

**ZİHİNSEL YORGUNLUK VE FARKLI ŞEKERLEME SÜRELERİNİN
VOLEYBOL PERFORMANSI VE BEYİN AKTİVİTESİ ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİ**

**Oğuzhan BOZKURT
BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ANABİLİM DALI**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Özgür EKEN
DOKTORA TEZİ-2026**

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZİHİNSEL YORGUNLUK VE FARKLI ŞEKERLEME SÜRELERİNİN VOLEYBOL PERFORMANSI VE BEYİN
AKTİVİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Oğuzhan BOZKURT

Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Özgür EKEN

Tez Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Vedat ÇINAR

Prof. Dr. Mehmet GÜLLÜ

Doç. Dr. Özgür EKEN

Doç. Dr. Ahmet ADIGÜZEL

Doç. Dr. Taner AKBULUT

Bu Araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 4002/TDK-2025-4002
Proje numarası ile desteklenmiştir.

MALATYA

2026

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

ETİK ve YAPAY ZEKÂ KULLANIM BEYANI

10/07/ 2026

İnönü Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak, “Doç. Dr. Özgür EKEN” danışmanlığında hazırlayıp sunduğum “Zihinsel Yorgunluk ve Farklı Şekerleme Sürelerinin Voleybol Performansı ve Beyin Aktivitesi Üzerindeki Etkileri” başlıklı Doktora tezimde:

1. ETİK ve BİLİMSEL SORUMLULUKLARIM:

- Tezimde yer alan verileri, bilgileri ve belgeleri akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Çalışmada yararlandığım tüm kaynaklara bilimsel kurallara uygun şekilde atıfta bulunduğumu ve kaynakça gösterimde APA 7. baskı kurallarına uyduğumu,
- Tezimin özgün olduğunu, çalışma ve yazım sürecinde patent ve telif haklarını ihlal edici hiçbir davranışta bulunmadığımı,
- Aksi bir durumda doğabilecek tüm hukuki ve akademik sonuçları kabul ettiğimi,

2. YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA İLİŞKİN BEYANIM:

() Tez yazım sürecinde yapay zekâ tabanlı araçlardan **faydalanmadım**.

(X) Tez yazım sürecinde yapay zekâ tabanlı araçlardan **faydalandım**.

Bu durumda:

- Yapay zekâ araçlarını yalnızca bilimsel üretim sürecini desteklemek amacıyla kullandığımı,
- Kullanımın hipotez geliştirme, teorik tartışma ve yorumlama gibi üst düzey akademik becerileri içermediğini,
- Kullanımın tezin özgünlüğüne, bilimsel etik kurallarına ve ilgili mevzuata aykırı olmadığını,
- Usulsüz kullanımlara (kaynak göstermeksizin metin üretimi, yanıltıcı kaynak gösterimi, otomatik içeriklerin özgün eser gibi sunulması vb.) kesinlikle başvurmadığımı,
- Kullanılan yapay zekâ araçlarının ve işlevlerinin, danışmanımın bilgisi dâhilinde, ekte verilen tabloda şeffaf biçimde belirtildiğini,
- Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Faaliyetlerinde Üretken Yapay Zekâ Kullanımına Dair Etik Rehber’de belirtilen ilkelere riayet ettiğimi,

kabul ve taahhüt ederim.

İmza

Oğuzhan BOZKURT

EK: Yapay Zekâ Kullanım Tablosu

Bu tablo, tez çalışmanızda kullanılan üretken yapay zekâ araçlarının şeffaf biçimde beyan edilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Her satırda kullanılan aracın adı, kullanım amacı, hangi bölümde kullanıldığı ve kullanım şekli belirtilmelidir. Tablo, danışman öğretim üyesinin bilgisi dâhilinde doldurulmalı ve gerektiğinde ek belgelerle desteklenmelidir.

No	Üretken Yapay Zekâ Aracı	Kullanım Amacı	Kullanıldığı Bölüm	Kullanım Şekli
1	ChatGPT	Akademik metinlerin dil ve anlatımının geliştirilmesi, bilimsel yazımın iyileştirilmesi	Tez genelindeki dil ve biçim düzenlemeleri	Yapay zeka aracı; akademik ifade ve dil düzenleme, yazım ve imla kontrolü desteği amacıyla kullanılmıştır. Üretilen içerikler tarafımdan doğrulanmış, gerekli bilimsel kontroller yapılarak düzenlenmiş ve nihai metin araştırmacının sorumluluğunda hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Spor Performansını Etkileyen Faktörler	5
2.1.1. Fiziksel Faktörler	5
2.1.2. Bilişsel Faktörler	6
2.1.3. Psikolojik Faktörler	6
2.2. Voleybol Performansı Açısından Fiziksel, Bilişsel ve Psikolojik Boyutlar	7
2.2.1. Voleybolun Fiziksel Gereksinimleri	7
2.2.2. Voleybolda Bilişsel Süreçlerin Önemi	7
2.2.3. Voleybolda Psikolojik Faktörlerin Rolü	7
2.3. Zihinsel Yorgunluk	8
2.3.1. Tanımı ve Kavramsal Çerçeve	8
2.3.2. Zihinsel Yorgunluğun Nedenleri	8
2.3.3. Zihinsel Yorgunluğun Spor Performansına Etkileri	9
2.4. Uyku ve Şekerleme Fizyolojisi	9
2.4.1. Uyku Evreleri ve Biyolojik İşlevleri	9
2.4.2. Şekerlemenin Tanımı ve Türleri	10
2.5. Zihinsel Yorgunluk Sonrası Şekerleme	10
2.5.1. Zihinsel Yorgunluk Sonrası Toparlanma Stratejileri	10
2.5.2. Kısa Şekerleme Sürelerinin Etkileri	10
2.5.3. Uzun Şekerleme Sürelerinin Etkileri	11
2.6. Beyin Aktivitesi ve EEG Ölçümleri	11
2.6.1. EEG'nin Temel Prensipleri	11
2.6.2. Spor Bilimlerinde EEG'nin Kullanımı	12
2.6.3. Şekerleme Sonrası EEG Bulguları	12
2.6.4. Zihinsel Yorgunluk ile EEG İlişkisi	13
2.6.5. EEG Bant Oranları (Theta/Alpha ve Theta/Beta)	13
3. MATERYAL VE METOT	14

3.1. Araştırmanın Tasarımı	14
3.2. Katılımcılar	15
3.3. DeneySEL Prosedürler	17
3.4. Veri Toplama Araçları.....	18
3.4.1. Alt EkstremitE Antropometrik Ölçümler	18
3.4.2. Zihinsel Yorgunluk Değerlendirmesi ve Stroop Testi	19
3.4.3. Voleybol Performans Değerlendirmesi	20
3.4.4. Şekerleme Değerlendirmesi.....	21
3.4.5. EEG Veri Toplama ve Analizi	21
3.4.6. Topografik EEG Analizi	23
3.5. İstatistiksel Analiz.....	23
4. BULGULAR.....	25
5. TARTIŞMA	44
5.1. Zihinsel Yorgunluğun Voleybola Özgü Çeviklik ve Sıçrama Performansına Etkileri	44
5.2. Şekerleme Sürelerinin Voleybola Özgü Çeviklik ve Sıçrama Performansı Üzerindeki Etkileri	46
5.3. Zihinsel Yorgunluğun EEG Aktivitesi Üzerindeki Etkileri	48
5.4. Şekerleme Sürelerinin EEG Aktivitesi Üzerindeki Etkileri	50
5.5. Performans ve EEG Bulgularının Birlikte Değerlendirilmesi	52
5.6. Çalışmanın Güçlü Yönleri ve Sınırlılıkları	54
5.7. Uygulamaya Yönelik Çıkarımlar ve Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler	55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	58
6.1. Sonuç.....	58
6.2. Öneriler	59
KAYNAKLAR	60
EKLER.....	69
EK-1. Özgeçmiş.....	69
EK-2. Etik Kurul Kararı	70
EK-3. Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi	71
EK-4. Subjektif Uyku Kalitesi	72

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesi sürecinde bilgi, destek ve yönlendirmeleriyle katkı sağlayan danışmanım Doç. Dr. Özgür EKEN' e teşekkür ederim. Ayrıca, EEG veri toplama ve analiz sürecindeki değerli katkıları ve teknik destekleri için biyomedikal mühendisleri Prof. Dr. Fatma LATİFOĞLU' na, Arş. Gör. Dr. Fırat ORHAN BULUCU' ya ve Öğr. Gör. Alperen BOZKURT' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez süreci boyunca sabrı, desteği ve anlayışıyla yanımda olan eşime ve her daim yanımda olup bana güç veren aileme şükranlarımı sunarım.



ÖZET

Zihinsel Yorgunluk ve Farklı Şekerleme Sürelerinin Voleybol Performansı ve Beyin Aktivitesi Üzerindeki Etkileri

Amaç: Zihinsel yorgunluğun voleybolcularda çeviklik performansı, sıçrama performansı ve elektroensefalografik (EEG) aktivite üzerindeki etkilerini incelemek ve farklı şekerleme sürelerinin (20, 40, 60 ve 90 dakika) bu etkileri azaltmadaki rolünü değerlendirmektir.

Materyal ve Metot: Araştırmaya yaş ortalaması $20,60 \pm 0,97$ yıl olan 10 erkek voleybolcu gönüllü olarak katılmıştır. Çalışma, randomize çapraz geçişli tekrarlı ölçümler deneysel deseninde yürütülmüştür. Katılımcılar kontrol (KON), zihinsel yorgunluk (ZY), 20 dakikalık şekerleme (ŞEK20), 40 dakikalık şekerleme (ŞEK40), 60 dakikalık şekerleme (ŞEK60) ve 90 dakikalık şekerleme (ŞEK90) olmak üzere altı farklı protokolü tamamlamıştır. Zihinsel yorgunluk 15 dakikalık Stroop Testi ile oluşturulmuştur. Performans değerlendirmelerinde Voleybola Özgü Çeviklik Testi (VÇT) ve Karşı Hareket Sıçraması (CMJ) kullanılmıştır. EEG verileri Emotiv EPOC Flex sistemi ile Fz, Cz, Pz, O1 ve O2 elektrotlarından kaydedilmiş, veriler Friedman ve Wilcoxon İşaretli Sıralar Testleri ile analiz edilmiştir.

Bulgular: Zihinsel yorgunluk, VÇT süresini $7,09 \pm 0,46$ sn'den $8,02 \pm 0,52$ sn'ye artırarak çeviklik performansını olumsuz etkilemiştir ($p < 0,001$). Tüm şekerleme protokollerinde çeviklik performansı, zihinsel yorgunluk koşuluna kıyasla daha iyi bulunmuş ve ikili karşılaştırmalarda anlamlı farklılıklar saptanmıştır ($p < 0,05$). CMJ performansı zihinsel yorgunluk sonrasında $55,98 \pm 1,64$ cm'den $52,65 \pm 1,32$ cm'ye düşmüştür ($p < 0,05$). Yalnızca 20 dakikalık şekerleme protokolü, sıçrama yüksekliğini $57,56 \pm 2,71$ cm'ye yükselterek anlamlı toparlanma sağlamıştır ($p < 0,05$). EEG analizlerinde frontal, parietal ve oksipital bölgelerde delta ve alfa bantlarında, ayrıca bazı protokollerde Theta/Alfa ve Theta/Beta oranlarında anlamlı değişiklikler belirlenmiştir ($p < 0,05$).

Sonuç: Zihinsel yorgunluk voleybola özgü çeviklik ve sıçrama performansını olumsuz etkilemektedir. Şekerleme uygulamaları özellikle çeviklik performansının iyileştirilmesinde etkili görünürken, sıçrama performansındaki toparlanma şekerleme süresine bağlı olarak değişmektedir. EEG bulguları ise kısa süreli şekerleme sonrasında bazı kortikal bölgelerde gözlenen değişimlerin performans bulgularını destekleyebileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Aktivitesi, EEG, Şekerleme, Toparlanma, Voleybol Performansı, Zihinsel Yorgunluk

ABSTRACT

Effects of Mental Fatigue and Different Nap Durations on Volleyball Performance and Brain Activity

Purpose: The aim of this study was to examine the effects of mental fatigue on agility performance, jump performance, and electroencephalographic (EEG) activity in volleyball players, and to evaluate the role of different nap durations (20, 40, 60, and 90 min) in mitigating these effects.

Material and Method: Ten male volleyball players (mean age: 20.60 ± 0.97 years) voluntarily participated in the study. A randomized crossover repeated-measures experimental design was employed. Participants completed six different protocols: control (CON), mental fatigue (MF), 20-min nap (NAP20), 40-min nap (NAP40), 60-min nap (NAP60), and 90-min nap (NAP90). Mental fatigue was induced using a 15-min Stroop Test. Performance assessments included the Volleyball Agility Test (VAT) and Countermovement Jump (CMJ). EEG data were recorded using the Emotiv EPOC Flex system from the Fz, Cz, Pz, O1, and O2 electrode sites. Data were analyzed using the Friedman and Wilcoxon Signed-Rank tests.

Results: Mental fatigue impaired agility performance by increasing the Volleyball Agility Test (VAT) time from 7.09 ± 0.46 s to 8.02 ± 0.52 s ($p < 0.001$). Across all nap-opportunity conditions, agility performance was better than under the mental fatigue condition, with significant differences observed in pairwise comparisons ($p < 0.05$). Countermovement jump (CMJ) height decreased from 55.98 ± 1.64 cm to 52.65 ± 1.32 cm following mental fatigue ($p < 0.05$). Only the 20-min nap-opportunity condition produced a significant recovery in CMJ performance, increasing jump height to 57.56 ± 2.71 cm ($p < 0.05$). EEG analyses revealed significant changes in the delta and alpha frequency bands over the frontal, parietal, and occipital regions, as well as significant alterations in the Theta/Alpha and Theta/Beta ratios in selected protocols ($p < 0.05$).

Conclusion: Mental fatigue negatively affects volleyball-specific agility and jump performance. Nap-opportunity conditions appear to support recovery, particularly in agility performance, whereas recovery in jump performance varies according to nap duration. EEG findings further suggest that changes observed in selected cortical regions following short-duration nap opportunities may be associated with the observed performance outcomes.

Keywords: Brain Activity, EEG, Mental Fatigue, Nap, Recovery, Volleyball Performance

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\mu V^2/Hz$:	Güç Spektral Yoğunluğu Birimi
CMJ:	<i>Countermovement Jump</i>
EEG:	<i>Electroencephalography</i>
FFT:	<i>Fast Fourier Transform</i>
Hz:	Hertz (frekans birimi)
ICA:	<i>Independent Component Analysis</i> (Bağımsız Bileşen Analizi)
KG:	Kilogram
PSD:	<i>Power Spectral Density</i>
PSQI:	<i>Pittsburgh Sleep Quality Index</i> (Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi)
REM:	<i>Rapid Eye Movement</i>
SQS:	<i>Sleep Quality Score</i> (Uyku Kalitesi Puanı)
ŞEK:	Şekerleme
ŞEK20:	20 Dakika Şekerleme
ŞEK40:	40 Dakika Şekerleme
ŞEK60:	60 Dakika Şekerleme
ŞEK90:	90 Dakika Şekerleme
VAS:	<i>Visual Analogue Scale</i>
VÇT:	Voleybolda Çeviklik Testi
VKİ:	Vücut Kitle İndeksi
ZY:	Zihinsel Yorgunluk
α:	Alfa frekans bandı
β:	Beta frekans bandı
Δ:	Delta frekans bandı
θ:	Teta frekans bandı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
Şekil 3.1. Çalışmanın deneysel tasarımı ve uygulama akış şeması	18
Şekil 4.1. Stroop görevi sonrasında anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin topografik dağılımı (EEG2-EEG1)	42



TABLolar LİSTESİ

Tablo No	Sayfa No
Tablo 3.1. Güç analiz sonuçları	16
Tablo 4.1. Katılımcıların demografik ve antropometrik özellikleri.....	25
Tablo 4.2. Deneyisel protokollere göre voleybol çeviklik testi performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	25
Tablo 4.3. Voleybol çeviklik testi performansına ilişkin friedman testi sonuçları.....	26
Tablo 4.4. Voleybol çeviklik testi performansına ilişkin wilcoxon ikili karşılaştırma sonuçları	26
Tablo 4.5. Deneyisel protokollere göre countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler	27
Tablo 4.6. Countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin friedman testi sonuçları	27
Tablo 4.7. Countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin wilcoxon ikili karşılaştırma sonuçları	28
Tablo 4.8. Karşı hareket sıçramasına ilişkin ek performans parametreleri.....	29
Tablo 4.9. Kontrol protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları	30
Tablo 4.10. Zihinsel yorgunluk protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları	31
Tablo 4.11. ŞEK20 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları (χ^2/p /Kendall's W)	33
Tablo 4.12. ŞEK20 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları.....	34
Tablo 4.13. ŞEK40 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/W$)	35
Tablo 4.14. ŞEK40 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları.....	36
Tablo 4.15. ŞEK60 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/w$)	37
Tablo 4.16. ŞEK60 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları.....	38
Tablo 4.17. ŞEK90 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/W$)	39

Tablo 4.18. ŞEK90 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları.....	40
Tablo 4.19. Stroop görevi (zihinsel yorgunluk uygulaması) sonrasında anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin protokoller arası özeti	41
Tablo 4.20. Farklı sürelerdeki şekerlemeler sonrasında (EEG2→EEG3) anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin protokoller arası özeti	42
Tablo 4.21. Zihinsel yorgunluk ve farklı sürelerdeki şekerlemelerin performans ve EEG bulgularının özeti	43



1. GİRİŞ

Spor performansı, fizyolojik, biyomekanik, psikolojik ve nörobilişsel süreçlerin dinamik etkileşimi sonucunda ortaya çıkan çok boyutlu bir olgudur. Uzun yıllar boyunca spor bilimleri araştırmaları performansın temel belirleyicileri olarak güç, kuvvet, dayanıklılık ve teknik beceri gibi fiziksel bileşenlere odaklanmıştır. Bununla birlikte, son yıllarda elde edilen bulgular, atletik performansın yalnızca fiziksel kapasiteyle açıklanamayacağını; dikkat, yürütücü işlevler, karar verme ve bilişsel kontrol gibi bilişsel süreçlerin de performansın sürdürülmesi ve üst düzey sportif başarının elde edilmesinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Raglin, 2001; Van Cutsem ve ark., 2017). Sporcuların artık çevrelerindeki tüm bilgileri işlemeleri, dikkatlerini sürdürmeleri ve alakasız gürültüyü filtrelemeleri, ayrıca modern rekabet ortamlarında stres altındayken hızlı hareketlerle birlikte anlık kararlar vermeleri gerekmektedir. Bu nedenle, bilişsel işlevi olumsuz etkileyen faktörler, spor performansının daha spesifik ölçümlerini önemli ölçüde etkileyebilir.

Voleybol, hücum ve savunma arasında hızlı geçişe hazırlamak için dinamik/çevik hareketler gerektiren, yüksek hızda oynanan bir takım sporudur. Yeterli performans yalnızca fiziksel kapasitelere değil, aynı zamanda algı ile eylem arasındaki etkili ilişkiye, zamana bağlı dikkat kontrolüne ve hızlı karar verme becerilerine de bağlıdır. Voleybol, oyuncuların çevreden gelen dinamik görsel bilgileri toplayıp yorumlamasını, rakiplerinin hamlelerini tahmin etmesini ve çok kısa bir zaman aralığı içinde, yüksek derecede teknik becerileri (ör. smaç, blok ve savunma) gerçekleştirmesini gerektirir. Ayrıca, aynı anda çok sayıda hızlanma ve yavaşlama içeren sporun doğası, yön değişikliklerinin de hızlı olmasını beraberinde getirir ve bu durum da nöromüsküler kapasite açısından oldukça talepkârdır. Bu nedenle, bir sporcunun yüksek düzeyde voleybol performansı sergileyebilmesi hem fiziksel hem de bilişsel kaynaklara dayanır; bu da bu kaynaklardan birini ya da her ikisini olumsuz etkileyen durumlara karşı onları özellikle hassas hale getirir. Bu gereksinimler, voleybolda başarının yalnızca fiziksel özelliklerle değil, aynı zamanda dikkat, algısal beceriler, karar verme süreçleri ve bilişsel dayanıklılık ile de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Sheppard ve ark., 2008; Gabbett ve Georgieff, 2007).

Bilişsel işlevleri bozabilecek faktörler arasında zihinsel yorgunluk giderek artan bilimsel ilgi görmektedir. Zihinsel yorgunluk genellikle, uzun süreli ve zorlayıcı bilişsel aktiviteye bağlı olarak ortaya çıkan ve yorgunluk hissi, motivasyon azalması ve bilişsel verimliliğin bozulmasıyla karakterize edilen psikobiyolojik bir durum olarak tanımlanır (Boksem ve Tops, 2008; Van Cutsem ve ark., 2017). Esas olarak çevresel fizyolojik mekanizmalardan kaynaklanan fiziksel yorgunluğun aksine, zihinsel yorgunluk, yürütücü

kontrol, dikkat düzenlemesi ve engelleyici işlem den sorumlu sinir sistemlerinin sürekli aktivasyonu yoluyla gelişir.

Son on yılda artan kanıtlar, zihinsel yorgunluğun spor performansını nasıl olumsuz etkilediğine dair ikna edici ipuçları sunmaktadır. Daha önceki sistematik incelemeler, zihinsel yorgunluğun, dayanıklılık performansı (Van Cutsem ve ark., 2017; Habay ve ark., 2021), karar verme ve teknik uygulama (Yuan ve ark., 2023) üzerinde olumsuz etkileri olduğunu bildirmiştir. Bu tür bozulmalar, sporcuların değişen ortamlarda bulunduğu ve büyük miktarda bilgiyi hızlı bir şekilde işlediği takım sporlarında en belirgin görünmektedir. Dahası, son incelemelerden elde edilen kanıtlar, zihinsel yorgunluğun algılanan eforu artırdığını ve bilişsel performans ile motor performans arasındaki ilişkiyi değiştirebileceğini göstermektedir (Schampheleer ve ark., 2025).

EEG, zihinsel yorgunlukla ilişkili kortikal aktivite değişimlerini değerlendirmede kullanılan non-invaziv bir yöntemdir. EEG, dikkat, uyarılma, iş yükü ve yorgunlukla ilişkili sinirsel süreçlere dair faydalı içgörüler sağlayarak kortikal aktiviteyi ölçmenin invaziv olmayan bir yoludur. Teta, alfa ve beta dalgalarının ritmik genliklerindeki küresel değişimler; uzamış bilişsel taleplerin yanı sıra performansta düşüşle de ilişkilendirilmiştir (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020). Özellikle teta bandı aktivitesindeki artış, artan bilişsel yük ve yürütücü kontrol gereksinimini yansıtan daha yüksek bilişsel çabayla ilişkilendirilmekte; aynı zamanda dikkat kaynaklarının tükenmesi ve göreve yönelik dikkatin sürdürülebilirliğinin azalmasıyla bağlantılı olduğu bildirilmektedir. Buna karşılık, alfa bandındaki değişimler çoğunlukla kortikal uyarılma düzeyi, bilgi işleme verimliliği ve bilişsel kaynakların kullanım etkinliğini yansıtan nörofizyolojik göstergeler olarak değerlendirilmektedir (Eldar ve ark., 2013).

Bilişsel görevler sonrasında özellikle frontal ve santral bölgelerde teta aktivitesinde artış, alfa ve beta aktivitesinde ise azalma gözlemlenebilmektedir. Teta aktivitesindeki yükseliş artan bilişsel kontrol gereksinimi ve zihinsel çabayı yansıtırken, alfa aktivitesindeki değişimler uyarılmışlık düzeyi ve bilgi işleme etkinliği ile ilişkilendirilmektedir. Beta aktivitesindeki azalma ise dikkat süreçleri ve kortikal aktivasyon düzeyindeki düşüşün bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle EEG frekans bantları, zihinsel yorgunluğun altında yatan nörofizyolojik mekanizmaların ortaya konulmasında önemli biyobelirteçler olarak kabul edilmektedir (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020; Van Cutsem ve ark., 2017).

EEG verilerinden türetilen teta/alfa ve teta/beta oranları, yalnızca zihinsel iş yükünü yansıtan göstergeler olarak değil, aynı zamanda tek başına frekans bantlarının sağlayabildiği bilgilerin ötesine geçerek zihinsel yorgunluğa bağlı nöral adaptasyonları daha duyarlı biçimde ortaya koyabilen nörofizyolojik belirteçler olarak kabul edilmektedir. Önerilen ölçümler, kortikal dinamiklerin birleşik bir tanımını sunmakta ve zihinsel yorgunluk ve toparlanma ile ilişkili ince nörofizyolojik değişikliklere karşı

artırılmış hassasiyet göstermesi beklenmektedir. Sonuç olarak, EEG tabanlı yöntemler, spor nörobilimi araştırmalarını anlatmada epistemolojik araçlar olarak giderek daha fazla önem kazanmıştır.

Bu nedenle, zihinsel yorgunluğu azaltabilecek toparlanma stratejileri birçok araştırmamanın ilgisini çekmiştir. Bu stratejiler arasında şekerleme, fizyolojik ve bilişsel toparlanmayı destekleyen etkili bir iyileşme yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Şekerlemenin fizyolojik toparlanma, bilişsel işlevler, hafıza pekiştirmesi, duygusal düzenleme ve nörofizyolojik toparlanma üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği bildirilmektedir. Ancak sporcular, antrenman programları, görevler, seyahat ve yarışma baskısı nedeniyle genellikle yeterli uyku alamamaktadır.

Bu nedenle, gündüz şekerlemesi, daha gerçekçi ve ulaşılabilir toparlanma yöntemleri arasında yer almaktadır. Yapılan çalışmalar temelde, uykunun sporcularda sprint performansını, sıçrama yeteneğini, dayanıklılık kapasitesini ve algılanan iyileşmeyi ve dikkat işlevini iyileştirebileceğini gösteren sistematik araştırmalara dayanmaktadır (Lovato ve Lack, 2010; Lastella ve ark., 2021).

Bununla birlikte, şekerlemenin etkinliğini belirleyen temel faktörlerden biri uyku süresidir. Kısa şekerlemeler, daha düşük uyku ataleti ile ilişkilendirildikleri için uyanıklığın yeniden sağlanmasında daha etkili olabilirken, daha uzun şekerlemeler derin uyku evrelerine ulaşılmasını sağlayarak fizyolojik toparlanmayı daha fazla destekleyebilir. Bununla birlikte, uzun süreli şekerlemeler uyandıktan sonra uyku ataleti nedeniyle geçici uyuşukluk ve performans düşüşlerine yol açabilmektedir. Bu nedenle, performans kazanımları ile uyku ataletinin olası olumsuz etkileri arasındaki dengeyi gözeterek optimal şekerleme süresinin belirlenmesi, sporcular ve antrenörler açısından önemli bir uygulama konusu olarak değerlendirilmektedir.

Şekerleme süresinin uzamasıyla birlikte ortaya çıkan fizyolojik yanıtlar da değişkenlik gösterebilmektedir. Yaklaşık 20 dakikalık kısa şekerlemeler çoğunlukla hafif uyku evreleriyle sınırlı kaldığından, uyku ataletini en aza indirerek bireyin kısa sürede uyanıklık düzeyini yeniden kazanmasına ve performansa daha hızlı dönmesine olanak sağlayabilmektedir. Buna karşın, 60 ve 90 dakikalık daha uzun şekerlemeler yavaş dalga uykusunu ve bazı durumlarda REM uykusunu da içerebildiği için sinaptik iyileşme, bellek pekiştirme süreçleri ve genel nörofizyolojik toparlanma açısından ilave kazanımlar sunabilmektedir. Bununla birlikte, bu potansiyel yararlar her zaman hemen performansa yansımaz. Özellikle uzun süreli şekerlemeleri takiben görülebilen uyku ataleti, bilişsel ve motor performansta geçici bir düşüşe neden olarak şekerlemenin olumlu etkilerini kısa süreliğine maskeleyebilmektedir (Lovato ve Lack, 2010; Lastella ve ark., 2021).

Araştırmalar ayrıca kısa şekerlemeler yapmanın (yaklaşık 20–45 dakika uzunluğunda) sonraki fiziksel ve bilişsel performans için faydalı olabileceğini göstermektedir. Diğer araştırmalar ise

şekerlemelerin daha uzun sürmesi durumunda, uyanmanın ardından yeterli toparlanma süresi sağlanırsa fizyolojik faydaların birikebileceğini öne sürmektedir. Ancak şu ana kadar, aynı paradigma içinde oldukça farklı kısa şekerleme sürelerinin doğrudan karşılaştırılmasıyla ilgili çalışmalar hâlâ çok sınırlıdır.

Mevcut literatürün önemli sınırlılıklarından biri, zihinsel yorgunluk, şekerleme ve performans arasındaki ilişkinin çoğunlukla tek boyutlu olarak incelenmesidir. Çalışmaların büyük bölümü ya yalnızca fiziksel performans değişkenlerine ya da yalnızca bilişsel ve nörofizyolojik göstergelere odaklanmıştır. Bununla birlikte zihinsel yorgunluk sonrasında farklı şekerleme sürelerinin hem EEG aktivitesi hem de spora özgü performans çıktıları üzerindeki etkilerini eş zamanlı olarak değerlendiren araştırmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum özellikle voleybol gibi yüksek düzeyde bilişsel ve motor koordinasyon gerektiren takım sporlarında daha belirgin hale gelmektedir.

Bu sınırlamanın özel bir örneği voleybol araştırmalarında bulunabilir. Önceki çalışmalar şekerleme, bilişsel performans ve fiziksel performansın etkilerini ayrı ayrı analiz ederken, farklı şekerleme sürelerinin voleybola özgü çeviklik (VÇT), karşı hareket sıçraması (CMJ) kapasitesi araçları ve deneysel olarak indüklenen zihinsel yorgunluğun ardından kortikal osilatör aktivitesi EEG bant oranları üzerindeki etkileri hakkında bilgi eksikliği vardır.

Bu nedenle, mevcut çalışma, zihinsel yorgunluğun ve farklı şekerleme sürelerinin (20, 40, 60 ve 90 dk) antrenmanlı erkek voleybol oyuncularında voleybola özgü performans ve EEG aktivitesi üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır. Rastgele çaprazlama tekrarlı ölçümler tasarımını kullanan çalışma, voleybola özgü çeviklik testini, karşı hareket sıçrama değerlendirmesini, öznel uyku ölçümlerini, EEG spektral analizini, EEG bant oranı hesaplamalarını ve topografik kortikal haritalamayı bir araya getirmektedir.

Elde edilecek sonuçların, zihinsel yorgunluk ve toparlanmanın altında yatan nörofizyolojik mekanizmalar hakkındaki bilgilerimizi daha da derinleştirmesinin yanı sıra, artan bilişsel talep koşulları altında performansı korurken toparlanmayı optimize etmeyi amaçlayan sporcular, antrenörler ve spor bilimcileri için kanıta dayalı öneriler sunması beklenmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

Spor performansı, birden fazla sürecin (fizyolojik, biyomekanik, psikolojik, bilişsel ve nörofizyolojik) etkileşiminden ortaya çıkan çok boyutlu bir yapıdır. Modern spor bilimi, atletik başarının güç, hız, dayanıklılık veya teknik beceri gibi fiziksel yeteneklerden kaynaklandığı fikrini defalarca çürütmüştür; performans, bunun yerine beden ve zihin arasındaki karmaşık ilişkilerin bir ürünü olarak görülmektedir. Sporcular, fiziksel ve zihinsel stres seviyelerinin yüksek olduğu antrenman ve yarışmalar sırasında sürekli olarak çevresel bilgileri işlemeli, dikkatlerini odaklamalı, duygularını düzenlemeli, hızlı kararlar almalı ve doğru motor hareketler gerçekleştirmelidir. Dolayısıyla, en yüksek performans seviyesi sadece kas-iskelet ve metabolik sistemlerin bir fonksiyonu değil, aynı zamanda bilişsel işlev, psikolojik dayanıklılık, uyku sırasındaki iyileşme süreçleri ve merkezi sinir sistemi düzenlemesi yoluyla homeostazın korunmasıyla da ilgilidir (Fullagar ve ark., 2015; Van Cutsem ve ark., 2017). Spor performansını etkileyen faktörleri öğrenmek, nihayetinde performansı artırırken sakatlanma veya hastalığı önleyecek ve iyileşmeyi optimize edecek kanıta dayalı eğitim ve toparlanma stratejilerinin tasarlanması için çok önemlidir.

2.1. Spor Performansını Etkileyen Faktörler

2.1.1. Fiziksel Faktörler

Spor performansı, kuvvet, hız, çeviklik, dayanıklılık, denge ve esneklik gibi temel fiziksel bileşenlerin bütüncül etkileşimi ile şekillenmektedir (Baena-Raya ve ark., 2022; Han ve ark., 2015; Maunder ve ark., 2021; Sandford ve ark., 2021). Kuvvet ve patlayıcı güç, özellikle kısa süreli yüksek yoğunluklu hareketler için kritik olup, plyometrik ve kuvvet antrenmanlarının sıçrama yüksekliği, sprint hızı ve çeviklik üzerinde anlamlı gelişmeler sağladığı gösterilmiştir (Slimani ve ark., 2016). Hız ve ivme kazanımı, özellikle takım sporlarında performansın belirleyicilerindendir ve çeviklik ile birlikte değerlendirildiğinde, sporcunun oyuna adaptasyonunu doğrudan etkilemektedir (Spiteri ve ark., 2014). Dayanıklılık ise performansın sürdürülebilirliği için temel bir unsur olup, hem aerobik hem de anaerobik kapasitenin antrenman yoluyla geliştirilebileceği bildirilmektedir (Mujika ve ark., 2018). Ayrıca denge, esneklik ve vücut kompozisyonu gibi morfolojik özellikler, enerji verimliliğini artırmakta ve yaralanma riskini azaltmaktadır (Mathisen ve ark., 2023). Dolayısıyla, spor performansının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi süreçlerinde bu fiziksel faktörlerin bir bütün olarak dikkate alınması, antrenman planlamalarının etkinliğini artırmaktadır.

2.1.2. Bilişsel Faktörler

Spor performansını belirleyen unsurlar yalnızca fiziksel kapasiteyle sınırlı değildir; dikkat, reaksiyon süresi, karar verme ve algısal hız gibi bilişsel süreçler de performans üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Özellikle dikkat ve seçici algı, sporcunun oyun içerisindeki hızlı değişimlere uyum sağlayabilmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Vestberg ve ark., 2012). Reaksiyon süresi, hem bireysel hem de takım sporlarında anlık kararların uygulanabilmesi için önemli bir göstergedir ve kısa reaksiyon süresine sahip sporcuların baskı altındaki performanslarının anlamlı biçimde yüksek olduğunu ortaya koyulmuştur (Ciucurel, 2012). Karar verme süreçleri, özellikle hızlı değişimlerin yaşandığı oyun ortamlarında bilişsel yükün artmasıyla zorlaşmakta ve zihinsel yorgunluk altında bu süreçlerin yavaşladığı gösterilmektedir (Smith ve ark., 2016). Bunun yanında, yürütücü işlevler olarak tanımlanan planlama, problem çözme, dikkat kontrolü ve bilişsel esneklik gibi beceriler, sporcular arasındaki performans farklılıklarını anlamada belirleyici bir rol üstlenmektedir (Huijgen ve ark., 2015). Bu nedenle, sporcuların bilişsel kapasitelerinin değerlendirilmesi ve uygun antrenman yöntemleriyle geliştirilmesi, modern spor biliminde performansın sürdürülebilir şekilde optimize edilmesi açısından vazgeçilmez bir unsurdur.

2.1.3. Psikolojik Faktörler

Spor performansını etkileyen önemli bileşenlerden biri de psikolojik faktörlerdir. Özellikle motivasyon, öz-yeterlik, kaygı düzeyi, stres yönetimi ve zihinsel dayanıklılık gibi değişkenler, sporcunun antrenman ve müsabaka sırasındaki performansını doğrudan belirleyebilmektedir. Yüksek motivasyona sahip sporcuların hem antrenmanlara daha istikrarlı katılım gösterdiği hem de rekabetçi ortamlarda daha iyi performans sergilediği bildirilmiştir (Clancy ve ark., 2016). Öte yandan, müsabaka kaygısı performans üzerinde çift yönlü bir etkiye sahip olup, düşük düzeyde kaygının uyarıcı etkisi bulunurken, aşırı kaygı durumlarında performansta düşüş görülmektedir (Woodman ve Hardy, 2003). Ayrıca öz-yeterlik inancı, sporcunun zorlayıcı görevler karşısında çaba ve ısrarını artırarak başarıyı destekleyen temel bir psikolojik faktör olarak öne çıkmaktadır (Moritz ve ark., 2000). Bu bulgular, psikolojik faktörlerin en az fiziksel ve bilişsel etmenler kadar kritik olduğunu ve performans optimizasyonu için dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

2.2. Voleybol Performansı Açısından Fiziksel, Bilişsel ve Psikolojik Boyutlar

2.2.1. Voleybolun Fiziksel Gereksinimleri

Voleybol, yüksek yoğunluklu kısa süreli eforlarla karakterize edilen ve kuvvet, sürat, çeviklik ile dayanıklılığın birleşimini gerektiren kompleks bir spor dalıdır (Gulati ve ark., 2021; Sheppard ve ark., 2008). Patlayıcı kuvvet özellikle smaç, blok ve servis gibi üst düzey performans gerektiren hareketlerde kritik öneme sahiptir (Sheppard ve ark., 2008). Alt ekstremite kuvveti ve sürati, sporcunun sıçrama yüksekliğini ve reaksiyon süresini doğrudan etkileyerek oyunun temposunu belirlemektedir (Sheppard ve ark., 2008). Çeviklik, hızlı yön değiştirme ve ani hızlanmalar sayesinde rakibin hücumlarına yanıt verebilme kapasitesini artırırken (Chuang ve ark., 2022), dayanıklılık ise uzun rallilerde ve setler boyunca performansın korunmasında belirleyici olmaktadır (Nasuka ve ark., 2020). Ayrıca, aerobik kapasite voleybolcuların toparlanma hızını etkilerken, anaerobik güç yüksek yoğunluklu eforların sürdürülebilirliğini sağlamaktadır (Ranković ve ark., 2010). Dolayısıyla, voleybol performansı çok boyutlu fiziksel gereksinimlere dayanmakta ve antrenman programlarının bu faktörleri bütüncül biçimde geliştirmesi büyük önem taşımaktadır.

2.2.2. Voleybolda Bilişsel Süreçlerin Önemi

Voleybol, hızlı karar verme ve anlık dikkat değişimlerinin büyük önem taşıdığı bir spor dalıdır ve bilişsel süreçler performansın ayrılmaz bir parçası olarak görülmektedir (MacQuet, 2009; Sibley ve Etnier, 2004). Özellikle reaksiyon süresi, smaç ve blok gibi kısa zaman diliminde gerçekleşen hareketlerin başarısında belirleyici rol oynamaktadır (Piras ve ark., 2014). Dikkatin sürekliliği ve seçici dikkat becerisi, sporcunun topun yönünü, rakibin hareketini ve oyun içindeki dinamikleri doğru yorumlayarak uygun tepki vermesini sağlamaktadır (Sibley ve Etnier, 2004). Karar verme hızı ise oyunun akışını doğrudan etkilemekte, deneyimli voleybolcuların daha kısa sürede doğru kararlar alarak teknik becerilerini daha etkin kullanabildiği gösterilmektedir (Lola ve ark., 2012). Ayrıca, yürütücü işlevler kapsamında değerlendirilen bilişsel esneklik ve çalışma belleği gibi yetiler, voleybol gibi hızlı ve değişken oyun yapısına sahip sporlarda performans farklılıklarını açıklayan önemli faktörlerdir (Trecroci ve ark., 2021). Dolayısıyla, bilişsel süreçlerin geliştirilmesi ve zihinsel yorgunluk koşullarında korunması, voleybol performansının sürdürülebilirliği için kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

2.2.3. Voleybolda Psikolojik Faktörlerin Rolü

Voleybol performansında psikolojik faktörler, fiziksel ve bilişsel unsurlar kadar belirleyici rol oynamaktadır. Özellikle motivasyon, sporcunun antrenmanlara katılımı ve maç esnasındaki çaba düzeyini

doğrudan etkilemekte, yüksek motivasyona sahip sporcuların daha istikrarlı performans sergilediği gösterilmiştir (Clancy ve ark., 2016). Müsabaka kaygısı ise performans üzerinde çift yönlü bir etkiye sahiptir; düşük ve orta düzey kaygı uyarıcı etki yaratarak performansı artırabilirken, yüksek düzey kaygı hata oranını artırarak performansı olumsuz yönde etkilemektedir (Englert ve Seiler, 2020). Stres yönetimi becerileri, özellikle uzun ralliler ve yüksek baskı altındaki oyun anlarında sporcunun odaklanma düzeyini korumasına ve teknik becerilerini optimal düzeyde sergilemesine yardımcı olmaktadır (Crocker ve ark., 1988). Ayrıca öz-yeterlik inancı, sporcunun zorlu oyun koşullarında kararlılığını sürdürmesini sağlayarak başarı ile doğrudan ilişkilendirilmiştir (Moritz ve ark., 2000). Bu bulgular, voleybol performansında psikolojik faktörlerin önemini ortaya koymakta ve antrenman programlarında zihinsel hazırlık, stres kontrolü ve motivasyon artırıcı stratejilerin yer alması gerektiğini vurgulamaktadır.

2.3. Zihinsel Yorgunluk

2.3.1. Tanımı ve Kavramsal Çerçeve

Zihinsel yorgunluk, uzun süreli bilişsel faaliyetler sonucunda ortaya çıkan ve bireyin dikkat, motivasyon, karar verme hızı ile bilişsel esnekliğinde azalmaya yol açan psikobiyolojik bir durum olarak tanımlanmaktadır (Marcora ve ark., 2009). Bu durum, özellikle dikkat ve çalışma belleği gibi yürütücü işlevlerin zayıflamasıyla karakterize edilmekte ve merkezi sinir sistemi düzeyinde algılanan çaba hissinin artışı ile ilişkilendirilmektedir (Boksem ve Tops, 2008). Zihinsel yorgunluk, fizyolojik bir tükenme hali olmaktan ziyade, bilişsel yüklenme sonucu ortaya çıkan merkezi sinir sistemi kaynaklı bir performans sınırlayıcı olarak kabul edilmektedir (Van Cutsem ve ark., 2017). Bu bağlamda zihinsel yorgunluk, spor bilimleri literatüründe yalnızca bilişsel performans değil, aynı zamanda fiziksel performans üzerinde de etkili olabilen temel bir kavram haline gelmiştir.

2.3.2. Zihinsel Yorgunluğun Nedenleri

Zihinsel yorgunluğun temel nedeni, uzun süreli ve yoğun bilişsel faaliyetler sonucunda ortaya çıkan merkezi sinir sistemi temelli yüklenmedir. Özellikle dikkat gerektiren görevler, uzun süreli konsantrasyon, problem çözme ve sürekli bilgi işleme süreçleri zihinsel yorgunluğu tetikleyen başlıca etmenlerdir (Boksem ve ark., 2008). Prefrontal korteksin uzun süreli aktivasyonu, dikkat ve yürütücü işlevlerde azalmaya yol açarak yorgunluk belirtilerini ortaya çıkarmaktadır (Lorist ve ark., 2005). Ayrıca zihinsel yorgunluğun, dopaminerjik ve adenezinerjik nörotransmitter sistemlerdeki değişikliklerle ilişkili olduğu ve bunun sonucunda algılanan eforun arttığı bildirilmektedir (Marcora ve ark., 2009; Van Cutsem ve ark. 2017). Günlük yaşamda uyku yoksunluğu, aşırı stres, uzun süreli ekran kullanımı ve yoğun akademik ya da mesleki

görevler zihinsel yorgunluğun gelişmesine katkıda bulunurken, spor bağlamında ise sürekli taktiksel karar verme, video analizi veya zihinsel antrenman gibi yüksek bilişsel yük içeren aktiviteler bu durumu hızlandırabilmektedir (Van Cutsem ve ark., 2017). Dolayısıyla zihinsel yorgunluk hem nörofizyolojik hem de çevresel faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilmektedir.

2.3.3. Zihinsel Yorgunluğun Spor Performansına Etkileri

Zihinsel yorgunluk, sporda yalnızca bilişsel işlevleri değil aynı zamanda fiziksel performansı da doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Yapılan öncü bir çalışmada, zihinsel yorgunluğun dayanıklılık performansını anlamlı düzeyde azalttığı ve bu etkinin algılanan efor düzeyindeki artışla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Martin ve ark., 2018). Benzer şekilde, zihinsel yorgunluk altında sporcuların reaksiyon süreleri uzamakta, dikkat düzeyleri düşmekte ve karar verme hızları yavaşlamaktadır (Pageaux ve Lepers, 2018). Takım sporlarında yapılan araştırmalar, zihinsel yorgunluğun pas isabeti, top kontrolü ve savunma kararları gibi teknik beceriler üzerinde de olumsuz etkiler yarattığını ortaya koymuştur (Yuan ve ark., 2023). Ayrıca, zihinsel yorgunluk durumunda motor koordinasyonun bozulduğu, hareket doğruluğunun azaldığı ve hata oranlarının arttığı rapor edilmektedir (Van Cutsem ve ark., 2017). Bu bulgular, zihinsel yorgunluğun hem bilişsel hem de motor süreçler üzerindeki olumsuz etkileriyle sporcunun genel performans kapasitesini sınırlayan önemli bir değişken olduğunu göstermektedir.

2.4. Uyku ve Şekerleme Fizyolojisi

2.4.1. Uyku Evreleri ve Biyolojik İşlevleri

Uyku, beynin ve vücudun yenilenmesini sağlayan, non-REM (NREM) ve REM evrelerinden oluşan dinamik bir süreçtir (Rauchs ve ark., 2005). NREM uykusu; hafif uyku (evre 1 ve 2) ile derin uyku (yavaş dalga uykusu, evre 3) kısımlarını içerirken, REM uykusu ise yoğun beyin aktivitesi ve rüya görme ile karakterizedir (Adamantidis ve ark., 2019). Derin uyku evreleri, özellikle enerji yenilenmesi, büyüme hormonu salınımı ve kas dokularının onarımı açısından kritik rol oynarken (Dattilo ve ark., 2011), REM evresi bellek pekiştirme, öğrenme süreçleri ve duygusal düzenleme ile ilişkilendirilmektedir (Walker ve Stickgold, 2006). Uyku evrelerinin düzenli döngüler halinde yaşanması hem bilişsel hem de fiziksel toparlanmayı desteklemekte, özellikle sporcularda performansın korunması ve geliştirilmesi açısından temel bir fizyolojik ihtiyaç olarak değerlendirilmektedir (Fullagar ve ark., 2015).

2.4.2. Şekerlemenin Tanımı ve Türleri

Şekerleme, bireyin gece uykusuna ek olarak gün içerisinde belirli bir süre uyuması şeklinde tanımlanmakta ve süresine göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Literatürde şekerleme genel olarak kısa (10–30 dakika), orta (30–60 dakika) ve uzun (60–90 dakika) olmak üzere üç grupta incelenmektedir (Milner ve Cote, 2009). Kısa şekerlemeler genellikle derin uykuya geçişi engelleyerek uyku ataleti riskini azaltırken, uyanıklık, dikkat ve bilişsel performans üzerinde hızlı ve olumlu etkiler göstermektedir (Brooks ve Lack, 2006). Orta ve uzun süreli şekerlemeler ise yavaş dalga uykusunu da içerebildiğinden daha güçlü fizyolojik toparlanma ve bilişsel yenilenme sağlayabilmekte, ancak kısa süreli uyku ataleti oluşturma riski taşımaktadır (Lovato ve Lack, 2010). Sporcularda uygulanan şekerleme stratejileri, özellikle müsabaka öncesi dikkat ve reaksiyon hızını artırmak, zihinsel yorgunluğu azaltmak ve kas toparlanmasını desteklemek amacıyla kullanılmaktadır (Botonis ve ark., 2021; Mesas ve ark., 2023; Romdhani ve ark., 2021).

2.5. Zihinsel Yorgunluk Sonrası Şekerleme

2.5.1. Zihinsel Yorgunluk Sonrası Toparlanma Stratejileri

Zihinsel yorgunluk, sporcularda bilişsel işlevlerin yanı sıra fiziksel performansı da olumsuz etkileyen bir durum olduğundan, bu etkileri azaltmaya yönelik çeşitli toparlanma stratejileri geliştirilmiştir. Literatürde en çok öne çıkan stratejiler arasında uyku ve şekerleme uygulamaları (Mesas ve ark., 2023), gevşeme teknikleri (Aidman, 2020), zihinsel antrenman (Vealey, 2024) ve motivasyonel (Hatzigeorgiadis ve ark., 2011) müdahaleler yer almaktadır. Kısa şekerlemeler uyku ataleti riskini azaltarak bilişsel performansı hızla artırırken, uzun şekerlemeler daha güçlü toparlanma sağlamakla birlikte kısa süreli uyku ataleti riski taşır (Brooks ve Lack, 2006; Lovato ve Lack, 2010). Ayrıca mindfulness temelli teknikler ve nefes egzersizlerinin, algılanan eforu azaltarak zihinsel yorgunluğun etkilerini hafifletebildiği gösterilmiştir (Bernier ve ark., 2009). Sporcularda kullanılan bir diğer yaklaşım ise görselleştirme ve imgeleme gibi zihinsel antrenman yöntemleri olup, bu uygulamaların zihinsel yorgunluğa rağmen motor beceri performansını desteklediği rapor edilmektedir (Slimani ve ark., 2016). Bu bulgular, zihinsel yorgunluk sonrası toparlanma sürecinde hem fizyolojik hem de psikolojik yöntemlerin entegre edilmesinin performansın sürdürülebilirliği açısından kritik olduğunu ortaya koymaktadır.

2.5.2. Kısa Şekerleme Sürelerinin Etkileri

Kısa süreli şekerlemeler (10–30 dk), derin uykuya geçişi sınırlayarak uyku ataleti riskini azaltmakta ve özellikle dikkat, reaksiyon süresi ile bilişsel performans üzerinde hızlı toparlanma sağlamaktadır (Brooks

ve Lack, 2006). Yapılan deneysel çalışmalar, kısa şekerlemelerin zihinsel yorgunluk sonrası algılanan uyanıklık düzeyini artırdığını ve dikkat gerektiren görevlerde hata oranını azalttığını göstermektedir (Hayashi ve ark., 1999). Ayrıca sporcular üzerinde yapılan araştırmalarda, kısa süreli gündüz uykusunun bilişsel tepki hızını, koordinasyonu ve reaksiyon süresini olumlu yönde etkilediğı rapor edilmiştir (Waterhouse ve ark., 2007). Özellikle müsabaka öncesi uygulanan kısa şekerlemelerin, zihinsel yorgunluğun olumsuz etkilerini hafifleterek hem bilişsel hem de fiziksel performansı destekleyebileceğı belirtilmektedir (Souabni ve ark., 2021).

2.5.3. Uzun şekerleme Sürelerinin Etkileri

Uzun süreli şekerlemeler (60–90 dk), yavaş dalga uykusu ve REM uykusunu içerebildiğı için hem fizyolojik toparlanma hem de bilişsel yenilenme açısından kısa şekerlemelere kıyasla daha güçlü etkiler sunmaktadır (Botonis ve ark., 2021; Romdhani ve ark., 2020). Araştırmalar, uzun şekerlemelerin büyüme hormonu salınımını artırarak kas onarımı ve enerji depolarının yenilenmesine katkı sağladığını, ayrıca hafıza pekiştirme ve öğrenme süreçlerini desteklediğini göstermektedir (Nishida ve Walker, 2007). Sporcular üzerinde yapılan çalışmalarda, 90 dakikalık şekerlemelerin algılanan yorgunluğu azalttığını, reaksiyon süresini kısalttığını ve egzersiz performansını artırdığını rapor edilmiştir (Boukhris ve ark., 2020). Bununla birlikte, uzun şekerlemelerin özellikle derin uyku evresinden uyanıldığında kısa süreli uyku ataleti riski taşıdığını (Tassi ve Muzet, 2000) bu nedenle uygulama zamanının müsabaka programına göre dikkatle planlanması gerektiğı vurgulanmaktadır. Dolayısıyla uzun şekerlemeler, doğru zamanlama ile uygulandığında sporcularda hem zihinsel hem fiziksel performans için önemli bir toparlanma stratejisi olarak değerlendirilmektedir.

2.6. Beyin Aktivitesi ve EEG Ölçümleri

2.6.1. EEG'nin Temel Prensipleri

Elektroensefalografi (EEG), beynin elektriksel aktivitesini kafa derisine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla ölçen non-invaziv bir yöntemdir (Kalogeropoulos ve ark., 2026). Beyin nöronlarının senkronize elektriksel aktivitelerinden kaynaklanan potansiyel farklarını milisaniye hassasiyetinde kaydedebilmesi, EEG'yi özellikle bilişsel süreçler ve uyanıklık düzeylerinin incelenmesinde önemli bir araç haline getirmiştir (Kirschstein ve Kohling, 2009). EEG kayıtları genellikle frekans bantlarına göre sınıflandırılmaktadır: delta (0.5–4 Hz), teta (4–8 Hz), alfa (8–12 Hz), beta (13–30 Hz) ve gama (>30 Hz) (Dressler ve ark., 2004). Bu frekans bantları, farklı beyin durumlarıyla ilişkilendirilmiştir; örneğin alfa dalgaları gevşeme ve uyanık dinlenme durumlarında, beta dalgaları aktif dikkat ve problem çözme süreçlerinde baskın olarak

gözenmektedir (Gola ve ark., 2013). EEG'nin yüksek zaman çözünürlüğü, zihinsel yorgunluk, uyku evreleri ve şekerleme gibi dinamik süreçlerin incelenmesinde benzersiz avantajlar sunmakta ve bu nedenle spor bilimleri dâhil pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Thompson ve ark., 2008).

2.6.2. Spor Bilimlerinde EEG'nin Kullanımı

EEG, spor bilimlerinde zihinsel süreçler ile performans arasındaki ilişkiyi incelemek için giderek daha yaygın kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle dikkat, reaksiyon süresi, karar verme ve motor hazırlık gibi performansla doğrudan ilişkili bilişsel süreçler EEG dalga aktiviteleri üzerinden değerlendirilmektedir (Cheron ve ark., 2016). Örneğin, alfa ve teta bant aktivitelerindeki değişimlerin sporcularda dikkat kontrolü ve motor performansla ilişkili olduğu, beta dalgalarının ise özellikle yüksek konsantrasyon gerektiren görevlerde baskın hale geldiği rapor edilmiştir (Baumeister ve ark., 2008). Ayrıca EEG kullanılarak yapılan çalışmalar, elit sporcuların bilişsel yük altında daha verimli sinirsel aktivite sergilediğini, yani daha “ekonomik” bir beyin aktivasyon paterni geliştirdiğini göstermektedir (Del Percio ve ark., 2009). Sporcularda zihinsel yorgunluk, stres ve uyku düzeni gibi faktörlerin EEG ile nesnel olarak izlenebilmesi, performansın optimize edilmesi ve toparlanma stratejilerinin planlanması açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır (Thompson ve ark., 2008).

2.6.3. Şekerleme Sonrası EEG Bulguları

Şekerleme sonrasında EEG kayıtları, uyku evrelerinin beyin aktivitesi üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymaktadır. Kısa şekerlemeler sırasında genellikle hafif uyku evreleri baskın olmakta ve bu durum alfa ile teta dalgalarında artışla, bilişsel uyanıklığın hızla geri kazanılmasıyla ilişkilendirilmektedir (Hayashi ve ark., 1999). Orta ve uzun süreli şekerlemeler ise yavaş dalga uykusu ve REM evrelerini içerebildiğinden, delta aktivitesinde belirgin bir artış ve ardından hafıza pekiştirmeye bağlantılı olarak uyku içcikleri ve REM'e özgü hızlı göz hareketleri gözlenmektedir (Nishida ve Walker, 2007). Sporcularda yapılan EEG çalışmalarında, şekerleme sonrasında özellikle frontal bölgelerde artan alfa gücü ile dikkat süreçlerinde iyileşme ve reaksiyon süresinde kısalma bildirilmiştir (Sauseng ve ark., 2005). Bununla birlikte, şekerleme süresine ve bireysel uyku yapısına bağlı olarak bazı çalışmalarda performans etkilerinin değişkenlik gösterdiği rapor edilmiştir (Lastella ve ark., 2021). Dolayısıyla EEG bulguları, şekerlemenin hem zihinsel toparlanma hem de bilişsel performans üzerinde farklı uyku evrelerine bağlı nörofizyolojik mekanizmalarla etkili olduğunu göstermektedir.

2.6.4. Zihinsel Yorgunluk ile EEG İlişkisi

EEG çalışmaları, zihinsel yorgunluğun beyindeki elektriksel aktiviteyi karakteristik şekilde değiştirdiğini ortaya koymaktadır. Uzun süreli bilişsel görevler sonrasında özellikle frontal ve parietal bölgelerde teta gücünde artış ve alfa aktivitesinde azalma gözlenmekte, bu durum dikkat azalması ve bilişsel kontrolün zayıflaması ile ilişkilendirilmektedir (Boksem ve ark., 2008). Tran ve ark., (2020) meta analizinde, zihinsel yorgunluğun özellikle frontal, merkezi ve arka bölgelerde teta aktivitesinde belirgin artışa yol açtığını, alfa bant aktivitesinde ise orta düzeyde değişiklikler meydana getirdiğini ortaya koymuştur (Tran ve ark., 2020). Bu bulgular, teta dalgasındaki artışı zihinsel yorgunluğun güçlü bir biyobelirteci, alfa dalgasındaki değişimleri ise bireysel farklılıkları yansıtan tamamlayıcı bir biyobelirteç olarak desteklemektedir (Tran ve ark., 2020). Bu bulgular, EEG'nin zihinsel yorgunluğun hem nörofizyolojik mekanizmalarını anlamada hem de sporcularda performans düşüşlerini nesnel olarak izleyebilmede güçlü bir araç olduğunu göstermektedir.

2.6.5. EEG Bant Oranları (Theta/Alpha ve Theta/Beta)

EEG bant oranları, tekil frekans bantlarından elde edilen bilgilerin ötesinde kortikal işlevlerin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Özellikle teta/alfa ve teta/beta oranları dikkat, bilişsel iş yükü, zihinsel yorgunluk ve uyanıklık düzeylerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Teta/alfa oranındaki artışın artan bilişsel yük ve azalan dikkat performansı ile ilişkili olduğu, teta/beta oranındaki değişimlerin ise yürütücü işlevler ve dikkat kontrol mekanizmalarındaki değişiklikleri yansıtabileceği bildirilmektedir (Tran ve ark., 2020; Wascher ve ark., 2014). Bu nedenle söz konusu oranlar zihinsel yorgunluk araştırmalarında duyarlı nörofizyolojik göstergeler olarak değerlendirilmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Araştırmanın Tasarımı

Bu çalışmada, rastgele çaprazlama tekrarlı ölçüm deney tasarımı kullanılarak, zihinsel yorgunluğun ve 20, 40, 60, 90 dakikalık şekerlemelerin, deneyimli erkek voleybol oyuncularında sıçrama yüksekliği performansı ve EEG aktivitesi üzerindeki etkisi incelendi. Deneysel tasarımlar, bağımsız değişkenlerin organize bir şekilde manipüle edilmesi ve yanıt ölçüm etkilerinin değerlendirilmesi nedeniyle neden-sonuç ilişkilerini araştırmak için tercih edilen yaklaşımdır (Anderson-Cook, 2005).

Deneyde, denek içi çaprazlama tasarım kullanıldı. Her katılımcı tüm deney koşullarını tamamlayarak kendi kontrol grubu görevini gördü. Genel olarak, bu yaklaşım, özellikle fizyolojik ve nörobilişsel ölçümler için, paralel grup tasarımlarına kıyasla bireyler arası varyasyonu azaltır ve istatistiksel gücü artırır (Senn, 2002; Jones ve Kenward, 2014). Tekrarlı ölçümler içeren çaprazlama tasarımları, katılımcılar arası sistematik farklılıklardan kaynaklanan karıştırıcı etkileri en aza indirirken, müdahalelerin katılımcı içi karşılaştırmalarını kolaylaştırdığı için spor bilimi ve şekerleme araştırmalarında yaygındır (Senn, 2002).

Bu çalışmada, her katılımcının altı deneysel koşulun tamamına katıldığı randomize çaprazlama tekrarlı ölçümler tasarımı kullanıldı: (1) Kontrol (KON), (2) Zihinsel Yorgunluk (ZY), (3) ZY + 20 dakikalık şekerleme (ŞEK20); (4) ZY + 40 dakikalık şekerleme (ŞEK40) (5) ZY + 60 dakikalık şekerleme (ŞEK60) ve (6) ZY + 90 dakikalık şekerleme (ŞEK90). Veri toplama işleminden önce deneysel oturumların sırasını rastgele belirlemek için bilgisayar tarafından oluşturulmuş rastgele atama programı kullanıldı (sıra etkileri, öğrenme etkileri ve diğer kaynaklardan kaynaklanan potansiyel sistematik yanlılığı azaltmak için), bu da insan araştırmalarında çaprazlama denemeleri için önerilere uygun olarak yapıldı (Dwan ve ark., 2019).

Protokoller arasında oluşabilecek aktarım (carry-over) etkilerini en aza indirmek ve katılımcıların her deneysel oturuma bilişsel ve fizyolojik açıdan tam olarak toparlanmış şekilde başlamalarını sağlamak amacıyla, ardışık protokoller arasında 72 saatlik bir arınma dönemi uygulandı. Çapraz geçişli deneysel tasarımlarda yeterli arınma süresi, önceki koşulun sonraki ölçümleri etkilemesini önleyerek iç geçerliliğin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Nitekim zihinsel yorgunluk, şekerleme müdahaleleri ve spor performansını inceleyen çalışmalar, deneysel oturumlar arasında uygulanan 48–72 saatlik arınma süresinin önceki müdahalelerin kalıcı etkilerini ortadan kaldırmak için genel olarak yeterli olduğunu bildirmektedir (Fullagar ve ark., 2015; Van Cutsem ve ark., 2017). Bununla birlikte, bu çalışmada zihinsel yorgunluk indüksiyonunu takiben farklı sürelerde şekerleme protokolleri uygulanması nedeniyle, olası artık etkileri en

düşük düzeye indirmek ve tüm deneysel koşulların benzer başlangıç düzeylerinde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla daha ihtiyatlı bir yaklaşım benimsenmiş ve 72 saatlik arınma süresi tercih edildi.

Tüm test seansları kontrollü bir laboratuvar ortamında gerçekleştirildi ve bilişsel performans, uyanıklık, uyku hali, nöromüsküler fonksiyon ve elektroensefalografi (EEG) veri toplamasının nicelleştirilmesi üzerindeki sirkadiyen ritim etkilerini azaltmak için her denek için aynı saatte (14:00; ± 1 saat) yapıldı (Facer-Childs ve Brandstaetter, 2015; Vitale ve Weydahl, 2017). Her test seansından önce en az 24 saat boyunca yoğun egzersizden, alkolden ve kafeinden uzak durulması da gerekiyordu.

Zihinsel yorgunluk durumu ve şekerleme süresi bağımsız değişkenleri oluştururken, voleybol çeviklik performansı, karşı hareket sıçrama performansı, öznel uyku kalitesi, EEG spektral güç ölçümleri, EEG bant oranları ve topografik kortikal aktivite kalıpları bağımlı değişkenler olarak ele alındı.

Çalışma, Helsinki Bildirgesi'nin ilkelerine ve insan deneklerde rastgele çaprazlama denemelerinin yürütülmesine ilişkin önerilere uygun olarak gerçekleştirildi (Dwan ve ark., 2019).

3.2. Katılımcılar

Gerekli örneklem büyüklüğü, denek içi faktörlere sahip tekrarlı ölçümler varyans analizi (ANOVA) tasarımına dayalı olarak G*Power yazılımı (Sürüm 3.1.9.7, Heinrich Heine Üniversitesi Düsseldorf, Almanya) kullanılarak önceden tahmin edildi (Faul ve ark., 2009). Güç analizi aşağıdaki parametreler kullanılarak gerçekleştirildi: etki boyutu (f) = 0,40, alfa düzeyi (α) = 0,05, istatistiksel güç ($1 - \beta$) = 0,80, ölçüm sayısı = 6, tekrarlanan ölçümler arasındaki korelasyon = 0,50 ve küresellik dışı düzeltme (ϵ) = 0,75. Bu parametreler, deneysel koşullar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları tespit etmek için en az 10 katılımcıdan oluşan bir örneklem büyüklüğünün gerekli olduğunu gösterdi (tablo 3.1).

Örneklem büyüklüğü hesaplaması çalışma planlama aşamasında tekrarlı ölçümler ANOVA modeli temel alınarak gerçekleştirildi. Bununla birlikte, veri analizleri öncesinde yapılan normallik değerlendirmelerinde parametrik test varsayımlarının karşılanmadığı belirlendi, bu nedenle nihai istatistiksel analizlerde tekrarlı ölçümler ANOVA' nın non-parametrik karşılığı olan Friedman testi ve ikili karşılaştırmalar için Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi kullanıldı.

Seçilen $f = 0,40$ değeri, Cohen'in sınıflandırmasına göre (Cohen, 1988) büyük bir etkiye eşdeğerdir ve bu değer, sporcularda zihinsel yorgunluğun, şekerleme müdahalelerinin ve bilişsel iyileşme stratejilerinin fiziksel performans ve nörofizyolojik sonuçlar üzerindeki etkisini araştıran önceki çalışmalara dayanarak belirlendi (Van Cutsem ve ark., 2017; Lastella ve ark., 2021). Bu çalışmanın rastgele çaprazlama tekrarlı ölçümler tasarımı tüm denekler kendi kontrolleri olarak görev yaptığından, her katılımcı altı deney koşulunun her birini tamamladı. Bu tasarımlar, denekler arası değişkenliği azaltır ve genellikle

karşılaştırılabilir istatistiksel güçte paralel grup deneylerine kıyasla daha küçük örneklem boyutlarına sahiptir (Senn, 2002; Jones ve Kenward, 2014).

İnönü Üniversitesi Voleybol Takımı'ndan toplam 10 erkek voleybol oyuncusu çalışmaya gönüllü olarak katıldı. Katılımcıların özellikleri şu şekildedir: yaş, $20,60 \pm 0,97$ yıl; boy, $181,70 \pm 5,85$ cm; vücut kütlesi, $82,90 \pm 10,78$ kg; ve vücut kitle indeksi (VKİ), $25,06 \pm 2,51$ kg/m².

Katılımcılar şu şartları taşıyorlarsa dahil edildi: (a) üniversite düzeyinde yarışan aktif erkek voleybol oyuncuları olmaları, (b) katılım öncesinde en az üç yıl voleybol eğitimi almış olmaları, (c) düzenli olarak takım antrenmanlarına katılmaları ve (d) teşhis edilmiş herhangi bir nörolojik, kardiyovasküler, metabolik veya psikiyatrik bozukluk veya diğer uyku bozukluklarına sahip olmamaları ve tüm çalışma prosedürlerine uymayı kabul etmeleri.

Aşağıdaki kriterlerden herhangi birini karşılayan katılımcılar çalışmadan çıkarıldı: (a) testten önceki son 6 ay içinde zıplama, çeviklik veya voleybol performansını etkilediği bilinen kas-iskelet sistemi yaralanması; (b) önceki yıl beyin sarsıntısı veya travmatik beyin hasarı bildirilmesi; (c) teşhis edilmiş uyku bozukluğu veya gündüz uyuklaması; (d) uykuyu, bilişsel yetenekleri ve merkezi sinir sistemi aktivitesini değiştiren ilaçların düzenli kullanımı; örneğin melatonin takviyesi ve kafein (>400 mg/gün); (e) veri toplama sırasında akut enfeksiyon geçirme; (f) herhangi bir deneysel oturumu tamamlayamama.

Katılımdan önce, tüm sporculara çalışma protokolünün prosedürleri, egzersiz testleriyle ilişkili riskler ve faydalar hakkında bilgi verildi. Veri toplama işlemi, tüm katılımcılardan yazılı bilgilendirilmiş onam alındıktan sonra gerçekleştirildi. Katılımcılara, herhangi bir olumsuz sonuçla karşılaşmadan istedikleri zaman çalışmadan çekilebilecekleri bildirildi.

Çalışma, insan katılımcılarla yapılan araştırmalar için etik standart olan Helsinki Bildirgesi'ne (World Medical Association, 2013) uygun olarak onaylanmıştır. Etik onay, İnönü Üniversitesi Girişimsel Olmayan Sağlık Bilimleri Araştırma Etik Kurulu tarafından verilmiştir (Onay No: 2025/6799; Onay Tarihi: 03.01.2025). Kişisel bilgileriniz ve araştırma sırasında toplanan verileriniz kesinlikle gizli tutulmuş ve yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Güç analiz sonuçları

Sistem Girdileri		Sonuçlar	
Etki Büyüklüğü (Effect size f)	: 0,40	Noncentrality parameter λ	: 14,40
α hata olasılığı	: 0,05	Critical F	: 2,70
Güç ($1-\beta$ hata olasılığı)	: 0,80	Numerator df	: 3,75
Number of group	: 1	Denominator df	: 33,75

Number of Measurements	: 6	Toplam Örneklem Büyüklüğü	: 10
Corr among rep measures	: 0,5	Fiili Güç	: 0,83
Non sphericity correction	: 0,75		

3.3. DeneySEL Prosedürler

Tüm katılımcılar, rastgele bir sırayla altı deneySEL koşulu (KON, ZY, ŞEK20, ŞEK40, ŞEK60 ve ŞEK90) tamamladı. Her deneySEL oturum, olası taşıma etkilerini en aza indirmek ve koşullar arasında tam fizyolojik ve bilişSEL iyileşmeyi sağlamak için 72 saatlik bir arınma dönemiyle ayrıldı. Bu uygulama ile protokoller arasında oluşabilecek olası öğrenme (*learning effect*), dönem (*period effect*) ve taşıma (*carry-over effect*) etkilerinin en aza indirilmesi amaçlandı. Tüm oturumlar, sirkadiyen ritimlerin bilişSEL performans, uyku hali, nöromüsküler fonksiyon ve EEG aktivitesi üzerindeki potansiyel etkisini azaltmak için standartlaştırılmış laboratuvar ve spor salonu koşullarında günün aynı saatinde (14:00; ± 1 saat) gerçekleştirildi (Facer-Childs ve Brandstaetter, 2015; Vitale ve Weydahl, 2017).

Deneklere, her test seansından en az 24 saat önce yorucu egzersizden ve kafein tüketiminden kaçınmaları, ayrıca alkol ve bilişSEL veya fiziksel performansı etkileyebilecek herhangi bir maddeden uzak durmaları talimatı verildi. Bu talimatlar laboratuvara varıldığında teyit edildi.

Her oturumda, katılımcılar öncelikle sakin ve oturur pozisyonda, sessiz bir laboratuvar ortamında temel bir EEG değerlendirmesi tamamladılar (Faz 1). Temel ölçümlerden sonra, katılımcılar kendilerine atanan deneySEL koşulda devam ettiler.

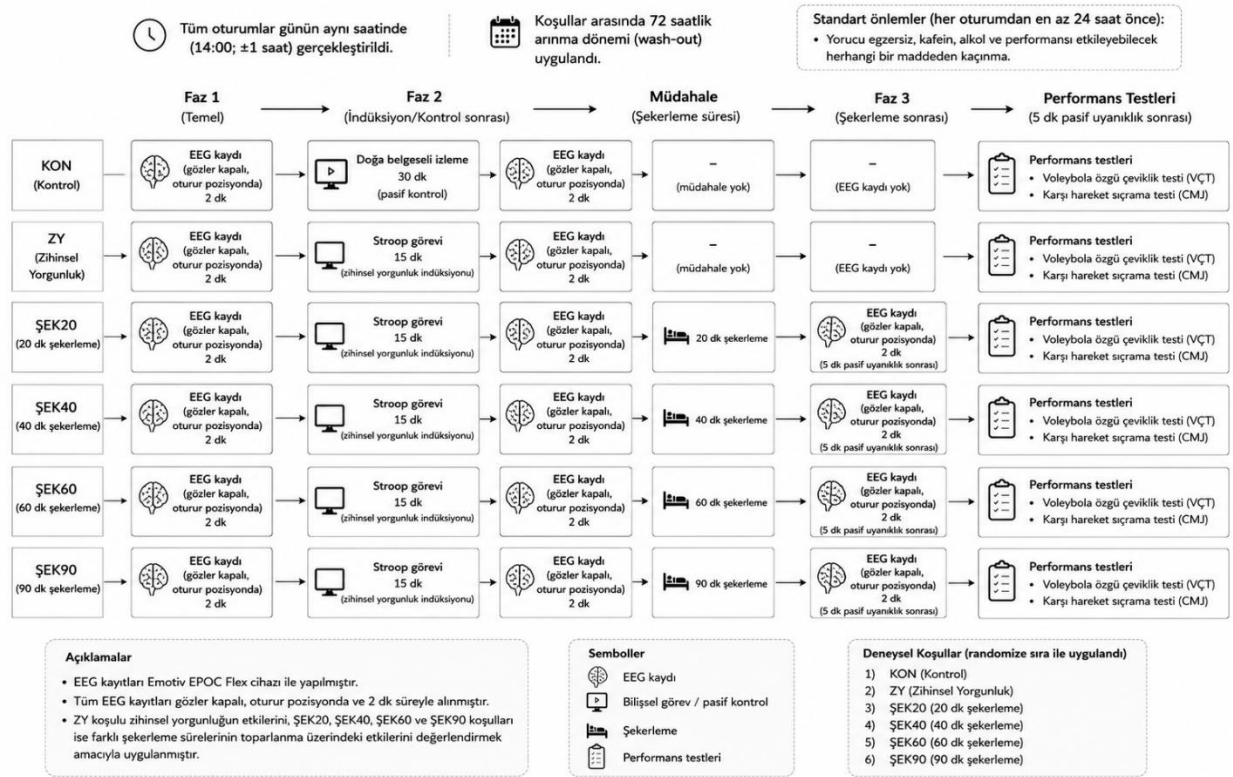
Kontrol grubunda (KON), katılımcılar eşit pasif oturma süresi gerektirecek ve zihinsel yorgunluğa neden olmadan benzer görsel uyarım sağlayacak şekilde tasarlanmış, 30 dakikalık tarafsız bir doğa belgeseli izlediler. Belgesel izleme sonrasında ikinci bir EEG kaydı (Faz 2) alındı ve ardından voleybol performans değerlendirmeleri (VÇT, CMJ) yapıldı.

Zihinsel yorgunluk koşulunda (ZY), katılımcılar zihinsel yorgunluk yaratmak için kullanılan 15 dakikalık bilgisayar destekli bir Stroop görevi gerçekleştirdiler. Bir sonraki EEG kaydı (Faz 2), zihinsel yorgunlukla ilgili nörofizyolojik göstergeleri ölçmek için Stroop görevinden hemen sonra yapıldı. Ardından voleybol performans testleri geldi.

Şekerleme koşulları altında (ŞEK20, ŞEK40, ŞEK60 ve ŞEK90), katılımcılar ZY koşulunda kullanılanla aynı 15 dakikalık Stroop görevini tamamladılar. Bu zihinsel yorgunluk indüksiyonundan sonra bir EEG kaydı (Faz 2) alındı. Daha sonra, grup atamasına bağlı olarak 20, 40, 60 veya 90 dakikalık bir şekerleme fırsatından yararlandılar. Katılımcılar, şekerleme süresince düşük aydınlatma koşullarına sahip, sessiz ve kontrollü bir ortamda dinlendi. EEG ölçümlerinin şekerlemenin akut nörofizyolojik etkilerini yansıtabilmesi amacıyla,

şekerleme sonrasında toparlanma süresi kısa tutulmuş ve katılımcılara 5 dakikalık standart pasif uyanklık süresi verildikten sonra EEG kayıtları (faz 3) alındı. Son olarak, voleybola özgü çeviklik performansı ve karşı hareket sıçrama performansı değerlendirildi.

Bu deneysel tasarım şunların incelenmesini sağladı: (a) zihinsel yorgunluğun performans ve EEG aktivitesi üzerindeki izole etkileri (ZY koşulu), (b) zihinsel yorgunluğun ardından farklı şekerleme sürelerinin toparlanma üzerindeki etkileri ve (c) EEG spektral ve topografik analizleri yoluyla performans değişikliklerinin altında yatan nörofizyolojik mekanizmalar.



Şekil 3.1. Çalışmanın deneysel tasarımı ve uygulama akış şeması

3.4. Veri Toplama Araçları

3.4.1. Alt Ekstremitte Antropometrik Ölçümler

Katılımcılar, deney seansından önce antropometrik ölçümlerle karakterize edildi. Boy uzunluğu, duvara sabitlenmiş bir stadiometre kullanılarak, vücut kütlesi ise kalibre edilmiş dijital bir terazi kullanılarak ölçüldü. Daha sonra, vücut kütlesinin boy uzunluğunun karesine bölünmesiyle (kg/m^2) VKI hesaplandı.

Sıçrama ve çeviklik performansına potansiyel etkileri nedeniyle alt ekstremitte antropometrik özellikleri de değerlendirildi. Bacak uzunluğu, esnek bir antropometrik bant kullanılarak ön üst iliak diken ile medial malleol arasındaki mesafe olarak ölçüldü. Ek olarak, katılımcılar kalça ve diz eklemleri yaklaşık

90° açıda olacak şekilde otururken, 90° diz fleksiyonundaki bacak uzunluğu da ölçüldü. Tüm ölçümler aynı araştırmacı tarafından iki kez alındı ve sonraki analizler için ortalama değer kullanıldı.

3.4.2. Zihinsel Yorgunluk Değerlendirmesi ve Stroop Testi

Zihinsel yorgunluğu indüklemek amacıyla en yaygın kullanılan bilişsel paradigmlar arasında, sürekli zihinsel çaba gerektiren ve inhibisyon kontrolünü yoğun biçimde devreye sokan bilgisayar tabanlı “Stroop Renk-Kelime Testi” yer almaktadır (Stroop, 1935; MacLeod, 1991). Bu görevde bireylerden, kelimenin anlamsal içeriğini baskılayarak yalnızca yazı rengini doğru ve hızlı bir şekilde belirtmeleri istenir. Sürekli bilişsel kontrol, seçici dikkat ve tepki inhibisyonu gerektirmesi nedeniyle Stroop görevi, zaman içerisinde zihinsel kaynakların tükenmesine ve zihinsel yorgunluğun oluşmasına neden olabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde Stroop paradigması, spor bilimleri literatüründe zihinsel yorgunluğu deneysel olarak oluşturmak için en sık tercih edilen yöntemlerden biri hâline gelmiş; elde edilen bilişsel yükün spor performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çok sayıda spora özgü performans göreviyle birlikte kullanılmıştır (Van Cutsem ve ark., 2017; Smith ve ark., 2016).

Görev, sessiz bir laboratuvar ortamında bir bilgisayar üzerinde sunuldu. Katılımcılar, yazılı kelimenin anlamını dikkate almadan, renkle ilgili kelimelerin yazı tipinin (font renginin) rengini belirleme konusunda test edildi. Kelimenin anlamı ile ekranda görünen font rengi, uyumsuz denemelerde farklıydı (örneğin “KIRMIZI” kelimesinin mavi yazı tipiyle gösterilmesi); bu da daha fazla bilişsel kontrol ve tepki engelleme gerektiriyordu.

Zihinsel yorgunluk, katılımcının 15 dakika boyunca sürekli Stroop görevini yerine getirmesi sağlanarak oluşturuldu. Her uyarı, 2 saniyelik bir yanıt penceresi ile sunuldu. Görev boyunca katılımcılardan mümkün olduğunca hızlı ve doğru yanıt vermeleri istendi. Protokol, dikkat gereksinimlerini ve bilişsel girişimi artırmak için öncelikle görev uyumsuz uyaranları içeriyordu.

Ayrıca çaba gerektiren kontrolün uzamış süresi ve dikkat dağıtıcı davranışlara direnmeye devam etme ihtiyacının, kaynak tükenmesi yoluyla olduğu kadar yürütücü kontrol üzerindeki sürekli talep nedeniyle de yorgunluğa katkıda bulunacağını varsaydık. Daha önceki araştırmalar, bilişsel görevlerin yalnızca 10-20 dakikası kadar kısa bir sürenin bile tespit edilebilir düzeylerde zihinsel yorgunluğu (Van Cutsem ve ark., 2017; Brown ve ark., 2020) ve daha önemlisi performans sonuçlarını ortaya çıkarmaya yetecek kadar olduğunu göstermiştir; bu durum aynı zamanda nörofizyolojik bulgularla birlikte değerlendirildi.

Zihinsel yorgunluk protokolünün etkinliği, görev sonrasında elde edilen EEG kayıtları üzerinden değerlendirildi ve analizlerde özellikle zihinsel yorgunluğun güvenilir nörofizyolojik belirteçleri olarak kabul

edilen teta ve alfa bant aktivitelerindeki değişimler üzerinde duruldu. Literatürde bu frekans bantlarında meydana gelen değişikliklerin zihinsel iş yükü, dikkat süreçleri ve bilişsel yorgunluk düzeyindeki değişimleri yansıttığı bildirildiğinden, söz konusu parametreler zihinsel yorgunluk indüksiyonunun başarısını doğrulamak amacıyla temel EEG göstergeleri olarak kullanıldı (Tran ve ark., 2020).

3.4.3. Voleybol Performans Değerlendirmesi

Voleybola özgü performans, Schaun ve ark. (2013) tarafından geliştirilen Voleybol Çeviklik Testi (VÇT) kullanılarak değerlendirildi. Bu test, smaçla ilgili sıçrama, blok hareketleri, hızlanma, yavaşlama, çok yönlü hareket ve hızlı yön değiştirme gibi voleybola özgü hareket kalıplarını içerdiği için seçildi. Bu nedenle VÇT, voleybol oyuncularında çeviklik performansının spora özgü bir değerlendirmesini sağlar.

Test, hücum çizgisi ile file arasındaki bir ara adımda başladı. Araştırmacı tarafından sözlü olarak yönlendirildikten sonra, katılımcılar önce smaç vuruşunu taklit eden maksimum dikey sıçrama gerçekleştirdiler. Bu ön sıçrama sadece sıçrama performansını değerlendirmek için kullanıldı ve çeviklik süresine katkıda bulunmadı. İnişten sonra, zamanlama sistemi devreye girdi ve katılımcı voleybola özgü çeviklik parkurunu gerçekleştirdi. Hareketler önceden tanımlanmış yönleri ve blokları içeriyordu. Zamanlama sistemi, katılımcı bitiş çizgisini geçtiğinde durdu ve toplam VÇT tamamlama süresini (s) kaydetti. Çalışma, daha düşük VÇT sürelerinin üstün voleybola özgü çeviklik performansı ile ilişkili olduğunu gösterdi. Çeviklik parkurunun ardından ve zamanlama sona erdiğinde, katılımcılar ikinci bir maksimum dikey sıçrama gerçekleştirdiler. İlk sıçramada olduğu gibi, bu sıçrama da sadece sıçrama performansının değerlendirilmesi için kullanıldı ve VÇT süresine dahil edilmedi.

CMJ (Karşı Hareket Sıçrama) performansını değerlendirmek amacıyla kullanıldı. VÇT öncesi ve sonrası gerçekleştirilen sıçramalar My Jump Lab uygulaması kullanılarak kaydedildi. Uygulama aracılığıyla sıçrama yüksekliği (cm) belirlenmiş ve temel performans göstergesi olarak kullanıldı. Ayrıca uygulamanın manuel veri giriş modülüne katılımcıların sıçrama yüksekliği ve vücut ağırlığı değerleri girilerek uçuş süresi (ms), ortalama hız (m/s), kalkış hızı (m/s) ve dürtü (kg·m/s) parametreleri elde edildi. Bu değişkenler sıçrama performansının mekanik ve kinematik bileşenlerini değerlendirmek amacıyla analiz edildi. My Jump Lab uygulamasının sıçrama performansı ve türetilmiş mekanik değişkenlerin değerlendirilmesinde kuvvet platformu ölçümlerine karşı geçerli ve güvenilir sonuçlar verdiği daha önce gösterilmiştir (Bogataj ve ark., 2020).

Dolayısıyla bu çalışmada incelenen performans belirleyicileri VÇT tamamlama süresi, CMJ sıçrama yüksekliği, uçuş süresi, ortalama hız, kalkış hızı ve dürtü değerlerinden oluştu. VÇT tamamlama süresi voleybola özgü çeviklik performansını gösterirken, CMJ ve CMJ' den türetilen parametreler farklı zihinsel

yorgunluk ve şekerleme koşullarında alt ekstremite patlayıcı gücü ile nöromüsküler performansın değerlendirilmesinde kullanıldı.

3.4.4. Şekerleme Değerlendirmesi

Katılımcıların şekerleme alışkanlıklarını ve şekerleme sırasında gerçekleşen kısa şekerleme müdahalelerine verdikleri yanıtı geniş kapsamlı bir şekilde betimlemek için, şekerleme ile ilgili öznel ölçüm ile toplandı.

Alışılmış uyku kalitesi, Buysse ve ark. (1989) tarafından geliştirilen ve Ağargün ve ark. (1996) tarafından Türk kültürüne uyarlanan Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi (PSQI) ile değerlendirildi. PSQI, son bir aydaki uyku kalitesini incelemek için yaygın olarak kullanılan bir klinik ve araştırma aracıdır. PSQI yedi bileşenden oluşmaktadır: öznel uyku kalitesi, uykuya dalma süresi, uyku süresi, alışılmış uyku verimliliği, uyku bozuklukları, uyku ilacı kullanımı ve gündüz işlev bozukluğu. 0 ile 21 arasında değişen puanlar, 5'ten yüksek puanlar ise en kötü uyku kalitesini temsil etmektedir. PSQI, katılımcıların tipik uyku düzenlerini tanımlamak ve dolayısıyla uykuya ilişkili potansiyel karıştırıcı faktörleri değerlendirmek amacıyla deney döneminden önce verilen, katılımcıların kendi bildirimlerine dayalı bir ankettir.

Alışılmış uyku değerlendirmelerinin güvenilirliği ve objektifliği, Görsel Analog Ölçek (VAS) kullanılarak yapılan uyku sonrası uyku kalitesinin öznel değerlendirmesiyle birlikte uygulandı. Her seansın ardından, katılımcılar her bir uyku koşulundan (ŞEK20, ŞEK40, ŞEK60 ve ŞEK90) sonra öznel uyku kalitelerini "Çok Kötü Uyku"dan "Çok İyi Uyku"ya kadar 10 cm'lik bir ölçekte değerlendirdiler. Basitliği, hassasiyeti ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle VAS, öznel uyku ve iyileşme değerlendirmeleri için evrensel olarak kullanılmaktadır (Price ve ark., 1983). Puanlar, Uyku Kalitesi Puanlarını (SQS) hesaplamak ve çıkarımsal analizler için kaydetmek için kullanıldı.

3.4.5. EEG Veri Toplama ve Analizi

Elektroensefalografik (EEG) kayıtları, 32 salin bazlı elektrot ve iki referans elektrot içeren Emotiv EPOC Flex kablosuz EEG sistemi (EMOTIV Inc., San Francisco, CA, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi. EEG sinyalleri, EmotivPRO yazılımı aracılığıyla 256 Hz örnekleme frekansında kaydedildi. Emotiv EPOC Flex sisteminin, araştırma amaçlı EEG uygulamalarında bilişsel süreçlerin değerlendirilmesi için yeterli sinyal kalitesi ve güvenilir ölçümler sağladığı daha önceki doğrulama çalışmalarıyla gösterildi (Williams ve ark., 2020).

EEG kayıtları, çevresel gürültünün en aza indirildiği sessiz bir laboratuvar ortamında gerçekleştirildi. Katılımcılar rahat bir sandalyede dik oturur pozisyonda değerlendirildi, kayıt süresince

hareket etmemeleri, çene kaslarını gevşek tutmaları ve gözlerini kapalı tutmaları istendi. Bu uygulama, göz hareketleri ve kas aktivitesinden kaynaklanabilecek artefaktların azaltılması amacıyla standartlaştırılmıştır. Her deneysel protokolda temel EEG kaydı zihinsel yorgunluk uygulaması öncesinde (Faz 1) alındı. Ardından zihinsel yorgunluk oluşturma protokolünün tamamlanmasını takiben ikinci kayıt (Faz 2) gerçekleştirildi, şekerleme protokollerinde ise katılımcılar uyandıktan sonra üçüncü EEG kaydı (Faz 3) elde edildi.

Analizlerde frontal (Fz), santral (Cz), parietal (Pz) ve bilateral oksipital (O1 ve O2) elektrot bölgeleri değerlendirildi. Bu elektrotlar, zihinsel yorgunluk, dikkat süreçleri, kortikal uyarılmışlık ve bilişsel iş yükü ile ilişkili EEG değişimlerinin en sık raporlandığı kortikal bölgeleri temsil etmeleri nedeniyle tercih edildi (Tran ve ark., 2020).

EEG verilerinin ön işleme, özellik çıkarımı ve spektral analiz işlemlerinin tamamı MATLAB R2023a (MathWorks, Natick, MA, ABD) ortamında gerçekleştirildi. Analizlerin güvenilirliğini artırmak amacıyla EEG sinyalleri standart bir ön işleme hattından geçirildi. İlk aşamada, ham EEG sinyallerindeki düşük frekanslı sürüklenmeleri, DC ofsetini ve yüksek frekanslı gürültü bileşenlerini azaltmak amacıyla 0,5–45 Hz Butterworth bant geçiren filtre uygulandı. Bu filtreleme işlemi, bilişsel EEG çalışmalarında önem taşıyan frekans bileşenlerini korurken, kas aktivitesi ve çevresel elektriksel gürültünün sinyal üzerindeki etkisini en aza indirmeyi amaçlandı.

Filtreleme sonrasında fizyolojik ve çevresel artefaktların giderilmesi amacıyla Bağımsız Bileşen Analizi (Independent Component Analysis, ICA) uygulandı. ICA sonucunda elde edilen bileşenler zaman serisi özellikleri ve spektral karakteristikleri dikkate alınarak görsel olarak incelendi; göz kırpması ve göz hareketleri (EOG), kas aktivitesi (EMG), deri iletkenliği değişimleri ile elektrik şebekesine bağlı gürültüyü temsil eden artefakt bileşenleri analiz dışı bırakıldı. Bu işlem, nöral aktivitenin korunmasını sağlarken sinyal-gürültü oranının artırılmasına katkı sağladı.

Ön işleme aşamasının ardından, katılımcılar ve kayıt oturumları arasında oluşabilecek bireysel genlik farklılıklarının etkisini azaltmak amacıyla kanal bazında z-skor normalizasyonu uygulandı. Bu standartlaştırma işlemi, tüm EEG özniteliklerinin ortak bir istatistiksel ölçeğe dönüştürülmesini sağlayarak farklı bireylerden elde edilen kayıtların karşılaştırılabilirliğini artırdı.

Temizlenmiş EEG sinyallerinden elde edilen spektral özellikler, Welch yöntemi kullanılarak Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density, PSD) analizi ile hesaplandı. Her bir kanal için Delta (1–4 Hz), Theta (4–8 Hz), Alpha (8–13 Hz) ve Beta (13–30 Hz) frekans bantlarına ait mutlak spektral güç (absolute power) değerleri belirlendi. Ayrıca, zihinsel yorgunluk ve bilişsel iş yükünün değerlendirilmesinde duyarlı nörofizyolojik göstergeler olarak kabul edilen Theta/Alpha ve Theta/Beta güç oranları da hesaplandı. Bu oranların, tek başına frekans bantlarından elde edilen bilgileri tamamlayarak dikkat kontrolü, kortikal

uyarılmışlık ve bilişsel yükte meydana gelen değişimleri daha duyarlı biçimde yansıttığı bildirilmektedir (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020).

Bu çalışmada EEG verileri, Delta (1–4 Hz), Theta (4–8 Hz), Alpha (8–13 Hz) ve Beta (13–30 Hz) frekans bantlarına ait mutlak spektral güç değerleri ile Theta/Alpha ve Theta/Beta bant oranları üzerinden değerlendirildi. Bu parametreler, zihinsel yorgunluk ve bilişsel iş yüküne bağlı kortikal aktivitedeki değişimleri ortaya koymada yaygın olarak kullanılan nörofizyolojik göstergelerdir. Frekans bantlarındaki ve bant oranlarındaki değişimler birlikte değerlendirilerek zihinsel yorgunluğun oluşumu ile farklı şekerleme süreleri sonrasında meydana gelen nörofizyolojik toparlanma kapsamlı biçimde incelendi.

3.4.6. Topografik EEG Analizi

EEG analizinde, istatistiksel olarak anlamlı bulunan spektral güç değişimlerinin mekânsal dağılımını görselleştirmek amacıyla topografik EEG haritaları oluşturuldu. Topografik haritalar, kortikal aktivitedeki bölgesel değişimlerin kafa derisi üzerindeki dağılımını göstermekte ve zihinsel yorgunluğa bağlı nörofizyolojik değişimlerin görsel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Michel ve ark., 2012). Bu çalışmada topografik haritalar, zihinsel yorgunluk oluşturmak amacıyla uygulanan Stroop görevi öncesi (EEG1) ve sonrası (EEG2) arasında istatistiksel olarak anlamlı değişim gösteren EEG parametreleri için oluşturuldu. Haritalarda kırmızı tonlar aktivitedeki artışı, mavi tonlar ise aktivitedeki azalışı temsil etmektedir.

3.5. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler, IBM SPSS Statistics, sürüm 26.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi. Tanımlayıcı istatistikler hesaplanmış ve sürekli değişkenler ortalama $\pm$ standart sapma (SS) ile %95 güven aralığı (GA) kullanılarak raporlandı. Çıkarımsal analizlerden önce EEG ve performans değişkenlerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testi ile değerlendirildi. Sonuçlar, özellikle EEG değişkenlerinin büyük çoğunluğunda normallik varsayımının sağlanmadığını gösterdi. Ayrıca bazı performans değişkenlerinde de normal dağılımdan sapmalar gözlemlendi. Örneklem büyüklüğü çalışma planlama aşamasında G*Power yazılımı kullanılarak tekrarlı ölçümler ANOVA modeli temel alınarak belirlenmiş olmakla birlikte, nihai istatistiksel yöntemlerin seçimi veri dağılımına göre yapıldı. Bu nedenle, normallik varsayımının sağlanmaması ve örneklem büyüklüğünün sınırlı olması ($n = 10$) nedeniyle tüm analizlerde non-parametrik istatistiksel yöntemler (Friedman ve Wilcoxon İşaretli Sıralar Testleri) tercih edildi.

Altı deney koşulu (KON, ZY, ŞEK20, ŞEK40, ŞEK60 ve ŞEK90) arasındaki farklılıkları değerlendirmek için Friedman testi kullanıldı. Friedman testi sonrası anlamlı bulunan değişkenlerde ikili karşılaştırmalar Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi ile gerçekleştirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi.

Aynı protokolün birden fazla zaman aralığında elde edilen EEG değişkenleri için Friedman testleri yapıldı ve ölçüm aşamaları arasındaki genel farklılıklar incelendi. Friedman testi sonrası anlamlı bulunan değişkenlerde ikili karşılaştırmalar Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi ile gerçekleştirildi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edildi.

İstatistiksel anlamlılığın yanı sıra, gözlenen farklılıkların pratik önemini ortaya koyabilmek amacıyla tüm analizler için etki büyüklükleri hesaplandı. Friedman testi sonuçları için Kendall's W katsayısı raporlanırken, ikili karşılaştırmalarda kullanılan Wilcoxon işaretli sıralar testi için etki büyüklüğü $*r*$ değeri hesaplandı. Elde edilen etki büyüklükleri, Cohen'in (1988) önerdiği sınıflandırmaya göre yorumlandı; $*r*$ değerleri sırasıyla 0,10 küçük, 0,30 orta ve 0,50 büyük etki olarak değerlendirildi. Böylece, istatistiksel olarak anlamlı bulunan farklılıkların büyüklüğü ve uygulamadaki olası önemi de nicel olarak ortaya konuldu.

Tüm analizler için istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak değerlendirildi.

4. BULGULAR

Tablo 4.1'de katılımcıların demografik ve antropometrik özelliklerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler sunuldu. Katılımcıların yaş ortalaması $20,60 \pm 0,97$ yıl, boy uzunluğu $181,70 \pm 5,85$ cm ve vücut ağırlığı $82,90 \pm 10,78$ kg'dır. Ortalama VKİ $25,06 \pm 2,51$ kg/m², spor deneyimi $5,00 \pm 1,49$ yıl, bacak uzunluğu $114,00 \pm 3,65$ cm, 90° bacak uzunluğu $80,30 \pm 3,40$ cm ve PSQI puanı $3,90 \pm 1,20$ olarak belirlendi. %95 güven aralıkları Tablo 4.1'de sunuldu.

Tablo 4.1. Katılımcıların demografik ve antropometrik özellikleri

Değişken	Ortalama $\pm$ SS	%95 GA
Yaş (yıl)	$20,60 \pm 0,97$	19,91–21,29
Boy (cm)	$181,70 \pm 5,85$	177,51–185,89
Vücut ağırlığı (kg)	$82,90 \pm 10,78$	75,19–90,61
VKİ (kg/m ²)	$25,06 \pm 2,51$	23,27–26,86
Spor deneyimi (yıl)	$5,00 \pm 1,49$	3,93–6,07
Bacak uzunluğu (cm)	$114,00 \pm 3,65$	111,39–116,61
90° bacak uzunluğu (cm)	$80,30 \pm 3,40$	77,87–82,73
PSQI puanı	$3,90 \pm 1,20$	3,04–4,76

SS: Standart sapma; GA: Güven aralığı.

Tablo 4.2 incelendiğinde deneysel protokoller arasında VÇT performans değerlerinde farklılıklar olduğu görüldü. En iyi çeviklik performansı ŞEK20 protokolünde ($6,71 \pm 0,40$ sn; %95 GA: 6,43–6,99) elde edilirken, en düşük performans ZY protokolünde ($8,02 \pm 0,52$ sn; %95 GA: 7,65–8,39) gözlemlendi. Kontrol koşulunda çeviklik süresi ($7,09 \pm 0,46$ sn; %95 GA: 6,76–7,42) olarak belirlenirken, şekerleme protokollerinde elde edilen performans değerlerinin zihinsel yorgunluk koşuluna kıyasla daha iyi olduğu görüldü.

Tablo 4.2. Deneysel protokollere göre voleybol çeviklik testi performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Protokol	Ortalama $\pm$ SS	%95 GA
KON	$7,09 \pm 0,46$	6,76–7,42

Protokol	Ortalama $\pm$ SS	%95 GA
ZY	8,02 $\pm$ 0,52	7,65–8,39
ŞEK20	6,71 $\pm$ 0,40	6,43–6,99
ŞEK40	7,36 $\pm$ 0,47	7,02–7,70
ŞEK60	7,76 $\pm$ 0,55	7,37–8,16
ŞEK90	7,71 $\pm$ 0,51	7,34–8,08

Tablo 4.3'te Voleybol Çeviklik Testi performansına ilişkin Friedman testi sonuçları sunuldu. Analiz sonuçları, deneysel protokoller arasında VÇT performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğunu gösterdi ($\chi^2(5)=49,121$; $p<0,001$). Hesaplanan Kendall's W değerinin 0,982 olması, deneysel protokollerin çeviklik performansı üzerinde çok büyük düzeyde bir etkiye sahip olduğunu gösterdi. Bu bulgular, katılımcıların VÇT performanslarının uygulanan deneysel koşullara göre anlamlı düzeyde değiştiğini ortaya koydu. Protokoller arasındaki farklılığın hangi koşullardan kaynaklandığını belirlemek amacıyla ikili karşılaştırma analizleri gerçekleştirildi.

Tablo 4.3. Voleybol çeviklik testi performansına ilişkin friedman testi sonuçları

Değişken	χ^2	df	p	Kendall's W
VÇT	49,121	5	<0,001*	0,982

Friedman testi sonrasında gerçekleştirilen Wilcoxon ikili karşılaştırma analizleri sonucunda, zihinsel yorgunluk koşulunda elde edilen VÇT performansının kontrol koşuluna göre anlamlı düzeyde kötüleştiği belirlendi ($Z=-2,823$; $p=0,005$). Ayrıca zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan tüm şekerleme protokollerinin VÇT performansını anlamlı düzeyde iyileştirdiği tespit edildi ($p=0,005$). Etki büyüklükleri incelendiğinde tüm karşılaştırmalarda r değerinin 0,89 olduğu ve farklılıkların çok büyük düzeyde etki büyüklüğüne sahip olduğu görüldü. Sıra istatistikleri, tüm katılımcıların zihinsel yorgunluk sonrasında daha uzun çeviklik süresi sergilediğini, şekerleme uygulamalarından sonra ise çeviklik performanslarında iyileşme meydana geldiğini gösterdi.

Tablo 4.4. Voleybol çeviklik testi performansına ilişkin wilcoxon ikili karşılaştırma sonuçları

Karşılaştırma	Z	p	r
KON – ZY	-2,823	0,005*	0,89

Karşılaştırma	Z	p	r
ZY – ŞEK20	-2,812	0,005*	0,89
ZY – ŞEK40	-2,814	0,005*	0,89
ZY – ŞEK60	-2,807	0,005*	0,89
ZY – ŞEK90	-2,825	0,005*	0,89

Tablo 4.5'te deneysel protokollere ait Countermovement Jump (CMJ) performans değerleri sunuldu. Protokoller incelendiğinde en yüksek sıçrama yüksekliğinin ŞEK20 protokolünde ($57,56 \pm 2,71$ cm), en düşük sıçrama yüksekliğinin ise ZY protokolünde ($52,65 \pm 1,32$ cm) elde edildiği görüldü. Kontrol koşulunda ortalama sıçrama yüksekliği $55,98 \pm 1,64$ cm olarak belirlenirken, ŞEK40, ŞEK60 ve ŞEK90 protokollerinde sırasıyla $55,03 \pm 2,85$ cm, $52,88 \pm 3,65$ cm ve $53,91 \pm 2,97$ cm değerleri elde edildi. Ortalama değerlere ait %95 güven aralıkları Tablo 4.5'te ayrıca sunuldu.

Tablo 4.5. Deneysel protokollere göre countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Protokol	Ortalama $\pm$ SS (cm)	%95 GA
KON	$55,98 \pm 1,64$	54,81–57,15
ZY	$52,65 \pm 1,32$	51,71–53,60
ŞEK20	$57,56 \pm 2,71$	55,62–59,50
ŞEK40	$55,03 \pm 2,85$	52,99–57,07
ŞEK60	$52,88 \pm 3,65$	50,27–55,49
ŞEK90	$53,91 \pm 2,97$	51,78–56,04

Tablo 4.6' da Countermovement Jump (CMJ) performansına ilişkin Friedman testi sonuçları sunuldu. Analiz sonuçları, deneysel protokoller arasında CMJ performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğunu gösterdi ($\chi^2(5)=23,324$; $p<0,001$). Hesaplanan Kendall's W değerinin 0,466 olması, deneysel protokollerin sıçrama performansı üzerinde orta-büyük düzeyde bir etkiye sahip olduğunu gösterdi. Ortalama sıra değerleri incelendiğinde en yüksek sıra değerinin ŞEK20 protokolünde (5,55), en düşük sıra değerinin ise ZY protokolünde (2,00) olduğu görüldü. Bu bulgular, CMJ performansının uygulanan deneysel koşullara göre anlamlı biçimde değiştiğini gösterdi.

Tablo 4.6. Countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin friedman testi sonuçları

Değişken	χ^2	df	p	Kendall's W
CMJ	23,324	5	<0,001*	0,466

Friedman testi sonrasında gerçekleştirilen Wilcoxon ikili karşılaştırma analizleri sonucunda, zihinsel yorgunluk koşulunda elde edilen CMJ performansının kontrol koşuluna göre anlamlı düzeyde azaldığı belirlendi ($Z=-2,803$; $p=0,005$). Ayrıca 20 dakikalık şekerleme sonrasında elde edilen CMJ performansının zihinsel yorgunluk koşuluna göre anlamlı düzeyde arttığı tespit edildi ($Z=-2,803$; $p=0,005$). Buna karşın 40 dakikalık ($p=0,059$), 60 dakikalık ($p=0,799$) ve 90 dakikalık ($p=0,333$) şekerleme protokolleri ile zihinsel yorgunluk koşulu arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadı. Etki büyüklükleri incelendiğinde, kontrol–zihinsel yorgunluk ve zihinsel yorgunluk–ŞEK20 karşılaştırmalarında çok büyük düzeyde etki büyüklüğü ($r=0,89$) olduğu görüldü.

Tablo 4.7. Countermovement jump (CMJ) performansına ilişkin wilcoxon ikili karşılaştırma sonuçları

Karşılaştırma	Z	p	r
KON – ZY	-2,803	0,005*	0,89
ZY – ŞEK20	-2,803	0,005*	0,89
ZY – ŞEK40	-1,886	0,059	0,60
ZY – ŞEK60	-0,255	0,799	0,08
ZY – ŞEK90	-0,968	0,333	0,31

Tablo 4.8'de karşı hareket sıçramasına ilişkin ek performans parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri ve Friedman testi sonuçları sunuldu. DeneySEL protokoller arasında uçuş süresi, ortalama hız, kalkış hızı ve dürtü değışkenlerinde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar belirlendi (p<0,001). Tanımlayıcı istatistikler incelendiğinde, uçuş süresi, ortalama hız ve kalkış hızı açısından en yüksek ortalama değeri ŞEK20 protokolünde, en düşük ortalama değeri ise ZY protokolünde elde edildiği görüldü. Dürtü değeri ise protokoller arasında daha sınırlı farklılık gösterdi.

Tablo 4.8. Karşı hareket sıçramasına ilişkin ek performans parametreleri

Değişken	KON (Ort±SS)	ZY (Ort±SS)	ŞEK20 (Ort±SS)	ŞEK40 (Ort±SS)	ŞEK60 (Ort±SS)	ŞEK90 (Ort±SS)	χ ²	df	p	W
Uçuş Süresi (ms)	675,70 ± 10,05	655,30 ± 8,38	684,90 ± 16,13	669,70 ± 17,54	656,50 ± 22,61	662,70 ± 18,56	22,616	5	<0,001*	0,452
Ortalama Hız (m/s)	1,657 ± 0,025	1,609 ± 0,021	1,679 ± 0,040	1,643 ± 0,043	1,610 ± 0,054	1,626 ± 0,046	20,638	5	0,001*	0,413
Kalkış Hızı (m/s)	3,314 ± 0,050	3,214 ± 0,040	3,361 ± 0,080	3,284 ± 0,086	3,218 ± 0,110	3,251 ± 0,090	24,277	5	<0,001*	0,486
Dürtü (kg·m/s)	274,53 ± 34,19	266,29 ± 33,88	278,41 ± 36,27	275,52 ± 34,86	269,04 ± 35,22	269,49 ± 35,45	20,896	5	0,001*	0,418

Tablo 4.9 incelendiğinde, kontrol protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümleri arasında yalnızca O1 kanalındaki Delta bandında ($Z=-1,988$; $p=0,047$; $r=0,63$) ve Pz kanalındaki Alpha bandında ($Z=-2,497$; $p=0,013$; $r=0,79$) istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu görüldü. Her iki değişkende de EEG2 ölçüm değerleri EEG1'e kıyasla daha düşük bulundu. Diğer tüm EEG bantları ve oranlarında ölçümler arasında anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0,05$). Etki büyüklükleri incelendiğinde, anlamlı bulunan farklılıkların büyük düzeyde etkiye sahip olduğu görüldü ($r>0,50$).

Tablo 4.9. Kontrol protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Değişken	EEG1 (Ort±SS)	EEG2 (Ort±SS)	Z	p	r
Cz	Delta	1968,42 ± 5444,72	2001,08 ± 3491,47	-0,153	0,878	0,05
	Theta	67,24 ± 99,04	48,03 ± 49,84	-1,172	0,241	0,37
	Alpha	61,89 ± 70,64	65,17 ± 58,16	-0,459	0,646	0,15
	Beta	21,57 ± 17,36	19,37 ± 14,24	-1,070	0,285	0,34
	Theta/Alpha	1,26 ± 1,14	0,88 ± 0,43	-1,172	0,241	0,37
	Theta/Beta	2,64 ± 2,38	2,08 ± 0,77	-0,051	0,959	0,02
Fz	Delta	232,38 ± 183,25	250,83 ± 287,31	-0,255	0,799	0,08
	Theta	40,48 ± 23,47	41,02 ± 41,88	-0,968	0,333	0,31
	Alpha	59,76 ± 57,79	50,37 ± 39,17	-1,274	0,203	0,40
	Beta	23,28 ± 16,46	22,10 ± 15,77	-1,478	0,139	0,47
	Theta/Alpha	1,13 ± 1,20	0,96 ± 0,52	-0,153	0,878	0,05
	Theta/Beta	1,96 ± 1,17	1,80 ± 0,81	-0,866	0,386	0,27
O1	Delta	217,33 ± 178,73	142,50 ± 123,49	-1,988	0,047*	0,63
	Theta	21,24 ± 20,80	10,91 ± 6,11	-1,274	0,203	0,40
	Alpha	27,99 ± 16,51	24,21 ± 14,85	-1,274	0,203	0,40
	Beta	17,06 ± 11,85	13,19 ± 3,33	-0,561	0,575	0,18
	Theta/Alpha	0,82 ± 0,90	0,55 ± 0,34	-0,968	0,333	0,31
	Theta/Beta	1,24 ± 1,11	0,87 ± 0,57	-1,376	0,169	0,44
O2	Delta	437,07 ± 670,21	357,70 ± 641,32	-0,866	0,386	0,27
	Theta	62,35 ± 118,43	44,71 ± 99,08	-0,663	0,508	0,21
	Alpha	44,94 ± 49,23	34,87 ± 30,93	-0,051	0,959	0,02
	Beta	28,77 ± 39,12	18,58 ± 17,70	-0,051	0,959	0,02
	Theta/Alpha	0,94 ± 0,67	0,95 ± 0,92	-0,051	0,959	0,02
	Theta/Beta	1,55 ± 0,94	1,51 ± 1,44	-0,561	0,575	0,18

Kanal	Değişken	EEG1 (Ort±SS)	EEG2 (Ort±SS)	Z	p	r
Pz	Delta	722,86 ± 818,11	288,75 ± 334,02	-1,172	0,241	0,37
	Theta	46,62 ± 51,56	16,75 ± 7,38	-1,784	0,074	0,56
	Alpha	43,10 ± 29,07	28,34 ± 16,74	-2,497	0,013*	0,79
	Beta	20,95 ± 19,91	12,57 ± 4,20	-1,070	0,285	0,34
	Theta/Alpha	1,32 ± 1,26	0,77 ± 0,45	-0,968	0,333	0,31
	Theta/Beta	2,27 ± 1,55	1,35 ± 0,50	-1,478	0,139	0,47

Tablo 4.10 incelendiğinde, zihinsel yorgunluk protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümleri arasında hiçbir EEG değişkeninde istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığı görüldü ($p>0,05$). Bununla birlikte O1 Theta/Beta ($r=0,56$), O2 Theta/Beta ($r=0,53$), Cz Theta/Beta ($r=0,50$) ve Pz Delta ($r=0,50$) değişkenlerinde orta-büyük düzeyde etki büyüklükleri gözlemlendi. Ancak bu değişimler istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmadı. Bu bulgular, zihinsel yorgunluk uygulamasının EEG değişkenlerinde bazı eğilimler oluşturmalarına rağmen, mevcut örneklem büyüklüğünde anlamlı değişikliklere yol açmadığını gösterdi.

Tablo 4.10. Zihinsel yorgunluk protokolünde EEG1 ve EEG2 ölçümlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Değişken	EEG1 (Ort±SS)	EEG2 (Ort±SS)	Z	p	r
Cz	Delta	177,36 ± 333,02	198,14 ± 204,78	-0,866	0,386	0,27
	Theta	34,83 ± 32,67	39,38 ± 31,23	-0,968	0,333	0,31
	Alpha	58,20 ± 52,12	46,72 ± 40,10	-1,274	0,203	0,40
	Beta	22,20 ± 18,91	20,38 ± 13,85	-0,561	0,575	0,18
	Theta/Alpha	0,76 ± 0,43	1,02 ± 0,58	-1,274	0,203	0,40
	Theta/Beta	1,51 ± 0,52	1,98 ± 1,04	-1,580	0,114	0,50
Fz	Delta	227,41 ± 337,02	136,52 ± 86,17	-0,153	0,878	0,05
	Theta	39,28 ± 28,05	39,29 ± 13,48	-0,051	0,959	0,02
	Alpha	84,00 ± 102,80	81,16 ± 71,24	-0,968	0,333	0,31
	Beta	27,07 ± 20,48	27,44 ± 14,30	-0,357	0,721	0,11
	Theta/Alpha	0,85 ± 0,54	0,91 ± 0,74	-0,255	0,799	0,08
	Theta/Beta	1,60 ± 0,59	1,71 ± 0,84	-0,561	0,575	0,18
O1	Delta	233,59 ± 245,40	157,37 ± 81,08	-0,153	0,878	0,05
	Theta	17,01 ± 12,55	19,49 ± 9,53	-1,376	0,169	0,44
	Alpha	49,19 ± 58,71	58,52 ± 57,64	-0,663	0,508	0,21
	Beta	19,64 ± 6,73	16,27 ± 7,66	-1,274	0,203	0,40
	Theta/Alpha	0,72 ± 0,64	0,68 ± 0,64	-0,968	0,333	0,31

Kanal	Değişken	EEG1 (Ort±SS)	EEG2 (Ort±SS)	Z	p	r
O2	Theta/Beta	0,86 ± 0,51	1,37 ± 0,76	-1,784	0,074	0,56
	Delta	231,00 ± 135,74	358,12 ± 562,91	-0,561	0,575	0,18
	Theta	25,59 ± 24,32	36,52 ± 28,44	-0,459	0,646	0,15
	Alpha	54,14 ± 63,59	60,21 ± 58,92	-0,968	0,333	0,31
	Beta	19,93 ± 11,11	18,02 ± 10,09	-0,357	0,721	0,11
	Theta/Alpha	0,82 ± 0,53	1,10 ± 1,16	-0,561	0,575	0,18
Pz	Theta/Beta	1,18 ± 0,48	2,48 ± 2,42	-1,682	0,093	0,53
	Delta	379,25 ± 396,08	178,67 ± 133,38	-1,580	0,114	0,50
	Theta	28,24 ± 20,15	30,55 ± 17,29	-0,153	0,878	0,05
	Alpha	78,16 ± 119,74	77,11 ± 91,30	-0,051	0,959	0,02
	Beta	19,21 ± 13,90	18,67 ± 11,14	-0,561	0,575	0,18
	Theta/Alpha	0,98 ± 0,83	0,96 ± 0,95	-0,357	0,721	0,11
	Theta/Beta	1,51 ± 1,15	2,00 ± 1,36	-0,968	0,333	0,31

ŞEK20 protokolünde EEG ölçümleri arasında anlamlı farklılıklar Cz kanalında Theta/Alpha oranında ($\chi^2=7,80$; $p=0,020$; $W=0,39$), O2 kanalında Delta bandında ($\chi^2=6,20$; $p=0,045$; $W=0,31$) ve Theta/Alpha oranında ($\chi^2=8,60$; $p=0,014$; $W=0,43$), Pz kanalında ise Theta/Alpha ($\chi^2=7,80$; $p=0,020$; $W=0,39$) ve Theta/Beta oranında ($\chi^2=9,80$; $p=0,007$; $W=0,49$) gözlemlendi (Tablo 4.11). Kendall's W katsayıları, anlamlı bulunan değişkenlerde orta ile büyük düzey arasında değişen etki büyüklüklerine işaret etmektedir.

Tablo 4.11. ŞEK20 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki Friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/Kendall's W$)

Kanal	Delta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)
Cz	1,40 / 0,497 / 0,07	1,40 / 0,497 / 0,07	2,60 / 0,273 / 0,13	0,60 / 0,741 / 0,03	7,80 / 0,020* / 0,39	4,20 / 0,122 / 0,21
Fz	5,60 / 0,061 / 0,28	1,40 / 0,497 / 0,07	3,80 / 0,150 / 0,19	1,40 / 0,497 / 0,07	5,40 / 0,067 / 0,27	2,60 / 0,273 / 0,13
O1	2,40 / 0,301 / 0,12	2,60 / 0,273 / 0,13	1,40 / 0,497 / 0,07	1,40 / 0,497 / 0,07	2,60 / 0,273 / 0,13	3,80 / 0,150 / 0,19
O2	6,20 / 0,045* / 0,31	0,20 / 0,905 / 0,01	2,60 / 0,273 / 0,13	1,40 / 0,497 / 0,07	8,60 / 0,014* / 0,43	3,80 / 0,150 / 0,19
Pz	5,60 / 0,061 / 0,28	1,40 / 0,497 / 0,07	2,60 / 0,273 / 0,13	0,80 / 0,670 / 0,04	7,80 / 0,020* / 0,39	9,80 / 0,007* / 0,49

Not: Tabloda yer alan değerler sırasıyla Friedman testi ki-kare değeri (χ^2), anlamlılık düzeyi (p) ve Kendall'in uyum katsayısını (W) göstermektedir ($p<0,05$).

Tablo 4.12 incelendiğinde, ŞEK20 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerinin çoğunda orta ile büyük arasında değişen etki büyüklükleri gözlemlendi. En yüksek etki büyüklüğü O2 kanalındaki Theta/Alpha oranının EEG2→EEG3 karşılaştırmasında elde edildi ($r=0,85$). Ayrıca Pz kanalındaki Theta/Alpha ($r=0,79$) ve Theta/Beta ($r=0,76$) oranlarında da büyük etki büyüklükleri belirlendi. Genel olarak anlamlı bulunan karşılaştırmaların tamamında etki büyüklüklerinin yüksek olması, ŞEK20 protokolünün ilgili EEG parametreleri üzerinde güçlü etkiler oluşturduğunu gösterdi.

Tablo 4.12. ŞEK20 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Parametre	Karşılaştırma	Ortalama Değişim	Z	p	r
Cz	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	1,098 → 1,051	-0,357	0,721	0,11
		EEG2→EEG3	1,051 → 0,635	-2,090	0,037*	0,66
		EEG1→EEG3	1,098 → 0,635	-1,988	0,047*	0,63
O2	Delta	EEG1→EEG2	99,115 → 340,783	-2,090	0,037*	0,66
		EEG2→EEG3	340,783 → 3604,084	-1,682	0,093	0,53
		EEG1→EEG3	99,115 → 3604,084	-1,376	0,169	0,44
O2	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	0,728 → 1,185	-2,090	0,037*	0,66
		EEG2→EEG3	1,185 → 0,511	-2,701	0,007*	0,85
		EEG1→EEG3	0,728 → 0,511	-1,682	0,093	0,53
Pz	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	1,071 → 1,196	-1,376	0,169	0,44
		EEG2→EEG3	1,196 → 0,539	-2,497	0,013*	0,79
		EEG1→EEG3	1,071 → 0,539	-1,784	0,074	0,56
Pz	Theta/Beta	EEG1→EEG2	1,405 → 1,183	-1,478	0,139	0,47
		EEG2→EEG3	1,183 → 0,758	-2,090	0,037*	0,66
		EEG1→EEG3	1,405 → 0,758	-2,395	0,017*	0,76

ŞEK40 protokolünde anlamlı farklılıklar ağırlıklı olarak frontal bölgede (Fz) gözlemlendi. Fz kanalında Delta ($W=0,37$), Theta ($W=0,43$), Alpha ($W=0,73$), Beta ($W=0,49$) ve Theta/Alpha ($W=0,36$) değişkenlerinde anlamlı farklılıklar belirlendi. Ayrıca O2 kanalında Alpha bandında ($W=0,31$) ve Pz kanalında Alpha bandında ($W=0,49$) anlamlı değişimler saptandı. Etki büyüklükleri incelendiğinde en yüksek değerin Fz Alpha bandında olduğu görüldü ($W=0,73$) (Tablo 4.13). Bu sonuç, ŞEK40 protokolünün özellikle frontal bölgede Alpha aktivitesi üzerinde anlamlı farklılık bulundu ($\chi^2=14,60$; $p=0,001$; $W=0,73$).

Tablo 4.13. ŞEK40 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki Friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/W$)

Kanal	Delta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)
Cz	1,40 / 0,497 / 0,07	1,80 / 0,407 / 0,09	1,80 / 0,407 / 0,09	5,60 / 0,061 / 0,28	4,20 / 0,122 / 0,21	0,20 / 0,905 / 0,01
Fz	7,40 / 0,025* / 0,37	8,60 / 0,014* / 0,43	14,60 / 0,001* / 0,73	9,80 / 0,007* / 0,49	7,20 / 0,027* / 0,36	0,60 / 0,741 / 0,03
O1	0,60 / 0,741 / 0,03	1,40 / 0,497 / 0,07	2,40 / 0,301 / 0,12	3,80 / 0,150 / 0,19	2,60 / 0,273 / 0,13	0,20 / 0,905 / 0,01
O2	0,80 / 0,670 / 0,04	1,80 / 0,407 / 0,09	6,20 / 0,045* / 0,31	5,60 / 0,061 / 0,28	0,60 / 0,741 / 0,03	0,20 / 0,905 / 0,01
Pz	1,40 / 0,497 / 0,07	5,60 / 0,061 / 0,28	9,80 / 0,007* / 0,49	5,60 / 0,061 / 0,28	2,60 / 0,273 / 0,13	3,20 / 0,202 / 0,16

Tablo 4.14 incelendiğinde, ŞEK40 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerinin büyük çoğunluğunda büyük etki büyüklükleri elde edildi. En yüksek etki büyüklüğü Fz Alpha bandında EEG1→EEG3 karşılaştırmasında gözlemlendi ($r=0,89$). Ayrıca Fz Delta ($r=0,85$), Pz Alpha ($r=0,85$), Fz Beta ($r=0,82$) ve Fz Theta/Alpha ($r=0,69$) değişkenlerinde de yüksek etki büyüklükleri belirlendi. Genel olarak sonuçlar, ŞEK40 protokolünün özellikle frontal bölgede (Fz) yer alan EEG aktivitesi üzerinde güçlü etkiler oluşturduğunu gösterdi. Bu durum Friedman analizinde elde edilen yüksek Kendall's W değerleri ile de desteklendi.

Tablo 4.14. ŞEK40 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Parametre	Karşılaştırma	Ortalama Değişim	Z	p	r
Fz	Delta	EEG1→EEG2	98,308 → 300,229	-2,701	0,007*	0,85
		EEG2→EEG3	300,229 → 110,524	-1,886	0,059	0,60
		EEG1→EEG3	98,308 → 110,524	-0,357	0,721	0,11
Fz	Theta	EEG1→EEG2	26,387 → 23,341	-0,663	0,508	0,21
		EEG2→EEG3	23,341 → 14,660	-1,580	0,114	0,50
		EEG1→EEG3	26,387 → 14,660	-1,988	0,047*	0,63
Fz	Alpha	EEG1→EEG2	45,699 → 35,694	-1,988	0,047*	0,63
		EEG2→EEG3	35,694 → 16,376	-2,090	0,037*	0,66
		EEG1→EEG3	45,699 → 16,376	-2,803	0,005*	0,89
Fz	Beta	EEG1→EEG2	24,130 → 23,063	-0,357	0,721	0,11
		EEG2→EEG3	23,063 → 12,316	-2,090	0,037*	0,66
		EEG1→EEG3	24,130 → 12,316	-2,599	0,009*	0,82
Fz	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	0,761 → 0,863	-1,886	0,059	0,60
		EEG2→EEG3	0,863 → 1,199	-2,090	0,037*	0,66
		EEG1→EEG3	0,761 → 1,199	-2,191	0,028*	0,69
O2	Alpha	EEG1→EEG2	37,105 → 36,060	-1,070	0,285	0,34
		EEG2→EEG3	36,060 → 41,704	-1,682	0,093	0,53
		EEG1→EEG3	37,105 → 41,704	-1,682	0,093	0,53
Pz	Alpha	EEG1→EEG2	45,424 → 25,721	-2,090	0,037*	0,66
		EEG2→EEG3	25,721 → 18,153	-1,682	0,093	0,53
		EEG1→EEG3	45,424 → 18,153	-2,701	0,007*	0,85

ŞEK60 protokolünde anlamlı farklılıklar Fz kanalında Delta (W=0,37) ve Beta (W=0,31) bantlarında, O1 kanalında ise Alpha (W=0,64) ve Beta (W=0,36) bantlarında gözlemlendi. En yüksek etki büyüklüğü O1 Alpha bandında elde edilmiş olup (W=0,64), bu sonuç ŞEK60 protokolünün özelliikle oksipital bölgede Alpha aktivitesi üzerinde güçlü bir etki oluşturduğunu gösterdi. Fz Delta, Fz Beta ve O1 Beta değişkenlerinde ise orta-büyük düzeyde etki büyüklükleri belirlendi (tablo 4.15).

Tablo 4.15. ŞEK60 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/w$)

Kanal	Delta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Alpha ($\chi^2/p/Kendall's W$)	Theta/Beta ($\chi^2/p/Kendall's W$)
Cz	3,80 / 0,150 / 0,19	2,60 / 0,273 / 0,13	3,80 / 0,150 / 0,19	1,40 / 0,497 / 0,07	2,40 / 0,301 / 0,12	0,20 / 0,905 / 0,01
Fz	7,40 / 0,025* / 0,37	0,60 / 0,741 / 0,03	0,80 / 0,670 / 0,04	6,20 / 0,045* / 0,31	0,00 / 1,000 / 0,00	5,40 / 0,067 / 0,27
O1	3,20 / 0,202 / 0,16	4,20 / 0,122 / 0,21	12,80 / 0,002* / 0,64	7,20 / 0,027* / 0,36	0,60 / 0,741 / 0,03	2,60 / 0,273 / 0,13
O2	1,40 / 0,497 / 0,07	3,80 / 0,150 / 0,19	4,20 / 0,122 / 0,21	2,60 / 0,273 / 0,13	1,40 / 0,497 / 0,07	2,40 / 0,301 / 0,12
Pz	1,40 / 0,497 / 0,07	0,60 / 0,741 / 0,03	0,20 / 0,905 / 0,01	0,80 / 0,670 / 0,04	5,60 / 0,061 / 0,28	1,40 / 0,497 / 0,07

Not: Tabloda yer değerler sırasıyla Friedman testi ki-kare değeri (χ^2), anlamlılık düzeyi (p) ve Kendall'in uyum katsayısını (W) göstermektedir (p<0,05).

Tablo 4.16 incelendiğinde, ŞEK60 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerinin tamamında orta ile çok büyük arasında değişen etki büyüklükleri elde edildi. En yüksek etki büyüklüğü O1 Alpha bandında EEG1→EEG3 karşılaştırmasında gözlemlendi ($r=0,85$). Benzer şekilde Fz Beta (EEG2→EEG3; $r=0,82$), Fz Delta (EEG1→EEG2; $r=0,79$) ve O1 Alpha (EEG1→EEG2; $r=0,79$) karşılaştırmalarında da büyük etki büyüklükleri belirlendi. O1 Beta bandında EEG1→EEG3 karşılaştırmasında gözlenen anlamlı farklılık da büyük etki büyüklüğüne sahipti ($r=0,66$). Bu bulgular, ŞEK60 protokolünün özellikle frontal bölgede Delta ve Beta aktiviteleri ile oksipital bölgede Alpha aktivitesi üzerinde güçlü etkiler oluşturduğunu gösterdi.

Tablo 4.16. ŞEK60 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Parametre	Karşılaştırma	Z	p	r
Fz	Delta	EEG1→EEG2	-2,497	0,013*	0,79
		EEG2→EEG3	-1,784	0,074	0,56
		EEG1→EEG3	-0,051	0,959	0,02
Fz	Beta	EEG1→EEG2	-0,255	0,799	0,08
		EEG2→EEG3	-2,599	0,009*	0,82
		EEG1→EEG3	-1,682	0,093	0,53
O1	Alpha	EEG1→EEG2	-2,497	0,013*	0,79
		EEG2→EEG3	-2,191	0,028*	0,69
		EEG1→EEG3	-2,701	0,007*	0,85
O1	Beta	EEG1→EEG2	-1,478	0,139	0,47
		EEG2→EEG3	-1,172	0,241	0,37
		EEG1→EEG3	-2,090	0,037*	0,66

ŞEK90 protokolünde anlamlı farklılıklar Cz kanalında Beta bandında ($W=0,63$), O1 kanalında Beta bandında ($W=0,52$), O2 kanalında Theta ($W=0,57$), Beta ($W=0,31$) ve Theta/Alpha ($W=0,52$) değişkenlerinde, ayrıca Pz kanalında Theta/Alpha oranında ($W=0,84$) gözlemlendi. En yüksek etki büyüklüğü Pz kanalındaki Theta/Alpha oranında elde edildi ($W=0,84$), bu sonuç EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasında çok güçlü bir farklılığa işaret etmektedir. Genel olarak ŞEK90 protokolünde anlamlı bulunan değişkenlerin tamamında orta ile çok büyük arasında değişen etki büyüklükleri elde edildi. Özellikle Beta aktivitesi ve Theta/Alpha oranındaki değişimler, 90 dakikalık şekerleme sonrasında ortaya çıkan nörofizyolojik farklılıkların en belirgin göstergeleri olarak görüldü (tablo 4.17).

Tablo 4.17. ŞEK90 protokolünde EEG1, EEG2 ve EEG3 ölçümleri arasındaki friedman testi sonuçları ($\chi^2/p/W$)

Kanal	Delta (χ^2/p /Kendall's W)	Theta (χ^2/p /Kendall's W)	Alpha (χ^2/p /Kendall's W)	Beta (χ^2/p /Kendall's W)	Theta/Alpha (χ^2/p /Kendall's W)	Theta/Beta (χ^2/p /Kendall's W)
Cz	0,80 / 0,670 / 0,04	1,40 / 0,497 / 0,07	1,40 / 0,497 / 0,07	12,60 / 0,002* / 0,63	0,20 / 0,905 / 0,01	1,40 / 0,497 / 0,07
Fz	0,80 / 0,670 / 0,04	0,60 / 0,741 / 0,03	0,60 / 0,741 / 0,03	4,20 / 0,122 / 0,21	2,60 / 0,273 / 0,13	3,80 / 0,150 / 0,19
O1	0,80 / 0,670 / 0,04	2,60 / 0,273 / 0,13	1,40 / 0,497 / 0,07	10,40 / 0,006* / 0,52	5,40 / 0,067 / 0,27	2,60 / 0,273 / 0,13
O2	1,40 / 0,497 / 0,07	11,40 / 0,003* / 0,57	0,20 / 0,905 / 0,01	6,20 / 0,045* / 0,31	10,40 / 0,006* / 0,52	5,00 / 0,082 / 0,25
Pz	4,20 / 0,122 / 0,21	2,60 / 0,273 / 0,13	1,80 / 0,407 / 0,09	2,60 / 0,273 / 0,13	16,80 / <0,001 / 0,84	3,80 / 0,150 / 0,19

Not: Tabloda yer alan değerler sırasıyla Friedman testi ki-kare değeri (χ^2), anlamlılık düzeyi (p) ve Kendall'in uyum katsayısını (W) göstermektedir (p<0,05).

Tablo 4.18 incelendiğinde, ŞEK90 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerinin tamamında büyük düzeyde etki büyüklükleri elde edildiği görüldü. En yüksek etki büyüklükleri Cz Beta, O1 Beta, O2 Theta, O2 Theta/Alpha ve Pz Theta/Alpha değişkenlerinde gözlemlendi bazı karşılaştırmalarda r değeri 0,89'a ulaştı. Özellikle O2 kanalındaki Theta aktivitesi ile Theta/Alpha oranında ve Pz kanalındaki Theta/Alpha oranında EEG2→EEG3 veya EEG1→EEG3 karşılaştırmalarında çok güçlü etkiler belirlendi. Benzer şekilde Cz ve O1 kanallarındaki Beta aktivitesinde de büyük etki büyüklükleri elde edildi ($r=0,69-0,89$). Bu bulgular, ŞEK90 protokolünün özellikle Beta aktivitesi ve Theta/Alpha oranı üzerinde güçlü nörofizyolojik değişimler oluşturduğunu gösterdi.

Tablo 4.18. ŞEK90 protokolünde anlamlı bulunan EEG parametrelerine ilişkin wilcoxon işaretli sıralar testi sonuçları

Kanal	Parametre	Karşılaştırma	Ortalama Değişim	Z	p	r
Cz	Beta	EEG1→EEG2	20,130 → 12,790	-2,497	0,013*	0,79
		EEG2→EEG3	12,790 → 11,105	-0,968	0,333	0,31
		EEG1→EEG3	20,130 → 11,105	-2,803	0,005*	0,89
O1	Beta	EEG1→EEG2	19,298 → 10,491	-2,803	0,005*	0,89
		EEG2→EEG3	10,491 → 13,185	-1,376	0,169	0,44
		EEG1→EEG3	19,298 → 13,185	-2,191	0,028*	0,69
O2	Theta	EEG1→EEG2	21,621 → 29,063	-1,274	0,203	0,40
		EEG2→EEG3	29,063 → 13,661	-2,803	0,005*	0,89
		EEG1→EEG3	21,621 → 13,661	-1,784	0,074	0,56
O2	Beta	EEG1→EEG2	22,116 → 18,520	-1,274	0,203	0,40
		EEG2→EEG3	18,520 → 14,962	-1,274	0,203	0,40
		EEG1→EEG3	22,116 → 14,962	-2,497	0,013*	0,79
O2	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	1,194 → 1,556	-1,376	0,169	0,44
		EEG2→EEG3	1,556 → 0,819	-2,803	0,005*	0,89
		EEG1→EEG3	1,194 → 0,819	-1,988	0,047*	0,63
Pz	Theta/Alpha	EEG1→EEG2	4,909 → 1,214	-2,803	0,005*	0,89
		EEG2→EEG3	1,214 → 0,856	-1,886	0,059	0,60
		EEG1→EEG3	4,909 → 0,856	-2,803	0,005*	0,89

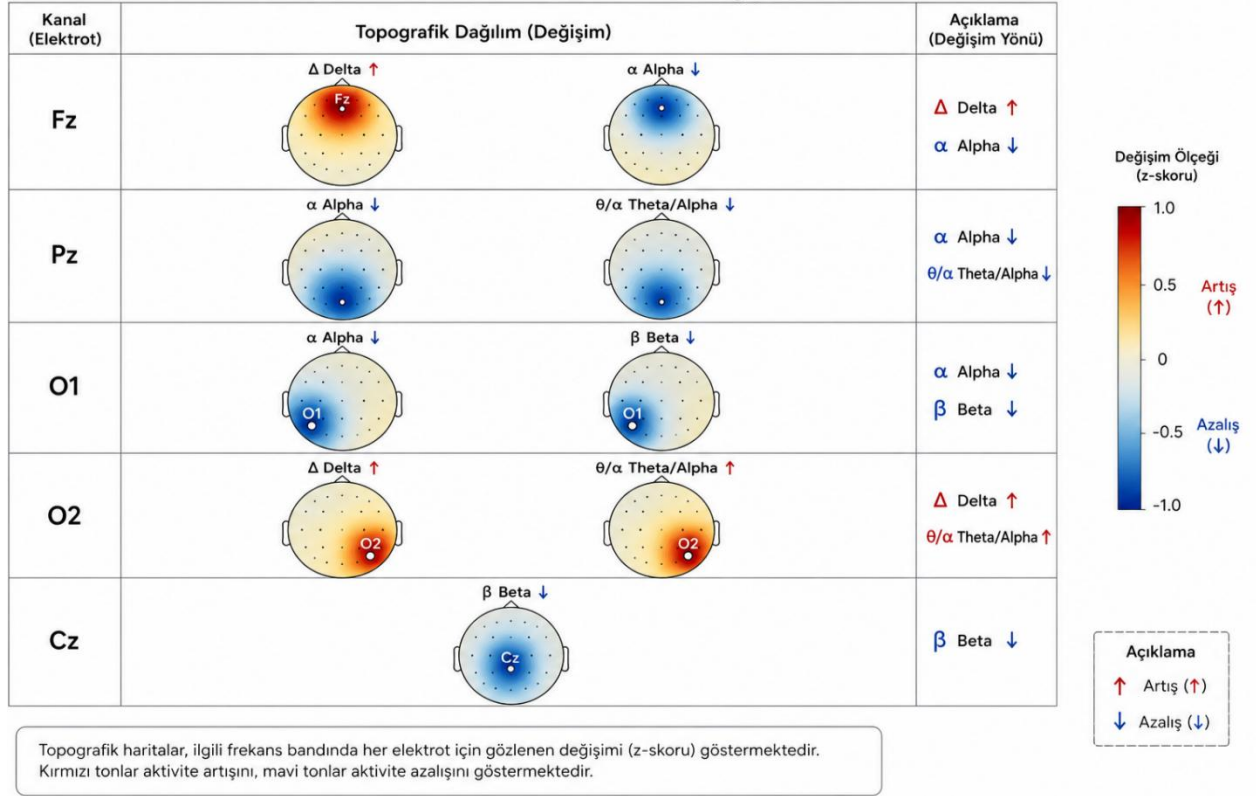
Tablo 4.19' da, zihinsel yorgunluk oluşturmak amacıyla uygulanan Stroop görevi öncesinde (EEG1) ve sonrasında (EEG2) elde edilen EEG ölçümlerinin karşılaştırılması sonucunda istatistiksel olarak

anlamli bulunan parametreler sunuldu. Değişim yönü sütununda yer alan ↑ işareti EEG2 ölçümünün EEG1 ölçümüne göre arttığını, ↓ işareti ise azaldığını göstermektedir. Yalnızca Wilcoxon İşaretli Sıralar Testi sonucunda istatistiksel olarak anlamlı bulunan karşılaştırmalar ($p < 0,05$) tabloya dahil edildi. Sonuçlar kanal, EEG parametresi, değişim yönü ve anlamlılık düzeyi açısından özetlendi, farklı protokollerde zihinsel yorgunluk sonrasında ortaya çıkan anlamlı EEG değişimlerinin genel görünümünü sunuldu.

Tablo 4.19. Stroop görevi (zihinsel yorgunluk uygulaması) sonrasında anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin protokoller arası özeti

Protokol	Kanal	Parametre	Değişim Yönü	p
ŞEK20	O2	Delta	↑	0,037*
ŞEK20	O2	Theta/Alpha	↑	0,037*
ŞEK40	Fz	Delta	↑	0,007*
ŞEK40	Fz	Alpha	↓	0,047*
ŞEK40	Pz	Alpha	↓	0,037*
ŞEK60	Fz	Delta	↑	0,013*
ŞEK60	O1	Alpha	↓	0,013*
ŞEK90	Cz	Beta	↓	0,013*
ŞEK90	O1	Beta	↓	0,005*
ŞEK90	Pz	Theta/Alpha	↓	0,005*

Şekil 4.1. Stroop görevi öncesi (EEG1) ve sonrası (EEG2) arasında istatistiksel olarak anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin topografik dağılımı gösterildi. Topografik haritalar, anlamlı bulunan EEG parametrelerindeki değişimlerin kafa derisi üzerindeki mekânsal dağılımını görsel olarak sunar. Haritalarda kırmızı tonlar ilgili EEG parametresindeki artışı, mavi tonlar ise azalışı temsil eder. Stroop görevi sonrasında frontal bölgede (Fz) Delta aktivitesinde artış, Alpha aktivitesinde azalma; parietal bölgede (Pz) Alpha aktivitesi ile Theta/Alpha oranında azalma; sol oksipital bölgede (O1) Alpha ve Beta aktivitelerinde azalma; sağ oksipital bölgede (O2) Delta aktivitesi ile Theta/Alpha oranında artış ve santral bölgede (Cz) Beta aktivitesinde azalma gözlemlendi. Topografik dağılımlar, EEG analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı bulunan değişimlerin bölgesel örüntülerini görsel olarak destekledi.



Şekil 4.1. Stroop görevi sonrasında anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin topografik dağılımı (EEG2–EEG1)

Tablo 4.20'de, farklı sürelerde uygulanan şekerlemeler sonrasında şekerleme öncesi (EEG2) ve şekerleme sonrası (EEG3) ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık gösteren EEG parametreleri özetlendi. Yirmi dakikalık şekerleme (ŞEK20) sonrasında Cz, O2 ve Pz kanallarında Theta/Alpha oranının anlamlı düzeyde azaldığı (sırasıyla $p=0,037$; $p=0,007$ ve $p=0,013$), ayrıca Pz kanalında Theta/Beta oranının da anlamlı olarak azaldığı belirlendi ($p=0,037$). Kırk dakikalık şekerleme (ŞEK40) sonrasında Fz kanalında Alpha ve Beta bant güçlerinin anlamlı düzeyde azaldığı (her ikisi için $p=0,037$), buna karşın Theta/Alpha oranının anlamlı olarak arttığı saptandı ($p=0,037$). Altmış dakikalık şekerleme (ŞEK60) sonrasında Fz kanalındaki Beta bant gücü ($p=0,009$) ile O1 kanalındaki Alpha bant gücünde ($p=0,028$) anlamlı azalma gözlemlendi. Doksan dakikalık şekerleme (ŞEK90) sonrasında ise O2 kanalında Theta bandı ($p=0,005$) ve Theta/Alpha oranının ($p=0,005$) anlamlı düzeyde azaldığı belirlendi.

Tablo 4.20. Farklı sürelerdeki şekerlemeler sonrasında (EEG2→EEG3) anlamlı değişim gösteren EEG parametrelerinin protokoller arası özeti

Protokol	Kanal	Parametre	Değişim Yönü	p
ŞEK20	Cz	Theta/Alpha	↓	0,037*
ŞEK20	O2	Theta/Alpha	↓	0,007*
ŞEK20	Pz	Theta/Alpha	↓	0,013*

Protokol	Kanal	Parametre	Değişim Yönü	p
ŞEK20	Pz	Theta/Beta	↓	0,037*
ŞEK40	Fz	Alpha	↓	0,037*
ŞEK40	Fz	Beta	↓	0,037*
ŞEK40	Fz	Theta/Alpha	↑	0,037*
ŞEK60	Fz	Beta	↓	0,009*
ŞEK60	O1	Alpha	↓	0,028*
ŞEK90	O2	Theta	↓	0,005*
ŞEK90	O2	Theta/Alpha	↓	0,005*

Not: ↑ işareti ilgili parametrede artışı, ↓ işareti ise azalışı ifade etmektedir.

Tablo 4.21' de zihinsel yorgunluk ve farklı sürelerdeki şekerleme uygulamalarının performans ve EEG parametreleri üzerindeki etkileri özetlendi. CMJ ve VÇT sonuçları ile birlikte, zihinsel yorgunluk sonrasında (EEG1→EEG2) ve şekerleme sonrasında (EEG2→EEG3) istatistiksel olarak anlamlı değişim gösteren EEG parametreleri sunuldu. Tabloya yalnızca anlamlı bulunan EEG değişkenleri dahil edildi, böylece her protokolde gözlenen nörofizyolojik yanıtların ve performans çıktılarının genel görünümü ortaya konuldu. Bu özet tablo, çalışmanın temel performans ve EEG bulgularını tek bir yapıda birleştirerek protokoller arasındaki farklılıkların değerlendirilmesi kolaylaştırıldı.

Tablo 4.21. Zihinsel yorgunluk ve farklı sürelerdeki şekerlemelerin performans ve EEG bulgularının özeti

Protokol	CMJ	VÇT	Zihinsel Yorgunluk Sonrası Anlamlı EEG Değişimleri (EEG1→EEG2)	Şekerleme Sonrası Anlamlı EEG Değişimleri (EEG2→EEG3)
ZY	↓ (p=0,005*)	↑ kötüleşme (p=0,005*)	—	—
ŞEK20	↑ (p=0,005*)	↑ iyileşme (p=0,005*)	O2 Delta ↑; O2 Theta/Alpha ↑	Cz Theta/Alpha ↓; O2 Theta/Alpha ↓; Pz Theta/Alpha ↓; Pz Theta/Beta ↓
ŞEK40	İyileşme eğilimi (p=0,059)	↑ iyileşme (p=0,005*)	Fz Delta ↑; Fz Alpha ↓; Pz Alpha ↓	Fz Alpha ↓; Fz Beta ↓; Fz Theta/Alpha ↑
ŞEK60	Değişim yok (p=0,799)	↑ iyileşme (p=0,005*)	Fz Delta ↑; O1 Alpha ↓	Fz Beta ↓; O1 Alpha ↓
ŞEK90	Değişim yok (p=0,333)	↑ iyileşme (p=0,005*)	Cz Beta ↓; O1 Beta ↓; Pz Theta/Alpha ↓	O2 Theta ↓; O2 Theta/Alpha ↓

5. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, zihinsel yorgunluğun voleybola özgü performans ve EEG aktivitesi üzerindeki etkilerini incelemek ve farklı sürelerdeki şekerlemelerin (20, 40, 60 ve 90 dk) bu etkileri ne ölçüde değiştirebildiğini belirlemektir. Elde edilen bulgular, zihinsel yorgunluğun hem voleybol çeviklik performansını hem de sıçrama performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Bununla birlikte, şekerleme uygulamalarının performans üzerindeki olumsuz etkileri kısmen azaltabildiği görülmüştür. Özellikle 20 dakikalık şekerleme sonrasında hem çeviklik hem de sıçrama performansında anlamlı iyileşmeler gözlenirken, daha uzun süreli şekerlemeler çeviklik performansında iyileşme sağlamasına rağmen sıçrama performansında benzer düzeyde bir toparlanma oluşturamamıştır. EEG bulguları ise zihinsel yorgunluk ve şekerleme uygulamalarının farklı beyin bölgelerinde çeşitli frekans bantlarını etkilediğini, ancak bu değişimlerin performans sonuçları kadar tutarlı bir örüntü göstermediğini ortaya koymuştur.

5.1. Zihinsel Yorgunluğun Voleybola Özgü Çeviklik ve Sıçrama Performansı Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmada, zihinsel yorgunluk sonrasında hem voleybola özgü çeviklik performansında hem de karşı hareket sıçrama (CMJ) performansında anlamlı düşüşler gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, zihinsel yorgunluğun sportif performans üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koyan önceki araştırmalarla uyumludur. Son yıllarda gerçekleştirilen sistematik derleme ve meta-analizler, zihinsel yorgunluğun özellikle dikkat, karar verme, teknik beceri uygulamaları ve yüksek yoğunluklu fiziksel performans üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermektedir (Van Cutsem ve ark., 2017; Sun ve ark., 2021; Schamphoeleer ve ark., 2025). Bu doğrultuda mevcut çalışmada gözlenen performans düşüşleri, zihinsel yorgunluğun spor performansı üzerindeki olumsuz etkilerini desteklemektedir.

Mevcut çalışmada zihinsel yorgunluk sonrasında voleybola özgü çeviklik performansında meydana gelen bozulma, takım sporlarında çeviklik performansının bilişsel süreçlerle yakından ilişkili olmasıyla açıklanabilir. Çeviklik yalnızca yön değiştirme hızını değil, aynı zamanda çevresel uyarıların algılanmasını, uygun motor yanıtın seçilmesini ve bu yanıtın hızlı bir şekilde uygulanmasını içeren karmaşık bir performans bileşenidir. Zihinsel yorgunluğun neden olduğu dikkat kaynaklarındaki azalma, yürütücü işlevlerdeki bozulma ve algılanan çabanın artışı, sporcuların çeviklik performansını önemli ölçüde olumsuz

etkileyebilmektedir (Marcora ve ark., 2009; Smith ve ark., 2016). Çeviklik, yalnızca yüksek fiziksel kapasiteye değil, aynı zamanda çevresel uyaranların hızlı algılanmasına, doğru karar verilmesine ve uygun motor yanıtın zamanında uygulanmasına bağlı olduğundan, bilişsel süreçlerde meydana gelen bozulmalar performansa doğrudan yansımaktadır. Bu doğrultuda, takım sporcuları üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar zihinsel yorgunluğun çeviklik performansını azaltmasının yanı sıra karar verme doğruluğunu ve spora özgü teknik becerilerin uygulanmasını da anlamlı düzeyde olumsuz etkilediğini ortaya koymaktadır (Russell ve ark., 2019; Sun ve ark., 2021).

Çalışmanın bir diğer önemli bulgusu, zihinsel yorgunluk sonrasında CMJ performansında gözlenen anlamlı düşüştür. Bu sonuç, zihinsel yorgunluğun patlayıcı güç performansını olumsuz etkileyebileceğini bildiren çalışmalarla paralellik göstermektedir. Özellikle Staiano ve ark. (2024), zihinsel yorgunluk oluşturulan takım sporu sporcularında tekrarlı sprint ve sıçrama performansının anlamlı şekilde bozulduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde Fortes ve ark. (2021), zihinsel yorgunluğun genç sporcularda sıçrama performansını olumsuz etkilediğini bildirmiştir. Her ne kadar bazı araştırmalar zihinsel yorgunluğun maksimum kuvvet veya kısa süreli anaerobik performans üzerindeki etkilerinin sınırlı olduğunu öne sürse de (Van Cutsem ve ark., 2017), mevcut çalışmanın bulguları voleybola özgü sıçrama performansının zihinsel yorgunluktan etkilenebileceğini göstermektedir.

Psikobiyolojik model çerçevesinde değerlendirildiğinde, gözlenen performans düşüşlerinin temel nedeni kasların fizyolojik kapasitesindeki doğrudan bir azalmadan ziyade merkezi sinir sistemi kaynaklı düzenleyici mekanizmalardaki değişimler olabilir. Marcora ve ark. (2009), zihinsel yorgunluk sonrasında performanstaki azalmanın algılanan efor düzeyindeki artışla ilişkili olduğunu ileri sürmüştür. Bu modele göre sporcular fiziksel olarak benzer kapasiteye sahip olmalarına rağmen görevi yerine getirirken daha yüksek düzeyde çaba hissetmekte ve performanslarını sürdürürebilmekte zorlanmaktadırlar. Son yıllarda yapılan çalışmalar da zihinsel yorgunluğun motivasyon, dikkat kontrolü ve bilişsel kaynak kullanımında meydana getirdiği değişikliklerin performans düşüşlerinde önemli rol oynadığını göstermektedir (Sun ve ark., 2021; Schampheleer ve ark., 2025).

Voleybol branşı özelinde değerlendirildiğinde ise elde edilen bulgular daha da anlam kazanmaktadır. Voleybol, kısa süreli yüksek şiddetli hareketlerin, hızlı yön değiştirmelerin, sıçramaların ve sürekli karar verme süreçlerinin yoğun olarak kullanıldığı bir takım sporudur. Bu nedenle dikkat ve bilişsel kontrol süreçlerinde meydana gelen küçük değişimler dahi

performans üzerinde belirgin etkiler oluşturabilmektedir. Mevcut çalışmada hem çeviklik hem de sıçrama performansında gözlenen düşüşler, zihinsel yorgunluğun voleybola özgü performans bileşenleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, zihinsel yorgunluğun yalnızca bilişsel performansı değil, aynı zamanda voleybola özgü motor performans unsurlarını da etkileyebileceğini ortaya koyan güncel literatürü desteklemektedir (Russell ve ark., 2019; Sun ve ark., 2021).

5.2. Şekerleme Sürelerinin Voleybola Özgü Çeviklik ve Sıçrama Performansı Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan şekerleme protokollerinin performans üzerindeki etkilerinin şekerleme süresine bağlı olarak farklılaşmasıdır. Bulgular, incelenen tüm şekerleme sürelerinin zihinsel yorgunluğun voleybola özgü çeviklik performansı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymuştur. Ancak aynı eğilim sıçrama performansı için gözlenmemiştir. Karşı hareket sıçraması performansında yalnızca 20 dakikalık şekerleme sonrasında anlamlı bir iyileşme belirlenirken, 40, 60 ve 90 dakikalık şekerlemeler zihinsel yorgunluk koşuluna kıyasla istatistiksel olarak anlamlı bir toparlanma sağlayamamıştır. Bu durum, şekerlemenin performans üzerindeki etkisinin tek tip olmadığını; aksine şekerleme süresi, değerlendirilen performans çıktısı ve ilgili görevin bilişsel ile fizyolojik gereksinimlerine bağlı olarak değişebileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla, farklı performans bileşenlerinin aynı toparlanma stratejisine benzer düzeyde yanıt vermemesi, şekerleme süresinin spor performansını desteklemedeki etkinliğinin görevin doğasına özgü olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çeviklik performansı açısından değerlendirildiğinde, tüm şekerleme sürelerinde gözlenen iyileşme, şekerlemenin zihinsel yorgunluğun bilişsel süreçler üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmesiyle ilişkili olabilir. Çeviklik yalnızca fiziksel hız ve yön değiştirme becerisine değil, aynı zamanda dikkatin sürdürülmesi, çevresel uyarıların doğru değerlendirilmesi ve uygun motor yanıtın kısa sürede oluşturulmasına da bağlıdır. Bu nedenle, zihinsel yorgunluk sonrasında bilişsel kaynakların yeniden düzenlenmesi çeviklik performansının korunması ve iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Nitekim şekerlemenin uyanıklık düzeyini artırdığı, dikkat süreçlerini desteklediği ve bilişsel performansı geliştirdiği uzun süredir bilinmektedir (Brooks ve Lack, 2006; Lastella ve ark., 2021). Bu doğrultuda, çalışmamızda tüm

şekerleme sürelerinin çeviklik performansını benzer şekilde iyileştirmesi, farklı sürelerdeki şekerlemelerin zihinsel yorgunluğun neden olduğu bilişsel yükü azaltarak dikkat kontrolünü yeniden optimize etmiş olabileceğini düşündürmektedir. Bu yorum, sporcular üzerinde gerçekleştirilen güncel çalışmalarla da uyumludur. Gerçekten de son yıllarda yayımlanan araştırmalar, şekerleme uygulamalarının bilişsel performansı, reaksiyon zamanını ve spora özgü becerilerin uygulanmasını olumlu yönde etkileyerek performansın sürdürülmesine katkı sağladığını bildirmektedir (Lastella ve ark., 2021).

Sıçrama performansı açısından elde edilen sonuçlar ise daha dikkat çekicidir. Çalışmamızda yalnızca 20 dakikalık şekerleme sonrasında CMJ performansında anlamlı iyileşme gözlenmiştir. Bu bulgu, kısa süreli şekerlemelerin fiziksel performans üzerindeki olumlu etkilerini rapor eden önceki çalışmalarla uyumludur. Özellikle 10–30 dakika arasında değişen kısa şekerlemelerin uyanıklık düzeyini artırdığı, algılanan yorgunluğu azalttığı ve yüksek yoğunluklu performans çıktılarında iyileşme sağlayabildiği bildirilmektedir (Romdhani ve ark., 2021; Lastella ve ark., 2021). Kısa süreli şekerlemelerin en önemli avantajlarından biri, derin uyku evrelerine sınırlı düzeyde girilmesi nedeniyle uyku ataletinin minimum düzeyde ortaya çıkmasıdır. Bu durum sporcuların uyanmayı takiben performans görevlerine daha hızlı adapte olabilmelerine olanak sağlayabilmektedir.

Buna karşılık 40, 60 ve 90 dakikalık şekerlemelerin CMJ performansında anlamlı iyileşme sağlamamış olması dikkat çekicidir. Bu durumun olası açıklamalarından biri uyku ataleti olabilir. Özellikle daha uzun süreli şekerlemelerde yavaş dalga uykusuna geçiş olasılığı artmakta ve uyanmanın hemen ardından geçici bilişsel ve nöromüsküler performans bozulmaları görülebilmektedir (Tassi ve Muzet, 2000; Lovato ve Lack, 2010). Her ne kadar mevcut çalışmada şekerleme sonrasında standart bir toparlanma süresi uygulanmış olsa da, uzun süreli şekerlemelerin ardından ortaya çıkan kalıntı uyku ataleti etkilerinin sıçrama performansındaki iyileşmeyi sınırlandırmış olması mümkündür.

Çalışmanın bir diğer dikkat çekici sonucu, çeviklik performansının tüm şekerleme sürelerinden olumlu etkilenmesine rağmen sıçrama performansının yalnızca 20 dakikalık şekerleme sonrasında iyileşmesidir. Bu durum, çeviklik ve sıçrama performanslarının farklı fizyolojik ve nörobilişsel mekanizmalara dayanmasıyla açıklanabilir. Çeviklik performansı daha fazla bilişsel kontrol, dikkat ve karar verme süreçlerine bağlıyken, sıçrama performansı büyük ölçüde nöromüsküler güç üretim kapasitesi ile ilişkilidir. Dolayısıyla şekerleme sonrasında

bilişsel süreçlerde meydana gelen toparlanma çeviklik performansına daha hızlı yansırken, nöromüsküler sistemdeki değişimlerin aynı düzeyde ortaya çıkmamış olması mümkündür.

CMJ yüksekliğinde gözlenen değişimlere paralel olarak uçuş süresi, ortalama hız, kalkış hızı ve dürtü değişkenlerinde de anlamlı farklılıklar belirlenmiştir. Özellikle zihinsel yorgunluk sonrasında bu parametrelerde meydana gelen azalmalar, zihinsel yorgunluğun yalnızca sıçrama performansının sonucunu değil, aynı zamanda performansın altında yatan mekanik bileşenleri de etkileyebileceğini göstermektedir. Buna karşılık 20 dakikalık şekerleme sonrasında tüm parametrelerde gözlenen iyileşmeler, kısa süreli şekerlemelerin nöromüsküler performansın yeniden kazanılmasına katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir. Özellikle dürtü değerlerinde gözlenen değişimler, zihinsel yorgunluğun sıçrama sırasında üretilen toplam mekanik itkiyi azaltabileceğini ve kısa süreli şekerleme uygulamalarının bu kaybı kısmen tersine çevirebileceğini göstermektedir. Bu bulgular, yalnızca sıçrama yüksekliğinin değil, sıçramayı oluşturan mekanik performans bileşenlerinin de zihinsel yorgunluk ve toparlanma stratejilerinden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, mevcut çalışmanın bulguları zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan şekerleme stratejilerinin performans üzerindeki etkilerinin şekerleme süresine bağlı olarak farklılaşabileceğini göstermektedir. Özellikle 20 dakikalık şekerlemenin hem çeviklik hem de sıçrama performansı üzerindeki olumlu etkileri dikkate alındığında, müsabaka veya yoğun antrenman dönemlerinde uygulanabilecek pratik ve zaman açısından verimli bir toparlanma stratejisi olduğu söylenebilir. Bununla birlikte daha uzun süreli şekerlemelerin çeviklik performansında iyileşme sağlamasına rağmen sıçrama performansında benzer düzeyde bir etki oluşturmaması, şekerleme süresi seçiminin performans hedeflerine göre planlanması gerektiğini göstermektedir.

5.3. Zihinsel Yorgunluğun EEG Aktivitesi Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmada zihinsel yorgunluğun performans üzerindeki olumsuz etkileri açık bir şekilde ortaya konulmasına rağmen, EEG değişkenlerinin büyük çoğunluğunda istatistiksel olarak anlamlı değişiklikler gözlenmemiştir. Bununla birlikte bazı elektrot bölgelerinde belirli frekans bantlarında anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle O1 bölgesinde delta aktivitesinde artış ve Pz bölgesinde alfa aktivitesinde azalma gözlenmiştir. Bu sonuçlar zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik etkilerinin performans değişikliklerine kıyasla daha bölgesel ve daha karmaşık bir yapıda ortaya çıkabileceğini düşündürmektedir.

Literatürde zihinsel yorgunluğun EEG üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar incelendiğinde, en yaygın bulguların frontal ve santral bölgelerde teta aktivitesindeki artış ile alfa aktivitesindeki değişimler olduğu görülmektedir (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020). Özellikle uzun süreli bilişsel görevler sonrasında frontal teta aktivitesindeki artışın artan bilişsel yükü ve zihinsel çabayı yansıttığı ileri sürülmektedir. Bununla birlikte zihinsel yorgunluk araştırmalarında EEG sonuçlarının her zaman tutarlı olmadığı da bilinmektedir. Son yıllarda yayımlanan çalışmalar, EEG yanıtlarının kullanılan zihinsel yorgunluk protokolüne, görev süresine, katılımcı özelliklerine ve analiz yöntemlerine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebildiğini bildirmektedir (Van Cutsem ve ark., 2017; Tran ve ark., 2020).

Mevcut çalışmada O1 bölgesinde gözlenen delta aktivitesindeki artış, zihinsel yorgunluk sonrasında kortikal uyarılmışlık düzeyinde meydana gelen değişimlerle ilişkili olabilir. Delta aktivitesi genellikle uyku ile ilişkilendirilmesine rağmen, uyanık bireylerde belirli kortikal bölgelerde görülen delta artışları azalan uyanıklık düzeyi ve merkezi yorgunluk belirtileriyle ilişkilendirilmektedir (Harmony, 2013). Özellikle uzun süreli dikkat gerektiren görevlerden sonra ortaya çıkan lokal yavaş dalga aktivitesi, beynin belirli bölgelerinde geçici fonksiyonel yorgunluğun göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle oksipital bölgede gözlenen delta artışı zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik yansımalarından biri olarak yorumlanabilir.

Çalışmada gözlenen bir diğer önemli bulgu ise Pz bölgesindeki alfa aktivitesinin azalmasıdır. Alfa ritmi genellikle uyanıklık, dikkat düzenlenmesi ve bilgi işleme süreçleriyle ilişkilendirilmektedir. Alfa gücündeki azalmanın dikkat kaynaklarının yeniden dağıtılması ve bilişsel görevlerin sürdürülmesi sırasında artan kortikal işleme gereksinimiyle ilişkili olabileceği bildirilmektedir (Klimesch, 2012). Bu bağlamda parietal bölgede gözlenen alfa azalması, zihinsel yorgunluk sonrasında devam eden bilişsel yüklenmenin bir göstergesi olabilir.

Bununla birlikte çalışmamızda performans değişkenlerinde belirgin düşüşler gözlenmesine rağmen EEG değişkenlerinin büyük kısmında anlamlı farklılık elde edilmemesi dikkat çekicidir. Benzer durumlar daha önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir. Tran ve ark. (2020), zihinsel yorgunluk sonrasında davranışsal ve performans göstergelerinin EEG değişikliklerinden daha duyarlı olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca EEG ölçümlerinin bireyler arası değişkenlikten yüksek düzeyde etkilenmesi ve mevcut çalışmadaki örneklem büyüklüğünün sınırlı olması, bazı değişikliklerin istatistiksel anlamlılığa ulaşmasını engellemiş olabilir. Bununla

birlikte birçok EEG değişkeninde gözlenen eğilimler ve etki büyüklükleri, zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik etkilerinin tamamen yok olmadığını, ancak performans sonuçları kadar güçlü biçimde ortaya çıkmadığını düşündürmektedir.

Sonuç olarak mevcut çalışmanın EEG bulguları, zihinsel yorgunluğun voleybolcularda performans üzerinde belirgin olumsuz etkiler oluşturmaya rağmen, bu etkilerin EEG düzeyinde daha sınırlı ve bölgesel değişikliklerle temsil edildiğini göstermektedir. Bu durum zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik belirteçlerinin performans göstergelerine kıyasla daha karmaşık bir yapıya sahip olabileceğini ve gelecekte yapılacak çalışmalarda daha büyük örneklemeler ile çok kanallı EEG analizlerinin kullanılmasının yararlı olacağını düşündürmektedir.

Bununla birlikte, bu çalışmada anlamlı bulunan EEG değişimleri belirli elektrot bölgeleri ve frekans bantları ile sınırlı olup keşifsel nitelikte değerlendirilmelidir. Ayrıca çoklu karşılaştırmalara yönelik herhangi bir düzeltme yöntemi uygulanmamış olması nedeniyle EEG bulgularının dikkatli yorumlanması ve gelecekte bağımsız örneklemelerde doğrulanması önem taşımaktadır.

5.4. Şekerleme Sürelerinin EEG Aktivitesi Üzerindeki Etkileri

Bu çalışmanın en önemli bulgularından biri, zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan farklı sürelerdeki şekerlemelerin EEG aktivitesi üzerinde farklı etkiler oluşturmalarıdır. Elde edilen sonuçlar, özellikle 20 dakikalık şekerleme sonrasında çeşitli EEG değişkenlerinde anlamlı değişimlerin ortaya çıktığını göstermiştir. Buna karşılık daha uzun süreli şekerlemelerde bazı frekans bantlarında değişimler gözlenmesine rağmen bu etkiler tüm değişkenlerde tutarlı bir örüntü sergilememiştir. Bu durum, şekerleme süresinin nörofizyolojik toparlanma üzerindeki etkilerinin doğrusal olmadığını ve farklı uyku evrelerinin bu süreçte belirleyici rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

Mevcut çalışmada 20 dakikalık şekerleme sonrasında özellikle alfa aktivitesi ile bant oranlarında gözlenen değişimler dikkat çekicidir. Kısa süreli şekerlemelerin uyanıklık düzeyini artırdığı, dikkat performansını geliştirdiği ve bilişsel toparlanmayı desteklediği daha önceki araştırmalarda gösterilmiştir (Brooks ve Lack, 2006; Lastella ve ark., 2021). Özellikle zihinsel yorgunluk sonrasında ortaya çıkan nörofizyolojik yükün azaltılması açısından kısa süreli şekerlemelerin etkili olabileceği belirtilmektedir. Çalışmamızda 20 dakikalık şekerleme

sonrasında gözlenen EEG değişimleri, bu sürenin zihinsel yorgunluğun neden olduğu kortikal yüklenmeyi azaltmada etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda teta/alfa ve teta/beta oranlarında gözlenen değişimler, şekerlemenin zihinsel yorgunluğa bağlı nörofizyolojik etkilerini açıklama açısından dikkat çekici bulgular sunmaktadır. Literatürde teta/alfa oranı, zihinsel iş yükü, bilişsel yorgunluk ve dikkat süreçlerindeki değişimleri değerlendirmede duyarlı bir nörofizyolojik belirteç olarak yaygın biçimde kullanılmaktadır (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020). Benzer şekilde, teta/beta oranı da yürütücü işlevler, dikkat kontrolü ve bilişsel kaynakların etkin kullanımıyla yakından ilişkilendirilmektedir (Angelidis ve ark., 2018). Bu bağlamda, çalışmamızda söz konusu oranlarda gözlenen değişimlerin, şekerleme sonrasında dikkat süreçlerinin yeniden düzenlenmesini ve bilişsel kontrol mekanizmalarının kısmen yeniden kazanılmasını yansıtır olabileceği değerlendirilmektedir. Başka bir ifadeyle, frekans bantlarının tek tek incelenmesinden ziyade bu oranlarda ortaya çıkan değişimler, zihinsel yorgunluk sonrası gerçekleşen nöral toparlanmanın daha bütüncül ve duyarlı göstergeleri olarak yorumlanabilir.

Kırk, altmış ve doksan dakikalık şekerleme protokollerinde elde edilen EEG sonuçları ise daha karmaşık bir yapı ortaya koymuştur. Daha uzun süreli şekerlemeler teorik olarak yavaş dalga uykusu ve bazı durumlarda REM uykusuna ulaşma olasılığını artırmaktadır. Bu uyku evrelerinin sinaptik iyileşme, hafıza pekiştirme ve merkezi sinir sistemi toparlanması açısından önemli olduğu bilinmektedir (Lovato ve Lack, 2010; Lastella ve ark., 2021). Ancak uzun süreli şekerlemeler sonrasında ortaya çıkabilecek uyku ataleti, EEG aktivitesinin kısa vadede farklı şekillerde etkilenmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle uzun şekerleme sürelerinin oluşturduğu nörofizyolojik etkiler her zaman performans çıktılarıyla paralel şekilde ortaya çıkmayabilmektedir. Ancak bu çalışmada şekerleme sırasında ulaşılan uyku evreleri polisomnografi ile doğrulanmadığından, gözlenen performans ve EEG değişimlerinin belirli uyku evrelerinden kaynaklandığı kesin olarak söylenemez. Bu nedenle bu mekanizmalara ilişkin yorumlar mevcut bulgular doğrultusunda varsayımsal olarak değerlendirilmelidir.

Çalışmamızda özellikle frontal ve parietal bölgelerde gözlenen alfa bandı değişimleri, şekerleme sonrasında kortikal aktivasyonun yeniden düzenlenmesine işaret ediyor olabilir. Alfa aktivitesi uzun zamandır dikkat süreçleri, bilgi işleme verimliliği ve kortikal etkinliklerle ilişkili bir nörofizyolojik gösterge olarak kabul edilmektedir (Klimesch, 2012). Bu nedenle, şekerleme sonrasında alfa aktivitesinde meydana gelen değişimlerin, zihinsel yorgunluğun neden olduğu bilişsel bozulmaların ardından beynin dikkat ağlarını yeniden organize etmesi ve bilişsel

kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamasıyla ilişkili olduğu düşünülebilir. Nitekim çalışmamızda özellikle 20 dakikalık şekerleme sonrasında hem davranışsal performans ölçümlerinde hem de EEG parametrelerinde gözlenen eş zamanlı iyileşmeler, kısa süreli şekerlemelerin yalnızca performans çıktılarında değil, bu iyileşmelerin altında yatan nörofizyolojik mekanizmalarda da olumlu değişiklikler oluşturabileceğini düşündürmektedir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, yaklaşık 20 dakikalık kısa şekerlemelerin zihinsel yorgunluk sonrasında bilişsel ve nörofizyolojik toparlanmayı destekleyen, pratik uygulanabilirliği yüksek bir toparlanma stratejisi olabileceği söylenebilir.

Mevcut bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, şekerleme uygulamalarının yalnızca davranışsal performans göstergelerini değil aynı zamanda beyin aktivitesini de etkileyebildiği görülmektedir. Bununla birlikte EEG yanıtlarının performans sonuçlarına kıyasla daha değişken ve bireysel özelliklerden daha fazla etkilenen bir yapıya sahip olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmalarda daha büyük örneklemeler, polisomnografi destekli uyku değerlendirmeleri ve çok kanallı EEG analizleri kullanılarak şekerleme sürelerinin nörofizyolojik etkilerinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak mevcut çalışma, zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan şekerleme stratejilerinin EEG aktivitesinde çeşitli değişiklikler oluşturabildiğini göstermektedir. Özellikle 20 dakikalık şekerleme sonrasında gözlenen nörofizyolojik değişimler ve performans iyileşmeleri birlikte değerlendirildiğinde, kısa süreli şekerlemelerin hem davranışsal hem de nörofizyolojik toparlanma açısından etkili bir yöntem olabileceği söylenebilir.

5.5. Performans ve EEG Bulgularının Birlikte Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın dikkat çekici bulgularından biri, performans değişkenleri ile EEG bulgularının her zaman paralel bir örüntü göstermemesidir. Zihinsel yorgunluk sonrasında hem voleybola özgü çeviklik performansında hem de sıçrama performansında anlamlı bozulmalar gözlenmesine rağmen, EEG değişkenlerinin büyük bölümünde istatistiksel olarak anlamlı farklılık elde edilmemiştir. Buna karşılık şekerleme protokollerinin ardından bazı EEG parametrelerinde belirgin değişimler ortaya çıkmış ve bu değişimlerin performans sonuçlarıyla kısmen ilişkili olduğu görülmüştür. Özellikle 20 dakikalık şekerleme sonrasında hem çeviklik ve sıçrama performansında iyileşme gözlenmesi hem de Theta/Alpha ve Theta/Beta oranlarında anlamlı azalmalar meydana gelmesi dikkat çekicidir. Bu durum kısa süreli şekerlemelerin

yalnızca davranışsal performansı değil, aynı zamanda zihinsel yorgunlukla ilişkili nörofizyolojik süreçleri de olumlu yönde etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Literatürde Theta/Alpha oranındaki artışın artan bilişsel yük ve zihinsel yorgunluk ile ilişkili olduğu, buna karşılık azalmasının bilişsel toparlanma ve dikkat süreçlerindeki iyileşmeyi yansıtabileceği bildirilmektedir (Wascher ve ark., 2014; Tran ve ark., 2020). Benzer şekilde Theta/Beta oranı da dikkat kontrolü ve yürütücü işlevlerle ilişkilendirilmektedir (Angelidis ve ark., 2018). Çalışmamızda özellikle ŞEK20 protokolünde Pz ve O2 bölgelerinde Theta/Alpha oranında, Pz bölgesinde ise Theta/Beta oranında gözlenen azalmalar, zihinsel yorgunluğun neden olduğu bilişsel yükün şekerleme sonrasında azaldığını düşündürmektedir. Nitekim aynı protokolde hem çeviklik hem de sıçrama performansında anlamlı iyileşme gözlenmiş olması bu yorumu desteklemektedir.

Buna karşın 40, 60 ve 90 dakikalık şekerleme protokollerinde EEG değişiklikleri gözlenmesine rağmen sıçrama performansında benzer düzeyde iyileşme elde edilmemiştir. Bu durum nörofizyolojik toparlanmanın her zaman doğrudan performans çıktısına yansımayabileceğini göstermektedir. EEG değişkenleri merkezi sinir sistemi düzeyindeki değişimleri yansıtırken, performans çıktıları motivasyon, nöromüsküler fonksiyon, biyomekanik özellikler ve bireysel farklılıklar gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Dolayısıyla EEG düzeyinde gözlenen değişikliklerin performans sonuçlarına birebir karşılık vermemesi beklenen bir durum olarak değerlendirilebilir.

Ayrıca mevcut çalışmada çeviklik performansının tüm şekerleme sürelerinden olumlu etkilenmesine rağmen sıçrama performansının yalnızca 20 dakikalık şekerleme sonrasında iyileşmesi, çeviklik performansının bilişsel süreçlere daha duyarlı olabileceğini düşündürmektedir. Çeviklik görevleri dikkat, bilgi işleme hızı ve karar verme süreçlerini içerirken, sıçrama performansı daha çok nöromüsküler güç üretimi ile ilişkilidir. Bu nedenle şekerleme sonrasında ortaya çıkan bilişsel toparlanmanın ilk olarak çeviklik performansına yansıdığı, sıçrama performansı üzerindeki etkilerin ise daha sınırlı kaldığı söylenebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde mevcut çalışma, zihinsel yorgunluk ve şekerleme uygulamalarının performans ve EEG değişkenleri üzerinde farklı düzeylerde etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle kısa süreli şekerlemelerin hem performans hem de EEG göstergelerinde iyileşme sağlaması, bu uygulamanın zihinsel yorgunluğun azaltılmasında etkili bir toparlanma stratejisi olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte EEG ve

performans arasındaki ilişkinin tam olarak açıklanabilmesi için gelecekte daha büyük örneklem ve çok değişkenli analizlerin kullanıldığı araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

5.6. Çalışmanın Güçlü Yönleri ve Sınırlılıkları

Bu çalışmanın çeşitli güçlü yönleri bulunmaktadır. Öncelikle çalışma, zihinsel yorgunluk, farklı sürelerdeki şekerlemeler ve EEG aktivitesi arasındaki ilişkiyi aynı deneysel tasarım içerisinde birlikte inceleyen nadir araştırmalardan biridir. Literatürde zihinsel yorgunluk sonrasında uygulanan şekerlemelerin performans üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar bulunmasına rağmen, 20, 40, 60 ve 90 dakikalık şekerleme sürelerinin aynı katılımcı grubunda karşılaştırıldığı ve bu süreçte EEG yanıtlarının değerlendirildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu yönüyle mevcut çalışma literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Çalışmanın bir diğer güçlü yönü randomize çapraz geçişli (randomized crossover) deneysel tasarımın kullanılmış olmasıdır. Her katılımcının tüm deneysel koşullara katılması bireyler arası değişkenliği azaltmış ve deneysel koşullar arasındaki farklılıkların daha hassas biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca tüm testlerin benzer saatlerde gerçekleştirilmesi, oturumlar arasında yeterli dinlenme süresinin bırakılması ve katılımcıların uyku alışkanlıklarının takip edilmesi iç geçerliliği artıran önemli metodolojik unsurlar olarak değerlendirilebilir.

Çalışmanın güçlü yönlerinden biri de performans ölçümleri ile nörofizyolojik değerlendirmelerin birlikte kullanılmış olmasıdır. Voleybola özgü çeviklik testi ve sıçrama performansı gibi spora özgü performans göstergelerinin EEG ölçümleri ile birlikte değerlendirilmesi, zihinsel yorgunluk ve şekerleme uygulamalarının etkilerinin çok boyutlu olarak incelenmesine olanak sağlamıştır. Bu yaklaşım yalnızca davranışsal sonuçların değil, aynı zamanda bu sonuçların altında yatan olası nörofizyolojik mekanizmaların da değerlendirilmesini mümkün kılmıştır.

Bununla birlikte çalışmanın bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Öncelikle araştırma nispeten küçük bir örneklem grubu ile gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar güç analizi sonucunda belirlenen minimum örneklem büyüklüğüne ulaşılmış olsa da, daha büyük örneklem kullanılması bazı EEG değişkenlerinde gözlenen ancak istatistiksel anlamlılığa ulaşmayan eğilimlerin daha net ortaya konulmasına katkı sağlayabilir. Özellikle EEG ölçümlerinin yüksek bireysel değişkenlik göstermesi nedeniyle daha geniş örneklem gruplarının kullanılması sonuçların genellenebilirliğini artıracaktır. Bununla birlikte, çalışmada örneklem büyüklüğü ve

veri dağılım özellikleri dikkate alınarak non-parametrik istatistiksel yöntemler tercih edilmiştir. Gelecekte benzer çapraz geçişli araştırmalarda lineer karma etkili modeller (*linear mixed-effects models*), sağlam (*robust*) karma modeller veya *Bayesyen* istatistiksel yaklaşımların kullanılması, birey içi ve bireyler arası değişkenliğin aynı model içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlayarak bulguların daha kapsamlı biçimde yorumlanmasına katkıda bulunabilir.

Her ne kadar deneysel koşullar randomize sırayla uygulanmış ve oturumlar arasında 72 saatlik *wash-out* süresi bırakılmış olsa da, olası sıra (*period*) ve taşıma (*carry-over*) etkileri istatistiksel olarak ayrıca değerlendirilmemiştir. Bu durum çapraz geçişli tasarım açısından çalışmanın metodolojik sınırlılıklarından biri olarak kabul edilebilir.

İkinci olarak, uyku evreleri polisomnografi ile doğrulanmamıştır. Şekerleme süreleri standartlaştırılmış olmasına rağmen katılımcıların her şekerleme protokolü sırasında hangi uyku evrelerine ulaştıkları doğrudan belirlenememiştir. Bu nedenle gözlenen performans ve EEG değişimlerinin belirli uyku evreleriyle ilişkilendirilmesi mümkün olmamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda polisomnografi destekli değerlendirmelerin kullanılması daha ayrıntılı yorumlar yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Bir diğer sınırlılık ise araştırmanın yalnızca eğitimli erkek voleybolcular üzerinde yürütülmüş olmasıdır. Bu nedenle elde edilen sonuçların kadın sporculara, farklı yaş gruplarına veya diğer spor branşlarına doğrudan genellenmesi mümkün değildir. Ayrıca çalışmada yalnızca belirli EEG kanalları analiz edilmiş olup, daha geniş elektrot dağılımı ve fonksiyonel bağlantısallık analizleri kullanılarak zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik etkileri daha ayrıntılı şekilde incelenebilir.

Son olarak, çalışmada EEG ölçümleri dinlenim durumunda gözler kapalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım zihinsel yorgunluk ve toparlanma süreçlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, görev sırasında gerçekleştirilen EEG ölçümleri performansla ilişkili kortikal süreçlerin daha ayrıntılı biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayabilir. Bu nedenle gelecekteki araştırmalarda görev temelli EEG değerlendirmelerinin de kullanılması önerilmektedir.

5.7. Uygulamaya Yönelik Çıkarımlar ve Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler

Bu çalışmanın bulguları spor bilimleri uygulamaları açısından önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, zihinsel yorgunluğun voleybola özgü çeviklik ve sıçrama

performansını olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Bu nedenle antrenörlerin ve spor bilimcilerin yalnızca fiziksel yüklenmeleri değil, sporcuların maruz kaldığı bilişsel yükleri de dikkate almaları önem taşımaktadır. Özellikle yoğun akademik faaliyetler, uzun süreli video analizleri, taktik toplantılar ve yüksek dikkat gerektiren görevler sonrasında ortaya çıkabilecek zihinsel yorgunluğun performansı olumsuz etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, 20 dakikalık şekerlemenin hem çeviklik performansında hem de sıçrama performansında iyileşme sağlamasıdır. Ayrıca bu protokole Theta/Alpha ve Theta/Beta oranlarında gözlenen değişimler, kısa süreli şekerlemelerin nörofizyolojik toparlanmayı da destekleyebileceğini göstermektedir. Bu nedenle özellikle antrenman veya müsabaka öncesinde uygulanacak yaklaşık 20 dakikalık kısa süreli şekerlemeler, zihinsel yorgunluğun olumsuz etkilerini azaltmada potansiyel bir toparlanma stratejisi olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte, bu önerilerin farklı sporcu gruplarında ve farklı spor branşlarında doğrulanmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalarda farklı spor branşları, kadın sporcular ve farklı performans düzeylerindeki katılımcılar üzerinde benzer protokollerin uygulanması önerilmektedir. Ayrıca şekerleme sürelerine ek olarak uyku kalitesi, kronotip özellikleri ve bireysel uyku alışkanlıklarının da değerlendirilmesi zihinsel yorgunluk ve toparlanma süreçlerinin daha kapsamlı şekilde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

Bunun yanında polisomnografi, yüksek yoğunluklu EEG sistemleri, fonksiyonel bağlantısallık analizleri ve nörogörüntüleme yöntemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar, şekerleme uygulamalarının altında yatan nörofizyolojik mekanizmaların daha ayrıntılı biçimde ortaya konulmasına yardımcı olabilir. Özellikle Theta/Alpha ve Theta/Beta oranlarının zihinsel yorgunluk ve toparlanma süreçlerindeki rolünün daha ayrıntılı biçimde araştırılması gelecekteki çalışmalar açısından önemli görünmektedir.

Bunun yanında gelecekte gerçekleştirilecek çalışmaların ön kayıt (*pre-registration*) ile planlanması ve lineer karma etkili modeller (*linear mixed-effects models*) gibi gelişmiş istatistiksel yaklaşımların kullanılması, birey içi değişkenliğin daha kapsamlı değerlendirilmesine ve bulguların metodolojik gücünün artırılmasına katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak mevcut çalışma, zihinsel yorgunluğun voleybol performansını olumsuz etkilediğini ve kısa süreli şekerleme uygulamalarının bu etkileri azaltmada etkili olabileceğini göstermektedir. Elde edilen bulgular, sporcularda zihinsel toparlanma stratejilerinin

performans yönetimindeki önemini vurgulamakta ve özellikle kısa süreli şekerlemelerin uygulanabilir bir toparlanma yöntemi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bu çalışma, zihinsel yorgunluğun eğitimli erkek voleybolcularda voleybola özgü performans ve elektroensefalografik (EEG) aktivite üzerindeki etkilerini incelemek ve farklı sürelerdeki şekerlemelerin (20, 40, 60 ve 90 dk) bu etkileri ne ölçüde değiştirebildiğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Araştırma bulguları, zihinsel yorgunluğun voleybola özgü çeviklik performansı ve karşı hareket sıçrama performansı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğunu göstermiştir. Zihinsel yorgunluk sonrasında sporcuların çeviklik performansında bozulma ve sıçrama yüksekliğinde azalma meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, zihinsel yorgunluğun yalnızca bilişsel süreçleri değil, fiziksel performansın önemli bileşenlerini de etkileyebildiğini ortaya koymaktadır.

Şekerleme uygulamalarının performans üzerindeki etkileri incelendiğinde, tüm şekerleme sürelerinin zihinsel yorgunluk sonrasında bozulan çeviklik performansında iyileşme sağladığı belirlenmiştir. Buna karşın sıçrama performansı açısından yalnızca 20 dakikalık şekerleme sonrasında anlamlı bir iyileşme gözlenmiştir. Bu bulgu, kısa süreli şekerlemelerin zihinsel yorgunluk sonrasında performansın yeniden kazanılmasında etkili bir toparlanma stratejisi olabileceğini göstermektedir.

EEG bulguları, zihinsel yorgunluk ve şekerleme uygulamalarının farklı beyin bölgelerinde çeşitli frekans bantlarını etkilediğini ortaya koymuştur. Zihinsel yorgunluk sonrasında EEG değişkenlerinin büyük bölümünde anlamlı farklılık gözlenmemesine rağmen bazı elektrot bölgelerinde delta ve alfa aktivitesinde değişimler belirlenmiştir. Şekerleme uygulamalarından sonra ise özellikle alfa aktivitesi ile Theta/Alpha ve Theta/Beta oranlarında anlamlı değişiklikler tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, şekerleme uygulamalarının zihinsel yorgunlukla ilişkili nörofizyolojik süreçleri etkileyebileceğini göstermektedir.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, 20 dakikalık şekerleme sonrasında hem performans hem de EEG göstergelerinde olumlu değişimlerin birlikte ortaya çıkmasıdır. Özellikle çeviklik ve sıçrama performansındaki iyileşmeler ile Theta/Alpha ve Theta/Beta oranlarında gözlenen değişimler birlikte değerlendirildiğinde, kısa süreli şekerlemelerin zihinsel yorgunluğun olumsuz etkilerini azaltmada etkili bir yöntem olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, zihinsel yorgunluk eğitilmiş voleybolcularda performansı olumsuz etkilemekte, şekerleme uygulamaları ise bu olumsuz etkilerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle 20 dakikalık şekerleme uygulamasının hem performans hem de nörofizyolojik göstergeler açısından en olumlu sonuçları ortaya koyduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, zihinsel yorgunluk, şekerleme ve EEG arasındaki ilişkinin voleybol özelinde bütüncül olarak değerlendirilmesine katkı sağlamış ve sporcularda zihinsel toparlanma stratejilerinin önemini ortaya koymuştur.

6.2. Öneriler

Araştırma bulguları doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulabilir:

1. Antrenörler ve spor bilimciler, sporcuların yalnızca fiziksel yüklenmelerini değil, zihinsel yüklenmelerini de takip etmeli ve zihinsel yorgunluğun performans üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurmalıdır.
2. Özellikle yoğun antrenman ve müsabaka dönemlerinde, zihinsel yorgunluğun olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla kısa süreli şekerleme uygulamalarına yer verilmesi önerilebilir.
3. Araştırma bulguları doğrultusunda, yaklaşık 20 dakikalık şekerleme uygulamalarının performans ve nörofizyolojik toparlanma açısından etkili bir yöntem olarak değerlendirilmesi önerilmektedir.
4. Gelecekte yapılacak çalışmalarda kadın sporcular, farklı yaş grupları ve farklı spor branşlarından katılımcılar dahil edilerek sonuçların genellenebilirliği artırılabilir.
5. Şekerleme sürelerinin etkilerinin daha ayrıntılı incelenebilmesi amacıyla polisomnografi gibi uyku değerlendirme yöntemleri kullanılarak uyku evreleri objektif olarak takip edilebilir.
6. Gelecek araştırmalarda daha büyük örneklem grupları kullanılarak EEG değişkenlerinin zihinsel yorgunluk ve toparlanma süreçlerindeki rolü daha ayrıntılı biçimde incelenebilir.
7. EEG analizlerinde daha fazla elektrot bölgesi, fonksiyonel bağlantısal analizleri ve görev temelli EEG ölçümleri kullanılarak zihinsel yorgunluğun nörofizyolojik mekanizmaları daha kapsamlı şekilde araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Adamantidis, A. R., Gutierrez Herrera, C., & Gent, T. C. (2019). Oscillating circuitries in the sleeping brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 20(12), 746-762. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0223-4>
- Ağargün, M. Y., Kara, H., ve Anlar, Ö. (1996). Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi'nin geçerliği ve güvenilirliği. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 7(2), 107–115.
- Aidman, E. V. (2020). Cognitive fitness framework: Towards assessing, training and augmenting individual-difference factors underpinning high-performance cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 466. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00466>
- Anderson-Cook, C. M. (2005). Experimental design concepts and applications. *Technometrics*, 47(2), 244–245. <https://doi.org/10.1198/tech.2005.s319>
- Angelidis, A., Hagenaars, M., van Son, D., van der Does, W., & Putman, P. (2018). Do not look away! Spontaneous frontal EEG theta/beta ratio as a marker for cognitive control over attention to mild and high threat. *Biological Psychology*, 135, 8-17. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.03.002>
- Baena-Raya, A., García-Mateo, P., García-Ramos, A., Rodríguez-Pérez, M. A., & Soriano-Maldonado, A. (2022). Delineating the potential of the vertical and horizontal force-velocity profile for optimizing sport performance: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 40(3), 331–344. <https://doi.org/10.1080/02640414.2021.1993641>
- Baumeister, J., Reinecke, K., Liesen, H., & Weiss, M. (2008). Cortical activity of skilled performance in a complex sports related motor task. *European Journal of Applied Physiology*, 104(4), 625-631. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0811-x>
- Bernier, M., Thienot, E., Codron, R., & Fournier, J. F. (2009). Mindfulness and acceptance approaches in sport performance. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 3(4), 320–323.
- Bogataj, Š., Pajek, M., Andrašić, S., & Trajković, N. (2020). Concurrent validity and reliability of my jump 2 app for measuring vertical jump height in recreationally active adults. *Applied Sciences*, 10(11), 3805. <https://doi.org/10.3390/app10113805>
- Boksem, M. A., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59(1), 125-139. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.07.001>
- Botonis, P. G., Koutouvakis, N. G., & Toubekis, A. G. (2021). The impact of daytime napping on athletic performance: A narrative review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(12), 2164–2177. <https://doi.org/10.1111/sms.14060>

Boukhris, O., Trabelsi, K., Ammar, A., Abdessalem, R., Hsouna, H., Glenn, J. M., Chtourou, H., & Driss, T. (2020). A 90 min daytime nap opportunity is better than 40 min for cognitive and physical performance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13), 4650. <https://doi.org/10.3390/ijerph17134650>

Brooks, A., & Lack, L. (2006). A brief afternoon nap following nocturnal sleep restriction: which nap duration is most recuperative? *Sleep*, 29(6), 831-840. <https://doi.org/10.1093/sleep/29.6.831>

Brown, D. M., Graham, J. D., Innes, K. I., Harris, S., Flemington, A., & Bray, S. R. (2020). Effects of prior cognitive exertion on physical performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(3), 497-529. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01204-8>

Buyse, D. J., Reynolds, C. F., Monk T. H., Berman, S. R., Kupfer, D. J. (1989). The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Research*, 28, 193–213. [https://doi.org/10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4)

Cheron, G., Petit, G., Cheron, J., Leroy, A., Cebolla, A., Cevallos, C., Petieau, M., Hoellinger, T., Zarka, D., Clarinval, A.-M., & Dan, B. (2016). Brain oscillations in sport: Toward EEG biomarkers of performance. *Frontiers in Psychology*, 7, 246. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00246>

Chuang, C. H., Hung, M. H., Chang, C. Y., Wang, Y. Y., & Lin, K. C. (2022). Effects of agility training on skill-related physical capabilities in young volleyball players. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4), 1904. <https://doi.org/10.3390/app12041904>

Ciucurel, M. M. (2012). The relation between anxiety, reaction time and performance before and after sport competitions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 33, 885–889. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.01.249>

Clancy, R. B., Herring, M. P., MacIntyre, T. E., & Campbell, M. J. (2016). A review of competitive sport motivation research. *Psychology of Sport and Exercise*, 27, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2016.09.003>

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Crocker, P. R. E., Alderman, R. B., Smith, F. M. R., & Cormack, M. A. (1988). Cognitive-affective stress management training with high performance youth volleyball players: Effects on affect, cognition, and performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 10(4), 448–460. <https://doi.org/10.1123/jsep.10.4.448>

Dattilo, M., Antunes, H. K. M., Medeiros, A., Mônico Neto, M., Souza, H. S., Tufik, S., & de Mello, M. T. (2011). Sleep and muscle recovery: Endocrinological and molecular basis for a new and promising hypothesis. *Medical Hypotheses*, 77(2), 220–222. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.04.017>

Del Percio, C., Babiloni, C., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Vecchio, F., Lizio, R., Aschieri, P., Fiore, A., Toràn, G., Gallamini, M., Baratto, M., & Eusebi, F. (2009). "Neural efficiency" of athletes' brain for upright standing: A high-resolution EEG study. *Brain Research Bulletin*, 79(3–4), 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2009.02.001>

Dressler, O., Schneider, G., Stockmanns, G., & Kochs, E. F. (2004). Awareness and the EEG power spectrum: Analysis of frequencies. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 18(2), 93–100. <https://doi.org/10.1023/B:JOCM.0000025277.29084.02>

Dwan, K., Li, T., Altman, D. G., & Elbourne, D. (2019). CONSORT 2010 statement: Extension to randomised crossover trials. *BMJ*, 366, l4378. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4378>

Eldar, E., Cohen, J. D., & Niv, Y. (2013). The effects of neural gain on attention and learning. *Nature Neuroscience*, 16(8), 1146–1153. <https://doi.org/10.1038/nn.3428>

Englert, C., & Seiler, R. (2020). Anxiety and volleyball performance in a real testing situation: gender differences in competitive environments. *Educational Psychology*, 40(6), 735–749. <https://doi.org/10.1080/01443410.2019.1706723>

Facer-Childs, E., & Brandstaetter, R. (2015). The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. *Current Biology*, 25(4), 518–522. <http://doi.org/10.1016/j.cub.2014.12.036>

Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>

Fortes, L. S., Fonseca, F. S., Nakamura, F. Y., Barbosa, B. T., Gantois, P., de Lima-Júnior, D., & Ferreira, M. E. C. (2021). Effects of mental fatigue induced by social media use on volleyball decision-making, endurance, and countermovement jump performance. *Perceptual and Motor Skills*, 128(6), 2745–2766. <https://doi.org/10.1177/00315125211040596>

Fullagar, H. H., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Medicine*, 45(2), 161–186. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0260-0>

Gabbett, T., & Georgieff, B. (2007). Physiological and anthropometric characteristics of Australian junior national, state, and novice volleyball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 902–908.

Gola, M., Magnuski, M., Szumska, I., & Wróbel, A. (2013). EEG beta band activity is related to attention and attentional deficits. *International Journal of Psychophysiology*, 89(3), 334–341. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.007>

Gulati, A., Jain, R., Lehri, A., & Kumar, R. (2021). Effect of high and low flexibility on agility, acceleration speed and vertical jump performance of volleyball players. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 6(11). <https://doi.org/10.46827/ejpe.v6i11.3652>

Habay, J., Van Cutsem, J., Verschueren, J., De Bock, S., Proost, M., De Wachter, J., Tassignon, B., Meeusen, R., & Roelands, B. (2021). Mental fatigue and sport-specific psychomotor performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 51(7), 1527–1548. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01429-6>

Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., & Liu, Y. (2015). The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *In BioMed Research International*, 1, 5–12. <https://doi.org/10.1155/2015/842804>

Harmony, T. (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 83. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00083>

Hatzigeorgiadis, A., Zourbanos, N., Galanis, E., & Theodorakis, Y. (2011). Self-talk and sports performance: A meta-analysis. *Perspectives on Psychological Science*, 6(4), 348–356. <https://doi.org/10.1177/1745691611413136>

Hayashi, M., Ito, S., & Hori, T. (1999). The effects of a 20-min nap at noon on sleepiness, performance and EEG activity. *International Journal of Psychophysiology*, 32(2), 173–180. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(99\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(99)00009-4)

Huijgen, B. C. H., Leemhuis, S., Kok, N. M., Verburgh, L., Oosterlaan, J., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2015). Cognitive functions in elite and sub-elite youth soccer players aged 13 to 17 years. *PLOS ONE*, 10(12), e0144580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144580>

Jones, B., & Kenward, M. G. (2014). Design and analysis of cross-over trials (3rd ed.). Chapman & Hall/CRC.

Kalogeropoulos, C., Theofilatos, K., & Mavroudi, S. (2026). From Neurons to Networks: A Holistic Review of Electroencephalography (EEG) from Neurophysiological Foundations to AI Techniques. *Signals*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.3390/signals7010017>

Kirschstein, T., & Köhling, R. (2009). What is the source of the EEG? *Clinical EEG and Neuroscience*, 40(3), 146–149. <https://doi.org/10.1177/155005940904000305>

Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 606-617. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>

Lastella, M., Halson, S. L., Vitale, J. A., Memon, A. R., & Vincent, G. E. (2021). To nap or not to nap? A systematic review evaluating napping behavior in athletes and the impact on various measures of athletic performance. *Nature and Science of Sleep*, 841-862. <https://doi.org/10.2147/NSS.S315556>

Lola, A. C., Tzetzis, G. C., & Zetou, H. (2012). The effect of implicit and explicit practice in the development of decision making in volleyball serving. *Perceptual and Motor Skills*, 114(2), 665–678. <https://doi.org/10.2466/05.23.25.PMS.114.2.665-678>

Lorist, M. M., Boksem, M. A. S., & Ridderinkhof, K. R. (2005). Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. *Cognitive Brain Research*, 24(2), 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.01.018>

Lovato, N., & Lack, L. (2010). The effects of napping on cognitive functioning. *Progress in Brain Research*, 185, 155-166. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00009-9>

MacLeod, C. M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109(2), 163.

MacQuet, A. C. (2009). Recognition within the decision-making process: A case study of expert volleyball players. *Journal of Applied Sport Psychology*, 21(1), 64–79. <https://doi.org/10.1080/10413200802575759>

Marcora, S. M., Staiano, W., & Manning, V. (2009). Mental fatigue impairs physical performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 857-864. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91324.2008>

Martin, K., Meeusen, R., Thompson, K. G., Keegan, R., & Rattray, B. (2018). Mental fatigue impairs endurance performance: A physiological explanation. *Sports Medicine*, 48(9), 2041–2051. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0946-9>

Mathisen, T. F., Ackland, T., Burke, L. M., Constantini, N., Haudum, J., Macnaughton, L. S., Meyer, N. L., Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Tenforde, A. S., Torres-McGehee, T. M., Lundy, B., Melin, A., Stellingwerff, T., Budgett, R., Ljungqvist, A., & Mountjoy, M. (2023). Best practice recommendations for body composition considerations in sport to reduce health and performance risks: A critical review, original survey and expert opinion by a subgroup of the IOC consensus on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *British Journal of Sports Medicine*, 57(17), 1148–1160. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106812>

Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2021). The importance of durability in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619-1628. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01459-0>

Mesas, A. E., Nunez de Arenas-Arroyo, S., Martinez-Vizcaino, V., Garrido-Miguel, M., Fernandez-Rodriguez, R., Bizzozero-Peroni, B., Cantarero-Villanueva, I., López-Gil, J. F., Cavero-Redondo, I., & Martínez-Hortelano, J. A. (2023). Is daytime napping an effective strategy to improve sport-related cognitive and physical performance and reduce fatigue? A systematic review and meta-

analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 57(7), 417–426. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2022-106355>

Michel, C. M., & Murray, M. M. (2012). Towards the utilization of EEG as a brain imaging tool. *NeuroImage*, 61(2), 371–385. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.12.039>

Milner, C. E., & Cote, K. A. (2009). Benefits of napping in healthy adults: Impact of nap length, time of day, age, and experience with napping. *Journal of Sleep Research*, 18(2), 272–281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2008.00718.x>

Moritz, S. E., Feltz, D. L., Fahrbach, K. R., & Mack, D. E. (2000). The relation of self-efficacy measures to sport performance: A meta-analytic review. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 71(3), 280–294. <https://doi.org/10.1080/02701367.2000.10608908>

Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balagué, G., & Farrow, D. (2018). An integrated, multifactorial approach to periodization for optimal performance in individual and team sports. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(5), 538–561. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0093>

Nasuka, N., Setiowati, A., & Indrawati, F. (2020). Power, strength and endurance of volleyball athlete among different competition levels. *Utopia y Praxis Latinoamericana*, 25(10), 15–23. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4155054>

Nishida, M., & Walker, M. P. (2007). Daytime naps, motor memory consolidation and regionally specific sleep spindles. *PLOS ONE*, 2(4), e341. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000341>

Pageaux, B., & Lepers, R. (2018). The effects of mental fatigue on sport-related performance. *Progress in Brain Research*, 240, 291–315. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.004>

Piras, A., Lobiatti, R., & Squatrito, S. (2014). Response time, visual search strategy, and anticipatory skills in volleyball players. *Journal of Ophthalmology*, 2014(1). <https://doi.org/10.1155/2014/189268>

Price, D. D., McGrath, P. A., Rafii, A., & Buckingham, B. (1983). The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain. *Pain*, 17(1), 45–56.

Raglin, J. S. (2001). Psychological factors in sport performance: The mental health model revisited. *Sports Medicine*, 31(12), 875–890.

Ranković, G., Mutavdžić, V., Toskić, D., Preljević, A., Kocić, M., Nedin-Ranković, G., & Damjanović, N. (2010). Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports. *Bosnian Journal of Basic Medical Sciences*, 10(1), 44.

Rauchs, G., Desgranges, B., Foret, J., & Eustache, F. (2005). The relationships between memory systems and sleep stages. *Journal of Sleep Research*, 14(2), 123–140. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2005.00450.x>

Romdhani, M., Dergaa, I., Moussa-Chamari, I., Souissi, N., Chaabouni, Y., Mahdouani, K., Abene, O., Driss, T., Chamari, K., & Hammouda, O. (2021). The effect of post-lunch napping on mood, reaction time, and antioxidant defense during repeated sprint exercise. *Biology of Sport*, 38(4), 629–638. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2021.103569>

Romdhani, M., Souissi, N., Chaabouni, Y., Mahdouani, K., Driss, T., Chamari, K., Hammouda, O., Aloui, A., & Bragazzi, N. L. (2020). Improved physical performance and decreased muscular and oxidative damage with postlunch napping after partial sleep deprivation in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(6), 874–883. <https://doi.org/10.1123/ijspp.2019-0308>

Russell, S., Jenkins, D., Smith, M., Halson, S., & Kelly, V. (2019). The application of mental fatigue research to elite team sport performance: New perspectives. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 723–728. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.12.008>

Sandford, G. N., Laursen, P. B., & Buchheit, M. (2021). Anaerobic speed/power reserve and sport performance: scientific basis, current applications and future directions. *Sports Medicine*, 51(10), 2017–2028. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01523-9>

Sauseng, P., Klimesch, W., Stadler, W., Schabus, M., Doppelmayr, M., Hanslmayr, S., Gruber, W. R., & Birbaumer, N. (2005). A shift of visual spatial attention is selectively associated with human EEG alpha activity. *European Journal of Neuroscience*, 22(11), 2917–2926. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2005.04482.x>

Schamphoeleer, E., Habay, J., Proost, M., Arauz, Y. L. A., Russell, S., Roose, M., Bian, C., Meeusen, R., De Pauw, K., & Roelands, B. (2025). Current practices for mental fatigue quantification and induction in movement science: Introducing the SPeCIFy guidelines. *Sports Medicine*, 55(10), 2387–2413. <https://doi.org/10.1007/s40279-025-02286-3>

Schaun, G. Z., Ribeiro, Y. S., Vaz, M. S., & Del Vecchio, F. B. (2013). Correlation between agility, lower limb power and performance in a sport-specific test in female volleyball players. *International Journal of Sports Science*, 3(5), 141–146. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20130305.01>

Senn, S. (2002). *Cross-over trials in clinical research* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Sheppard, J. M., Cronin, J. B., Gabbett, T. J., McGuigan, M. R., Etxebarria, N., & Newton, R. U. (2008). Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 758–765. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a8440>

Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2004). Time course of attention and decision making during a volleyball set. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 75(1), 102–106. <https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609138>

Slimani, M., Tod, D., Chaabene, H., Miarka, B., & Chamari, K. (2016). Effects of mental imagery on muscular strength in healthy and patient participants: A systematic review. *Journal of Sports Science & Medicine*, 15(3), 434–450.

Smith, M. R., Coutts, A. J., Merlini, M., Deprez, D., Lenoir, M., & Marcora, S. M. (2016). Mental fatigue impairs soccer-specific physical and technical performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(2), 267–276. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000762>

Souabni, M., Hammouda, O., Romdhani, M., Trabelsi, K., Ammar, A., & Driss, T. (2021). Benefits of daytime napping opportunity on physical and cognitive performances in physically active participants: a systematic review. *Sports Medicine*, 51(10), 2115–2146. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01482-1>

Spiteri, T., Cochrane, J. L., Hart, N. H., Haff, G. G., & Nimphius, S. (2014). Effect of strength on plant foot kinetics and kinematics during a change of direction task. *European Journal of Sport Science*, 14(7), 646–652. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.774053>

Staiano, W., Bonet, L. R. S., Romagnoli, M., & Ring, C. (2024). Mental fatigue impairs repeated sprint and jump performance in team sport athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 27(2), 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.10.016>

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643.

Sun, H., Soh, K. G., Roslan, S., Wazir, M. R. W. N., & Soh, K. L. (2021). Does mental fatigue affect skilled performance in athletes? A systematic review. *PLOS ONE*, 16(10), e0258307. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258307>

Tassi, P., & Muzet, A. (2000). Sleep inertia. *Sleep Medicine Reviews*, 4(4), 341–353. <https://doi.org/10.1053/smr.2000.0098>

Thompson, T., Steffert, T., Ros, T., Leach, J., & Gruzelier, J. (2008). EEG applications for sport and performance. *Methods*, 45(4), 279–288. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2008.07.006>

Tran, Y., Craig, A., Craig, R., Chai, R., & Nguyen, H. (2020). The influence of mental fatigue on brain activity: Evidence from a systematic review with meta-analyses. *Psychophysiology*, 57(5), e13554. <https://doi.org/10.1111/psyp.13554>

Trecroci, A., Duca, M., Cavaggioni, L., Rossi, A., Scurati, R., Longo, S., Merati, G., Alberti, G., & Formenti, D. (2021). Relationship between cognitive functions and sport-specific physical

performance in youth volleyball players. *Brain Sciences*, 11(2), 227. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020227>

Van Cutsem, J., Marcora, S., De Pauw, K., Bailey, S., Meeusen, R., & Roelands, B. (2017). The effects of mental fatigue on physical performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 47(8), 1569-1588. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0672-0>

Vealey, R. S. (2024). A framework for mental training in sport: Enhancing mental skills, wellbeing, and performance. *Journal of Applied Sport Psychology*, 36(2), 365-384. <https://doi.org/10.1080/10413200.2023.2274459>

Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLOS ONE*, 7(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>

Vitale, J. A., & Weydahl, A. (2017). Chronotype, physical activity, and sport performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 47(9), 1859-1868. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0741-z>

Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. *Annual Review of Psychology*, 57, 139–166. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070307>

Wascher, E., Rasch, B., Sanger, J., Hoffmann, S., Schneider, D., Rinkenauer, G., Heuer, H., & Gutberlet, I. (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology*, 96, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>

Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B., & Reilly, T. (2007). The role of a short post-lunch nap in improving cognitive, motor, and sprint performance in participants with partial sleep deprivation. *Journal of Sports Sciences*, 25(14), 1557–1566. <https://doi.org/10.1080/02640410701244983>

Williams, N. S., McArthur, G. M., de Wit, B., Ibrahim, G., & Badcock, N. A. (2020). A validation of Emotiv EPOC Flex saline for EEG and ERP research. *PeerJ*, 8, e9713. <https://doi.org/10.7717/peerj.9713>

Woodman, T., & Hardy, L. (2003). The relative impact of cognitive anxiety and self-confidence upon sport performance: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 21(6), 443–457. <https://doi.org/10.1080/0264041031000101809>

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191-2194.

Yuan, R., Sun, H., Soh, K. G., Mohammadi, A., Toumi, Z., & Zhang, Z. (2023). The effects of mental fatigue on sport-specific motor performance among team sport athletes: A systematic scoping review. *Frontiers in Psychology*, 14, 1143618. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1143618>

EKLER

EK-1. Özgeçmiş



EK-2. Etik Kurul Kararı



EK-3. Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi



EK-4. Subjektif Uyku Kalitesi

Görsel Analog Skala

