya rehabilitasyon hastalarının performans ve iyileşme süreçlerine etkisi test edilebilir.
- Çocuk, genç ve yetişkin katılımcılar ile farklı deneyim seviyelerindeki bireylerde ayna nöron yanıtının yaşa ve öğrenme aşamasına göre nasıl değiştiğini ortaya koyan geniş örneklemli çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abhang, P. A., Gawali, B. W., & Mehrotra, S. C. (2016). *Introduction to EEG-and speech-based emotion recognition*. Academic Press.
- Aglioti, S. M., Cesari, P., Romani, M., & Urgesi, C. (2008). Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature neuroscience*, 11(9), 1109-1116. <https://doi.org/10.1038/nn.2182>
- Akşit, S. (2023). *Otizm spektrum bozukluğu tanısı konmuş çocuklarda fiziksel aktivite müdahalesinin beyin ve bilişsel gelişim üzerindeki etkileri: Bir EEG çalışması* Pamukkale Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Alay, O. (2023). *6-10 Yaş Grubu Çocuklarda Covid-19 Sürecinin Motor Beceri Üzerine Etkisinin Karşılaştırılması* Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Algan, B. (2019). *Ayna Nöronlar Bağlamında Tiyatroda Yabancılaştırma Kavramının Seyirci Üzerindeki Etkisi* Haliç Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Altınbaş, K., Gülöksüz, S., Özçetinkaya, S., & Oral, E. T. (2010). Empatinin biyolojik yönleri. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 2(1), 15-25.
- Anders, S., Sack, B., Pohl, A., Münze, T., Pramstaller, P., Klein, C., & Binkofski, F. (2012). Compensatory premotor activity during affective face processing in subclinical carriers of a single mutant Parkin allele. *Brain*, 135(4), 1128-1140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/aws040>
- Apak, S. (2009). "Korpus Kallozum" Beynin Merkezindeki Gizemli Bölge. *Güncel Pediatri*, 8(1), 142-146.
- Arbib, M. A. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and brain sciences*, 28(2), 105-124.
- Ashraf, R., Abdoli, B., Khosrowabadi, R., Farsi, A., & Pineda, J. A. (2023). The Effect of Modeling Methods on Mirror Neuron Activity and a Motor Skill Acquisition and Retention. *Basic and Clinical Neuroscience*, 14(5), 631. <https://doi.org/10.32598/bcn.2021.3245.1>
- Ashwal, S., & Rust, R. (2003). Child neurology in the 20th century. *Pediatric research*, 53(2), 345-361. <https://doi.org/https://doi.org/10.1203/01.PDR.0000047655.66475.52>
- Avcı, D. E., & Yağbasan, R. (2008). Beyin yarı kürelerinin baskın olarak kullanılmasına yönelik öğretim stratejileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 28(2), 1-18.
- Aydemir, Ö., & Kayıkçıoğlu, T. (2009). EEG tabanlı beyin bilgisayar arayüzleri. *Akademik Bilişim*, 9, 11-13.
- Balser, N., Lorey, B., Pilgramm, S., Naumann, T., Kindermann, S., Stark, R., Zentgraf, K., Williams, A. M., & Munzert, J. (2014). The influence of expertise on brain activation of the action observation network during anticipation of tennis and volleyball serves. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 568.
- Balyi, I., Way, R., & Higgs, C. (2013). *Long-term athlete development*. Human Kinetics.
- Basinger, H., & Hogg, J. P. (2019). Neuroanatomy, brainstem.
- Bayer, G. (2017). *Investigation and Assessment of Mirror Neuron Activity for Rehabilitation Purposes* Hacettepe University]. Ulusal Tez Merkezi.
- Bazzini, M. C., Nuara, A., Scalona, E., De Marco, D., Rizzolatti, G., Avanzini, P., & Fabbri-Destro, M. (2022). The proactive synergy between action observation and execution in the acquisition of new motor skills. *Frontiers in human neuroscience*, 16, 793849. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.793849>
- Bisio, A., Casteran, M., Ballay, Y., Manckoundia, P., Mourey, F., & Pozzo, T. (2012). Motor resonance mechanisms are preserved in Alzheimer's disease patients. *Neuroscience*, 222, 58-68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.07.017>

- Bisley, J. W., & Goldberg, M. E. (2010). Attention, intention, and priority in the parietal lobe. *Annual review of neuroscience*, 33(1), 1-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152823>
- Bonda, E., Petrides, M., Frey, S., & Evans, A. (1994). Frontal cortex involvement in organized sequences of hand movements: evidence from a positron emission tomography study. *Soc Neurosci Abstr*,
- Börklü, T. (2008). *Takım sporu yapan kişilerde hemisferik farklılıkların uyarılma potansiyelleri ile belirlenmesi* Erciyes Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Brinkman, L., Stolk, A., Dijkerman, H. C., de Lange, F. P., & Toni, I. (2014). Distinct roles for alpha-and beta-band oscillations during mental simulation of goal-directed actions. *Journal of Neuroscience*, 34(44), 14783-14792.
- Brunsdon, V. E., Bradford, E. E., Smith, L., & Ferguson, H. J. (2020). Short-term physical training enhances mirror system activation to action observation. *Social Neuroscience*, 15(1), 98-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/17470919.2019.1660708>
- Buccino, G., & Riggio, L. (2006). The role of the mirror neuron system in motor learning. *Kinesiology*, 38(1.), 5-15.
- Buzdağı, Y. (2022). *Farklı yoğunlukta uygulanan egzersizin serebral kan akışına ve bilişsel fonksiyon üzerine etkisi* Ankara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Calvo-Merino, B., Ehrenberg, S., Leung, D., & Haggard, P. (2010). Experts see it all: configural effects in action observation. *Psychological Research PRPF*, 74(4), 400-406. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00426-009-0262-y>
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., & Haggard, P. (2005). Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers. *Cerebral cortex*, 15(8), 1243-1249. <https://doi.org/Action> observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (2015). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Ravenio books.
- Cannon, E. N., Yoo, K. H., Vanderwert, R. E., Ferrari, P. F., Woodward, A. L., & Fox, N. A. (2014). Action experience, more than observation, influences mu rhythm desynchronization. *PloS one*, 9(3), e92002. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092002>
- Cano-De-La-Cuerda, R., Molero-Sánchez, A., Carratalá-Tejada, M., Alguacil-Diego, I., Molina-Rueda, F., Miangolarra-Page, J., & Torricelli, D. (2015). Theories and control models and motor learning: clinical applications in neurorehabilitation. *Neurología (English Edition)*, 30(1), 32-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2011.12.012>
- Chaudhuri, A., & Behan, P. O. (2000). Fatigue and basal ganglia. *Journal of the neurological sciences*, 179(1-2), 34-42. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-510X\(00\)00411-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-510X(00)00411-1)
- Cheron, G., Petit, G., Cheron, J., Leroy, A., Cebolla, A., Cevallos, C., Petieau, M., Hoellinger, T., Zarka, D., & Clarinval, A.-M. (2016). Brain oscillations in sport: toward EEG biomarkers of performance. *Frontiers in psychology*, 7, 246. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00246>
- Clark, D. J., & Patten, C. (2013). Eccentric versus concentric resistance training to enhance neuromuscular activation and walking speed following stroke. *Neurorehabilitation and neural repair*, 27(4), 335-344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1545968312469833>
- Coker, C. (2017). *Motor learning and control for practitioners*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315185613>

- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making. *PLoS biology*, 10(3), e1001293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
- Cook, R., Bird, G., Catmur, C., Press, C., & Heyes, C. (2014). Mirror neurons: from origin to function. *Behavioral and brain sciences*, 37(2), 177-192. <https://doi.org/doi:10.1017/S0140525X13000903>
- Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Guevara, M. A., Arce, C., & Gutierrez, S. (1993). Gender differences in the eeg during cognitive activity. *International Journal of Neuroscience*, 72(3-4), 257-264. <https://doi.org/https://doi.org/10.3109/00207459309024114>
- Coşan, E. (2016). Beyin ve bilinç evrimi/evolution of the brain and consciousness. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 38(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.20515/otd.40496>
- Cross, E. S., Cohen, N. R., Hamilton, A. F. d. C., Ramsey, R., Wolford, G., & Grafton, S. T. (2012). Physical experience leads to enhanced object perception in parietal cortex: insights from knot tying. *Neuropsychologia*, 50(14), 3207-3217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.09.028>
- Cross, E. S., Hamilton, A. F. d. C., & Grafton, S. T. (2006). Building a motor simulation de novo: observation of dance by dancers. *Neuroimage*, 31(3), 1257-1267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.033>
- Cross, E. S., Liepelt, R., de C. Hamilton, A. F., Parkinson, J., Ramsey, R., Stadler, W., & Prinz, W. (2012). Robotic movement preferentially engages the action observation network. *Human brain mapping*, 33(9), 2238-2254. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.21361>
- Cross, E. S., Stadler, W., Parkinson, J., Schütz-Bosbach, S., & Prinz, W. (2013). The influence of visual training on predicting complex action sequences. *Human brain mapping*, 34(2), 467-486. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.21450>
- Çemç, M. S. (2023). *Elit boksörlerin travmatik beyin hasarı riskinin incelenmesi* Atatürk Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Çimen, E. (2022). Sporda beceri öğrenimi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimi*, 131.
- Demir, E. A., & Gergerlioğlu, H. S. (2012). Ayna nöron sistemine genel bakış. *Eur J Basic Med Sci*, 2(4), 122-126.
- Denis, D., Rowe, R., Williams, A. M., & Milne, E. (2017). The role of cortical sensorimotor oscillations in action anticipation. *Neuroimage*, 146, 1102-1114. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.022>
- Deutsch, G. (1997). *Left brain, right brain: Perspectives from cognitive neuroscience*. Freeman.
- Deweert, B., Pillon, B., Pochon, J., & Dubois, B. (2001). Is the HM story only a 'remote memory'? Some facts about hippocampus and memory in humans. *Behavioural brain research*, 127(1-2), 209-224. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-4328\(01\)00366-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-4328(01)00366-7)
- Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, 91, 176-180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Di Pietro, F., McAuley, J. H., Parkitny, L., Lotze, M., Wand, B. M., Moseley, G. L., & Stanton, T. R. (2013). Primary somatosensory cortex function in complex regional pain syndrome: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Pain*, 14(10), 1001-1018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.04.001>
- Diersch, N., Mueller, K., Cross, E. S., Stadler, W., Rieger, M., & Schütz-Bosbach, S. (2013). Action prediction in younger versus older adults: neural correlates of motor familiarity. *PloS one*, 8(5), e64195. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064195>

- Doyon, J., Penhune, V., & Ungerleider, L. G. (2003). Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia*, 41(3), 252-262. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00158-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00158-6)
- Dubin, M. W. (2013). *How the brain works*. John Wiley & Sons.
- Ekici, Ö. K. (2015). *Sinir Sistemi Nedir? Sinir Sistemini Oluşturan Organlar Neler?* TÜBÜTAK. Retrieved 21.06.2025 from <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/insan-beyninin-yapisi-nasildir>
- Ersoy, E., & Köşger, F. (2016). Empati: Tanımı ve Önemi/empathy: Definition and its importance. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 38(2), 9-17.
- Ertürk, Ç., & Mutuş, R. (2022). Ayna Nöronların Aktivitesi ve Çeşitli Hastalıklar Üzerine Etkisi. *Istanbul Gelisim University Journal of Health Sciences*(17), 648-657. <https://doi.org/https://doi.org/10.38079/igusabder.1142369>
- Fadiga, L., & Craighero, L. (2004). Electrophysiology of action representation. *Journal of clinical Neurophysiology*, 21(3), 157-169.
- Farina, E., Baglio, F., Pomati, S., d'Amico, A., Campini, I. C., Di Tella, S., Belloni, G., & Pozzo, T. (2017). The mirror neurons network in aging, mild cognitive impairment, and Alzheimer disease: A functional MRI study. *Frontiers in aging neuroscience*, 9, 371. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00371>
- Felten, D. L., O'Banion, M. K., & Maida, M. E. (2015). *Netter's atlas of neuroscience*. Elsevier Health Sciences.
- Ferrari, P. F., Gerbella, M., Coudè, G., & Rozzi, S. (2017). Two different mirror neuron networks: the sensorimotor (hand) and limbic (face) pathways. *Neuroscience*, 358, 300-315. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.06.052>
- Ferrari, P. F., Rozzi, S., & Fogassi, L. (2005). Mirror neurons responding to observation of actions made with tools in monkey ventral premotor cortex. *Journal of cognitive neuroscience*, 17(2), 212-226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1162/0898929053124910>
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). Human performance.
- Fogassi, L., & Ferrari, P. F. (2007). Mirror neurons and the evolution of embodied language. *Current directions in psychological science*, 16(3), 136-141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2007.00491.x>
- Fox, N. A., Bakermans-Kranenburg, M. J., Yoo, K. H., Bowman, L. C., Cannon, E. N., Vanderwert, R. E., Ferrari, P. F., & Van IJzendoorn, M. H. (2016). Assessing human mirror activity with EEG mu rhythm: A meta-analysis. *Psychological bulletin*, 142(3), 291. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/bul0000031>
- Frenkel-Toledo, S., Bentin, S., Perry, A., Liebermann, D. G., & Soroker, N. (2013). Dynamics of the EEG power in the frequency and spatial domains during observation and execution of manual movements. *Brain research*, 1509, 43-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.03.004>
- Furley, P. A., & Memmert, D. (2010). The role of working memory in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 3(2), 171-194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/1750984X.2010.526238>
- Furukawa, Y., Uehara, K., & Furuya, S. (2017). Expertise-dependent motor somatotopy of music perception. *Neuroscience Letters*, 650, 97-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.04.033>
- Gallahue, D. L. (1982). Understanding motor development in children. (No Title).
- Gallahue, D. L. (1989). Understanding motor development: Infants, children. *Adolescents*, 200-236.

- Gallahue, D. L., & Donnelly, F. C. (2007). *Developmental physical education for all children*. Human Kinetics.
- Gallese, V., & Goldman, A. (1998). Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in cognitive sciences*, 2(12), 493-501.
- Gastaut, H. J., & Bert, J. (1954). EEG changes during cinematographic presentation (Moving picture activation of the EEG). *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 6, 433-444. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694\(54\)90058-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694(54)90058-9)
- Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: does the corpus callosum enable the human condition? *Brain*, 123(7), 1293-1326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/123.7.1293>
- Gentile, A. M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17(1), 3-23.
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *International journal of endocrinology and metabolism*, 10(2), 486.
- Gökmen, N., Öñiz, A., Bayazit, O., Erdoğan, U., Akkan, T., Özkurt, A., & Özgören, M. (2009). Spinal Cerrahi Operasyonlarında EEG Monitörlemesini Etkileyen İşitsel ve Elektromanyetik Gürültünün İrdelenmesi. *Journal of Neurological Sciences*, 26(4).
- Grodzinsky, Y., & Friederici, A. D. (2006). Neuroimaging of syntax and syntactic processing. *Current opinion in neurobiology*, 16(2), 240-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.03.007>
- Guyton, A., Hall, J., Çavuşoğlu, H., Yeğen, B., Aydın, Z., & Alica, İ. (2007). Tıbbi fizyoloji: Nobel Tıp Kitabevleri. *Kalbin ritmik uyarılması*, 116-122.
- Gümüşdağ, H., & Yıldırım, M. (2018). *Spor bilimlerinde çocuklarda motor gelişim*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Han, Y., Syed Ali, S. K. B., & Ji, L. (2022). Use of observational learning to promote motor skill learning in physical education: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(16), 10109. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph191610109>
- Hänggi, J., Koeneke, S., Bezzola, L., & Jäncke, L. (2010). Structural neuroplasticity in the sensorimotor network of professional female ballet dancers. *Human brain mapping*, 31(8), 1196-1206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.20928>
- Harı, E., Cengiz, C., Kılıç, F., & Yurdakoş, E. (2021). Ayna nöron sistemi ve fonksiyonlarına klinik yaklaşım. *Journal of Istanbul Faculty of Medicine*, 84(3), 430-438. <https://doi.org/https://doi.org/10.26650/IUITFD.2021.814218>
- Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(25), 15061-15065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.95.25.15061>
- Heinrich, H., Gevensleben, H., & Strehl, U. (2007). Annotation: Neurofeedback—train your brain to train behaviour. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(1), 3-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2006.01665.x>
- Higgins, S. (1991). Motor skill acquisition. *Physical therapy*, 71(2), 123-139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ptj/71.2.123>
- Hobson, H. M., & Bishop, D. V. (2016). Mu suppression—a good measure of the human mirror neuron system? *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 82, 290. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.03.019>
- Hobson, H. M., & Bishop, D. V. (2017). The interpretation of mu suppression as an index of mirror neuron activity: past, present and future. *Royal Society open science*, 4(3), 160662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rsos.160662>
- Hoogerheide, V., van Wermeskerken, M., van Nassau, H., & van Gog, T. (2018). Model-observer similarity and task-appropriateness in learning from video modeling

- examples: Do model and student gender affect test performance, self-efficacy, and perceived competence? *Computers in Human Behavior*, 89, 457-464. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.11.012>
- Işık, E. (2023). *Kadın voleybolcularda göz-el tepki süresinin yaşa göre İncelenmesi* Kirsehir Ahi Evran University (Turkey)].
- Jasper, H. H. (1958). Ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10, 371-375.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jerjian, S. J., Sahani, M., & Kraskov, A. (2020). Movement initiation and grasp representation in premotor and primary motor cortex mirror neurons. *Elife*, 9, e54139. <https://doi.org/https://doi.org/10.7554/eLife.54139>
- Jing, Y.-h., Lin, T., Li, W.-q., Wu, C., Li, X., Ding, Q., Wu, M.-f., Xu, G.-q., & Lan, Y. (2020). Comparison of activation patterns in mirror neurons and the swallowing network during action observation and execution: a task-based fMRI study. *Frontiers in neuroscience*, 14, 867. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00867>
- Kayahan, B., Öztürk, Ö., & Veznedaroğlu, B. (2005). Şizofrenide obsesif kompulsif belirtiler. *Türk Psikiyatri Derg*, 16(3), 205-215.
- Kee, Y. H. (2019). Reflections on athletes' mindfulness skills development: Fitts and Posner's (1967) three stages of learning. *Journal of Sport Psychology in Action*, 10(4), 214-219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1549640>
- Kim, J.-C., & Lee, H.-M. (2021). EEG-based evidence of mirror neuron activity from app-mediated stroke patient observation. *Medicina*, 57(9), 979. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/medicina57090979>
- Kim, Y.-T., Seo, J.-H., Song, H.-J., Yoo, D.-S., Lee, H. J., Lee, J., Lee, G., Kwon, E., Kim, J. G., & Chang, Y. (2011). Neural correlates related to action observation in expert archers. *Behavioural brain research*, 223(2), 342-347. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.04.053>
- Korucu, T. Ş., & Kaya, D. Ö. (2021). Düşünüyorum öyleyse yapacağım: Karar verme ve eylemi başlatma sürecinde korteksin işlevi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 6(3), 199-203.
- Kosonogov, V. (2012). Why the mirror neurons cannot support action understanding. *Neurophysiology*, 44(6), 499-502. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11062-012-9327-4>
- Köprülüoğlu, M., Hareket, S., Polat, K., & Özer Kaya, D. (2022). Ayna Nöronlar ve Güncel Rehabilitasyon Yaklaşımlarında Kullanımı: Geleneksel Derleme. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences/Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(4).
- Larssen, B. C., Ho, D. K., Kraeutner, S. N., & Hodges, N. J. (2021). Combining observation and physical practice: Benefits of an interleaved schedule for visuomotor adaptation and motor memory consolidation. *Frontiers in human neuroscience*, 15, 614452. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.614452>
- Lee, T. M., Sun, D., Leung, M.-K., Chu, L.-W., & Keyzers, C. (2013). Neural activities during affective processing in people with Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 34(3), 706-715. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2012.06.018>
- Lepage, J. F., & Théoret, H. (2006). EEG evidence for the presence of an action observation–execution matching system in children. *European Journal of Neuroscience*, 23(9), 2505-2510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04769.x>

- Li, X., Wang, D., Gao, S., & Zhou, C. (2024). Impacts of kinematic information on action anticipation and the related neurophysiological associations in volleyball experts. *Brain Sciences*, 14(7), 647. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/brainsci14070647>
- Liew, S.-L., Sheng, T., & Aziz-Zadeh, L. (2013). Experience with an amputee modulates one's own sensorimotor response during action observation. *Neuroimage*, 69, 138-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.028>
- Liew, S.-L., Sheng, T., Margetis, J. L., & Aziz-Zadeh, L. (2013). Both novelty and expertise increase action observation network activity. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 541. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00541>
- Liew, S. L., Han, S., & Aziz-Zadeh, L. (2011). Familiarity modulates mirror neuron and mentalizing regions during intention understanding. *Human brain mapping*, 32(11), 1986-1997. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.21164>
- Maas, E., Robin, D. A., Hula, S. N. A., Freedman, S. E., Wulf, G., Ballard, K. J., & Schmidt, R. A. (2008). Principles of motor learning in treatment of motor speech disorders. [https://doi.org/https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/025\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/025))
- Magill, R., & Anderson, D. I. (2010). *Motor learning and control*. McGraw-Hill Publishing New York.
- Mara, D. (2017). The function of mirror neurons in the learning process. MATEC Web of Conferences,
- Marinelli, L., Quartarone, A., Hallett, M., Frazzitta, G., & Ghilardi, M. F. (2017). The many facets of motor learning and their relevance for Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 128(7), 1127-1141.
- Markovic, A., Kaess, M., & Tarokh, L. (2020). Gender differences in adolescent sleep neurophysiology: a high-density sleep EEG study. *Scientific Reports*, 10(1), 15935. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-72802-0>
- Marshall, P. J., Bouquet, C. A., Shipley, T. F., & Young, T. (2009). Effects of brief imitative experience on EEG desynchronization during action observation. *Neuropsychologia*, 47(10), 2100-2106. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.022>
- McFarland, D. J., Miner, L. A., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2000). Mu and beta rhythm topographies during motor imagery and actual movements. *Brain Topography*, 12, 177-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1023437823106>
- McMorris, T. (2014). *Acquisition and performance of sports skills*. John Wiley & Sons.
- Meinel, K., & Schnabel, G. (1987). *Bewegungslehre—Sportmotorik (Movement theory—sport motor system)*. Berlin: Sportverlag.
- Michalski, S. C., Szpak, A., Saredakis, D., Ross, T. J., Billingham, M., & Loetscher, T. (2019). Getting your game on: Using virtual reality to improve real table tennis skills. *PLoS one*, 14(9), e0222351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222351>
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2012). Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, 36(1), 341-349. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.07.004>
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews*, 60(2), 306-326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.12.024>
- Muthukumaraswamy, S. D., & Johnson, B. (2004). Changes in rolandic mu rhythm during observation of a precision grip. *Psychophysiology*, 41(1), 152-156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1469-8986.2003.00129.x>

- Muthukumaraswamy, S. D., Johnson, B. W., & McNair, N. A. (2004). Mu rhythm modulation during observation of an object-directed grasp. *Cognitive brain research*, 19(2), 195-201. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.12.001>
- Myers, J. L., Well, A. D., & Lorch Jr, R. F. (2013). *Research design and statistical analysis*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203726631>
- Niedermeyer, E. (2005). The normal EEG of the waking adult. *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*, 167, 155-164.
- Nishitani, N., & Hari, R. (2002). Viewing lip forms: cortical dynamics. *Neuron*, 36(6), 1211-1220.
- Nishitani, N., Schurmann, M., Amunts, K., & Hari, R. (2005). Broca's region: from action to language. *Physiology*, 20(1), 60-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/physiol.00043.2004>
- Nudo, R. J., Plautz, E. J., & Frost, S. B. (2001). Role of adaptive plasticity in recovery of function after damage to motor cortex. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 24(8), 1000-1019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mus.1104>
- Oatley, K., & Jenkins, J. M. (1996). *Understanding emotions*. Blackwell publishing.
- Oberman, L. M., Hubbard, E. M., McCleery, J. P., Altschuler, E. L., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2005). EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive brain research*, 24(2), 190-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014>
- Oberman, L. M., McCleery, J. P., Hubbard, E. M., Bernier, R., Wiersema, J. R., Raymaekers, R., & Pineda, J. A. (2013). Developmental changes in mu suppression to observed and executed actions in autism spectrum disorders. *Social cognitive and affective neuroscience*, 8(3), 300-304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/scan/nsr097>
- Oberman, L. M., McCleery, J. P., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2007). EEG evidence for mirror neuron activity during the observation of human and robot actions: Toward an analysis of the human qualities of interactive robots. *Neurocomputing*, 70(13-15), 2194-2203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2006.02.024>
- Oberman, L. M., & Ramachandran, V. S. (2007). The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in the social and communicative deficits of autism spectrum disorders. *Psychological bulletin*, 133(2), 310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.2.310>
- Oberman, L. M., Ramachandran, V. S., & Pineda, J. A. (2008). Modulation of mu suppression in children with autism spectrum disorders in response to familiar or unfamiliar stimuli: the mirror neuron hypothesis. *Neuropsychologia*, 46(5), 1558-1565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.01.010>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Onur Erdem, K. (2022). *Eşzamanlı ve kişiden bağımsız çalışabilen olasılıksal 3-boyutlu sütun flaşlanması esaslı beyin bilgisayar arayüzü heceleme sistemi* Karadeniz Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Orlandi, A., Zani, A., & Proverbio, A. M. (2017). Dance expertise modulates visual sensitivity to complex biological movements. *Neuropsychologia*, 104, 168-181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.019>
- Özdemir, B. K. (2023). *Eskrim sporuna yeni başlayan çocuklarda görsel hafıza egzersizlerinin motor beceri kazanımına etkisi* Erzurum Teknik Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi.
- Özer, D., & Aktop, A. (2014). Motor gelişimi anlamak (7. baskı). Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Özer, D. S., & Özer, K. (1998). *Çocuklarda motor gelişim*. Nobel Akademik Yayıncılık.

- Pan, L., Zheng, H., & Li, T. (2023). Effects of the indoor environment on EEG and thermal comfort assessment in males. *Building and Environment*, 228, 109761. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109761>
- Parsons, M. W., Harrington, D. L., & Rao, S. M. (2005). Distinct neural systems underlie learning visuomotor and spatial representations of motor skills. *Human brain mapping*, 24(3), 229-247. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.20084>
- Patel, A., Biso, G. M. N. R., & Fowler, J. B. (2023). Neuroanatomy, temporal lobe. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
- Perry, A., & Bentin, S. (2009). Mirror activity in the human brain while observing hand movements: A comparison between EEG desynchronization in the μ -range and previous fMRI results. *Brain research*, 1282, 126-132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.05.059>
- Pfurtscheller, G. (1981). Central beta rhythm during sensorimotor activities in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 51(3), 253-264. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694\(81\)90139-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694(81)90139-5)
- Pfurtscheller, G., Flotzinger, D., & Neuper, C. (1994). Differentiation between finger, toe and tongue movement in man based on 40 Hz EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 90(6), 456-460. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694\(94\)90137-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0013-4694(94)90137-6)
- Pfurtscheller, G., Neuper, C., Andrew, C., & Edlinger, G. n. (1997). Foot and hand area mu rhythms. *International Journal of Psychophysiology*, 26(1-3), 121-135. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(97\)00760-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8760(97)00760-5)
- Pineda, J. A. (2005). The functional significance of mu rhythms: translating “seeing” and “hearing” into “doing”. *Brain research reviews*, 50(1), 57-68. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.04.005>
- Pineda, J. A. (2008). Sensorimotor cortex as a critical component of an 'extended' mirror neuron system: Does it solve the development, correspondence, and control problems in mirroring? *Behavioral and Brain Functions*, 4, 1-16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/1744-9081-4-47>
- Plata-Bello, J., Pérez-Martín, Y., Castañón-Pérez, A., Modroño, C., Fariña, H., Hernández-Martín, E., González-Platas, M., Marcano, F., & González-Mora, J. L. (2017). The mirror neuron system in relapsing remitting multiple sclerosis patients with low disability. *Brain Topography*, 30, 548-559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10548-017-0558-y>
- Ramachandran, V. (2016). Öykücü beyin. *AC Çevik, Çev.) İstanbul: Alfa Yayıncılık*.
- Ramsey, R., Kaplan, D. M., & Cross, E. S. (2021). Watch and learn: the cognitive neuroscience of learning from others' actions. *Trends in neurosciences*, 44(6), 478-491.
- Raymaekers, R., Wiersema, J. R., & Roeyers, H. (2009). EEG study of the mirror neuron system in children with high functioning autism. *Brain research*, 1304, 113-121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.09.068>
- Reeber, S. L., Otis, T. S., & Sillitoe, R. V. (2013). New roles for the cerebellum in health and disease. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 83. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnsys.2013.00083>
- Rehman, A., & Al Khalili, Y. (2019). Neuroanatomy, occipital lobe.
- Rizzolatti, G., & Arbib, M. A. (1998). Language within our grasp. *Trends in neurosciences*, 21(5), 188-194.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27(1), 169-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230>

- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, 3(2), 131-141. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00038-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00038-0)
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., & Fazio, F. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental brain research*, 111, 246-252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF00227301>
- Rocca, M., Tortorella, P., Ceccarelli, A., Falini, A., Tango, D., Scotti, G., Comi, G., & Filippi, M. (2008). The "mirror-neuron system" in MS: a 3 tesla fMRI study. *Neurology*, 70(4), 255-262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000284667.29375.7e>
- Rodríguez, Á. L., Cheeran, B. J., Koch, G., Hortobágyi, T., & del Olmo, M. Á. F. (2014). The role of mirror neurons in observational motor learning: an integrative review. *European Journal of Human Movement*(32), 82-103.
- Rolls, E. T. (2015). Limbic systems for emotion and for memory, but no single limbic system. *cortex*, 62, 119-157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.12.005>
- Ruggiero, M., & Catmur, C. (2018). Mirror neurons and intention understanding: Dissociating the contribution of object type and intention to mirror responses using electromyography. *Psychophysiology*, 55(7), e13061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/psyp.13061>
- Sakai, K., Kawasaki, T., Ikeda, Y., Tanabe, J., Matsumoto, A., & Amimoto, K. (2023). Differences in the early stages of motor learning between visual-motor illusion and action observation. *Scientific Reports*, 13(1), 20054. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-023-47435-8>
- Salehi, S. K., Tahmasebi, F., & Talebrokni, F. S. (2021). A different look at featured motor learning models: comparison exam of Gallahue's, Fitts and Posner's and Ann Gentile's motor learning models. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 112(2), 53-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.1051/sm/2021012>
- Salles, J. I., Cossich, V. R. A., Amaral, M. V., Monteiro, M. T., Cagy, M., Motta, G., Velasques, B., Piedade, R., & Ribeiro, P. (2013). Electrophysiological correlates of the threshold to detection of passive motion: an investigation in professional volleyball athletes with and without atrophy of the infraspinatus muscle. *BioMed Research International*, 2013(1), 634891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2013/634891>
- Sanes, J. N., & Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and primary motor cortex. *Annual review of neuroscience*, 23(1), 393-415.
- Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2010). The effect of practice pattern on the acquisition, consolidation, and transfer of visual-motor sequences. *Experimental brain research*, 204, 271-281. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00221-010-2311-6>
- Sayın, M. (2011). *Hareket ve beceri öğretimi*. Spor Yayınevi ve Kitabevi.
- Schmidt, R. A., & Wrisberg, C. A. (2008). *Motor learning and performance: A situation-based learning approach*. Human kinetics.
- Schober, P., & Sabitzer, B. (2013). Mirror neurons for education. INTED2013 Proceedings, Sestito, M., Harel, A., Nador, J., & Flach, J. (2018). Investigating neural sensorimotor mechanisms underlying flight expertise in pilots: Preliminary data from an EEG study. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 489. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00489>
- Smith, J. C., Abdala, A. P., Borgmann, A., Rybak, I. A., & Paton, J. F. (2013). Brainstem respiratory networks: building blocks and microcircuits. *Trends in neurosciences*, 36(3), 152-162.

- Stecklow, M., Cagy, M., & Infantosi, A. (2010). Investigating the EEG alpha band during kinesthetic and visual motor imagery of the spike volleyball movement. XII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2010: May 27–30, 2010 Chalkidiki, Greece,
- Stout, J. C., Ready, R. E., Grace, J., Malloy, P. F., & Paulsen, J. S. (2003). Factor analysis of the frontal systems behavior scale (FrSBe). *Assessment*, 10(1), 79-85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1073191102250339>
- Şahin, B. (2023). *Dilin edinimi ve evriminde beyin bölgelerine ilişkin literatür taraması* Dokuz Eylül Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Tanık, F., Aktaş, B., Keskin, M., & Özer Kaya, D. (2022). Ayna Nöronların Fiziksel, Sosyal ve Bilişsel Fonksiyonlar Üzerindeki Rolü: Geleneksel Derleme. *Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences/Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(4).
- Tannoubi, A., Ouergui, I., Srem-Sai, M., Hagan, J. E., Quansah, F., & Azaiez, F. (2023). Effectiveness of video modeling in improving technical skills in young novice basketball players: A quasi-experimental study. *Children*, 10(4), 687.
- Tanrıdağ, O. (1994). *Teoride ve pratikte davranış nörolojisi*. Nobel Tıp Kitabevleri.
- Tapper, S. (2019). *Neurotransmitter Imaging of the Human Brain Detecting γ -Aminobutyric Acid (GABA) Using Magnetic Resonance Spectroscopy*. Linkopings Universitet (Sweden).
- Torrice, T. J., & Munakomi, S. (2019). Neuroanatomy, thalamus.
- Trabelsi, O., & Souissi, M. A. (2024). Video modeling: a vital tool for every sport pedagogue. *Tunisian Journal of Sports Science and Medicine*, 2(3), 17-20.
- Tramacere, A., Pievani, T., & Ferrari, P. F. (2017). Mirror neurons in the tree of life: mosaic evolution, plasticity and exaptation of sensorimotor matching responses. *Biological Reviews*, 92(3), 1819-1841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/brv.12310>
- Ujma, P. P., Konrad, B. N., Simor, P., Gombos, F., Körmendi, J., Steiger, A., Dresler, M., & Bódizs, R. (2019). Sleep EEG functional connectivity varies with age and sex, but not general intelligence. *Neurobiology of Aging*, 78, 87-97. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.02.007>
- Üngüren, E. (2015). Beynin nöroanatomik ve nörokimsiyal yapısının kişilik ve davranış üzerindeki etkisi. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(1).
- Webster, J. G. (2009). *Medical instrumentation: application and design*. John Wiley & Sons.
- Wulf, G., Shea, C., & Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Medical education*, 44(1), 75-84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03421.x>
- Zhang, J. (2019). Basic neural units of the brain: neurons, synapses and action potential. *arXiv preprint arXiv:1906.01703*.
- Zhang, L., He, W., Miao, X., & Yang, J. (2006). Dynamic eeg analysis via the variability of band relative intensity ratio: A time-frequency method. 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference,