



T.C.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SOL SÜPERİOR PARIETAL LOBÜLÜN TOPLAMA İŞLEMİ
BECERİSİ İLE İLİŞKİSİNİN TMS 'SANAL LEZYON' İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

SÜMEYYE DEMİR

SİNİRBİLİM ANABİLİM DALI

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi MEVHİBE SARICAOĞLU

İSTANBUL – 2025

TEZ ONAY FORMU

Kurum : İstanbul Medipol Üniversitesi
Programın Seviyesi : Yüksek Lisans (X) Doktora ()
Anabilim Dalı : Sinirbilim
Tez Sahibi : Sümeyye DEMİR
Tez Başlığı : Sol Süperior Parietal Lobülün Toplama İşlemi Becerisi
ile İlişkisinin TMS 'Sanal Lezyon' ile Değerlendirilmesi
Sınav Yeri : İstanbul Medipol Üniversitesi Güney Yerleşkesi
Sınav Tarihi : 25.07.2025

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

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Mevhibe
SARICAOĞLU

Kurumu

İstanbul Medipol Üniversitesi

İmza

Sınav Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Lütfü HANOĞLU

İstanbul Medipol Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Ece Zeynep
KARAKULAK

İstanbul Atlas Üniversitesi

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

Prof.Dr. Neslin EMEKLİ

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARINA UYGUNLUK BEYANI

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

Sümeyye Demir



İTHAF

Bu tez çalışmasını sevgili kardeşlerim Arzu Demir, Sinan Demir ve Mücahit Demir'e ithaf ederim.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi birikimi, engin tecrübesi ve kıymetli rehberliğiyle bana daima yol gösteren; desteğini, ilgisini ve akademik katkılarını hiçbir zaman esirgemeyen; sabrı ve özverisiyle her zaman yanımda olan; öğrencisi olmaktan onur duyduğum, azmini ve çalışma disipliniyle her zaman örnek alacağım değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mevhibe SARICAOĞLU'na,

Yüksek lisans sürecim boyunca, değerli bilgi birikimi ve tecrübelerini benimle paylaşarak; yönlendirici soruları ve yapıcı yorumlarıyla farklı bir perspektiften bakmamı sağlayan, bilime dair merak ve keşfetme duygumu daima canlı tutan, yanında yetişmekten ve kognitif araştırma ekibinde olmaktan onur duyduğum daima kendisini örnek alacağım değerli hocam sayın Prof. Dr. Lütfü HANOĞLU'na,

Ders döneminde ve tez süresince kendilerinden çok değerli bilgiler öğrendiğim, yönlendirici soru ve yorumları ile her zaman yol gösterici ve destekleyici olan sayın hocalarım Prof. Dr. Bahar GÜNTEKİN, Dr. Öğr. Üyesi Ali Behram SALAR, Doç. Dr. Mustafa OTRAR ve Doç. Dr. Erol YILDIRIM'a,

Yüksek lisansa başladığımda tanıştığım ve o günden bu yana verdikleri güven, samimi arkadaşlıkları ile ders dönemim ve araştırma sürecimde destekleri, motivasyonları ve içten emekleriyle hep yanımda olan bu süreci benim için çok daha anlamlı ve değerli kılan kıymetli arkadaşlarım Nihal ERARSLAN, Büşra Nur KAHRAMAN ve Beyza ADIGÜZEL'e,

Bu yolculukta tecrübelerini, bilgi birikimlerini benimle paylaşan ve manevi desteklerini her zaman hissettiğim başta Sena DEMİRTAŞ olmak üzere tüm Medipol Mega Hastanesi Kognitif Laboratuvar ekibinin tüm üyelerine,

Tez çalışmama kıymetli vakitlerini ayırarak katkıda bulunan ve sabırla süreci destekleyen tüm katılımcılarıma,

Hayatım boyunca yanımda olan, güvenleri ve sevgileriyle her zaman en büyük destekçim olan; her başarıyı anlamlı kılan varlıklarıyla daima güç bulduğum kıymetli anneciğim Behice DEMİR ve babacığım Nihat DEMİR'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY FORMU	i
ETİK İLKE VE KURALLARINA UYGUNLUK BEYANI	ii
İTHAF	iii
TEŞEKKÜR	iv
KISALTMALAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
1.ÖZET.....	1
2.ABSTRACT.....	2
3.GİRİŞ VE AMAÇ.....	3
4.GENEL BİLGİLER	6
4.1. Matematiksel İşlemler.....	6
4.2. Toplama İşlemi ve Bilişsel Süreçler.....	7
4.3. Beyinde Sayısal İşlemler ve Parietal Lobun Rolü	10
4.4. Sanal Lezyon ve Transkranyal Manyetik Stimülasyon Yaklaşımı	12
4.5. Sayısal İşlemler Üzerine Yapılan TMS Çalışmaları.....	13
4.6. Elektroensefalograif (EEG)	15
4.7. Sayısal İşlemler Üzerine Yapılan EEG Çalışmaları	16
5.MATERYAL VE METOT	19
5.1. Amaç	19
5.2. Çalışmanın Yapıldığı Yer	19
5.3. Çalışmanın Süresi	19
5.4. Katılımcılar	19

5.5.Çalışma Tasarımı.....	20
5.5.1.Dahil Edilme Kriterleri.....	20
5.5.2.Dışlanma Kriterleri.....	20
5.6.Verı Toplama Araçları	21
5.6.1.Nöropsikolojik Değerlendirme.....	21
5.6.1.1.Demografik Verilerin Kaydedilmesi	21
5.6.1.2.Montreal Bilişsel Değerlendirme Testi(MoCA)	21
5.6.1.3.Sayı Dizi Testleri	21
5.6.1.4.Stroop Testi.....	22
5.6.1.5.Beck Depresyon Ölçeği.....	22
5.6.1.6.Beck Anksiyete Ölçeği	22
5.6.1.7.Matematik Anksiyete Ölçeği	22
5.7.Deney Protokolü	23
5.8.Nörogörüntüleme	25
5.8.1.Manyetik Rezonans Görüntüleme(MR) ile Veri Toplama.....	25
5.8.2.Navigasyon ve TMS Uygulaması.....	25
5.8.3.EEG Veri Toplama.....	27
5.9.Verilerin Analizi	28
5.10.İstatistiksel Analiz	28
6.BULGULAR.....	30
6.1.Demografik ve Davranışsal Bulgular.....	30
6.2.EEG Kaydı Esnasında Ortaya Çıkan Davranışsal Bulgular.....	31
6.3.EEG Sonuçları.....	33

6.3.1.Sanal Lezyon ve Sham Uyarım Sonrası Toplama İşlemlerini Gerçekleştirirken Beyinde Ortaya Çıkan 100-400 ms Teta Yanıtları.....	32
6.3.2.Sanal Lezyon ve Sham Uyarı Sonrası Eldeli Toplama İşlemlerini Gerçekleştirirken Beyinde Ortaya Çıkan 100-400 ms Teta Yanıtları.....	54
7.TARTIŞMA.....	61
8.SONUÇ.....	71
9.KAYNAKLAR.....	73
10.EKLER.....	81
11.ETİK KURUL ONAYI.....	87
12.ÖZGEÇMİŞ.....	90

KISALTMALAR LİSTESİ

AG: Angular Gyrus

ASG: Anterior Singulat Gyrus

DLPFK: Dorsolateral Prefrontal Korteks

EEG: Elektroensefalografi

fMRI: Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme

fNIRS: Fonksiyonel Yakın Kızılötesi Spektroskopi

hİPS: horizonto-İntraaparietal Sulkus

İFG: İnfierior Frontal Girus

İPL: İnfierior Parietal Lobul

İPS: İntraparietal Sulkus

MFG: Medial Frontal Girus

MNI: Montreal Nörolojik Enstitü

MoCA: Montreal Bilişsel Değerlendirme Testi

MR: Manyetik Rezonans

PFK: Prefrontal Korteks

PL: Parietal Lobül

PPK: Posterior Parietal Korteks

RAMP: Ravens Gelişmiş İlerlemeli Matrisleri

rTMS: Tekrarlayan Transkraniyal Manyetik Stimülasyon

SFG: Superior Frontal Girus

SPL: Süperior Parietal Lobul

TBS: Teta Burst Stimülasyonu

TDK: Türk Dil Kurumu

TMS: Transkraniyal Manyetik Stimülasyon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 6.3.1.1. Uyarım tipi 100-400 ms teta yanıtı.....	34
Şekil 6.3.1.2. Uyarım zamanı 100-400 ms teta yanıtı.....	35
Şekil 6.3.1.3. Lokasyon için 100-400 ms teta yanıtı.....	36
Şekil 6.3.1.4. Hemisfer 100-400 ms de teta yanıtı.....	37
Şekil 6.3.1.5. Uyarım tipi*uyarım zamanı 100-400 ms'de teta yanıtı.....	38
Şekil 6.3.1.6. Uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı.....	39
Şekil 6.3.1.7. Frontal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı.....	41
Şekil 6.3.1.8. Frontal bölgede F3 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	42
Şekil 6.3.1.9. Frontal bölgede F4 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	42
Şekil 6.3.1.10. Santral bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı.....	43
Şekil 6.3.1.11. Santral bölgede C3 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	44
Şekil 6.3.1.12. Santral bölgede C4 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	44
Şekil 6.3.1.13. Temporal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı.....	45
Şekil 6.3.1.14. Temporal bölgede T7 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	46
Şekil 6.3.1.15. Temporal bölgede T8 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı.....	46
Şekil 6.3.1.16. Temporo- Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı.....	47

Şekil 6.3.1.17. Temporo- Parietal bölgede TP7 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	48
Şekil 6.3.1.18. Temporo- Parietal bölgede TP7 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	48
Şekil 6.3.1.19. Santro- Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı.....	49
Şekil 6.3.1.20. Santro- Parietal bölgede CP5 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	50
Şekil 6.3.1.21. Santro- Parietal bölgede CP6 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	50
Şekil 6.3.1.22. Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı.....	51
Şekil 6.3.1.23. Parietal bölgede P3 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	52
Şekil 6.3.1.24. Parietal bölgede P4 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	52
Şekil 6.3.1.25. Oksipital bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı.....	53
Şekil 6.3.1.26. Oksipital bölgede O1 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	54
Şekil 6.3.1.27. Oksipital bölgede O2 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....	54
Şekil 6.3.2.1. Uyarım Zamanı 100-400 ms de Teta Yanıtı (X eksenini uyarım zamanını, Y eksenini Teta yanıt gücünü temsil etmektedir.....	55
Şekil 6.3.2.2. Lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı (X eksenini lokasyon, Y eksenini Teta yanıt gücü temsil etmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP:Santro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital).....	56

Şekil 6.3.2.3. Uyarım tipi*uyarım zamanı 100-400 ms’de teta yanıtı (X eksenini uyarım tipini, Y eksenini uyarım zamanını temsil etmektedir.).....57

Şekil 6.3.2.4. Uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı (X eksenini lokasyon, Y eksenini teta yanıt gücünü belirtmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP: Santro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital).....58

Şekil 6.3.2.5. Parietal bölgede P3 elektrodu için sanal lezyon uyarımı öncesi ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....59

Şekil 6.3.2.6. Parietal bölgede P4 elektrodu için sanal lezyon uyarımı öncesi ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı.....59

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Katılımcılara EEG kaydı esnasında sorulan soruların değerlendirme sonuçları.....32

1.ÖZET

SOL SÜPERİOR PARIETAL LOBÜLÜN TOPLAMA İŞLEMİ BECERİSİ İLE İLİŞKİSİNİN TMS ‘SANAL LEZYON’ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Matematik işlemlerinin gerçekleştirilmesi, günlük yaşam yelpazesinde geniş yer alan temel bir bilişsel beceridir. Matematiksel işlemler sırasında dikkat, bellek, çalışma belleği, değerlendirme, kontrol etme ve karar verme gibi bilişsel süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır. Matematik işlemlerinin gerçekleştirilmesinin, birçok bilişsel süreçle bağlantılı olduğu bildirilse de farklı hesaplama süreçlerinde aktifleşen beyin alanları hakkındaki bilgi oldukça sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı sol Süperior Parietal Lobül(SPL) bölgesinin toplama işlemleri üzerindeki rolünü araştırmak ve bu bölgeye uygulanan transkranyal manyetik stimülasyon(TMS) ile oluşturulan sanal lezyonun, bu işlemler sırasında meydana gelen teta yanıtı üzerindeki etkisini araştırmaktır. Çalışmaya 18-30 yaş arası 15 sağlıklı genç yetişkin dahil edildi. Katılımcılar bilişsel ve davranışsal testleri gerçekleştirdikten sonra bireylerin Manyetik Rezonans(MR) görüntü kayıtları alınarak, navigasyon cihazında koordinatlar üzerinde SPL bölgeleri işaretlenmiştir. Katılımcıların 64 kanal, uyarım öncesi 3 dakika gözler açık ve 3 dakika gözler kapalı dinlenme durumu EEG’leri kaydedildikten sonra 2 basamaklı sayılarla eldeli ve eldesiz toplama işlemleri sunularak uyarım öncesi EEG çekimi tamamlandı ve TMS cihazı ile uyarım gerçekleştirildi. Uyarım sonrası, uyarım öncesi ile protokol aynı olacak şekilde EEG çekimi tamamlandı. Çalışma 2 ayrı oturum halinde gerçekleştirilmiş olup sanal lezyon ve sham uyarımı yapıldı. Bulgularımızda, toplama işlemi sırasında 100–400 ms aralığında teta bandı yanıtının sanal lezyon uyarımı sonrasında anlamlı şekilde artmıştır($p<0,05$). Bu artış özellikle temporal ve sağ hemisfer bölgelerinde daha belirgindir. Eldeli toplama işlemi sırasındaki bulgular, 100–400 ms aralığında teta frekans bandı yanıtının uyarım sonrasında anlamlı şekilde arttığını göstermektedir($p<0,05$). Bu artış, özellikle parietal bölgede belirgin olup, sanal lezyon uyarımı sham uyarıma kıyasla daha güçlü bir teta yanıtı ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: Problem Çözme, Aritmetik İşlem, EEG, fMRI, TMS, Sanal Lezyon

2.ABSTRACT

EVALUATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LEFT SUPERIOR PARIETAL LOBULE AND ADDITION PERFORMANCE USING TMS-BASED “VIRTUAL LESION”

Mathematical operations represent a fundamental cognitive skill that plays a significant role in daily life. Performing mathematical tasks involves various cognitive processes such as attention, memory, working memory, evaluation, control, and decision-making. Although it has been reported that mathematical operations are linked to multiple cognitive functions, knowledge about the specific brain regions activated during different types of calculation remains limited. This study aimed to investigate the role of the left superior parietal lobule (SPL) in addition operations and to examine the effect of a transcranial magnetic stimulation (TMS)-induced virtual lesion in this area on theta-band responses during these tasks. Fifteen healthy young adults aged between 18 and 30 participated in the study. After completing cognitive and behavioral tests, participants underwent magnetic resonance imaging (MRI), and the coordinates of the SPL regions were marked using a neuronavigation system. EEG recordings were obtained using a 64-channel system, including three minutes each of eyes-open and eyes-closed resting-state EEG prior to stimulation. Then, participants completed addition tasks involving two-digit numbers with and without carrying. After the pre-stimulation EEG recordings, TMS stimulation was applied. Post-stimulation EEG recordings were conducted using the same protocol as before the stimulation. The study was conducted in two separate sessions, including both real (virtual lesion) and sham stimulation conditions. Findings revealed a significant increase ($p < 0.05$) in theta-band activity between 100–400 ms during addition tasks following virtual lesion stimulation, particularly in the temporal and right hemisphere regions. During addition tasks involving carrying, a significant increase ($p < 0.05$) in theta-band activity was observed in the 100–400 ms time window, especially in the parietal region. This increase was more pronounced following virtual lesion stimulation compared to sham stimulation.

Keywords: Problem Solving, Arithmetic Processing, EEG, fMRI, TMS, Virtual Lesion

3.GİRİŞ VE AMAÇ

Matematik işlemlerinin gerçekleştirilmesi, günlük yaşam yelpazesinde geniş yer alan temel bir bilişsel beceridir. Matematiksel işlemler sırasında dikkat, bellek, çalışma belleği, değerlendirme, kontrol etme ve karar verme gibi bilişsel süreçlere ihtiyaç duyulmaktadır(1). Matematik işlemlerinin gerçekleştirilmesinin, birçok bilişsel süreçle bağlantılı olduğu bildirilse de farklı hesaplama süreçlerinde aktifleşen beyin alanları hakkındaki bilgi oldukça sınırlıdır.

Matematiksel işlemlerin özellikle, Süperior Parietal Lobul (SPL) ve İnfierior Parietal Lobul (İPL) ile Parietal bölgeleri, Medial Frontal Girus (MFG) ve İnfierior Frontal Girus (İFG) ile Frontal bölgeleri içeren bir Fronto-Parietal networke dayandığı bildirilmektedir. Fronto-parietal ağın aktivasyonu, zihinsel esneklik, problem çözme yeteneği ve bilişsel kontrolü etkileyen birçok bilişsel görevle ilişkilendirilmektedir. Matematik sorularının cevaplanmasına yönelik süreç üçlü kod modeliyle açıklanmaya çalışılmaktadır. Üçlü kodun ilki, soruda yer alan sayı ve sembollere yönelik olup beyinde İnfierior Ventral Oksipito-Temporal bölgenin iki taraflı aktivasyonuna; ikincisi sayısal sembollerin karşılık gelen analoglara ve nicel büyüklüklere yönelik olup İPL aktivasyonuna; üçüncüsü de soruda yer alabilecek olan sözel bilgiye yönelik olup sol Perisilviyan bölgenin aktivasyonuna dayandırılmaktadır(2). Dört işleme yönelik cevaplama süreci, kortiko-subkortikal bölge arasında gerçekleşirken, anlamaya yönelik kompleks matematik sorularında dil bölgelerinin ve iki taraflı parietal lobun (PL) önemli etkisine işaret edilmektedir (3).

Matematiksel işlevler üzerine yapılan nörogörüntüleme meta analiz araştırmaları, toplama ve çıkarma işlemleri sırasında sağ ve sol hemisferdeki prefrontal ve parietal bölgelerin aktivasyonlarının farklı olduğunu; toplama için sol hemisferde, çıkarma işlemi için ise her iki hemisferde de aktivasyonun ortaya çıktığını göstermektedir(4,5). İşlem tipinin değişmesi ile aktifleşen beyin bölgeleri ve hemisferlerin farklılaşmasının yanı sıra, aynı tür soru içerisinde basitlik- karmaşıklık, zorluk durumunun değişmesine bağlı olarak da aktifleşen beyin bölgelerinde farklılık olduğu görülmektedir. İki basamaklı toplama işlemlerinde aritmetik zorluk, elde işleminin gerçekleştirilmesi gerekliliğinde artmaktadır. Zorluk artışı, elde işlemi gerektiren toplama işlemi sorularında (örneğin, $18 + 46$ gibi) yanıt süresinde uzama ve

hata oranlarında artış ile gösterilmektedir. Eldeli toplama işlemlerinin eldesiz toplama işlemlerine göre zorluğunun sebebi, farklı nedenlere bağlanmaktadır: Bazı çalışmalar, elde işlemi gerektiren toplama problemlerinde çalışma belleği talebinin arttığını savunurken, diğer çalışmalar, sayı sistemlerindeki basamak değeri yapısındaki tek haneli rakamların işlenmesinin zorluğu arttırdığını öne sürmektedir (6,7).

Aritmetik işlemlerin gerçekleştirilmesi sırasında beyinde meydana gelen aktivasyonların araştırılmasında zamansal çözünürlüğü yüksek bir nörogörüntüleme tekniği olarak Elektroensefalografi (EEG) avantaj sağlamaktadır. Aritmetik işlemlerin gerçekleşmesi sırasında farklı elektrofizyolojik yanıtlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle matematik işlemler esnasında beyinde delta aktivitesinin arttığı gözlemlenmektedir. Artan delta aktivitesi verilen görevlere odaklanma ve dikkat yoğunluğunun artmasıyla ilişkilendirilmekte, özellikle görsel dikkat, görsel algı esnasında oksipital bölgede arttığı bildirilmektedir (8). Basit ve karmaşık iki zorluk derecesine sahip aritmetik problemleri cevaplarırken sol Frontal ve Parietal bölgelerde teta ve alfa frekanslarında yüksek aktivasyon olduğunu gösteren EEG çalışmaları da literatürde yer almaktadır(9). Diğer bir çalışmada ise problem çözme sırasında beta aktivitesinin frontal bölgede arttığına işaret edilmektedir(10). Matematiksel işlemler esnasında ortaya çıkan elektrofizyolojik yanıtlarla ilgili bir fikir birliği sağlanamamıştır.

Nöropsikolojik ve nörogörüntüleme çalışmalarından elde edilen sonuçlar da matematiksel hesaplamalarda nöral bağlantıları ve nedensel rolü net olarak açıklayamamaktadır. Nöropsikolojik çalışmalar, beyin lezyonları üzerinden araştırma yapmakta, nörogörüntüleme çalışmaları ise korelasyonel yaklaşımlar üzerinden açıklama yapmaya çalışmaktadır. Belirli bir beyin bölgesinin süreçteki rolü üzerine her iki teknik de tek başına yetersiz kalmaktadır. Bu sınırlılıkları aşmak için, Transkraniyal Manyetik Stimülasyon (TMS) umut verici görünmektedir. TMS sağlıklı bireylerde beyin-davranış ilişkilerini; beyin aktivitesi ile görev performansı arasındaki nedensel bağlantıyı incelemek amacıyla kullanılmakta, fonksiyonel beyin bağlantısının keşfedilmesinde önemli bir görev üstlenmektedir. Son dönemlerde özellikle beyin-davranış ilişkisini incelemek için TMS aracılığıyla sanal lezyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Sanal lezyon, TMS aracılığıyla beyin fonksiyonlarının geçici ve kısa süreli olarak baskılanmasıdır. Sanal lezyon müdahalesi ile, geçici lezyon

oluşturulabilmekte beynin anatomik ve fonksiyonel bağlantısı incelenebilmekte, bilişsel işlevlerin haritasının ortaya konulmasına katkı sağlanabilmektedir(11).

Bu çalışmanın amacı sol SPL bölgesinin toplama işlemleri üzerindeki rolünü araştırmak ve bu bölgeye uygulanan TMS ile oluşturulan sanal lezyonun, bu işlemler sırasında meydana gelen teta yanıtı üzerindeki etkisini araştırmaktır.

Çalışmanın ana hipotezi sol SPL bölgesine uygulanan TMS ile oluşturulan geçici sanal lezyon, toplama işlemlerindeki performansı ve teta yanıtını etkileyeceğidir.

Alt hipotezler şu şekildedir:

H1-0: Sol SPL bölgesine uygulanan sanal lezyon, toplama işlemlerinde (eldeli ve eldesiz) performans düşüklüğüne yol açar.

H1-1: Sol SPL bölgesine uygulanan sanal lezyon, toplama işlemlerinde (eldeli ve eldesiz) performans düşüklüğüne yol açmaz.

H2-0: Toplama işlemleri sırasında kaydedilen teta yanıtı, sanal lezyon sonrası farklılık gösterir.

H2-1: Toplama işlemleri sırasında kaydedilen teta yanıtı, sanal lezyon sonrası farklılık göstermez.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. Matematiksel İşlemler

Matematiğin soyut bir kavram olması nedeniyle ‘Matematik Nedir?’ sorusunun cevabını tek bir tanım üzerine oturtmakta zorlanılmaktadır. Literatür incelendiğinde birden fazla tanımla karşılaşılmaktadır. Türk Dil Kurumu (TDK), matematiği; aritmetik, cebir ve geometri gibi disiplinleri kapsayan, sayı ve ölçü temeline dayalı, niceliklerin yapısını, ilişkilerini ve değişimlerini inceleyen bilim dalı olarak tanımlamaktadır. Matematik gerçek hayatta karşımıza çıkan problemleri çözmek için sayma, hesaplama, ölçme ve çizim yapmaya dayalı sayı ve sembollerden oluşan tüm dünyada konuşulan ortak bir dil, iletişim mekanizmasıdır (12,13).

Matematik, sayılar, semboller, miktarlar, şekiller ve cebir gibi soyut kavramların özelliklerini ve aralarındaki ilişkileri sistematik ve mantıksal bir çerçevede inceleyen bir bilim dalıdır. Teorik temelleri ve uygulamalı yönleriyle matematik, yalnızca soyut düşüncenin bir ürünü olmakla kalmayıp, aynı zamanda günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası olarak çeşitli problemlerin çözümünde etkin bir rol oynamaktadır. Analitik düşünme, muhakeme gücü, yaratıcılık, uzamsal ve soyut düşünme becerileri ile eleştirel düşünmeyi geliştiren matematik, bireylerin problem çözme yetkinliğini artırırken, mantıksal argümantasyon süreçlerini güçlendirmekte ve iletişim becerilerini desteklemektedir. Matematik, bilişsel işlevlerde önemli rol oynayan temel zihinsel bir süreçtir. Matematiksel düşünme birden fazla bilişsel beceriyi içeren karmaşık bir yapıya sahip olup bellek, dikkat, problem çözme, akıl yürütme, uzamsal farkındalık ve yürütücü işlevler gibi çeşitli bilişsel süreçleri harekete geçirmektedir(14). Matematiksel işlemlerin yapılmasıyla bilişsel esneklik, problem çözme yeteneği, çalışma belleği gibi yürütücü işlevler aktif rol almaktadır. Ayrıca problem çözme süreçlerinde odaklanmayı, hataları önlemeyi ve bu süreçlerin bilinç düzeyinde sürdürülmesinde de önemli rol oynamaktadır (15,16).

Matematik, bilişsel süreçlerin gelişiminde kritik rol oynayan bir disiplindir. Matematiksel düşünme becerileri yalnızca akademik başarıyı artırmakla kalmayıp günlük yaşamda finansal kararlar alma, analitik düşünme, problem çözme, eleştirel düşünme gibi bilişsel yetkinlikleri güçlendirerek matematik eğitimiyle bireylerin zihinsel kapasitelerini ve bilişsel işlevlerini geliştirmede temel bir araçtır(14,17).

4.2. Toplama İşlemi ve Bilişsel Süreçler

Toplama işlemi, matematikte iki veya daha fazla sayının bir araya getirilerek toplamlarının bulunması sürecidir, en az iki doğal sayıdan birinin üzerine ikinci sayı kadar ekleyip üçüncü bir sayı elde etme işlemi olarak tanımlanmaktadır(18). Zihinsel toplama işlemi yapmak, işlemlerin herhangi bir dış araç (kâğıt, kalem veya hesap makinesi) kullanılmadan yalnızca zihinde gerçekleştirilmesi sürecidir. Bu süreç, bireyin sayı duygusunu geliştirmesine, işlem hızını artırmasına ve matematiksel problem çözme becerilerini güçlendirmesine katkı sağlamaktadır (5). Toplama işleminin doğru bir şekilde anlaşılması, uygulanması ve tekrarlanması matematiksel becerilerin geliştirilmesiyle birlikte bilişsel gelişim süreçlerine de katkı sağlamaktadır.

Toplama işlemi, eldesiz ve eldeli toplama olmak üzere iki temel kategoriye ayrılmaktadır. Eldesiz toplama, her basamağın kendi içinde toplanarak bir üst basamağa sayı aktarımının gerekmemesi durumunu ifade ederken, eldeli toplama, bir basamaktaki toplamın 10 veya daha büyük olması halinde bir üst basamağa sayı aktarımının (elde işleminin) gerçekleştiği durumu tanımlamaktadır. Eldeli işlemler, ek bilişsel süreçler gerektirdiğinden zihinsel aritmetikte daha karmaşık olarak değerlendirilmektedir. Bu ayrım, toplama işleminin nasıl gerçekleştirildiğini anlamada kritik bir öneme sahiptir ve matematiksel işlem süreçlerinin bilişsel mekanizmalar ile ilişkisini inceleyen araştırmalara da temel oluşturmaktadır(6,19).

Elde ve ödünç alma işlemlerinin etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, geçici ara sonuçların depolanmasını, problem çözme becerilerinin kullanılmasını ve kural temelli prosedürlerin uygulanmasını gerektirmektedir. Tüm bu süreçler, çalışma belleği kaynaklarına dayanmaktadır. Çalışma belleği, kapasitesi sınırlı bir sistem olup çeşitli bilişsel görevlerde bilgi depolama ve işleme işlevini üstlenir(20). Farklı çalışma belleği modelleri bulunmakla birlikte literatürde zihinsel aritmetik araştırmalarında yaygın olarak kullanılan Baddeley ve Hitch'in çok bileşenli çalışma belleği modelinin kavramsal çerçeve olarak benimsendiği görülmektedir. Bu model üç temel bileşenden oluşmaktadır: merkezi yürütücü, fonolojik döngü ve görsel-mekânsal taslak. Merkezi yürütücü, fonolojik döngü ve görsel-mekânsal taslak olmak üzere iki alt sistemi denetleme ve koordine etme görevini üstlenmektedir. Fonolojik döngü, fonolojik olarak kodlanmış sözel bilgileri depolama ve işleme kapasitesine sahiptir. Görsel-

mekânsal taslak ise görsel ve mekânsal formatta bilgileri saklama ve işleme kapasitesine sahiptir. Merkezi yürütücü bileşeni ayrıca kontrol ve karar süreçleri, akıl yürütme, dil anlama ve üretme, çevrim içi bilişsel işlemler (örneğin, problem çözme ve hesaplama) ve görev değiştirme gibi işlemlerden de sorumlu olmaktadır.(21).

Çalışma belleğinin eldeyi aktarma, taşıma ve ödünç alma işlemlerinde birçok sürece dahil olduğu bilinmesine rağmen, hangi bileşenin bu işlemlerde rol oynadığını doğrudan inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. Literatürde daha önce yapılan çalışmalardan da belirtildiği üzere, elde ve ödünç alma gerektiren toplama işlemlerinde tepki süresinin arttığı ve hata yapılabilme olasılığının arttığı görülmektedir. Birçok çalışma, elde/taşıma işlemlerinin yürütücü çalışma belleği bileşeni için önemli bir bilişsel yük oluşturduğunu göstermektedir (6,22). Imbo ve arkadaşları, zihinsel aritmetikte taşıma işleminin gerçekleştirilmesinde fonolojik ve yürütücü çalışma belleği bileşenlerinin rolünü araştırmışlar ve özellikle merkezi yürütücü bileşenin hem eldeli işlem sayısını hem de elde gerektiren değeri yönetmede kritik bir rol oynadığını göstermektedirler(22). Seitz ve Schumann-Hengsteler, elde içeren toplama işlemlerindeki hata oranlarının yürütücü çalışma belleği yükü altında arttığını gözlemlemektedir(23). Elde yapılan işlemler sırasında, özellikle değerlerin taşınması ve aktarılması aşamalarında, odaklanma ve dikkatli bilgi yönetiminin önemini vurgulayan çalışmalara göre, birden fazla değer işlemlerde bulunması ve taşınan/aktarılabilecek sayı değerinin büyük olması durumunda, dikkat dağılmasının olasılığı artmakta ve bu da hata yapma riskini yükseltmektedir. Ayrıca, dikkat dağılması, çalışma belleği yükünü arttırarak, işlem sonuçlandırma süresinin uzamasına ve doğruluğunun etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, zihinsel aritmetik görevlerinde, özellikle elde ve ödünç alma işlemleri gibi karmaşık hesaplamalarda, dikkat ve çalışma belleği bileşenleri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Dikkat, çalışma belleğinin kaynaklarını etkili bir şekilde yönlendirmeye yardımcı olarak doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, elde yapılan işlemler, eldesiz işlemlere kıyasla dikkat, bilgi işleme kapasitesi ve bellek süreçlerine ekstra bilişsel yük getirerek, doğruluk ve süre açısından zorluklara neden olmakta ve süreci olumsuz etkilemektedir (22,24,25).

Toplama işlemleri ile yapılan nörogörüntüleme çalışmalarında, iki basamaklı toplama işlemleri elde kullanılarak yapıldığında özellikle posterior intraparietal sulkus (İPS), fusiform girus, sağ anterior singulat girus(ASG), MFG ve sol kuneusu içeren bir nöral ağın aktif olduğu gösterilmektedir. Kategorik elde taşıma etkisinin, sol İFG ve MFG bölgelerinde daha fazla aktivasyon oluşturduğu, ayrıca İPS, bilateral İFG, MFG ve sol superior frontal girus (SFG) gibi frontal bölgelerde artan birim toplama ile ilişkilendirilen fazladan bir aktivite gözlemlendiği bildirilmektedir (6). Kategorik taşıma etkisiyle tetiklenen frontal aktivasyonu değerlendiren fonksiyonel yakın kızılötesi spektroskopisi (fNIRS) çalışmasında, sol İFG ile birlikte bilateral SFG ve MFG'de de yüksek aktivite bulunmuştur(26). Oluşan frontal aktivasyon deseni, çalışma belleği ile ilişkilendirilmektedir. Böylece, elde etkisini oluşturan farklı işlevler sayılarının büyüklük işleme süreçlerini temsil eden parietal beyin bölgeleri ile, kategorik taşıma süreçlerini temsil eden belirli sol frontal beyin bölgelerinin yanı sıra, alan genelindeki çalışma belleği tarafından desteklenen bölgelerin de aktive olduğunu göstermektedir(27).

Aynı tür soru içerisinde basitlik- karmaşıklık, zorluk durumunun değişmesine bağlı olarak aktifleşen beyin bölgelerinde değişiklik olduğu görülmektedir. Fonksiyonel Manyetik rezonans Görüntüleme (fMRI) çalışmaları, basit ve karmaşık hesaplama işlemleri sırasında bilateral frontal ve parietal bölgelerin farklı şekilde devreye girdiğini göstermektedir. Özellikle İPL, artan hesaplama zorluğuna yanıt olarak daha güçlü bir şekilde aktive olmaktadır (28,29). İki basamaklı toplama işlemlerinde aritmetik zorluk, elde işleminin gerçekleştirilmesi gerekliliğinde artmaktadır. Zorluk artışı, elde işlemi gerektiren toplama işlemi sorularında (örneğin, 18 + 46 gibi) yanıt süresinde uzama ve hata oranlarında artış ile gösterilmektedir. Eldeli toplama işlemlerinin eldesiz toplama işlemlerine göre zorluğunun sebebi, farklı nedenlere bağlanmaktadır: Bazı çalışmalar, elde işlemi gerektiren toplama problemlerinde çalışma belleği talebinin arttığını savunurken, diğer çalışmalar, sayı sistemlerindeki basamak değeri yapısındaki tek haneli rakamların işlenmesinin zorluğu arttırdığını öne sürmektedir(6,7). İki basamaklı toplama işleminde, Klein ve arkadaşları eldeli işlem sürecinde, Posterior İPS, Fusiform Girus, sağ ASG, MFG ve sol kuneustan oluşan bir nöral ağın etkili olduğunu bildirmektedir. Eldeli işlemin uygulanması sürecinde sol İFG ve MFG'de daha fazla aktivite ortaya çıkarırken, İPS ve bilateral İFG, MFG ve

sol SFG gibi frontal bölgelerdeki aktivite sayısal büyüklük ile ilişkilendirilmektedir(6,30). Eldeli işlemin uygulanmasında frontal bölgede daha yüksek aktivasyon olduğu, bu durumun çok basamaklı sayılarla elde işlemi gerçekleştirme sürecinde, basamak-değer entegrasyonunu sağlamak için çalışma belleğindeki görev yük talebinin artması dolayısıyla olduğu bildirilmektedir(26). Sayısal büyüklüğün işlemlenmesinde, sayısal büyüklüğün temsilinde ise parietal bölge aktivasyonunun etkili olabileceği bildirilmektedir(31).

4. 3. Beyinde Sayısal İşlemler ve Parietal Lobun Rolü

Matematiksel işlemlenin özellikle, SPL ve İPL ile Parietal bölgeleri, MFG ve İFG ile Frontal bölgeleri içeren bir Fronto-Parietal networke dayandığı bildirilmektedir. Fronto-parietal ağın aktivasyonu, bilişsel esneklik, problem çözme yeteneği ve bilişsel kontrolü etkileyen birçok bilişsel görevle ilişkilendirilmektedir. Frontal bölge, yüksek düzey bilişsel işlemleri yöneten ve kontrolü sağlayan bir bölgedir. Parietal bölge ise duyuusal bilgilerin işlenmesi, uzamsal farkındalık ve dikkat gibi işlevlerde önemli bir rol oynamaktadır(15,16). Parietal korteksin üç farklı bölümü; İPS, supramarginal gyrus ve angular gyrus (AG), matematiksel bilişin ve öğrenmenin farklı yönlerine katkıda bulunmaktadır. İPS, frontal göz alanları, suplementer motor alan, anterior insula ve ventrolateral prefrontal korteksi (PFK) içeren fronto-parietal sistemin parçasıdır. İPS'nin ayırt edici temel özelliklerinden biri, frontal göz alanı ile bağlantısıdır: İPS, supramarginal girusa kıyasla bu bölgeyle daha güçlü bir bağlantıya sahip olsa da supramarginal girus, dorsolateral PFK (DLPFK) ile daha sıkı bir bağlantıya sahiptir ve bu bölge ile birlikte fronto-parietal merkezi yürütücü ağı oluşturmaktadır(24). Bu iki lob arasındaki yoğun bağlantılar, bilgi işleme ve bilişsel kontrol süreçlerinin entegre bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır(15,16).

Matematik sorularının cevaplanmasına yönelik süreci açıklayan modellerden biri de üçlü kod modelidir. Üçlü kodun ilki, soruda yer alan sayı ve sembollere yönelik olup beyinde Inferior Ventral Oksipito-Temporal bölgenin iki taraflı aktivasyonuna; ikincisi sayısal sembollerin karşılık geldiği analoglara ve nicel büyüklüklere yönelik olup İPL aktivasyonuna; üçüncüsü de soruda yer alabilecek olan sözel bilgiye yönelik olup sol Perisilviyan bölgenin aktivasyonuna dayandırılmaktadır(2). Dört işleme yönelik cevaplama süreci, kortiko-subkortikal bölge arasında gerçekleşirken,

anlamaya yönelik kompleks matematik sorularda dil bölgelerinin ve iki taraflı parietal bölgenin önemli etkisine işaret edilmektedir. Yapılan bir derleme çalışmasında, özellikle parietal lobun aktivasyonuna dikkat çekilmektedir (3).

Parietal bölgenin dört işlemlerde önem arz ettiği sonucu nöropsikolojik çalışmalardan da destek almaktadır. Sağ parietal bölge lezyonu olan sol taraf ihmal hastaları ile yapılan bir çalışmada, hastaların dört işlemlerde sorun yaşadığı bildirilmektedir(32,33). Matematiksel işlevler üzerine yapılan ilk nörogörüntüleme araştırmaları, hesaplamının sol hemisfer tarafından belirgin bir şekilde yürütüldüğünü gösterse de fMRI çalışmaları üzerinden yapılan meta-analiz çalışmaları çok daha karmaşık bir tabloyu ortaya koymaktadır. Bu meta-analiz, toplama ve çıkarma işlemleri sırasında sağ ve sol hemisferdeki prefrontal ve parietal bölgelerin aktivasyonlarının farklı olduğunu; toplama için sol hemisferde, çıkarma işlemi için ise her iki hemisferde de aktivasyonun ortaya çıktığını göstermektedir(4,5). Yapılan çalışmalar yukarıda da anlatıldığı gibi, temel parietal bölgenin öneminin, özellikle sayıların işlenmesinde ve sayısal büyüklüğün temsiline büyük bir rol oynamasından kaynaklandığı bildirmektedir. Posterior İPS, hesaplama zorluğunun artmasıyla daha güçlü bir şekilde aktive olur ve sayısal büyüklüğün işlenmesinde etkinlik gösterir. Parietal bölge, sayıların entegrasyonu ve işlem süreçlerinde önemli bir rol üstlenerek, elde işlemi gibi karmaşık hesaplamaların daha verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olur.

Beyin hasarı ve nörogörüntüleme çalışmaları, sayı işlemenin temel nicelik sistemi ve zihinsel hesaplama sistemi olmak üzere iki farklı işlevsel sinir ağıyla ilişkili olduğunu göstermektedir. Temel nicelik sistemi, sayıların sözel olmayan, soyut bir büyüklük ve mesafe temsiliyle işlenmesini içermektedir. Büyüklük karşılaştırması, her iki beyin hemisferin İPS'in yatay segmentinin ön kısmında gerçekleşmektedir. Sayıların sözel olarak işlenmesi, sol AG'de gerçekleşir. Görsel sayı işleme ile ilgili uzamsal ve uzamsal olmayan dikkat süreçleri, her iki hemisferin SPL'de yürütüldüğü bildirilmektedir. Sol SPL, sayı işlemede özellikle visuo-spatial (görsel-uzamsal) işlemler, sayı büyüklüğü karşılaştırmaları ve matematiksel problem çözme ile ilişkilidir. SPL, sayıların zihinsel olarak bir sayı doğrusu üzerinde işlenmesine katkıda bulunur. Yapılan çalışmalarda sayılar arasındaki büyüklük farklarını algılamada ve zihinsel hesaplamalarda bu bölgenin aktif olduğu gösterilmektedir.

Özellikle karmaşık hesaplamalar yaparken ve çok adımlı işlemleri takip ederken SPL aktivasyonu artmaktadır(34). Zihinsel hesaplama sistemine göre; sözel olarak kodlanmış sayıların ve aritmetik bilgilerinin zihinsel manipülasyonunu içerir. Bu süreç, İPS ve sol AG gibi diğer parietal bölgeleri içeren bir fronto-parietal sayı işleme ağı tarafından yürütülür. Zihinsel hesaplama sürecine çalışma belleği yönetimi, yanıt verme ve hata izleme gibi işlemleri yürüten yürütücü yönetici işlevler de katılmaktadır(26,34).

4.4.Sanal Lezyon ve Transkranyal Manyetik Stimülasyon Yaklaşımı

Sanal lezyon, beyin fonksiyonlarının kısa süreli ve geçici olarak baskılanmasıdır. Beynin anatomik ve fonksiyonel bağlantısallığından faydalanarak gerçekleştirilen geçici inhibisyon müdahaleleri, bilişsel işlevlerin haritalandırılmasını, modülasyonunu ve terapötik müdahalelerini mümkün kılmaktadır (35). Sanal lezyon oluşturma amacı, beynin işlevsel bölgelerini geçici olarak inhibe ederek, bu bölgelerin bilişsel, motor veya duysal işlevlerde nasıl bir rol oynadığını araştırmaktır. Sanal lezyon uygulamaları, farmakolojik ve non-farmakolojik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Non-farmakolojik yöntemler arasında yer alan TMS, manyetik alanın elektriksel alan üzerindeki etkisiyle uyarıcı veya inhibitör nitelikte yanıtlar oluşturabilir.

TMS ile sanal lezyon uygulamalarında, tekrarlayan transkraniyal manyetik stimülasyon (rTMS) ve teta burst stimülasyonu (TBS) protokolleri kullanılmaktadır. rTMS, beyin üzerine kısa süreli, yoğun manyetik darbeler uygulayarak elektriksel akımlar üretir. Uygulanan frekansa bağlı olarak sanal lezyon oluşturabilmektedir. TBS, hipokampüsün doğal 4-7 Hz teta ritmini temel alan bir rTMS protokolüdür. 50 Hz frekansında, üç uyarıdan oluşan burstlerin 5 Hz'lik aralıklarla her 200 milisaniyede bir tekrar edilmesi prensibine dayanır. TBS, devamlı (cTBS) ve aralıklı (iTBS) olmak üzere iki alt türe ayrılır. cTBS, 600-900 atımdan oluşan ve 200-300 burstlük gruplar halinde ardışık olarak uygulanan bir protokoldür ve kortikal inhibisyon sağlamaktadır. iTBS ise aynı atım sayısının 8 saniyelik aralıklarla tekrarlı olarak uygulanmasıyla kortikal uyarılabilirliği artırmaktadır. TBS, rTMS protokollerine kıyasla daha kısa sürede uygulanabilir olması nedeniyle önemli bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, TBS ile elde edilen nörofizyolojik etkilerin rTMS'ye kıyasla daha uzun süreli olduğu

gösterilmiştir. Bu farklılık, TBS'nin nöral düzeyde oluşturduğu spesifik etkilerle ilişkili olabileceği gibi, aynı zamanda daha istikrarlı ve tekrarlanabilir protokoller içermesinden de kaynaklanıyor olabilir(36,37).

Sanal lezyon uygulamaları, TMS tekniği ile online ve offline olarak gerçekleştirilebilmektedir. Online uygulamalar, deney sırasında doğrudan gerçekleştirilen nöromodülasyon süreçlerini ifade ederken; offline uygulamalar, deney öncesinde yapılan uyarımları içermektedir. Sanal lezyonun etkileri, uyarılan beyin bölgesi ve fonksiyonel şebekeye bağlı olarak çeşitli ölçütler üzerinden değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, reaksiyon zamanı, reaksiyon hızı, doğru-yanlış yanıt oranı ve fizyolojik yanıt farklılıkları gibi parametreler, çalışmanın amacına uygun şekilde analiz edilmektedir(35,37,38). TMS aracılığıyla oluşturulan sanal lezyon çalışmaları, dil işlevleri, görsel alan, benlik algısı, motor davranışlar, bellek ve ağrı algısı gibi geniş bir yelpazede bilişsel ve duyuşsal süreçleri incelemeye olanak tanımaktadır.

4.5. Sayısal İşlemler Üzerine Yapılan TMS Çalışmaları

Nöromodülasyon yöntemi olan TMS belirli beyin bölgelerine doğrudan uyarım uygulayarak, bilişsel işlevlerdeki değişiklikleri ölçebilmekte ve sebep-sonuç ilişkilerini ortaya koyabilmektedir. TMS'nin belirli beyin bölgelerine uygulanmasıyla oluşan ölçülebilir davranışsal değişiklikler, bilişsel işlevler ile ilgili beyin yapıları arasındaki nedensel modellerin oluşturulmasını sağlamaktadır (39,40). Bu nedenle, TMS bilişsel işlevleri incelemek için geniş çapta kullanılan bir yöntem olarak literatürde görülmektedir.

TMS, PL'nin bilişsel ve duyuşsal işlevleri üzerindeki etkilerini araştırmak için sıkça kullanılmıştır. PL, uzamsal işleme, dikkat, duyuşsal entegrasyon, matematiksel biliş, beden farkındalığı ve hafıza gibi birçok üst düzey bilişsel işlevde kritik bir role sahiptir. TMS uygulamaları, bu işlevlerin altında yatan mekanizmaları araştırmak ve PL ile ilişkili bilişsel süreçleri modüle etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir(37). Özellikle SPL ve İPL, uzamsal dikkat ve görsel arama görevlerinde önemli rol oynamaktadır. Sağ PL üzerine uygulanan inhibe edici TMS protokolü, uzamsal dikkat

görevlerinde performans düşüşüne neden olmaktadır, bu da bu bölgenin dikkat yönlendirme süreçlerindeki belirleyici rolünü desteklemektedir (35,37).

İPS, sayı büyüklüğü karşılaştırması, aritmetik hesaplamalar ve matematiksel bilişin yürütülmesinde merkezi bir role sahiptir. Sol İPS'ye uygulanan TMS, zihinsel hesaplama performansını bozabilir, bu da sol PL'nin aritmetik işlemlerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu göstermektedir. Sağ İPS'ye uygulanan yüksek frekanslı uyarıcı etkiye sahip TMS protokolleri, bazı durumlarda hesaplama hızını artırabilmekte ve sayısal işleme süreçlerini iyileştirebilmektedir. TMS çalışmaları, İPS'nin yanı sıra sol AG, matematiksel sembollerin işlenmesi ve sayısal bilgiye erişim ile ilgili önemli bir bölge olduğunu ortaya koymaktadır(15,15,22).

Posterior parietal korteks (PPK), çalışma belleği süreçlerinde önemli bir role sahiptir. rTMS uygulamaları, sağ PPK'nin inhibisyonunun mekânsal çalışma belleği görevlerinde performans düşüşüne yol açtığını göstermiştir. Sol PPK'ye uygulanan TMS, sözel çalışma belleği süreçlerini etkileyebilir ve özellikle dil ile ilişkili bilgi geri çağırma görevlerinde bozulmalara neden olabilir(22).

Andres ve arkadaşları, PL'nin aritmetik işlemlere olan katkısının incelenmesini amaçladığı fMRI, TMS sanal lezyon çalışması yapmışlardır. Öncelikle fMRI yöntemiyle çıkarma ve çarpma işlemlerine dahil olan parietal bölgeler belirlenmiştir. Her iki aritmetik işlem sırasında hem horizonto-İntraParietal Sulkus (hIPS) hem de posterior SPL'de, iki hemisferde de artan aktivasyon gözlemlenmişlerdir. Daha sonra, bu bölgelerin çıkarma ve çarpma işlemlerinde nedensel bir rol oynayıp oynamadığını test etmek amacıyla, her katılımcıda İPS veya posterior SPL'e TMS uygulayarak sanal bir lezyon oluşturulmuştur. fMRI verilerinde belirlenen en yüksek aktivasyon noktalarına odaklanarak uygulanan TMS sonrası, kontrol bölgesine kıyasla hem çıkarma hem de çarpma işlemlerinde yanıt süresinin uzadığını, ancak bu etkinin yalnızca sol veya sağ İPS'ye uygulanan TMS sonrasında ortaya çıktığını tespit edilmiş olup posterior SPL'ye uygulanan TMS'nin yanıt süresi üzerinde belirgin bir etki gözlenmediği belirtilmektedir. İPS'ye uygulanan TMS'nin çarpma işlemi sırasında hata oranını artırdığı görülmüştür. Bu bulgular, bellekten geri çağırma yoluyla çözülen çarpma işlemlerinin dahi İPS'ye bağımlı olduğunu göstermektedir. Buna karşın,

posterior SPL'nin temel çıkarma ve çarpma işlemlerinin çözümü için zorunlu olmayan süreçleri desteklediği anlaşılmaktadır(15).

Fresnoza ve ark. sembolik aritmetik işleminin nöral temelini incelemek için parietal ve nonparietal alanlara TMS ve transkraniyal elektriksel stimülasyon uygulayan çalışmaları sayı işleminin üçlü kod modelinin üç varsayımı ile ilgili olarak derlemiştir. Derleme 33'ü sağlıklı katılımcılarla ve 4'ü hastalarla olmak üzere 37 çalışmadan oluşmaktadır. Elde ettikleri sonuçlar, üçlü kod modelindeki İPS'nin hem bir büyüklük koduna sahip olduğu hem de çıkarma gibi sayısal manipülasyonlar gerektiren işlemlerde bulunduğu yönündeki ilk varsayımı ile büyük ölçüde tutarlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, büyük ölçüde heterojen sonuçlar, üçlü kod modelinin, sol AG'nin, ezberlenmiş çarpma sonuçlarının alınması gibi aritmetik bilgi alımına hizmet ettiği yönündeki ikinci varsayımıyla çelişmektedir. Üçlü kod modelinin üçüncü varsayımı için de destek sınırlıdır, yani posterior SPL'nin zihinsel sayı çizgisi üzerinde uzamsal işlemlerde bulunduğu yönündedir. Ayrıca, üçlü kod modeli tarafından öne sürülenlerin dışındaki beyin alanlarının uyarılmasından elde edilen sonuçlar, bilateral supramarjinal girusun çevrimiçi hesaplama ve almada, sol temporal korteksin geri almada ve bilateral DLPFK'in ve serebellumun bilişsel olarak zorlu aritmetik problemlerin çevrimiçi hesaplanmasında yer aldığını göstermektedir. Genel sonuçlar, çoklu kortikal alanların aritmetik becerilere hizmet ettiğini göstermektedir.(11).

4.6. Elektroensefalograif (EEG)

EEG, beynin korteksinde yer alan piramidal nöronların toplu ve senkronize sinaptik aktivitelerinden oluşan sinyallerin kaydedilmesine olanak sağlayan yüksek zamansal çözünürlüğe sahip noninvaziv bir yöntemdir(41). Sinaptik aktivasyon sırasında hücre dışına kıyasla daha pozitifleşen bir elektriksel potansiyel oluşur. Bu elektriksel dağılım sonucunda meydana gelen dipoller, kafa derisine yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla algılanabilen potansiyel farkları üretir ve bu sayede beyin aktivitesine ilişkin bilgi elde edilir.(41,42).

EEG sinyalleri delta (0,5-3,5 Hz), teta (4-7 Hz), alfa(8-13 Hz), beta(13-30 Hz) ve gama(30-100 Hz) olmak üzere beş frekans bandından oluşmaktadır. Delta salınımlarının piramidal nöronlar tarafından üretilmekte olduğu, ayrıca glial hücreler,

nükleus accumbens, ventral tegmental alandaki dopaminerjik nöronlar, ventral pallidum ve beyin sapından da lokasyon aldığı bildirilmektedir. Yapılan çalışmalarda delta yanıtlarının bilişsel süreçlerde özellikle karar verme ve dikkat süreçlerinde görev aldığı gösterilmektedir. Delta yanıtının, çalışma belleği, bilgiler arası entegrasyonun sağlanması, soru çözümü, analitik düşünme ve yürütücü işlevlere aracılık etme gibi görevlerde etkili olduğu bildirilmektedir(8,43,44). Artmış delta yanıtı gücünün problem çözme sırasında içsel işleme, iç konsantrasyonunu; azalmış delta yanıtı gücünün ise dikkatin dış uyaranlara çevrilmesini temsil ettiği yapılan çalışmalarda bildirilmektedir(45,46). Teta frekansı, PFK, duyu korteksi, hipokampus ve limbik sistemden lokasyon alıp bellek, plastisite, yukarıdan aşağı kontrol mekanizmaların kontrolü ile ilişkilendirilmektedir(43,47). Alfa frekansının, gözler kapalı durumda ve özellikle dış uyaranların olmadığı durumlarda ortaya çıktığı, tüm kortikal yapılar ile lokalize olduğu bildirilmektedir. Alfa frekansının, inhibisyon ve dikkat gibi fonksiyonlarda arttığı bilinmektedir. Beta dalgaları da tüm kortikal yapılardan, özellikle subtalamik nükleus, bazal ganglionlar, hipokampus, olfaktor bulbusun aktivasyonu ile ilişkilendirilmekte, duyu filtreleme, dikkat, dikkatin yönlendirilmesi, motor kontrol, yukarıdan aşağı kontrol mekanizması ve bilinç gibi zihinsel aktivitelerin yoğun olduğu durumlarda yükselmektedir. Gama frekansı algı, dikkat, bellek, bilinç, sinaptik plastisite, motor kontrol gibi bilişsel işlevlerin yoğun olduğu görevler esnasında artmaktadır(16,43).

4.7. Sayısal İşlemler Üzerine Yapılan EEG Çalışmaları

Problem çözme; dikkat, bellek, çalışma belleği, yargılama ve değerlendirme gibi çok sayıda bilişsel sürecin etkileşim içinde çalıştığı üst düzey bir düşünme becerisidir. Bu süreç; bireylerin karşılaştığı karmaşık durumlara veya sorunlara etkili çözümler geliştirmesini hedefler ve özellikle soyut düşünme ile uygun stratejilerin kullanımını gerektirmektedir(48). Son yıllarda, aritmetik işlemler gibi iyi yapılandırılmış bilişsel görevler kullanılarak problem çözme süreçleri üzerine yapılan araştırmalarda EEG sıkça tercih edilen bir ölçüm yöntemi olmaktadır. EEG, beynin elektriksel etkinliğini zaman içinde milisaniye düzeyinde kaydedebilmesi avantajıyla, problem çözme sırasındaki bilişsel yüklenmeyi ve dikkat düzeyini incelemeye önemli bir teknik olarak kabul edilmektedir (49). Çalışmalar, aritmetik problem çözme sırasında delta frekans

bandında artış olduğunu ve bu artışın bireylerin içsel bilişsel işlemeye yoğunlaştığında ortaya çıktığını bildirmektedir(46,48,49).

Aritmetik problemler, bireylerin hem temel matematiksel bilgiye erişimini hem de bu bilgiyi çalışma belleğinde işlemleyerek uygun çözümler üretmesini gerektirir. Bu durum, EEG kayıtlarında yalnızca dikkat süreçlerini değil, aynı zamanda işleyen belleğe ilişkin nörofizyolojik işaretleri de yansıtabilir. Dolayısıyla, özellikle aritmetik temelli problem çözme görevleri kullanılarak yapılan EEG çalışmalarında delta ve beta dalgalarındaki değişimlerin, bireyin zihinsel yük durumu, dikkat yoğunluğu ve çözüm stratejileri hakkında önemli göstergeler sunduğu öne sürülmektedir(10). Roslan ve arkadaşları EEG kullanarak delta ve beta frekans bantlarının problem çözme görevleri sırasında kortikal bölgelerdeki rolünü araştırmışlardır. Çalışma, katılımcılardan Ravens Gelişmiş İlerlemeli Matrislerin(RAMP) sunulması sürecinde ve dinlenme durumunda 128 kanal üzerinden EEG kaydı alınarak gerçekleştirilmiştir. 19 kanal üzerinden yapılan analizlerin sonucunda delta dalgasının neredeyse tüm beyin bölgelerinde anlamlı şekilde daha yükseldiği, beta dalgasının ise yalnızca prefrontal bölgede anlamlı şekilde arttığı gösterilmektedir(10). Dimitriadis ve arkadaşları zihinsel aritmetik görev verildiğinde anlamlı bir şekilde artış gösteren delta dalgası aktivasyonunun mekânsal dağılımını araştırmışlardır. 18 sağlıklı katılımcıdan elde edilen EEG kayıtları, iki zihinsel aritmetik görevi (sayı karşılaştırma ve iki basamaklı çarpma) ve bir kontrol durumu sırasında delta aktivitesini karşılaştırmaktadır. Delta aktivitesinin, her iki aritmetik görev sırasında da yaygın bir artış gösterildiği bildirilmektedir. İki aritmetik görevin karşılaştırılması sonucu, sinyal gücü açısından sol yarımkürede daha yüksek anlamlı farklılık olduğu gösterilmiştir (8).

Alfa frekans bandına odaklanan çalışmalar, literatürde genellikle beynin iki serebral hemisferi arasındaki alfa lateralizasyonuna odaklanmaktadır. Bu çalışmalarda, sol ve sağ hemisferde konumlanan eşleşik elektrot bölgelerinden elde edilen alfa güç değerleri karşılaştırılarak, 'alfa asimetrisi' olarak adlandırılan bir ölçüm indeksi hesaplanmaktadır. Alfa asimetrisi, belirli analiz yöntemleriyle elde edilen bir sinirsel aktivite göstergesidir. Bu doğrultuda, Earle tarafından yürütülen çalışmayı temel alarak benzer bir protokol izleyen Copello ve arkadaşları farklı zorluk seviyesine sahip çarpma problemlerini içeren bir deney görevinde EEG kaydı alarak hemisferler arası alfa aktivite farklarını incelemiştir(50,51). Earle'in bulgularına benzer şekilde, orta

düzey zorluktaki çarpma problemlerini çözerken, kolay problemler ve dinlenme durumlarına kıyasla katılımcıların sol hemisferlerinde daha yüksek alfa aktivitesinin ortaya çıktığı, alfa asimetrisinin olduğu gösterilmiştir (50). Lin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise verilen problem çözme görevi sırasında alınan EEG verilerinde literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak çözüm süresine odaklanılmıştır. 11 sağlıklı gönüllünün, dört tek haneli sayıyı temel aritmetik işlemler (toplama, çıkarma, çarpma, bölme) kullanarak 24 sonucunu verecek şekilde bir matematiksel ifade oluşturması istenmiştir. EEG sinyallerinden elde edilen spektral güç değerleri üç farklı frekans bandında — theta (4–7 Hz), alfa (8–13 Hz) ve beta (14–30 Hz) — incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, çözüm süresi uzadıkça teta gücünde artış, alfa ve beta güçlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, spektral güç değerlerinin çözüm süresiyle doğrusal bir ilişki içinde olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, EEG spektral dalgalanmalarının beyin yüzeyindeki dağılımı incelendiğinde, daha uzun süren cevaplama süreçlerine sahip yanıtlarda sol–sağ ve anterior-posterior eksenleri boyunca belirgin topografik asimetri ortaya çıktığı gösterilmektedir (47).

Literatürde, basit ve karmaşık problemlerin çözümü sırasında beyin bölgelerinin birlikte nasıl çalıştığını elektrofizyolojik yöntemlerle inceleyen çalışmalara da rastlanmaktadır. Bu bağlamda Rio ve arkadaşları, genç erkeklerin basit ve karmaşık düzeydeki mantıksal-matematiksel sözel problemleri çözerken prefrontal, temporal ve parietal bölgelerdeki beyin aktivasyonunu ve EEG ile olan ilişkisini incelemiştir. Karmaşık problemleri çözme sırasında, sol frontal ve parietal korteksler arasında alfa ve hızlı bantlarda daha yüksek güç ve korelasyon bildirmişlerdir. Ayrıca, sağ parietal-temporal kortekslerde zamansal deaktivasyon ve işlevsel ayrışma (decoupling) olduğu gösterilmektedir. Karmaşık problemleri çözenin, birden fazla bilginin akılda tutulması ve işlenmesi için sol prefrontal-parietal devrenin aktivasyonunu gerektirdiği düşünülmektedir. Zamansal deaktivasyon ve azalan parietal-temporal korelasyonun, sorudaki metin işlemenin yanı sıra içerik temelli akıl yürütmenin baskılanarak bilişsel kaynakların matematiksel akıl yürütmeye yönlendirilmesiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Matematiksel akıl yürütmeye, sol prefrontal ve parietal kortekslerin yanı sıra, yazılı matematik problemlerini anlamak ve çözmek için gerekli olan metin işlemeyle ilişkili temporal bölgelerin de önemli rol oynadığı görülmektedir(9).

5.MATERYAL METOD

5.1. Amaç

Bu çalışmanın amacı, sol SPL bölgesinin toplama işlemi üzerindeki rolünü araştırmaktır. SPL bölgesine uygulanan sanal lezyonun basit ve karmaşık düzeydeki toplama işlemleri sırasında gerçekleşen performansa ve teta yanıtına etkisini ortaya koymayı hedeflemektedir.

5.2. Çalışmanın Yapıldığı Yer

Çalışmamız İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilim ve Teknoloji Araştırma Enstitüsü Klinik Elektrofizyoloji, Nörogörüntüleme ve Nöromodülasyon Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışma, İstanbul Medipol Üniversitesi, Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 12/10/2023 tarihli ve E-10840098-772.02-6572 sayılı 822 karar numaralı sonucu verilen onay doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

5.3. Çalışmanın Süresi

Bu çalışma Ocak 2025-Mart 2025 tarihleri arasında yapılmıştır.

5.4. Katılımcılar

Örneklem etki büyüklüğünün 0.70, istenen güç düzeyinin 0.95 ve anlamlılık düzeyinin 0.05 olduğu varsayıldığında, gerekli katılımcı sayısı G*Power yazılımı kullanılarak 15 kişi olarak belirlenmiştir.

Çalışmaya katılmayı kabul edip bilgilendirilmiş onam formunu imzalayan ve çalışmaya dahil edilme kriterlerini karşılayan 18-30 yaş aralığındaki 15 genç yetişkin katılımcı dahil edilmiştir.

5.5. Çalışma Tasarımı

Çalışma iki oturumdan oluşmaktadır. İlk oturum öncesinde, bilişsel ve davranışsal testlerin uygulanması, manyetik rezonans (MR) görüntüsünün alınması, navigasyon cihazı çalıştırılarak sol SPL yerinin işaretlenmesi ve motor eşiğin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Birinci oturumda; dinlenme durumunu EEG kaydının alınması, toplama işlemi görevi sırasında EEG kaydının alınması, cTBS TMS veya sham uyarımının gerçekleşmesi, uyarım sonrası dinlenme durumu EEG kaydının alınması, uyarım sonrası toplama işlemi görevi sırasında EEG kaydının alınması şeklindedir. Çalışmanın ikinci oturumu birinci oturumdan 7-10 gün sonra gerçekleştirilmiş, birinci oturum ile aynı şekilde süreç ilerlemiştir; dinlenme durumu EEG kaydının alınması, toplama işlemi görevi sırasında EEG kaydının alınması, cTBS uyarımı veya sham uyarımın gerçekleşmesi, uyarım sonrasında dinlenme durumu EEG kaydının alınması, uyarım sonrası toplama işlemi görevi sırasında EEG kaydının alınmasıdır. Her iki oturumda farklı toplam işlemi soruları sorulmuştur. Katılımcılar hangi uyarımı aldıklarından habersiz şekilde gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Dahil Edilme Kriterleri

Çalışmaya dahil edilme kriterleri şu şekildedir:

- 18-30 yaş aralığında olmak
- En az 12 yıl eğitim görmüş olmak
- Herhangi bir nörolojik ve psikiyatrik tanıya sahip olmamak ve nörolojik veya psikiyatrik ilaç kullanmamak
- Montreal Bilişsel Değerlendirme testinden 21 ve üzerinde puan almak
- Sağ el baskın olmak
- Matematik işlem gerçekleştirme üzerine anksiyete sahibi olmamak

5.5.2. Dışlanma Kriterleri:

Dahil edilme kriterlerini karşılamayan kişiler çalışmanın dışında bırakılmıştır.

5.6. Veri Toplama Araçları

5.6.1. Nöropsikolojik Değerlendirme

Katılımcıların sağlıklı bilişsel seviyeye sahip olduğunu belirlemek için EEG kaydı öncesinde nöropsikolojik değerlendirme yapılmıştır. Genel kognitif durumu belirlemek için Montreal Bilişsel Değerlendirme Testi; dikkat durumunu belirlemek için İleri ve Geri Sayı Menzili Testi; yürütücü işlevleri değerlendirmek için de Stroop Test kullanılmıştır. Davranışsal semptomları değerlendirmek için Beck Depresyon Test, Beck Anksiyete Testi, Matematik Anksiyete Testi kullanılmıştır.

5.6.1.1. Demografik Verilerin Kaydedilmesi

Katılımcıların doğum tarihi, yaş, cinsiyet ve eğitim süresi gibi bilgileri içeren demografik bilgi formu doldurulmuştur.

5.6.1.2. Montreal Bilişsel Değerlendirme Testi (MoCA)

Katılımcıların genel bilişsel işlevlerini değerlendirmek amacıyla MoCA testi kullanılmıştır. MoCA yürütücü işlevler, adlandırma, bellek, dikkat, dil, soyut düşünme, gecikmeli hatırlama ve görsel-mekansal becerileri değerlendiren bir tarama testidir. Testten alınabilecek en yüksek puan 30 olmakla beraber, 21 puan ve üzeri sağlıklı bilişsel durumun olduğunu göstermektedir(52).

5.6.1.3. Sayı Dizi Testleri

Basit dikkat ile ilintili olarak İleri Sayı Menzili testi kullanılmış olup katılımcılara 3 ile 8 basamaklı sayı grupları okunmuş ve aynı sırayla tekrar etmeleri istenmiştir. Arka arkaya yaptıkları iki hata sonrasında test bitirilmiş ve ileri sayı menzil puanı belirlenmiştir(53).

Karmaşık dikkat ile ilintili olarak Geri Sayı Menzili testi kullanılmıştır. Bu sefer de katılımcılara 2 ile 7 basamaklı sayı dizileri okunmuş olup sondan başa doğru sırasıyla tekrar etmeleri istenmiştir. Arka arkaya yapılan iki hata sonrasında test bitirilip geri sayı menzili puanı belirlenmiştir(53).

5.6.1.4. Stroop Testi

Yürütücü işlevler, inhibitör kontrol, bilişsel esneklik ve sözel akıcılığı ölçerek frontal lob fonksiyonlarını değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bir testtir. Test 3 kısımdan oluşmaktadır: dörtgenlerin rengini söyleme, renkli kelimeleri okuma ve renkli kelimelerin renklerini söyleme. İlk aşamada sırasıyla dörtgenlerin renklerinin söylenmesi istenmekte olup süre kayıt altına alınmaktadır. İkinci aşamada renkli kelimelerin renklerinin söylenmesi istenmiş ve süresi kaydedilmektedir. Üçüncü aşamada renkli yazılan kelimelerin mürekkeplerinin renklerini söylemesi istenmekte ve süre, hata sayısı, düzeltme sayısı her aşamada olduğu gibi kaydedilmektedir(54).

5.6.1.5. Beck Depresyon Ölçeği

Depresyon belirtilerini ölçmeye yönelik 21 maddeden oluşan bir testtir. Her maddede bireylerin kendilerini değerlendirmesi ve durumlarını en iyi tanımlayan öncülün sayı değerini işaretlemesi istenmektedir. Test sonucunda işaretlenen sayılar toplanır ve elde edilen toplamlar değerlendirilir: 9 ve altı normal; 10-18 arası hafif düzey depresyon;19-29 arası orta düzey depresyon;30-63 arası ise şiddetli depresyon belirtileri olduğunu göstermektedir(55).

5.6.1.6. Beck Anksiyete Ölçeği

Bireylerin anksiyete seviyelerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş bir testtir. Test, 21 maddeden oluşmakta olup her madde belirli anksiyete seviyesini ifade etmektedir. Bireylerden bu belirtilerin ne kadar rahatsız ettiğini 0 ile 3 arasında puanlaması istenmektedir. Puanlar toplanarak bireyin anksiyete seviyesi belirlenir: 0-7 minimal anksiyete, 8-15 hafif anksiyete, 16-25 orta düzey anksiyete, 26 ve üzeri şiddetli anksiyete olarak sınıflandırılır (56)

5.6.1.7. Matematik Anksiyete Ölçeği

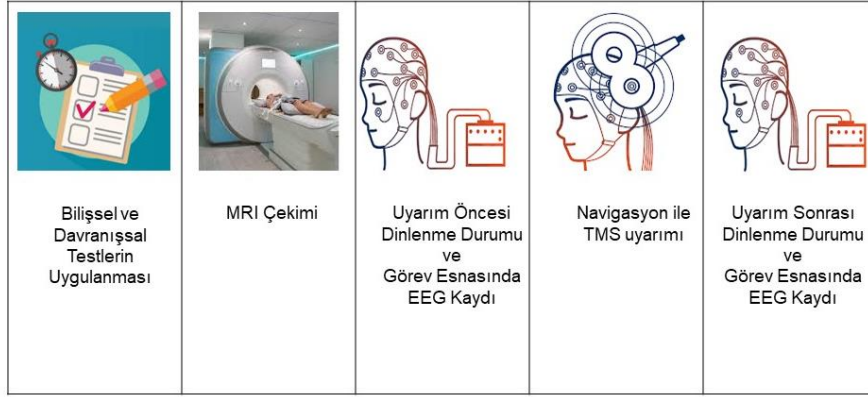
Bireylerin matematikle ilgili yaşadıkları kaygı düzeylerini ölçmek için geliştirilmiş bir ölçektir. Matematik anksiyetesi, bireylerin matematiksel işlemleri yaparken, matematikle ilgili durumlarla karşılaştıklarında ya da matematik öğrenme sürecinde hissettikleri korku, gerginlik ve huzursuzluk duygularını ölçmektedir. Ölçek maddeleri 1'den 5'e kadar sıralanmış hiç katılmıyorum, katılmıyorum, kararsızım, katılıyorum, tamamen katılıyorum şeklindedir, bireylerin her bir maddeye verdikleri

puanlar toplanarak genel bir toplam puan elde edilmektedir: 1-20 puan: Çok düşük matematik kaygısı, 21-40 puan: Düşük matematik kaygısı, 41-60 puan: Orta düzey matematik kaygısı, 61-80 puan: Yüksek matematik kaygısı, 81 ve üzeri puan: Çok yüksek matematik kaygısı olarak sınıflandırılmaktadır (57).

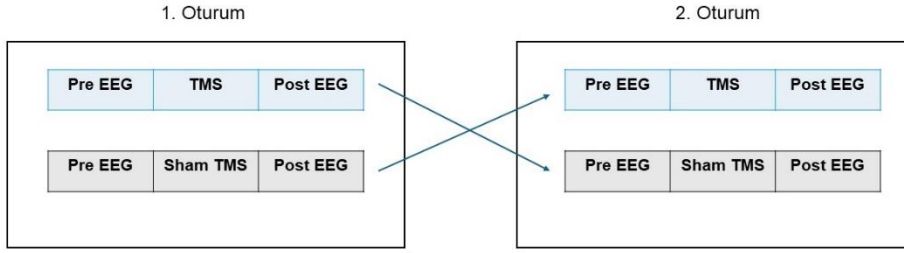
5.7. Deney Protokolü

Araştırmaya dahil edilme kriterlerini sağlayan katılımcılar davet edilerek öncelikle bilişsel ve davranışsal testler gerçekleştirilmiştir. Testlerde normal değer aralıklarına sahip olan bireylerin Manyetik Rezonans görüntü kayıtları alınarak, navigasyon cihazında koordinatlar üzerinde Süperior Parietal lobul bölgeleri işaretlenmiştir. EEG çekimi için hazırlıklar tamamlandıktan sonra, uyarım öncesi 3 dakika gözler açık ve 3 dakika gözler kapalı dinlenme durumu EEG'leri kaydedilmiştir. Katılımcılara 2 tip matematik sorusu sorulmuştur. Soru tip sırası random şekilde belirlenmiştir. Sorulacak sorular: 2 basamaklı sayılarla eldesiz toplama işlemleri, 2 basamaklı sayılarla eldeli toplama işlemleri şeklindedir. Uyarım öncesi EEG çekimi tamamlandıktan sonra, TMS cihazı ile uyarım gerçekleştirilmiştir. Uyarım sonrası, uyarım öncesi ile protokol aynı olacak şekilde 3 dakika gözler açık, 3 dakika gözler kapalı ve eldeli ve eldesiz iki basamaklı toplama işlemleri sorularak çekim tamamlanmıştır (Figür 1). Çalışma ayrı 2 oturum halinde ve oturumlar arası 7 ila 10 gün olmuştur. Oturumlarda sham uyarım veya TMS uyarımı random sırayla uygulanmıştır (Figür 2). Çalışma, tek kör çalışma şeklinde gerçekleştirilmiş, katılımcılar hangi uygulamanın yapılacağını bilmemişlerdir. Bir oturum toplamda 2 saat sürmüştür.

Figür 1. Deney Protokölü



Figür 2. Çalışma Tasarımı



İlk oturumda sanal lezyon için TMS uyarımı alan katılımcılara 2. oturumda sham uyarım gerçekleştirilecek; diğer grupta ise ilk oturumda sham uyarım yapılırken 2. oturumda sanal lezyon TMS uyarımı yapılacaktır.

Deney görevinde toplama sorularının sunulması ve yanıt kaydı için E-Prime programı kullanılmıştır. Her soru uyarını öncesi 500 ms siyah ekran üzerinde beyaz artı işareti şeklinde fiksasyon işareti gösterilmiştir. Siyah ekran üzerine beyaz renkle Times New Roman 65 boyutuyla aynı şekilde soru uyarıları sunulmuştur. Her soru uyarını ekranda 2 sn kalmış, ardından siyah ekran gösterilerek katılımcılardan 3 saniye içerisinde cevabı bulmaları, buldukları an klavyeye tıklamaları ve cevabı yüksek sesle söylemeleri istenmiştir. Soru uyarıları arası random 3-5 sn uyarılar arası dinlenme aralığı verilmiştir (Figür 3). 30 soru eldesiz iki basamaklı toplama işlemi, 30 soru eldeli iki basamaklı toplama işlemi olmak üzere 60 soru sorulmuştur.

Nörolojik Enstitü (MNI) koordinatlarını kullanan navigasyon sistemi aracılığıyla, inhibe edilecek bölge belirlenmiştir. Önceki araştırma çalışmalarında, uyarılan superior parietal lobul bölgesinin koordinatları, MNI koordinatlarında -27,-60,51 (x,y,z) olarak belirlendiği görülmektedir (58). Uyarım bölgesinin belirlenmesi ve navigasyon cihazının hazırlanması kapsamında uyarım bölgesinin koordinatları meta analiz yapılarak belirlenmiştir. Meta analiz çalışmasında BrainMap Sleuth Version 3.0,4(59–61) ve GingerALE Version 3.0,2(62,63) programları kullanılmıştır. Superior Parietal Lobul için veri tabanında bulunan sağlıklı katılımcılardan alınan görüntülerin yer aldığı 551 deney içerisinden hipotezimize uygun olarak belirlenen 32 deney ve 1125 odak noktası dahil edilmiştir. Veriler üzerinden anlamlı kortikal bağlantısallığın belirlenmesi için permütasyon eşiği 5000, anlamlılık değeri 0,001 ve küme düzeyinde tanıdık tahmin 0,01 olarak belirlenmiştir. Sol SPL bölgesinin fonksiyonel bağlantısallık haritası çıkarıldıktan sonra bu bölgeye ait çakışmanın en yoğun olduğu koordinatlar TMS uyarım bölgesi olarak belirlenmiştir. Sol SPL ile en yoğun bağlantısallık gösteren bölge Brodmanın 7. Bölgesinde $x = -26$, $y = -62$, $z = 44$ olarak belirlenmiştir. Her bir katılımcının anatomik beyin görüntüsü, doğrusal bir normalleştirme algoritması kullanılarak standart bir görüntüye dönüştürülmüştür. Lineer normalizasyon sürecinde, optimize edilmiş dönüşüm matrisinin tersi kullanılarak, katılımcının orijinal koordinatları MNI koordinatlarında (-26, -62, 44; x, y, z) Talarich atlası referans alınarak hesaplanmış ve bu koordinatlar katılımcının beyin görüntüsü üzerinden işaretlenmiştir. Katılımcının beyin görüntüsü MNI152 standart beyin atlasına kaydedilmiş ve atlasın bölgeleri tanımlanmıştır. Daha sonra, stimülasyon koordinatları TMS nöronavigasyon sistemi için ilgili bölgeye geri yansıtılmıştır. Powermag 100 Research TMS ve Power Mag CMS20 ölçüm sistemi (Almanya) birlikte kullanılmıştır. Navigasyon sistemine uygun olarak alınan MR görüntüleri, sistem üzerine yüklenmiştir. Navigasyon sırasında, MR görüntüsü üzerinde nazion, sağ ve sol preauricular bölgeler öncelikle işaretlenmiş ve bu noktalar dijital kalemle işaretlenerek, katılımcının başı ile MR görüntüsü üç boyutlu olarak örtüştürülmüştür. Alın bölgesine 2, nazion bölgesine ise 1 ses dalgası yayan işaretleyici sabitlenmiş ve coil'in uzaydaki konumu dijital kalem ile işaretlenerek sisteme aktarılmıştır. İlgili işaretleyicilerden yayılan ses dalgaları, ses dalgalarını yakalayan alıcı sistem sayesinde, katılımcının kafa pozisyonundaki değişiklikler aktif olarak

sisteme aktarılabılır hale getirilmiştir. Oluşturulan üç boyutlu görüntü üzerinden, primer motor alanındaki Abductor Pollicis Brevis bölgesi belirlenmiş ve seans öncesi motor eşik değeri bulunmuştur. Uyarım için Superior Parietal Lobul bölgesi işaretlenerek belirlenmiştir.

Hastalara Power Mag cihazı ve içten soğutmalı sekiz şekilli bobin ile TMS uyarımı gerçekleştirilmiştir. Bobin, 2×70 mm çapa sahiptir. Seanslar, Medipol Üniversitesi Hastanesi Nöroloji Servisi'nin nöromodülasyon odasında uygun fiziki şartlar sağlandıktan sonra yapılmıştır. Motor Şiddetin belirlenmesinde MEP protokolü uygulanmıştır. Aşamalı olarak arttırılan uyarımlar ile motor korteks üzerinden uyarım verilerek kontrolateral elin abductor pollicis brevis kası üzerinden istirahat EMG yanıtı tespit edilmiştir. Art arda 10 yanıtın en az 5 denemesinde 50 mikrovolt alınan yanıt motor eşik olarak kabul edilmiştir. Katılımcılara uygulanan cTBS protokolü Steel ve ark.'nın tanımlamış olduğu şekilde yapılmıştır. Her 200 milisaniyede bir 50 Hz üçlü patlama olacak şekilde toplamda 600 atım uygulanmıştır. TMS sarmalının oryantasyonu bobin dik tutularak ve tepe noktasında merkezi düzleme yönlendirilmiştir. Stimülasyon lokasyonunda 40 saniye boyunca %80 motor eşiğinde cTBS uygulanmıştır. Fokal stimülasyona ve interhemisferik fissür derinliklerine iyi penetrasyona izin vermesi sebebiyle uygulama esnasında geniş bir diametere sahip sekiz şekilli bobin kullanılmıştır. Sham uygulamada, katılımcılara herhangi bir uyarım verilmemiştir. Coil aynı bölge üzerine ters yerleştirilmiş olup, katılımcılara sadece uyarım sesi dinletilerek uyarım aldıkları izlenimi verilmiştir (64).

5.8.3. EEG veri toplama

EEG kayıtları Brain Vision Recorder (Brainproduct, Munich, Germany) programı ile alınmıştır. Kayıt protokolü 0.1-250 Hz. band pass filtre ve 500 örneklem hızı ile gerçekleştirilmiştir. 10-20 sistemine göre yerleştirilen kep ile 64 kanal (Fp1, Fpz, Fp2, AF7, AF3, AFZ, AF4, AF8, F9, F7, F5, F3, F1, Fz, F2, F4, F6, F8, F10, FT9, FT7, FC5, FC3, FC1, FCz, FC2, FC4, FC6, FT8, FT10, T9, T7, C5, C3, C1, Cz, C2, C4, C6, T8, T10, TP9, TP7, CP5, CP3, CP1, CPz, CP2, CP4, CP6, TP8, TP10, P9, P7, P5, P3, P1, Pz, P2, P4, P6, P8, P10, PO7, PO3, Poz, PO4, P08, O1, Oz, O2) üzerinden kaydedilmiştir. Göz kırpma hareketleri sol göz altına yerleştirilen yatay EOGH göz elektroduyla sol göz üzerine yerleştirilen EOGV elektrodu ile kaydedilmiştir.

5.9. Verilerin Analizi

EEG verilerinin analizinde Brain Vision Analyser (2.2) programı kullanılmıştır. Çok düşük frekanslı gürültülerin çıkartılması için 0.01 Hz ve aşağısına ve şehir şebekesi gibi büyük frekanslı gürültülerin çıkartılması için 60 Hz ve üzerine geniş filtre uygulanmıştır. Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) ile göz hareketlerine ait gürültüler belirlenerek datadan çıkartılmıştır.

Segmentasyon soruya verilen yanıtta göre yapılmıştır. Analize sadece doğru cevaplanan sorular alınmıştır. İlk segmentasyonda yanlış cevaplanan ve boş bırakılan sorular dışlanmıştır. Doğru cevaplanan sorularda verileri temizlemek için -2000 ve 2000 ms sürecini kapsayacak şekilde (uyaranın geldiği nokta sıfır noktası kabul edilmiştir) tekrar segmentasyon yapılmıştır. Uyarının geldiği noktanın 2000 ms sonrası baz alınarak göz kırpması, motor hareket gibi gürültülerden veri arındırılmıştır. Temizlenen veride zaman frekans analizi için Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transformu) analizi yapılmıştır. Her birey için dalgacık dönüşümlerinin ortalamaları alınmıştır. Daha sonra tüm bireylerin dalgacık dönüşümü ortalamalarının büyük ortalaması alınmıştır. Büyük ortalamalarından yararlanılarak maksimum genliğin alınacağı zaman penceresindeki en yüksek genlikteki cevap teta yanıtı olarak tespit edilmiştir. 4-7 Hz aralığında delta yanıtının 100-400 milisaniye zaman aralıklarında en yüksek yanıt gücü belirlenmiştir. İstatistiksel analiz için sayısal veriler (μV) tepeden tepeye ölçülerek kaydedilmiştir.

5.10. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analiz için IBM SPSS (Statistical Package for Social Science) 25.0 versiyonu ve Jamovi kullanılmıştır. Verilerin tanımlayıcı istatistiklerinde ortalama ve standart sapma değerleri sunulmuştur. Değişkenlerin normal dağılımı Kolmogrov Smirnov Test ile ölçülmüş olup normal dağılım gösteren ve göstermeyen verilerde uygun analiz yöntemleri tercih edilerek davranışsal verilerin analizi yapılmıştır.

EEG verilerinin analizinde toplama ve eldeli toplama işlemlerinde veriler ayrı ayrı ANOVA ile karşılaştırılmıştır. ANOVA analizinde uyarım tipi (sham ve sanal lezyon), lokasyon (Frontal, Santral, Temporal, Temporo-Parietal, Santro-Parietal, Parietal ve Oksipital) ve hemisfer (sol, sağ) grup içi faktörleri oluşturulmuştur.

Anlamlılıklar Greenhouse-Geisser düzeltilmiş p değerleri üzerinden belirlenmiş olup p değeri $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.



6- BULGULAR

Çalışma 15 sağlıklı genç-yetişkin birey ile gerçekleştirilmiştir. Tüm katılımcılara randomize sırayla inhibisyon ve sham uyarım yapılmıştır.

6.1. Demografik ve Davranışsal Bulgular

Çalışmaya katılan bireylerin (n=15) yaş ortalamaları $25,3\pm 1,62$ idi. Çalışmaya 4 erkek ve 11 kadın katılımcı dahil edilmiştir. Bireylerin ortalama eğitim süresi $17,2\pm 1,37$ sene idi.

Genel kognitif durumu gösteren MoCA testinden alınan puan ortalaması $28,7\pm 1,29$ idi. Katılımcıların genel kognitif durumlarının normal sınırlar içerisinde olduğu görüldü.

Katılımcıların basit dikkati değerlendiren İleri Sayı Menzili puan ortalaması $8,33\pm 1,88$ ve karmaşık dikkati değerlendiren Geri Sayı Menzili puanı ortalaması $7,93\pm 1,44$ idi. Katılımcılara uygulanan Stroop testinde kutuların rengini söyleme süre ortalaması $35,46\pm 6,65$, renkli kelimeleri okuma süre ortalaması $29,66\pm 5,39$ ve yazılı kelimelerin rengini söyleme süre ortalaması $55,33\pm 14,87$ idi. Yazılı kelimelerin rengini söyleme ile renkleri okuma süre farkı ortalaması $25,7\pm 12,1$ idi. Katılımcıların dikkat fonksiyonlarının normal sınırlar içerisinde olduğu görüldü.

Beck Depresyon Ölçeğinden aldıkları ortalama puan $6,07\pm 4,03$ ve Beck Anksiyete Ölçeğinden aldıkları ortalama puan $4,67\pm 4,29$ olup, katılımcıların depresyon ve anksiyete belirtileri göstermediği görüldü. Katılımcılara Matematik Kaygı Ölçeği uygulanmış olup birinci hafta puan ortalamaları $43,5\pm 7,83$ iken ikinci hafta puan ortalamaları $44,9\pm 6,10$ idi. Katılımcılar orta düzeyde matematik kaygısı yaşadığı, uygulama ile bu kaygı durumunda herhangi bir değişiklik olmadığı görüldü.

6.2. EEG Kaydı Esnasında Ortaya Çıkan Davranışsal Bulgular

Bir katılımcıya ait EEG verileri, teknik sorun sebebiyle analiz sürecine dahil edilmemiştir. İstatistiksel analiz 14 kişi üzerinden yapılmıştır.

Katılımcıların toplama işlemine verdikleri doğru, yanlış ve boş yanıt sayıları incelendiğinde; sanal lezyon ve sham uyarım koşulları arasında, hem uyarım öncesi ve sonrası ölçümler hem de gruplar arası karşılaştırmalarda bu üç yanıt türü açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0.05$). Elde edilen bulgular, uygulanan uyarımların toplama işlemi performansı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

Katılımcıların eldeli toplama işlemine verdikleri doğru, yanlış ve boş yanıt sayıları incelendiğinde; sanal lezyon ve sham uyarım koşulları arasında, hem uyarım öncesi ve sonrası ölçümler hem de gruplar arası karşılaştırmalarda bu üç yanıt türü açısından anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p>0.05$). Elde edilen bulgular, uygulanan uyarımların toplama işlemi performansı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

EEG kaydı esnasında sorulan soruların değerlendirme sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Katılımcılara EEG kaydı esnasında sorulan soruların değerlendirme sonuçları

	Sham Uyarım (n=14)		Sanal Lezyon Uyarımı (n=14)	
	Uyarım Öncesi (Ort±S.S.)	Uyarım Sonrası (Ort±S.S.)	Uyarım Öncesi (Ort±S.S.)	Uyarım Sonrası (Ort±S.S.)
Toplama				
Doğru Sayısı	27,78±1,88	26,57±3,32	27,14±3,10	27,42±2,34
Yanlış Sayısı	1,64±1,49	2,78±2,25	2,0±2,32	2,0±1,92
Boş Sayısı	0,57±1,28	0,64±1,44	0,85±1,29	0,57±1,15
Eldeli Toplama				
Doğru Sayısı	24,21±5,76	24,42±4,65	24,85±3,95	24,14±5,69
Yanlış Sayısı	4,42±3,63	4,57±2,62	3,71±2,30	3,07±2,67
Boş Sayısı	1,35±3,05	1,00±3,18	1,42±2,95	1,78±4,35

N: Katılımcı Sayısı; **Ort:** Ortalama; **S.S.:** Standart Sapma

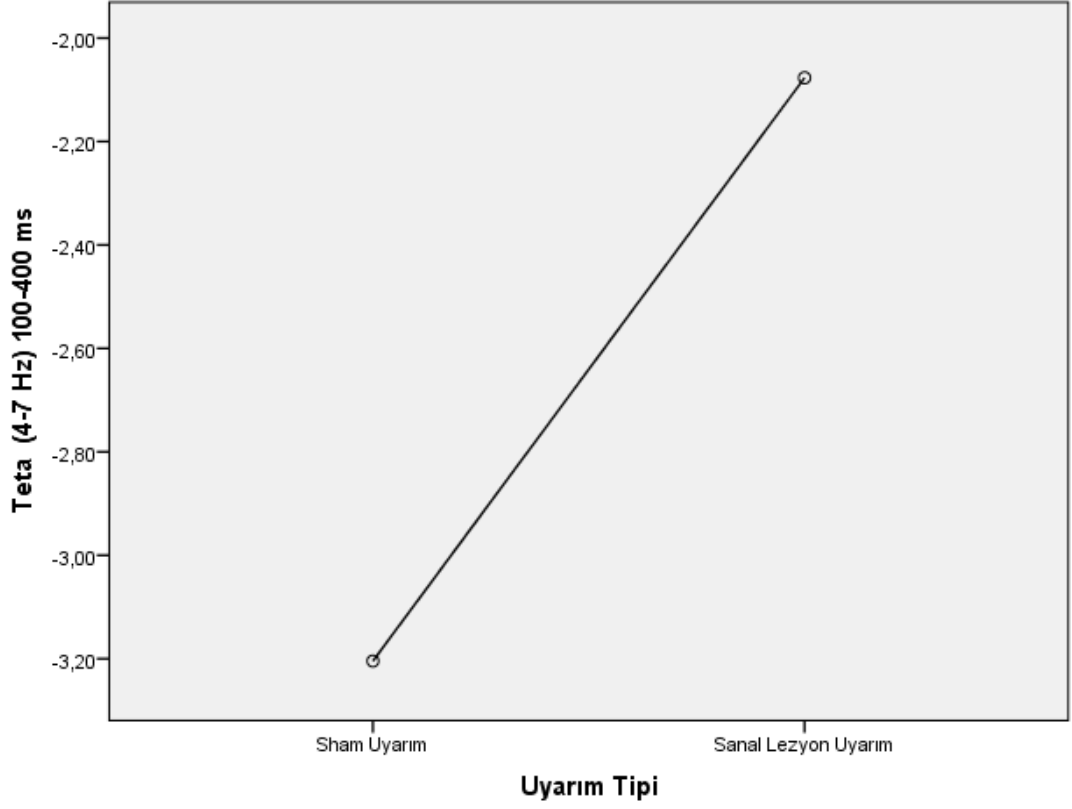
6.3. EEG Sonuçları

Bir katılımcıya ait EEG verileri, teknik sorun sebebiyle analiz sürecine dahil edilmemiştir. İstatistiksel analiz 14 kişi üzerinden yapılmıştır.

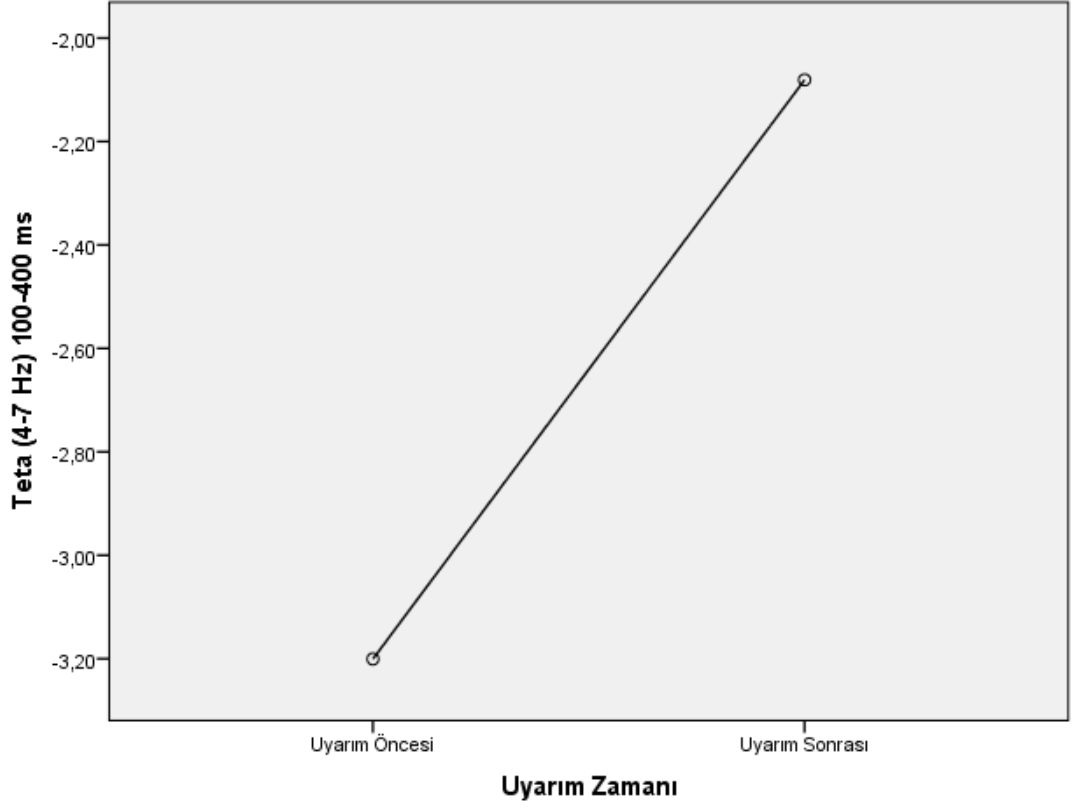
6.3.1. Sanal Lezyon ve Sham Uyarım Sonrası Toplama İşlemlerini Gerçekleştirirken Beyinde Ortaya çıkan 100-400 ms Teta Yanıtları

100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtının istatistiksel analizinde; uyarım tipi (sham ve sanal lezyon), uyarım zamanı (uyarım öncesi ve sonrası), lokasyon (Frontal, Santral, Temporal, TemporoParietal, Parietal, SantroParietal ve Oksipital) ve hemisfer (sağ ve sol) olmak üzere çok faktörlü bir varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.

100-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; uyarım tipi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p=0,044$). Sanal lezyon ve sham uyarımı kıyaslanmasında teta yanıtı sanal lezyon uyarımında daha fazladır (şekil 6.3.1.1). Uyarım zamanı istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p=0,002$). Uyarım sonrası teta yanıtında anlamlı artış olduğu görölmüştür. (şekil 6.3.1.2.)

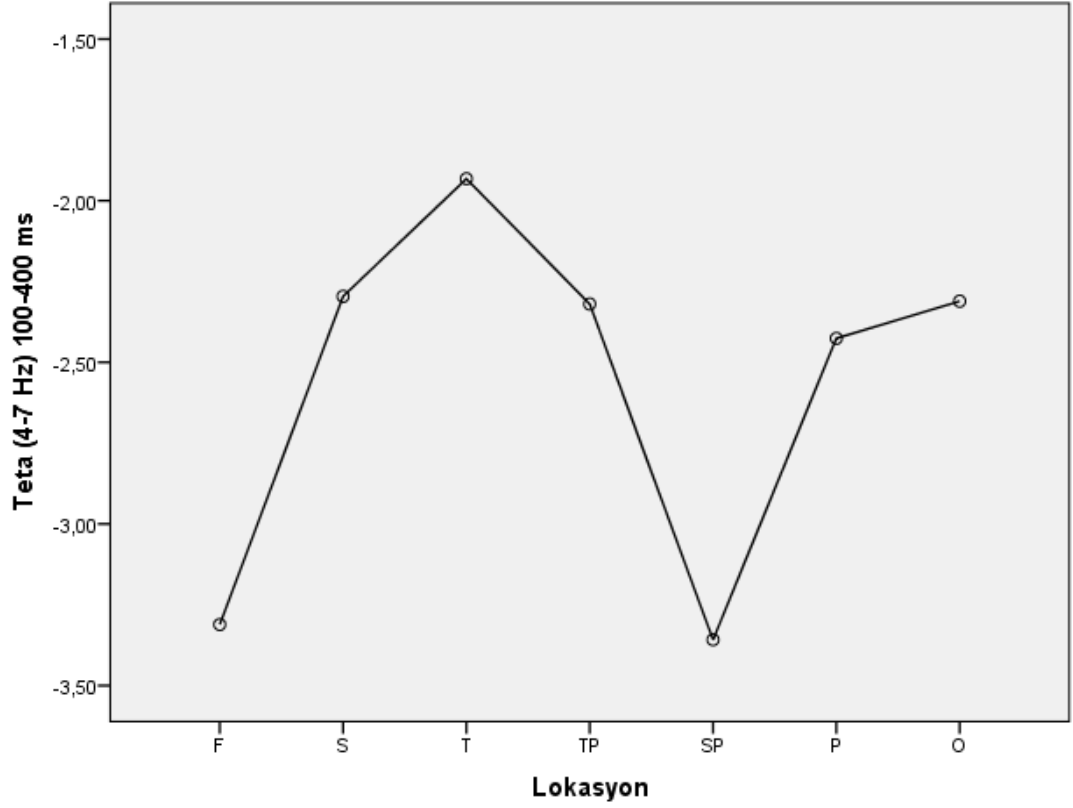


Şekil 6.3.1.1. Uyarım tipi 100-400 ms teta yanıtı (X eksenini Uyarım tipini, Y eksenini teta yanıt gücünü temsil etmektedir.)



Şekil 6.3.1.2. Uyarım zamanı 100-400 ms teta yanıtı (X eksenini Uyarım zamanını, Y eksenini teta yanıt gücünü temsil etmektedir.)

100-400 ms aralığında teta yanıtı için lokasyon istatistiksel açıdan anlamlı bulunmuştur ($p=0,009$). En yüksek teta gücü temporal bölgede gözlenmiştir (Şekil 6.3.1.3).



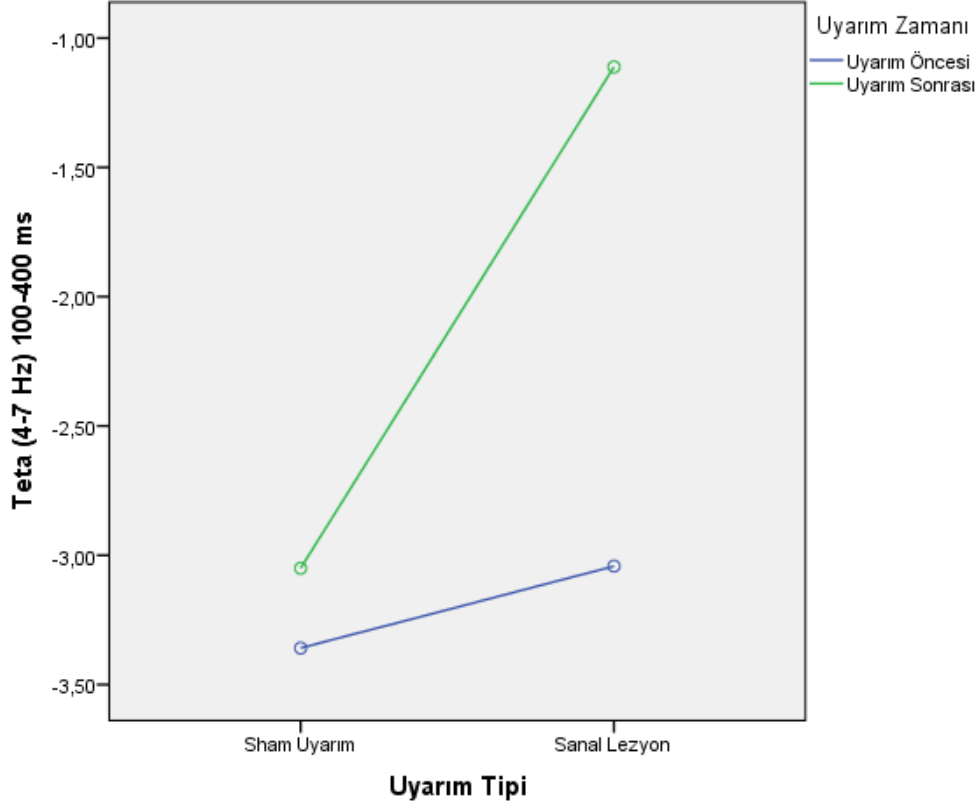
Şekil 6.3.1.3. Lokasyon için 100-400 ms teta yanıtı (X eksenini lokasyonu, Y eksenini teta yanıt gücünü temsil etmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP: Santoro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital)

100-400 ms'de teta yanıt gücü için hemisfer anlamlı farklı bulunmuştur ($p=0,007$). Sağ hemisferde sol hemisfere göre daha yüksek teta yanıt gücü olduğu görülmüştür (Şekil 6.3.1.4).



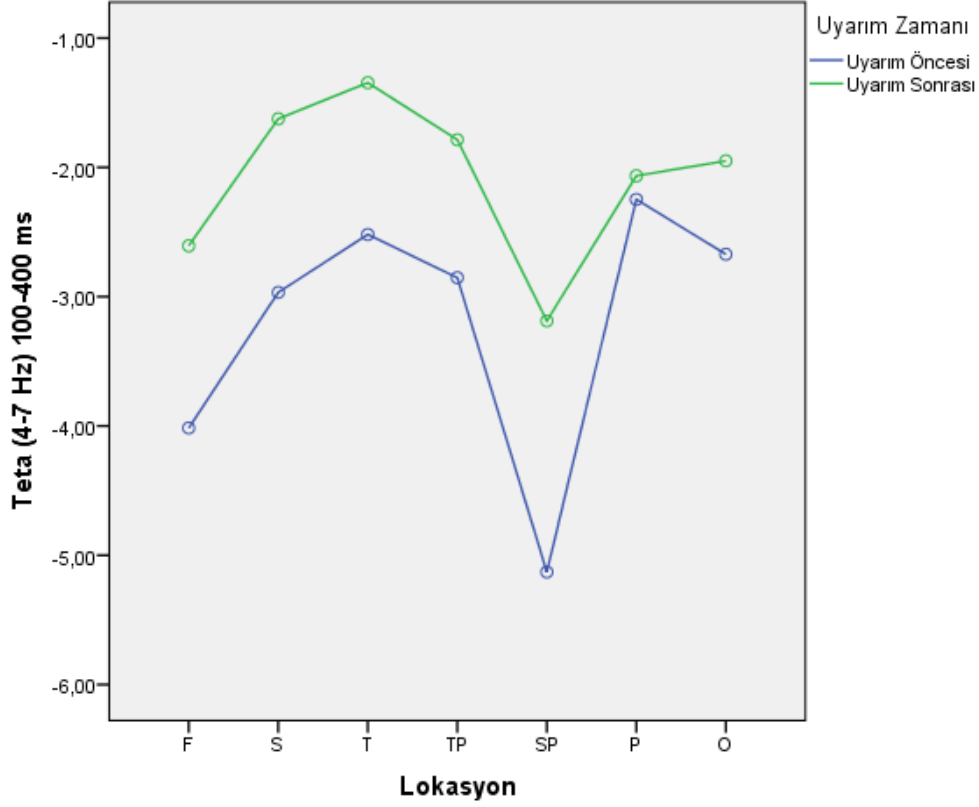
Şekil 6.3.1.4. Hemisfer 100-400 ms de teta yanıtı (X eksenini hemisferi, Y eksenini teta yanıt gücünü temsil etmektedir.)

100-400 ms aralığında teta yanıt aktivasyonu için uyarım tipi*uyarım zamanı etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($p=0,040$). Sham ve Sanal lezyon uyarım tipinde uyarım sonrasında öncesine kıyasla teta yanıtında artış gözlenmiş olup sanal lezyon uyarımı sonrasında oluşan teta yanıt gücü sham uyarım sonrasında görülen teta yanıt gücüne göre daha fazla artış göstermiştir (Şekil 6.3.1.5).



Şekil 6.3.1.5. Uyarım tipi*uyarım zamanı 100-400 ms'de teta yanıtı (X eksenini uyarım tipini, Y eksenini teta yanıt gücünü temsil etmektedir.)

100-400 ms'de teta yanıt gücü için uyarım zamanı*lokasyon etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($p=0,011$). Temporal lobda uyarım öncesi ve uyarım sonrasında teta yanıt gücünün en yüksek olduğu görülmektedir. Uyarım sonrası tüm loblarda artış olduğu görülmektedir (Şekil 6.3.1.6).



Şekil 6.3.1.6. Uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms’de teta yanıtı (X eksenı lokasyon, Y eksenı teta yanıt gücünü belirtmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP: Santro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital)

100–400 ms zaman aralığında yapılan analizde, teta yanıtı için uyarım tipi *uyarım zamanı * lokasyon etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($p = 0,021$).

Frontal bölgede, uyarım öncesinde sham uyarım koşulunda teta yanıt gücü, sanal lezyon uyarımına kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Ancak uyarım sonrasında, sanal lezyon uygulamasını takiben teta yanıt gücünde sham uyarıma göre daha belirgin bir artış gözlenmiştir (Şekil 6.3.1.7).

Santral bölgede, hem sham hem de sanal lezyon koşullarında uyarım öncesi ve sonrası dönemlerde teta yanıt gücünde artış gözlenmiş, özellikle uyarım sonrası bu artış daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 6.3.1.10).

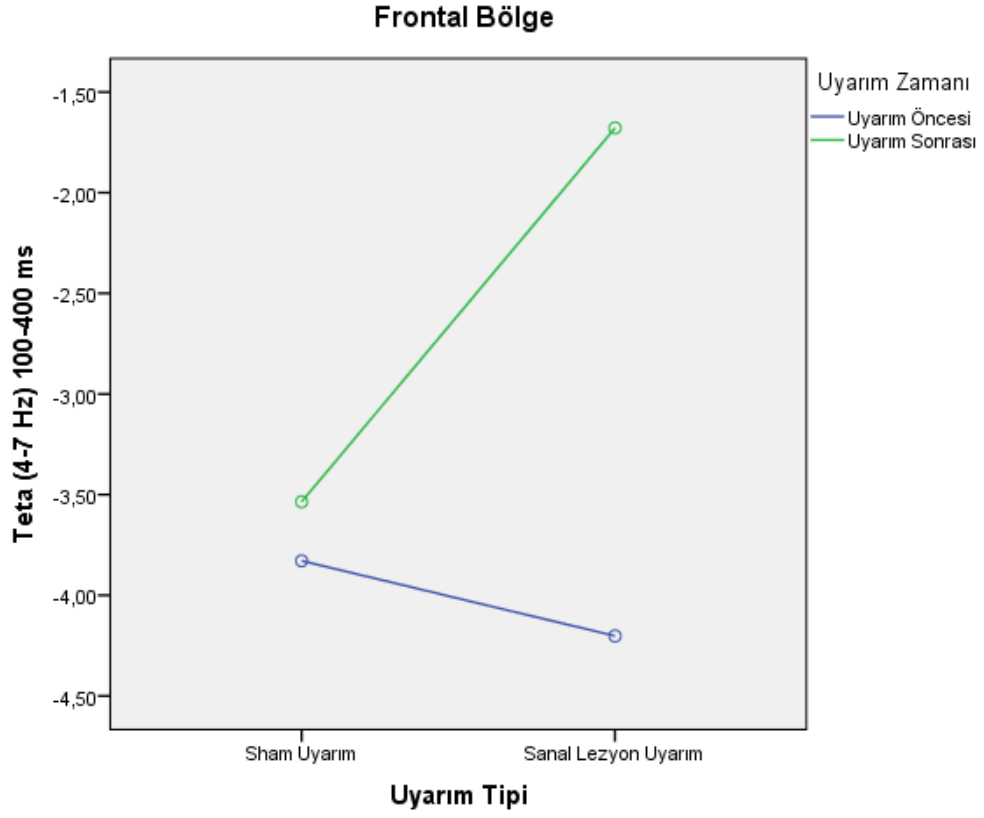
Temporal bölgede de her iki uyarım koşulunda, uyarım öncesi ve sonrası teta yanıt gücünde artış kaydedilmiş; bu artış, sanal lezyon uygulamasından sonra daha belirgin olmuştur (Şekil 6.3.1.13).

Temporo-parietal bölgede, uyarım öncesinde belirgin bir değişiklik gözlenmemişken, sanal lezyon uygulamasının ardından teta yanıt gücünde anlamlı bir artış ortaya çıkmıştır (Şekil 6.3.1.16).

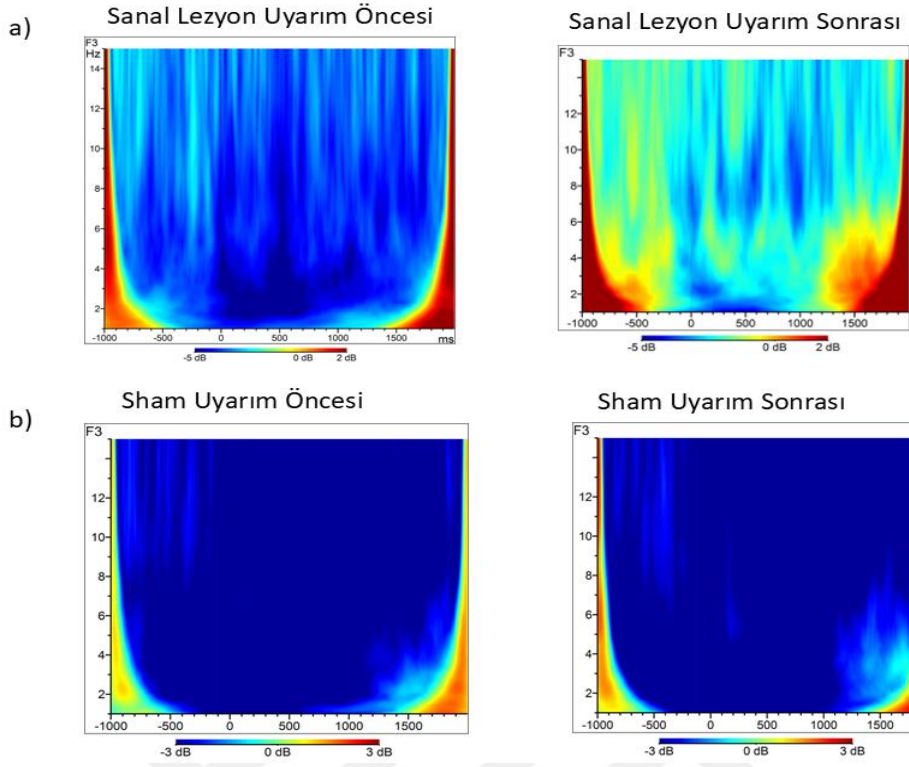
Santro-parietal bölgede ise her iki uyarım koşulunda da uyarım öncesi ve sonrası dönemlerde teta yanıt gücünde artış gözlenmiştir (Şekil 6.3.1.19).

Parietal bölgede, uyarım öncesinde anlamlı bir farklılık görülmezken, uyarım sonrasında sanal lezyon uygulamasını takiben teta yanıt gücünde belirgin bir artış tespit edilmiştir (Şekil 6.3.1.22).

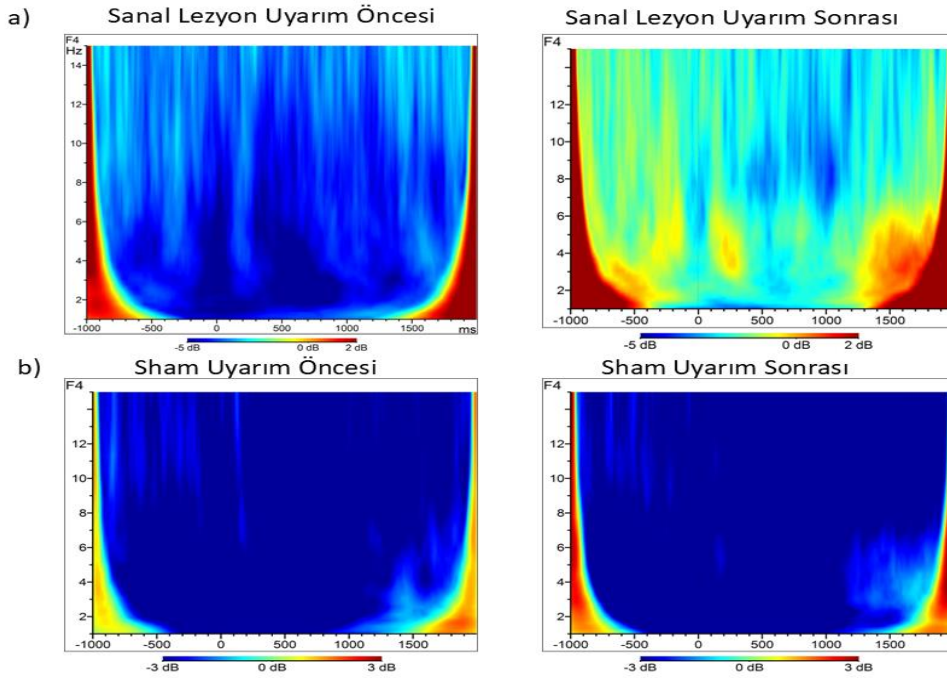
Son olarak, oksipital bölgede uyarım öncesinde anlamlı bir değişiklik gözlenmemiş, ancak sanal lezyon uygulamasından sonra teta yanıt gücünde dikkate değer bir artış kaydedilmiştir (Şekil 6.3.1.25).



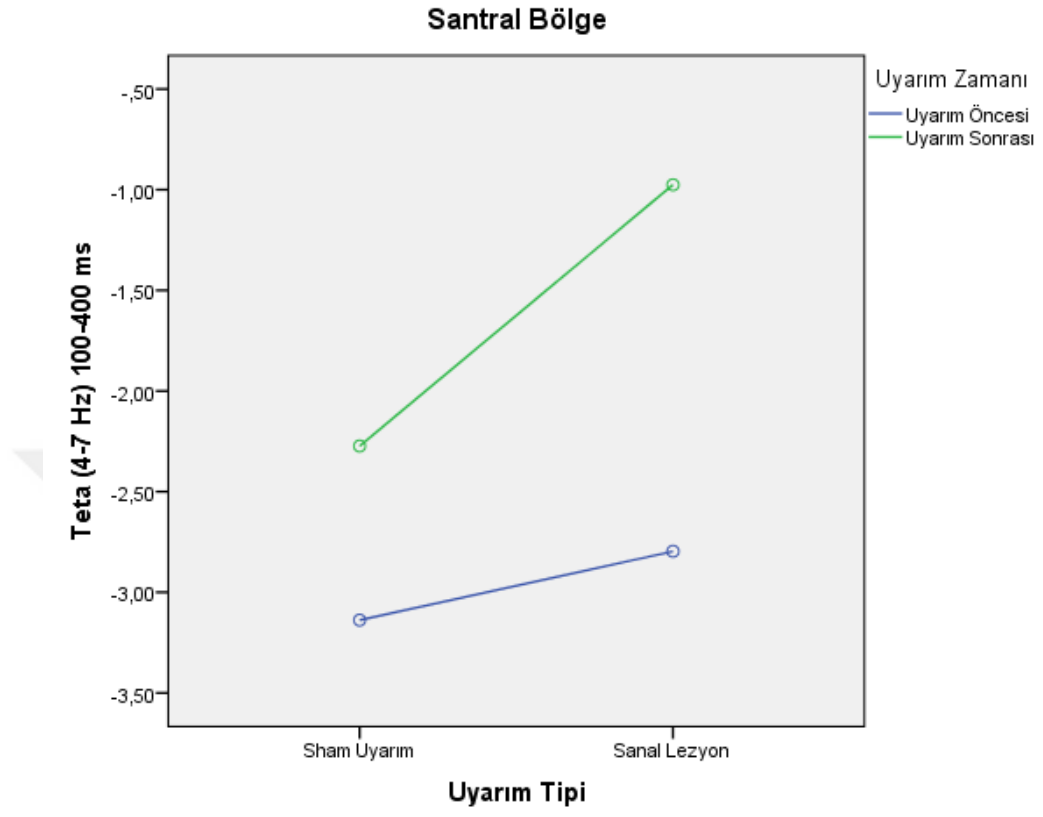
Şekil 6.3.1.7 Frontal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



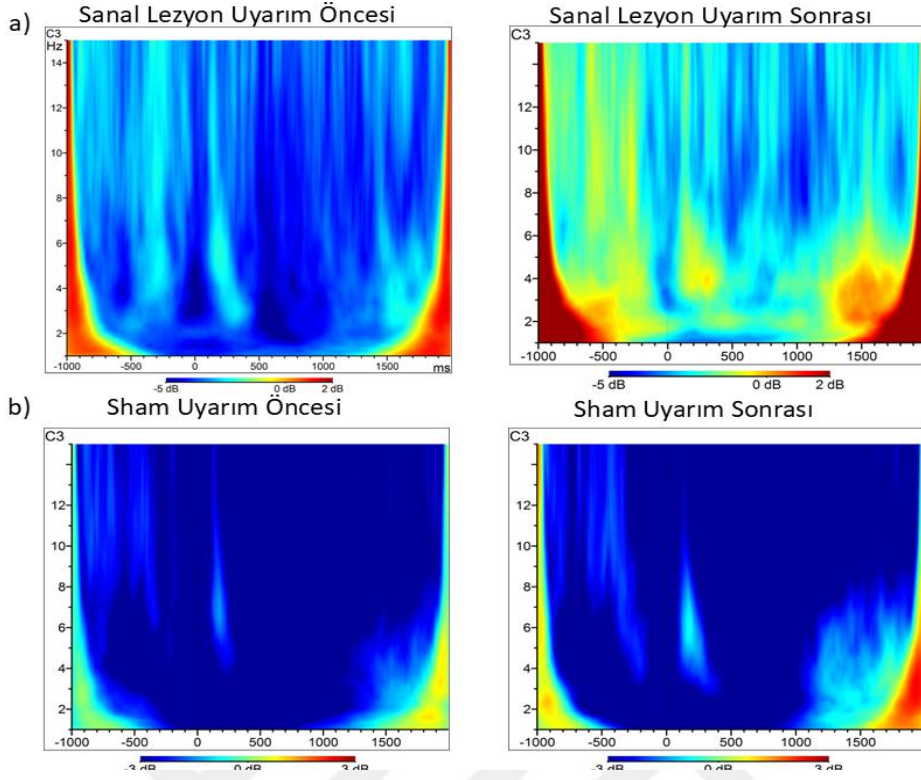
Şekil 6.3.1.8. Frontal bölgede F3 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



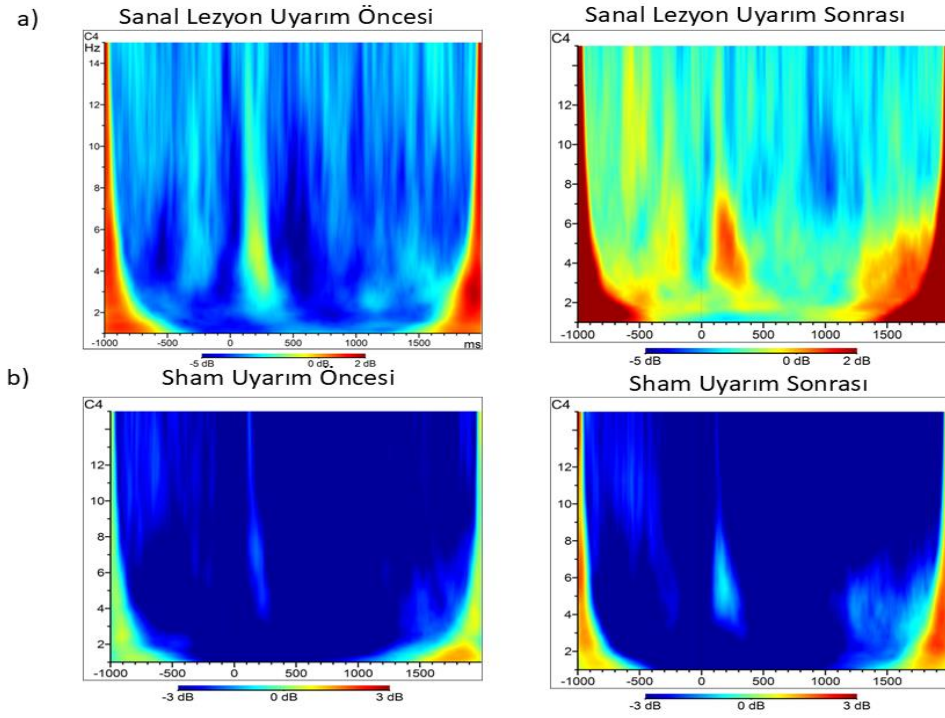
Şekil 6.3.1.9. Frontal bölgede F4 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



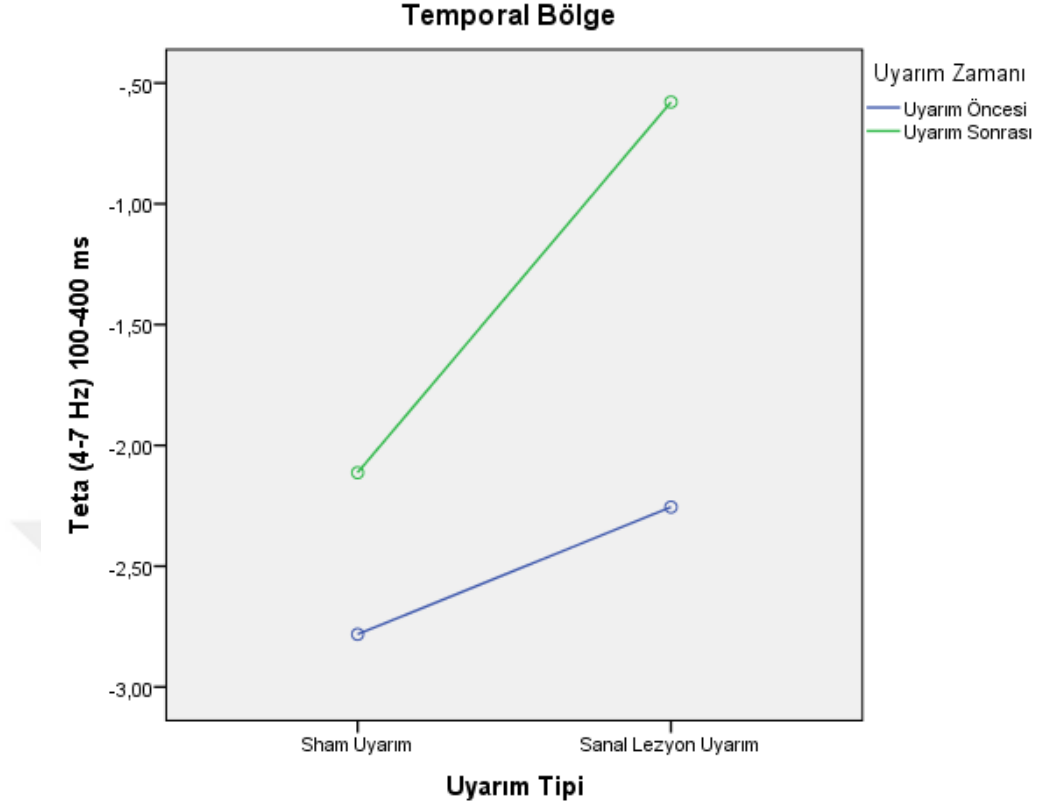
Şekil 6.3.1.10. Santral bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



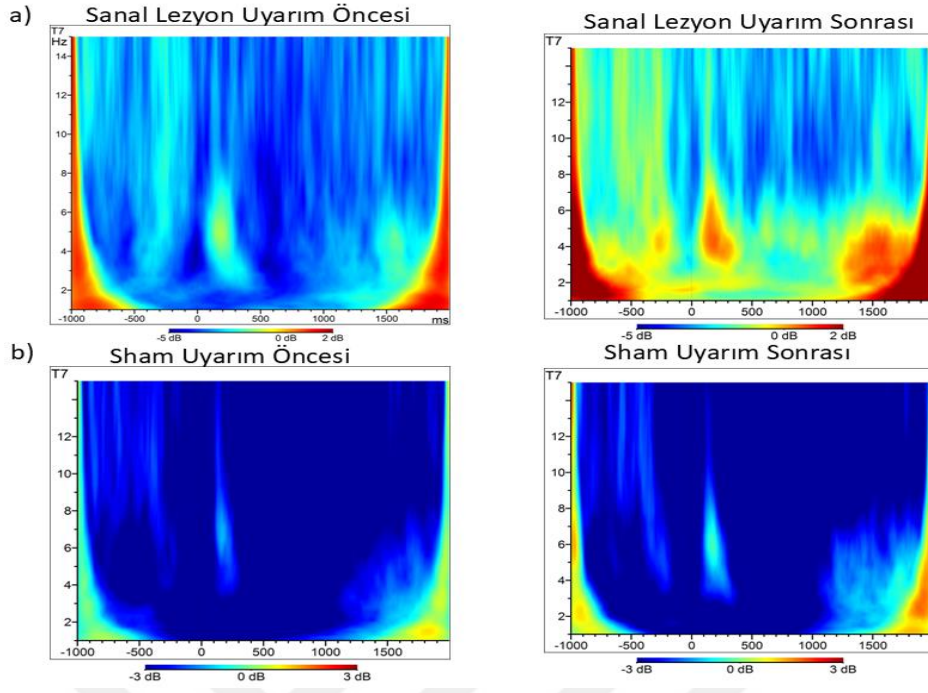
Şekil 6.3.1.11. Santral bölgede C3 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



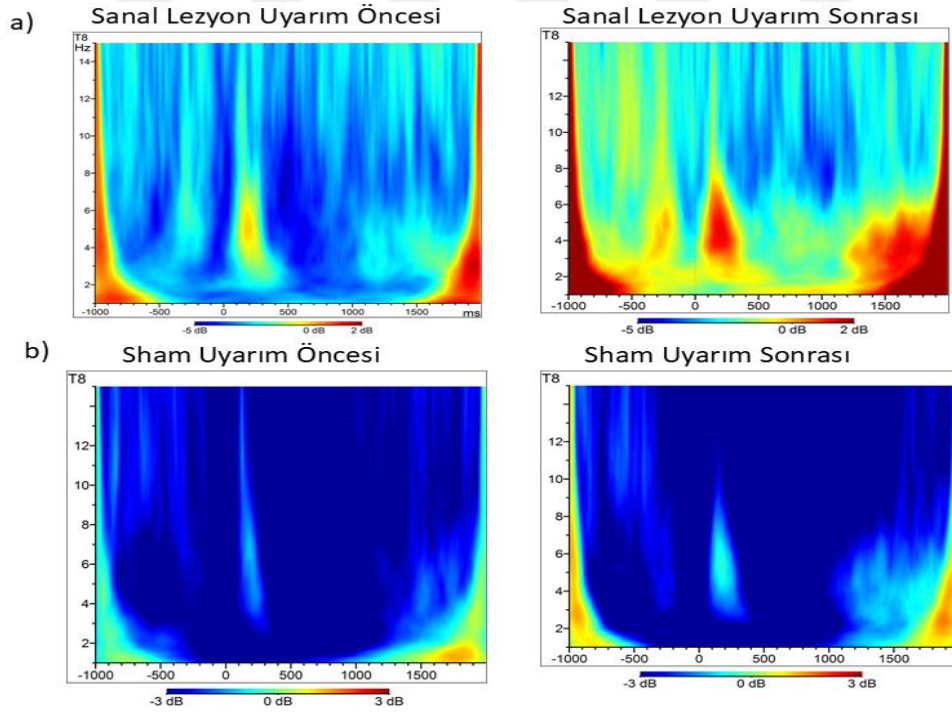
Şekil 6.3.1.12. Santral bölgede C4 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



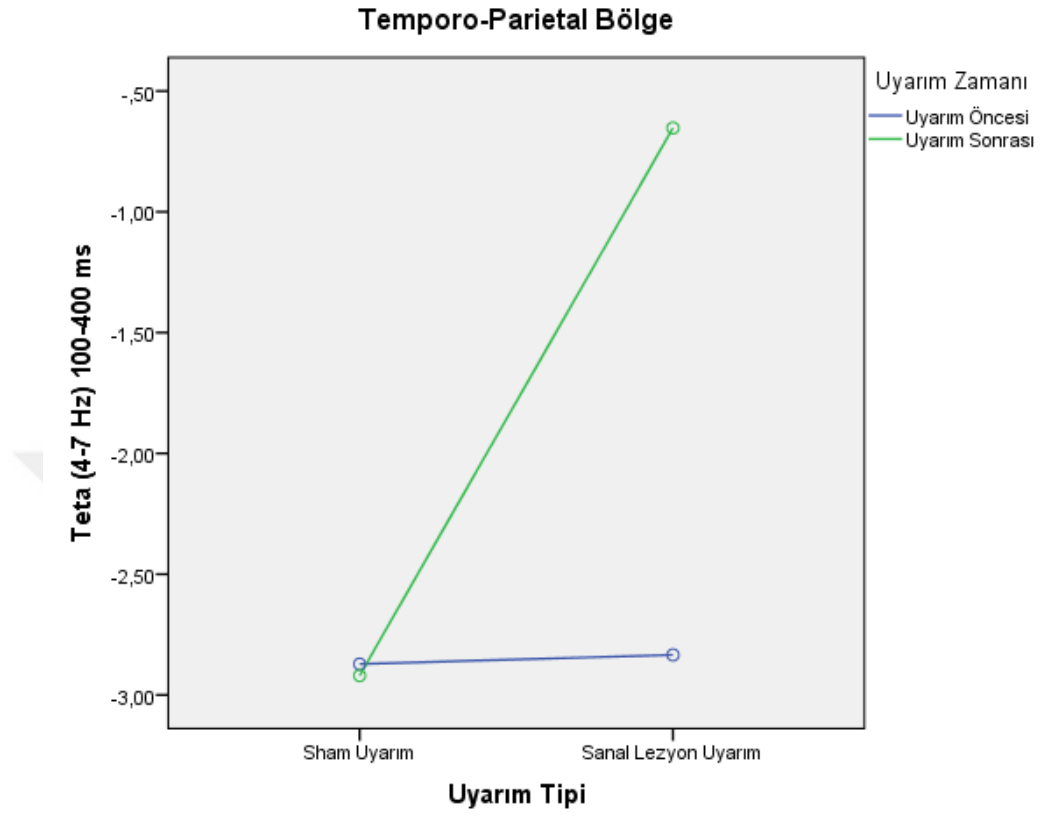
Şekil 6.3.1.13. Temporal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



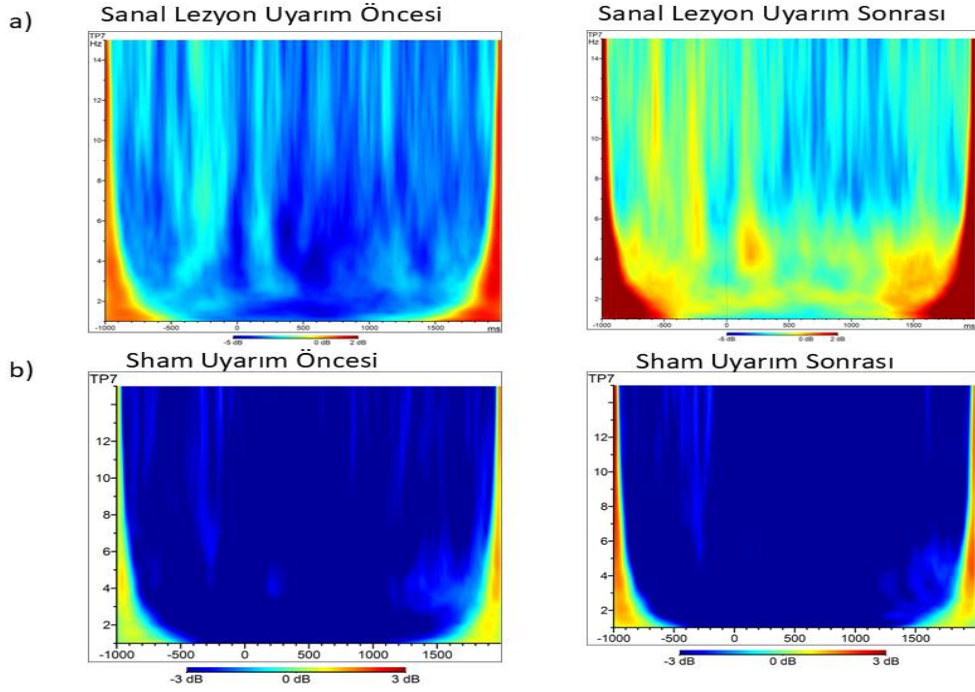
Şekil 6.3.1.14. Temporal bölgede T7 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



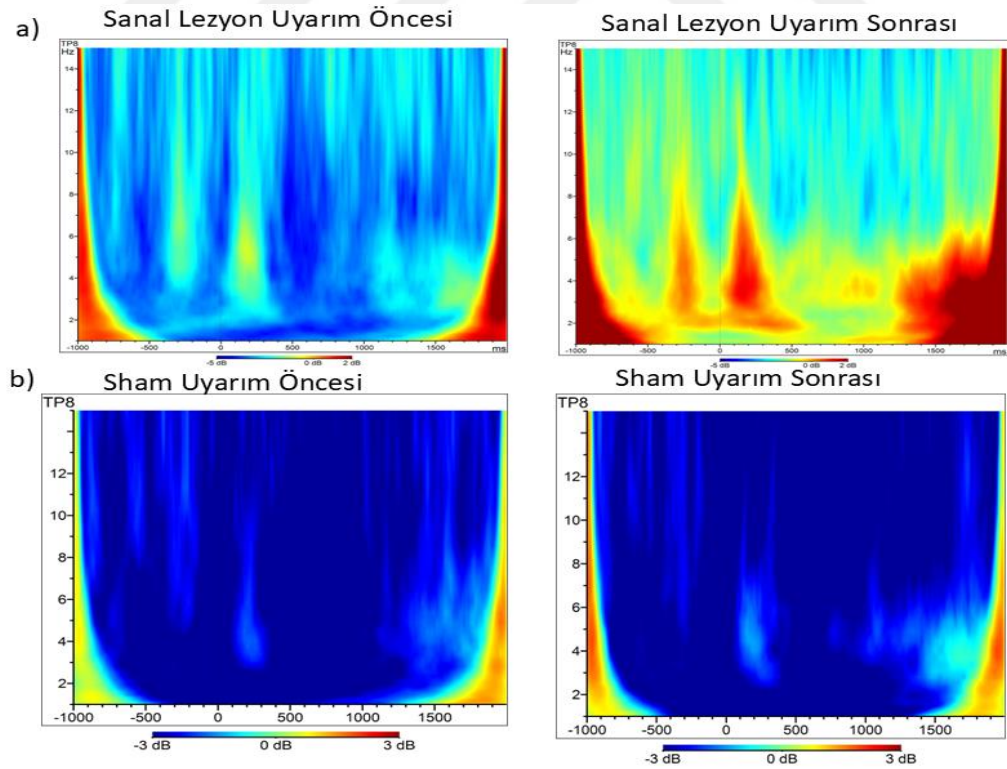
Şekil 6.3.1.15. Temporal bölgede T8 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı



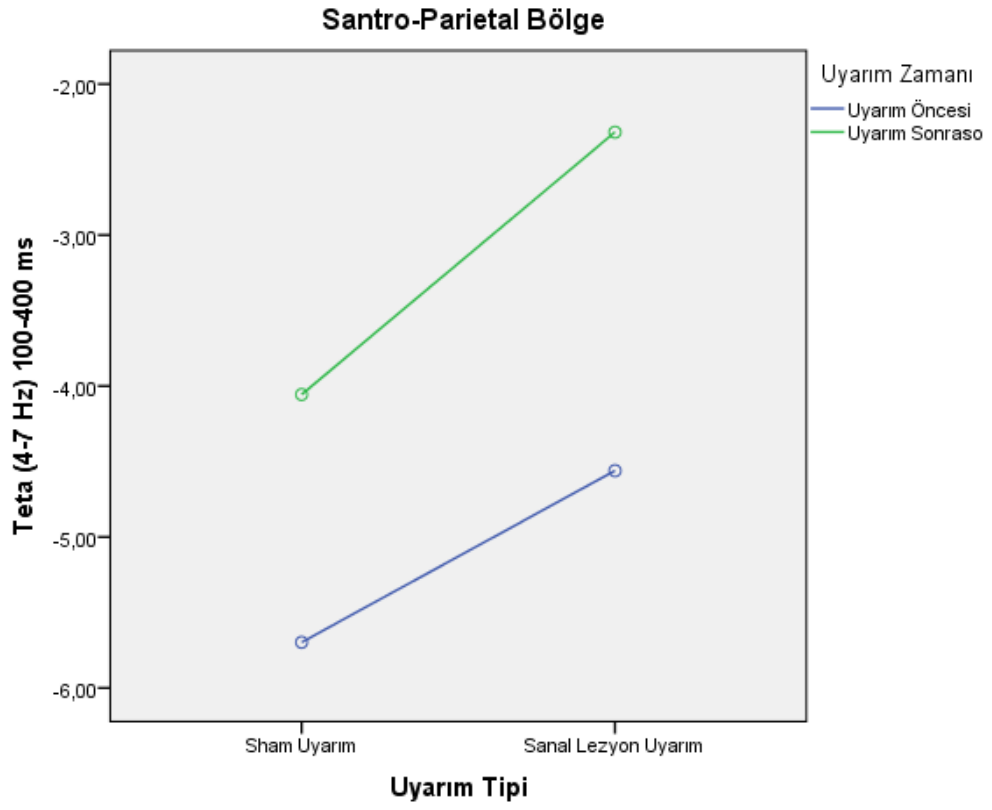
Şekil 6.3.1.16. Temporo- Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



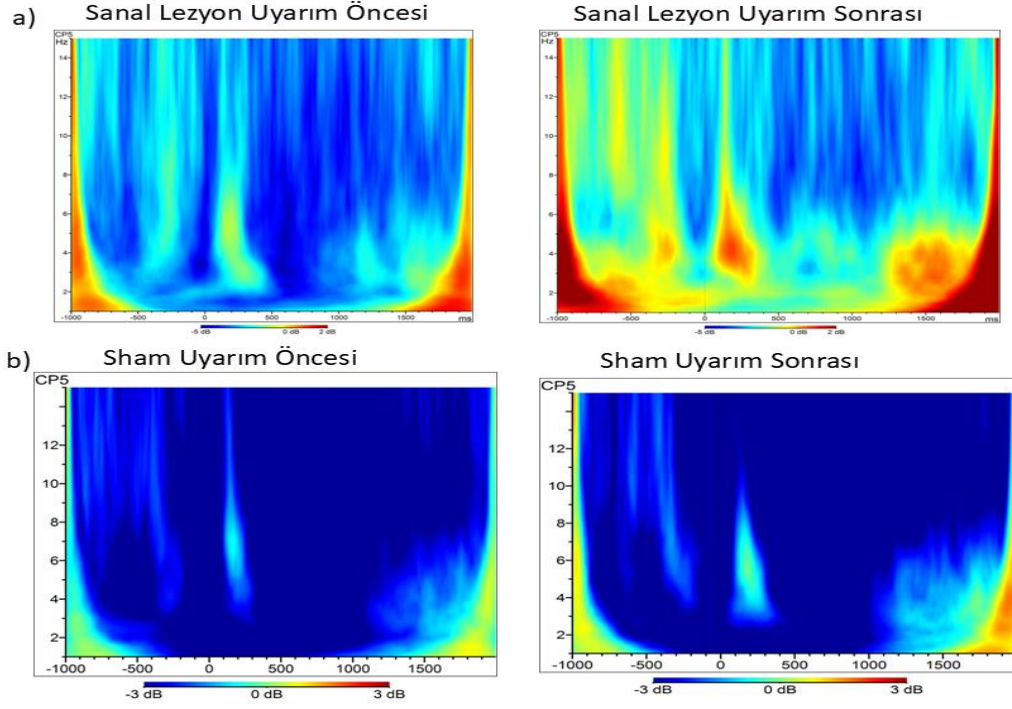
Şekil 6.3.1.17. Temporo- Parietal bölgede TP7 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı



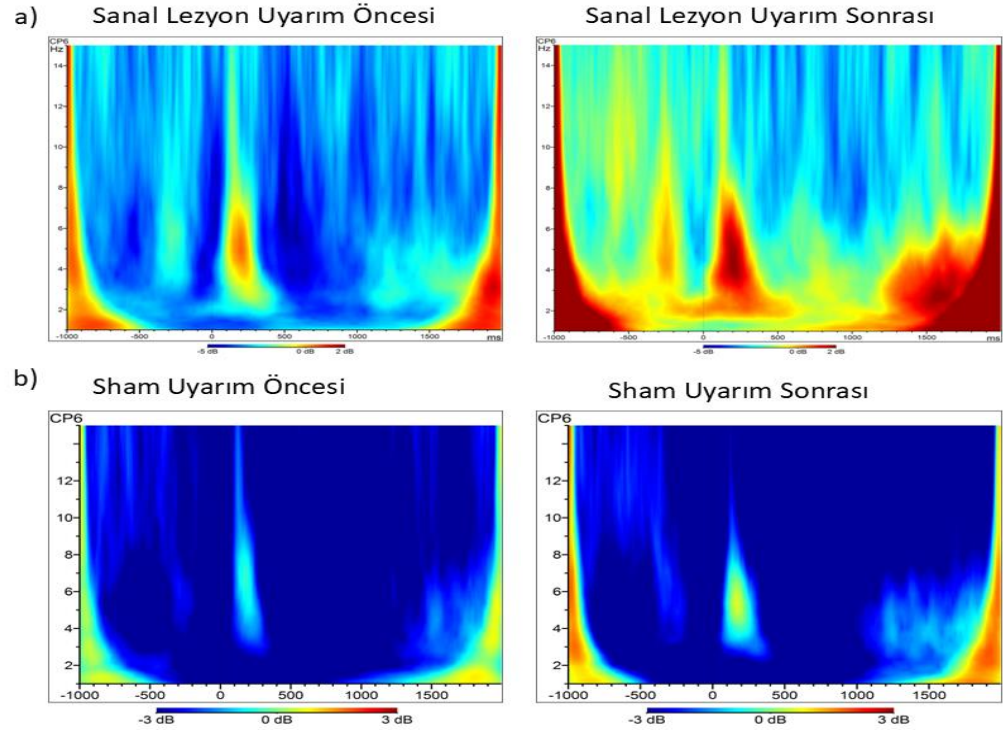
Şekil 6.3.1.18. Temporo- Parietal bölgede TP8 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı



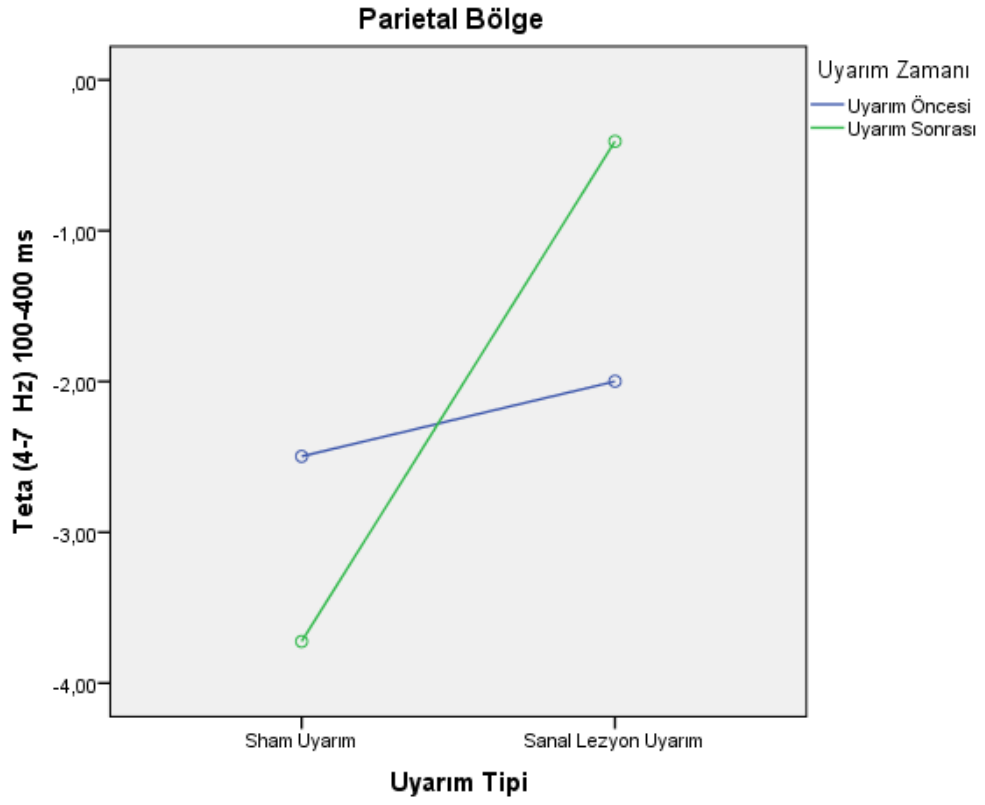
Şekil 6.3.1.19. Santro- Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



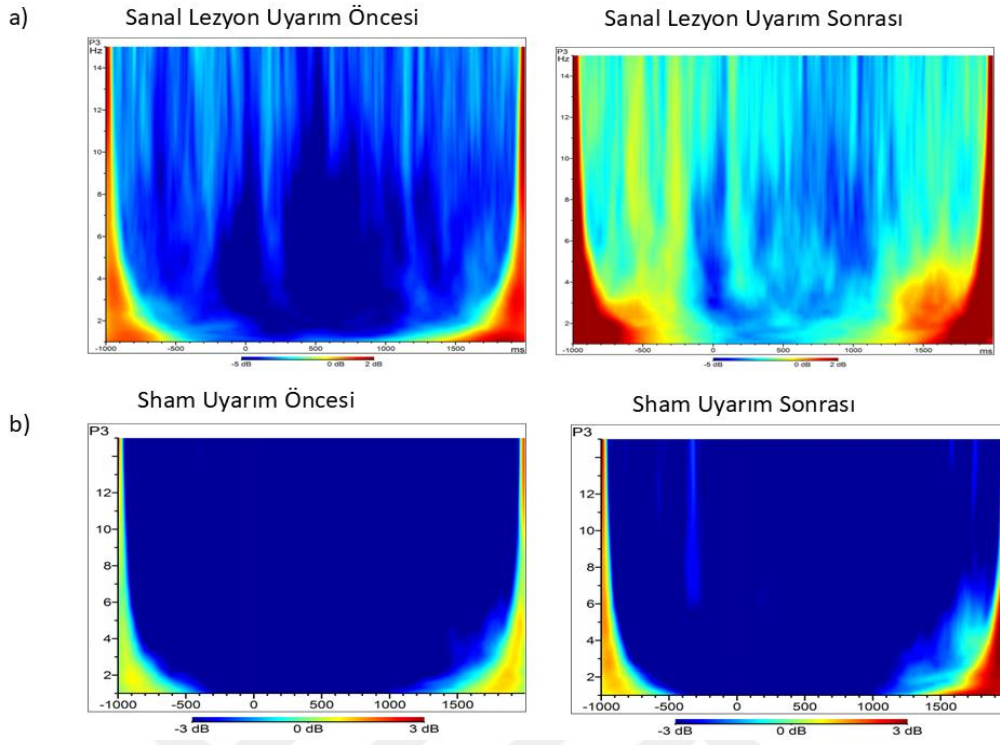
Şekil 6.3.1.20. Santro- Parietal bölgede CP5 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı



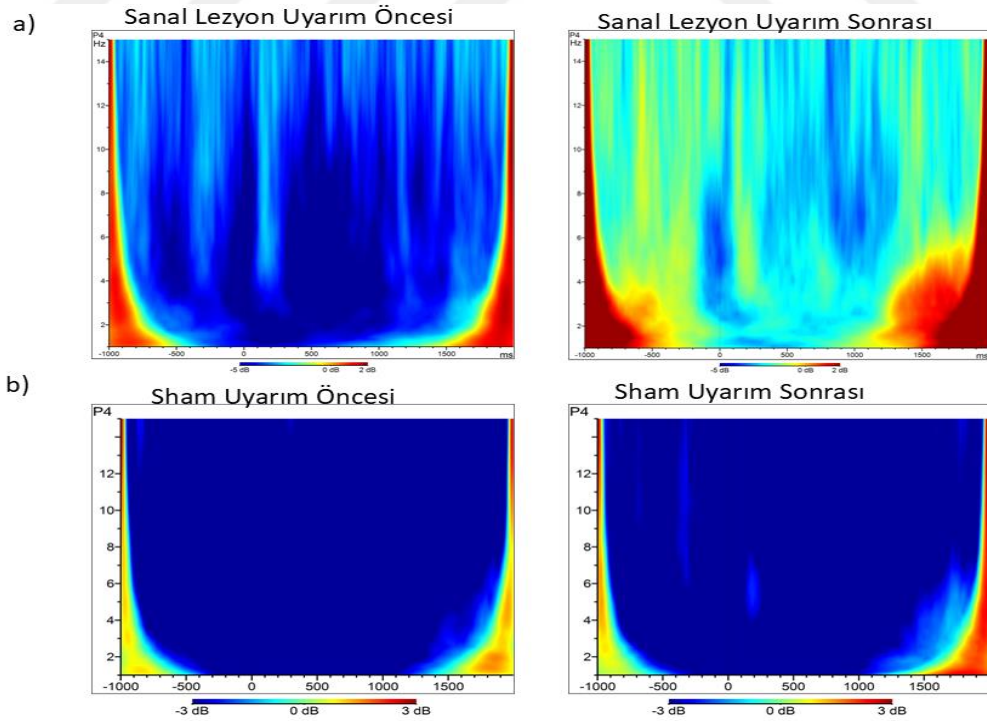
Şekil 6.3.1.21. Santro- Parietal bölgede CP6 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı



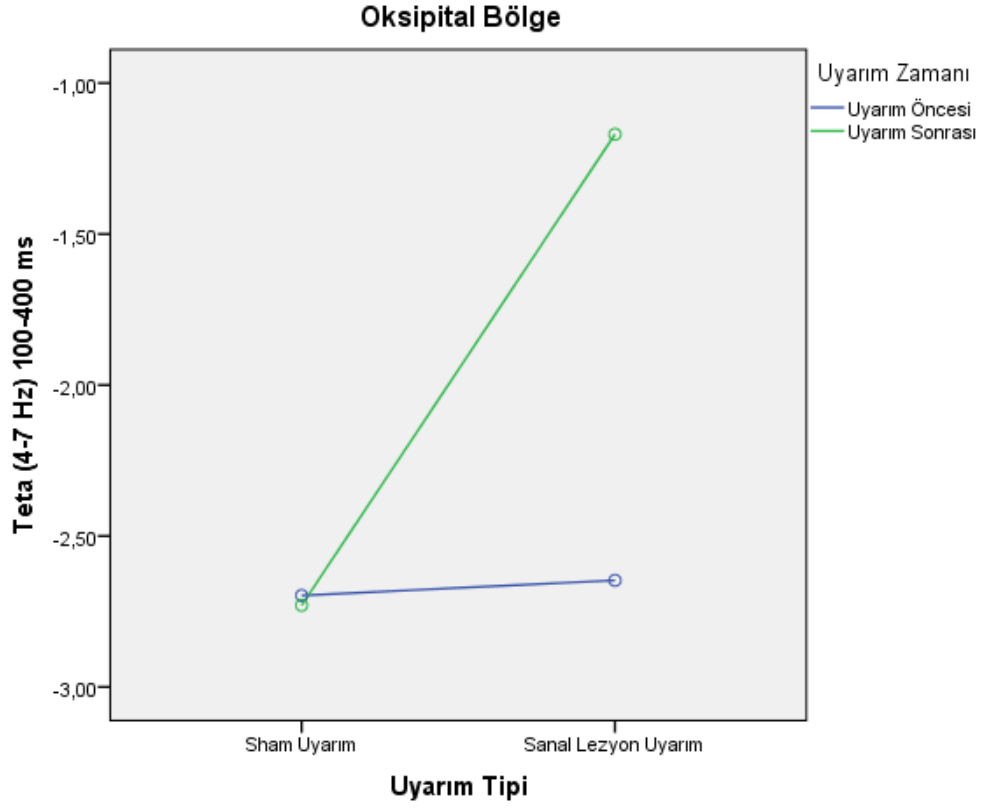
Şekil 6.3.1.22. Parietal bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı



Şekil 6.3.1.23. Parietal bölgede P3 elektrodu için sanal lezyon ve sham uyarımı öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı

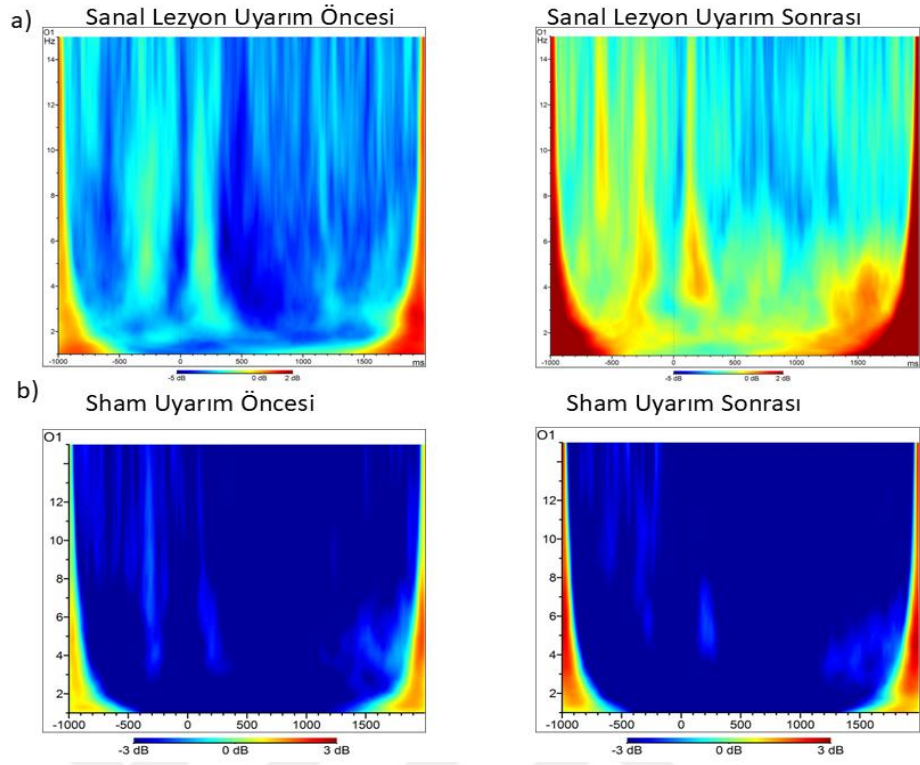


Şekil 6.3.1.24. Parietal bölgede P4 elektrodu için sanal lezyon ve sham uyarımı öncesinde ve sonrasında 100-400 ms’de ortaya çıkan teta yanıtı

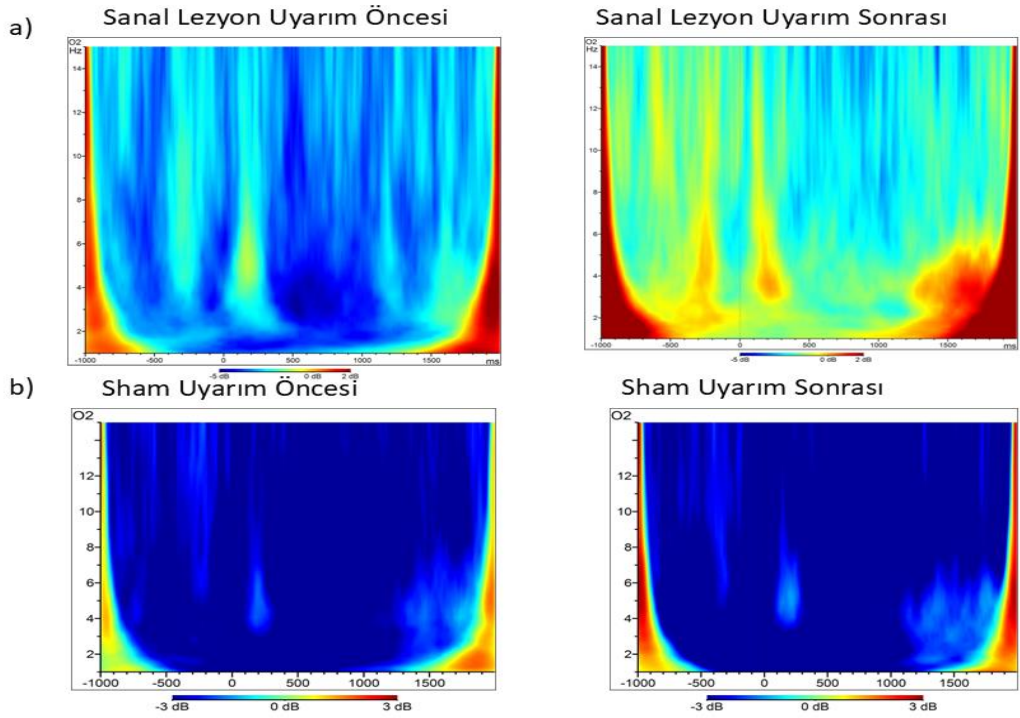


Şekil 6.3.1.25. Oksipital bölgede Uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı

Ayrıca, 100-400 ms'de teta yanıtı için uyarım tipi*uyarım zamanı*lokasyon*hemisfer etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($p=0,011$).



Şekil 6.3.1.26. Oksipital bölgede O1 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı

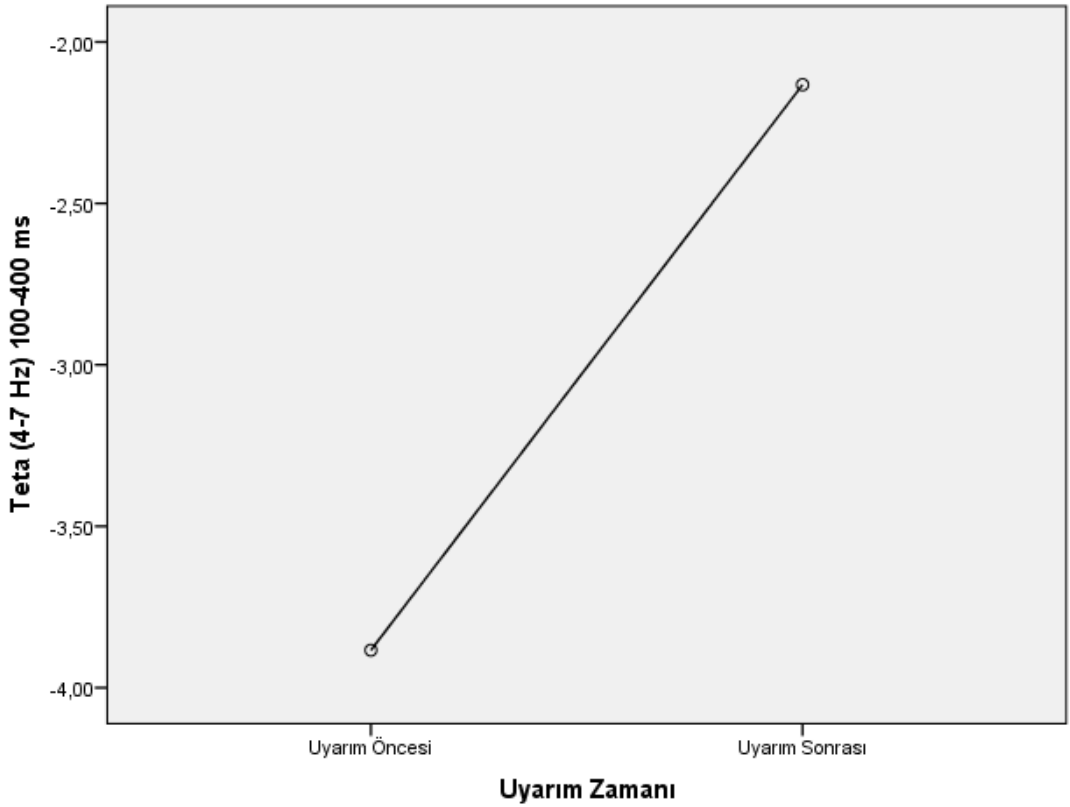


Şekil 6.3.1.27. Oksipital bölgede O2 elektrodu için sanal lezyon(a) ve sham uyarımı(b) öncesinde ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı

6.3.2. Sanal Lezyon ve Sham Uyarım Sonrası Eldeli Toplama İşlemlerini Gerçekleştirirken Beyinde Ortaya Çıkan Teta Yanıtları

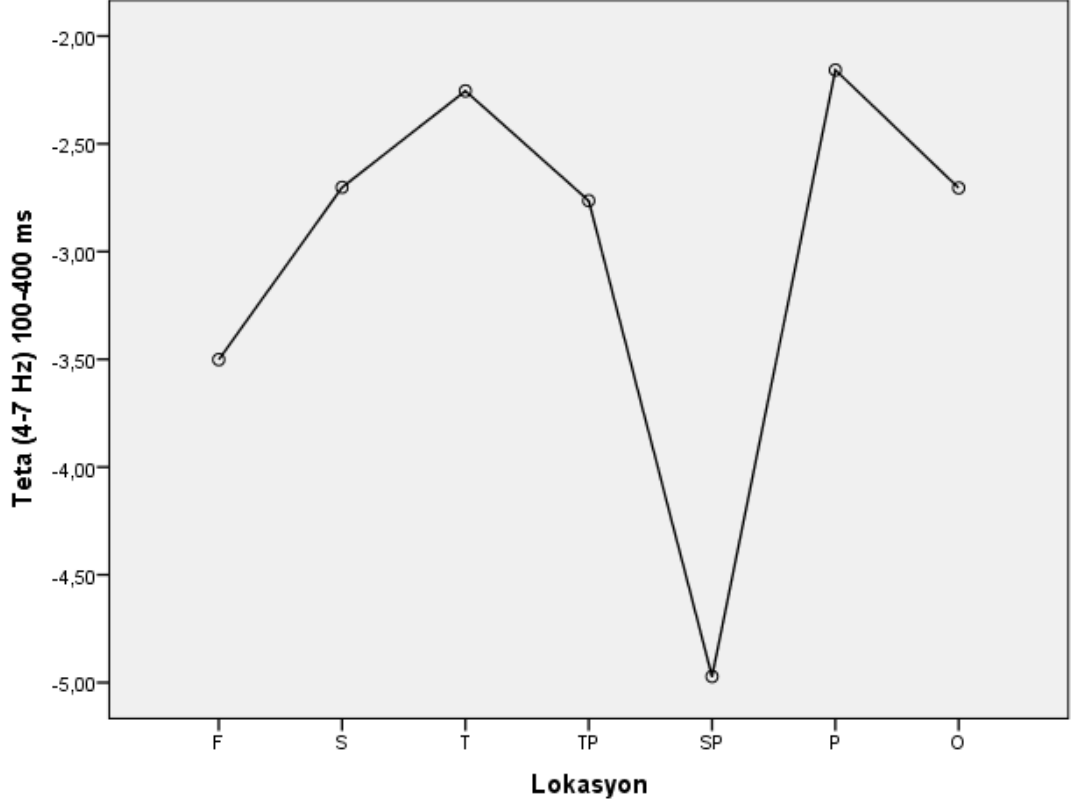
100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtının istatistiksel analizinde; uyarım tipi (sham ve sanal lezyon), uyarım zamanı (uyarım öncesi ve sonrası), lokasyon (Frontal, Santral, Temporal, Temporo-Parietal, Parietal, Santro-Parietal ve Oksipital) ve hemisfer (sağ ve sol) olmak üzere çok faktörlü bir varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır.

100-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; uyarım zamanında istatistiksel açıdan anlamlı fark bulunmuştur ($p=0,005$). Uyarım öncesi ve uyarım sonrası kıyaslamasında teta yanıtı uyarım sonrasında daha fazladır. (Şekil 6.3.2.1.)



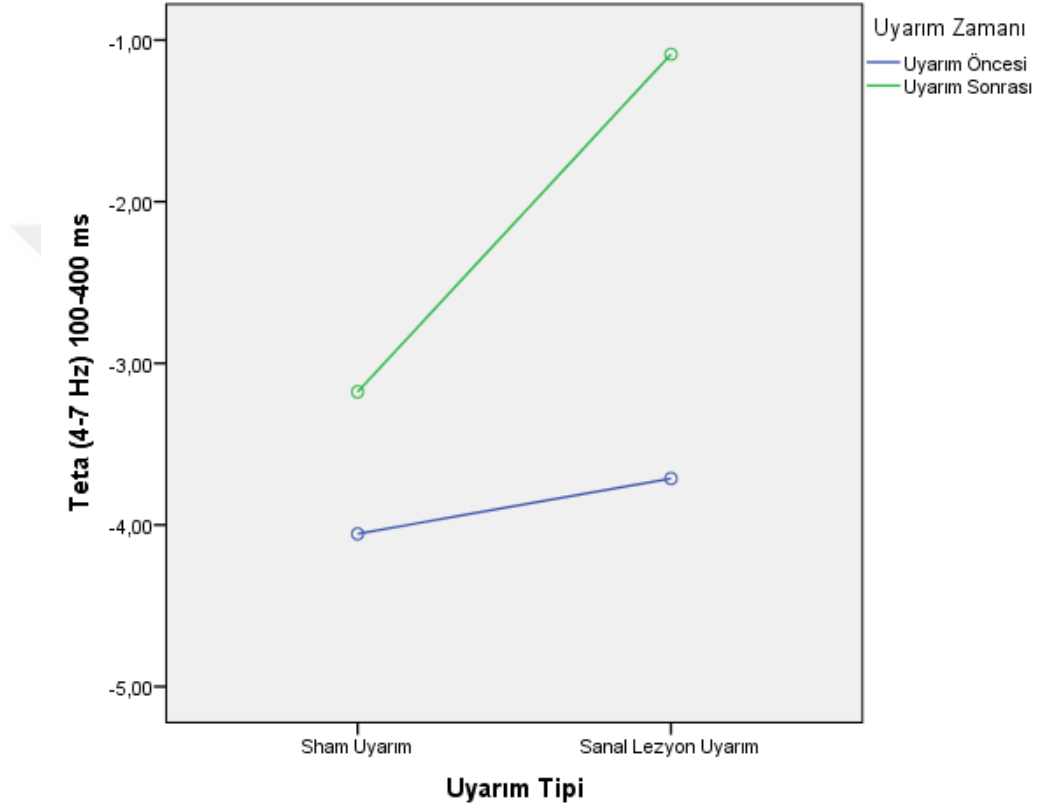
Şekil 6.3.2.1. Uyarım Zamanı 100-400 ms de Teta Yanıtı (X eksenini uyarım zamanını, Y eksenini Teta yanıt gücünü temsil etmektedir.)

100-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; lokasyon istatistiksel olarak anlamlı farklı bulunmuştur ($p=0,000$). En yüksek teta yanıtının parietal bölgede olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.3.2.2.).



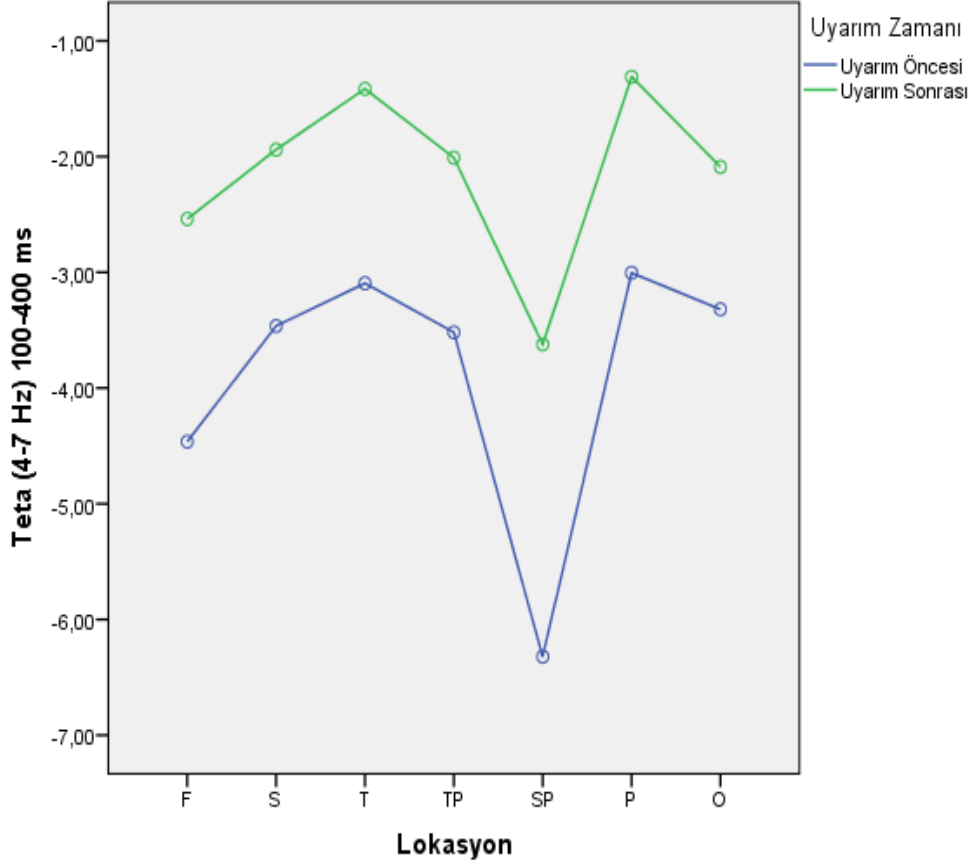
Şekil 6.3.2.2. Lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı (X eksenini lokasyon, Y eksenini Teta yanıt gücü temsil etmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP: Santoro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital)

100-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; uyarım tipi*uyarım zamanı etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,032$). Sham ve sanal lezyon uyarım tipinde uyarım sonrasında öncesine kıyasla teta yanıtında artış gözlenmiş olup sanal lezyon uyarımı sonrasında oluşan teta yanıt gücü sham uyarım sonrasında görülen teta yanıt gücüne göre daha fazladır (Şekil 6.3.2.3).

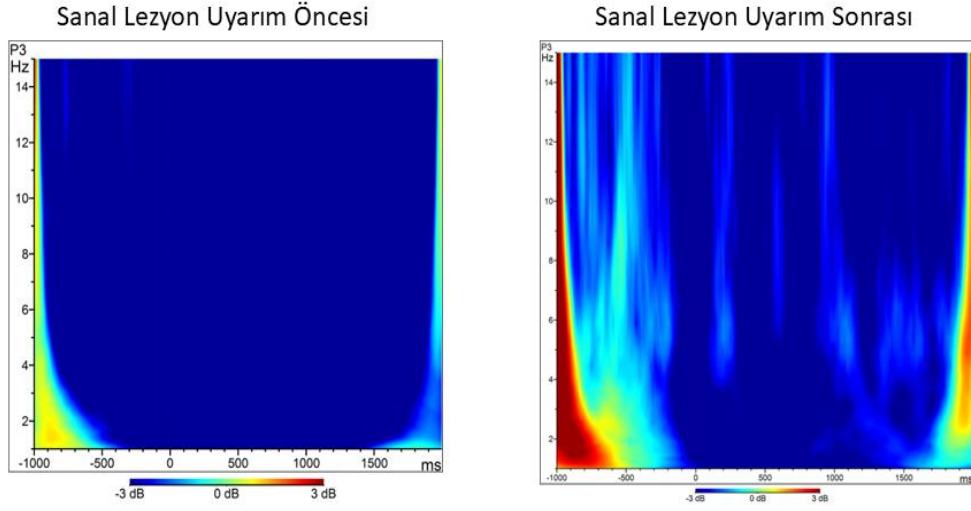


Şekil 6.3.2.3. Uyarım tipi*uyarım zamanı 100-400 ms'de teta yanıtı (X eksenini uyarım tipini, Y eksenini uyarım zamanını temsil etmektedir.)

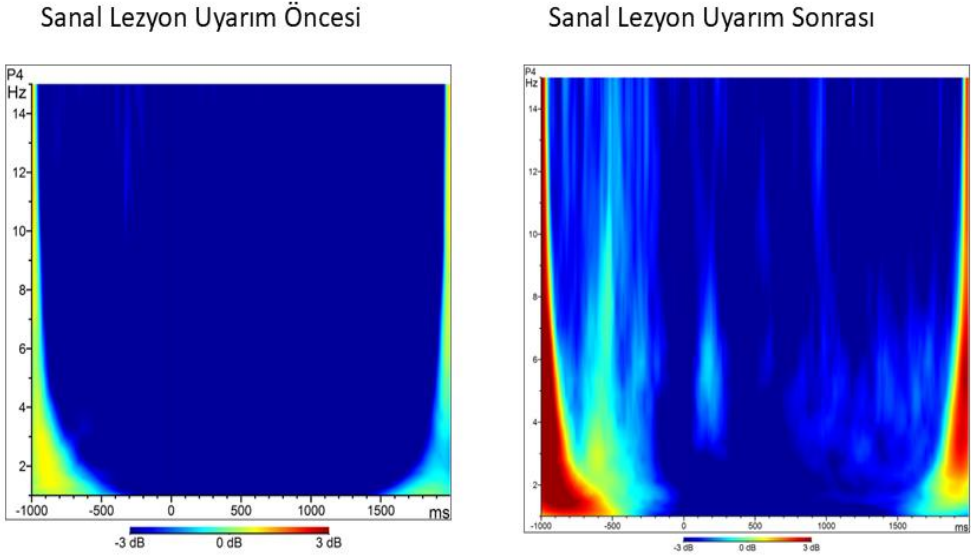
100-400 milisaniye zaman aralığında teta yanıtı için; uyarım zamanı*lokasyon etkileşimi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p=0,038$). Parietal lobda uyarım öncesi ve sonrasında teta yanıt gücünün en yüksek olduğu görülmektedir. Uyarım sonrasında tüm loblarda artış gözlenmektedir (Şekil 6.3.2.4).



Şekil 6.3.2.4. Uyarım zamanı*lokasyon 100-400 ms'de teta yanıtı (X eksenini lokasyon, Y eksenini teta yanıt gücünü belirtmektedir. F: Frontal; S: Santral; T: Temporal; TP: Temporo-Parietal; SP: Santro-Parietal; P: Parietal; O: Oksipital)



Şekil 6.3.2.5. Parietal bölgede P3 elektrodu için sanal lezyon uyarımı öncesi ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı



Şekil 6.3.2.6. Parietal bölgede P4 elektrodu için sanal lezyon uyarımı öncesi ve sonrasında 100-400 ms'de ortaya çıkan teta yanıtı

Uygulanan sanal lezyon ve sham uyarımın, katılımcıların toplama işlemi performansı üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Yani hem sanal lezyon hem de sham uyarım, toplama görevinde başarıyı, hata oranını ya da cevapsız kalma durumunu istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir.

Sanal lezyon uyarımı, toplama işlemi sırasında 100–400 ms zaman aralığında teta bandı yanıtını anlamlı düzeyde artırmıştır. Bu artış, özellikle sham uyarımla karşılaştırıldığında daha belirgin şekilde görülmüştür. Teta yanıtı üzerinde uyarım tipi, uyarım zamanı, lokasyon, hemisfer ve bu değişkenlerin etkileşimleri anlamlıdır.

Sanal lezyon uyarımı, toplama işlemi sırasında sham uyarıma göre daha yüksek teta yanıtı üretmiştir. Uyarım sonrası teta gücünde anlamlı artış görülmüştür.

Toplama işlemi sırasında teta gücü en fazla temporal bölgede gözlenmiştir.

Toplama işlemi sırasında sağ hemisferde teta yanıtı sol hemisfere göre daha yüksektir.

Her iki uyarımda da toplama işlemi sırasında teta gücü artarken, sanal lezyonda bu artış daha fazladır.

Toplama işlemi sırasında temporal bölgede uyarım öncesi de yüksek teta varken; uyarım sonrası tüm bölgelerde artış gözlenmiştir.

Toplama işlemi sırasında frontal bölgede sham öncesi daha yüksek teta yanıt varken, sanal lezyon sonrası daha çok teta yanıtı artmıştır.

Toplama işlemi sırasında santral, temporal, parietal, oksipital gibi bölgelerde de sanal lezyon sonrası daha belirgin teta artışı vardır.

Toplama işlemi sırasında teta yanıtı çok boyutlu olarak (uyarım türü, zaman, beyin bölgesi ve hemisfer) değişim göstermektedir.

Eldeli toplama işlemi sırasında uyarım sonrası teta yanıtı, öncesine kıyasla anlamlı şekilde artmıştır.

Eldeli toplama işlemi sırasında en yüksek teta yanıtı parietal bölgede görülmüştür.

Eldeli toplama işlemi sırasında hem sham hem sanal lezyon uyarımında teta yanıtı uyarım sonrası artmıştır. Ancak sanal lezyon sonrası artış daha yüksektir.

Eldeli toplama işlemi sırasında Parietal lobda uyarım öncesi de teta yanıtı yüksektir; uyarım sonrası tüm bölgelerde artış gözlenmiştir.



7.TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, sol SPL bölgesinin toplama işlemi üzerindeki rolünü araştırmak ve bu bölgeye uygulanan TMS ile oluşturulan sanal lezyonun, toplama işlemi performansına etkini ve işlemler sırasında ortaya çıkan teta yanıtına etkisini araştırmaktır. Çalışmamız, sağlıklı genç yetişkin bireylerde iki basamaklı sayılarla gerçekleştirilen eldeli ve eldesiz toplama işlemleri sırasında, sol SPL'ye uygulanan sanal lezyon TMS uyarımı ile sham uyarım sonrasında ortaya çıkan teta frekans bandına ait olaya ilişkin yanıtları ve buna eşlik eden davranışsal değişiklikleri ortaya koymaktadır.

Çalışmaya dâhil edilen bireyler, herhangi bir nörolojik ya da psikiyatrik tanıya sahip olmayan, genel bilişsel durumları dikkat, yürütücü işlevler ve duygu durumu açısından normal değerlere sahip, matematik işlem becerilerini etkileyebilecek ekstra herhangi bir durumu söz konusu olmayan sağlıklı katılımcılardan oluşmaktadır.

Katılımcılara uygulanan sanal lezyon ve sham uyarım koşullarında, uyarım öncesi ve sonrasında elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda, eldeli ve eldesiz toplama işlemlerine verilen yanıt performansları açısından gruplar arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu bulgu, TMS ile oluşturulan geçici sol SPL sanal lezyonunun, toplama işlemi görevinde doğru cevap sayısı, hata oranı veya soruyu boş bırakma davranışsal ölçütlerinde istatistiksel olarak anlamlı ve ölçülebilir bir etki oluşturmadığını göstermektedir. Benzer şekilde, literatürde TMS uygulamalarının davranışsal çıktılar üzerinde her zaman belirgin bir etki oluşturmadığına dair bulgular mevcuttur. Özellikle görev bilişsel olarak yüksek düzeyde otomatizeyse ya da bireyler görev sırasında alternatif nöral yolları telafi edici biçimde etkinleştirebiliyorsa, TMS'nin etkileri sınırlı kalabilmektedir (65,66). Nitekim yapılan bir çalışmada, TMS'nin nöral ağlardaki esnek yeniden dağılımı tetikleyerek davranışsal düzeyde bozulma olmaksızın beyin organizasyonunda geçici bir yeniden yapılanmaya neden olabileceğini ileri sürmektedir(65). Yapılan bir sistematik derleme çalışmasında, sayısal biliş üzerine yapılan TMS araştırmalarında, uyarılan bölgeye ve görev türüne bağlı olarak davranışsal etkilerin sıklıkla heterojenlik gösterdiği ve bazı sonuçların da anlamlı bir etki rapor etmediği ortaya koyulmaktadır (67). Bu bağlamda, toplama işlemlerinin genç ve sağlıklı bireylerde oldukça otomatize bilişsel süreçler arasında

yer alması ve bu bireylerin yüksek nöral plastisiteye sahip olmaları göz önünde bulundurulduğunda, SPL üzerine uygulanan TMS'nin davranışsal performans üzerinde etkili olmaması, literatürle uyumlu ve öngörülebilir bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Buna ek olarak, çalışmada kullanılan soruların temel düzeyde ve bilişsel olarak zorlayıcı olmayan nitelikte olması ile katılımcıların sağlıklı bireyler olmaları, uygulanan uyarımı tolere etme kapasitelerini artırmış olabilir. Bu durum, uyarım tipi ne olursa olsun farklı bir sonuç gözlenmemesini açıklayabilecek etkenlerden biri olarak değerlendirilebilir.

Çalışmamızda, toplama işlemi sırasında sol SPL bölgesine uygulanan sanal lezyonun, 100–400 ms zaman aralığında teta bandı yanıtını anlamlı düzeyde artırdığı gözlemlenmiştir. Bu artış, sham uyarım koşuluna kıyasla daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, uyarım tipi, zaman aralığı, hemisfer ve lokasyon gibi faktörlerin yanı sıra bu değişkenler arasındaki etkileşimler de teta frekans bandındaki yanıt üzerinde anlamlı etkiler göstermiştir. Bu bulgular, SPL'nin 100–400 ms aralığında sayısal işlemlerle ilişkili yürütücü işlevlerin desteklenmesinde rol oynadığını ve bu süreçlerde teta frekansı üzerinden etkili olabileceğini düşündürmektedir. Teta yanıt gücündeki bu artış, bilişsel kontrol, odaklanma ve çalışma belleği gibi süreçlerin daha yoğun bir şekilde devreye girmesiyle ilişkilendirilmektedir(43,47). Daha önce yapılan EEG-TMS araştırmaları, TMS ile oluşturulan geçici kortikal sanal lezyonun, hedef bölgeyle bağlantılı alternatif nöral ağları daha aktif hâle getirdiğini ve bunun özellikle teta frekans bandında artışla sonuçlandığını göstermektedir (68,69).Yapılan bir çalışmada, nörokognitif esnekliğin, TMS sonrası nöral ağın yeniden yapılanmasıyla birlikte hedef bölgenin komşu veya fonksiyonel olarak ilişkili bölgeleri aracılığıyla işlevsel telafisini mümkün kıldığı ileri sürülmektedir(65).

Bu bağlamda, Garcia-Sanz ve arkadaşlarının sistematik derlemesinde, sayısal biliş çalışmalarında parietal bölgelere uygulanan TMS'nin sıklıkla frekans bandı değişimleriyle sonuçlandığı ve bu değişimlerin özellikle görev zorluğu ya da bilişsel yük arttığında daha belirgin hâle geldiği bildirilmektedir(67).

Toplama işlemi sırasında teta bandı gücünün en fazla temporal bölgede gözlenmesi, bu bölgenin sayı işleme süreçlerindeki rolünü desteklemektedir.

Literatürde, özellikle sol temporal lobun sayısal materyalin işlenmesinde ve aritmetik problemlerde görev alan semantik bellek süreçleriyle ilişkili olduğu bildirilmektedir(70,71). EEG çalışmalarında teta yanıt gücünün bilişsel yük ve çalışma belleği süreçleriyle ilişkili olduğu ve temporal bölgelerde teta yanıt artışının özellikle bilgiyi geri getirme ve entegrasyon görevleri sırasında ortaya çıktığı belirtilmektedir(43,72,73). Literatürdeki bulgularla paralel olarak, çalışmamızda zihinsel aritmetik görevlerden biri olan toplama işlemi sırasında yalnızca fronto-parietal bölgelerde değil, aynı zamanda temporal bölgede de teta gücünde artış gözlemlenmiştir. Bu durum, aritmetik görevlerin yalnızca doğrudan görevle ilişkili beyin bölgelerini değil, aynı zamanda artan bilişsel yükü birlikte devreye giren destekleyici nöral ağları da aktive ettiğini göstermektedir.

Toplama işlemi sırasında sağ hemisferde gözlenen teta yanıt gücünün sol hemisfere kıyasla daha yüksek olması, sağ hemisferin sayısal işleme süreçlerinde daha fazla görev aldığı bazı bilişsel modellerle örtüşmektedir. Özellikle kompleks aritmetik işlemlerde sağ hemisferin mekânsal ve bütünsel işleme stratejilerine katkı sağladığı gösterilmektedir(74,75). Bu durum, sağ hemisferin aritmetik görevlerde sadece destekleyici değil, görevle ilişki olarak baskın olabileceği ve aritmetik işlemeyle gerçekleştirilmede etkili olabileceğini göstermektedir.

Sham ve sanal lezyon uyarım koşullarında, toplama işlemi sırasında her iki koşulda da teta yanıt gücünde genel bir artış gözlemlenmiş; ancak bu artışın sanal lezyon uyarımı sonrası daha belirgin olduğu ortaya konmuştur. Bu bulgu, sol SPL bölgesine uygulanan geçici sanal lezyonun bu bölgenin bilişsel katkısını zayıflattığını, bunun sonucunda görev sırasında teta yanıt gücünün yükseldiğini göstermektedir. Bununla birlikte, gözlenen bu artış sağlıklı beynin işlevsel bir bozulmayı telafi etmek üzere alternatif üretme kapasitesine de işaret etmektedir. Nörofizyolojik olarak bakıldığında, bu tür kompensatuar mekanizmalar; görevle ilişkili alanların işlevinde geçici bir aksama olduğunda, ya farklı bölgelerin (prefrontal ve temporal bölgeler gibi diğer yürütücü) ya da destekleyici alanların aktive olmasıyla ortaya çıkar ya da aksama olan bölgedeki aktivasyonun artırılmasıyla gerçekleşir. Bu adaptif yanıt, teta frekansı gibi kontrol ve çalışma belleğiyle ilişkili frekans bantlarında artışla kendini gösterebilir. Dolayısıyla, bulgularımız teta aktivitesindeki artışın hem bilişsel yükü ilişkili bir zorluk göstergesi hem de sağlıklı bireylerin beyinlerinin sanal lezyona karşı

gösterdiği kompensatuar adaptasyonun bir yansıması olduğunu düşündürmektedir (73,76).

Toplama işlemi sırasında, temporal bölgede uyarım öncesinde gözlemlenen yüksek düzeydeki teta yanıtı, bu bölgenin aritmetik görevlerde bilgiyi geri getirme ve semantik işleme gibi süreçlerde erken ve aktif bir rol üstlendiğini göstermektedir. Sanal lezyon uyarımı sonrasında ise, temporal bölgeye ek olarak santral, parietal ve oksipital bölgelerde — özellikle belirgin şekilde — teta yanıtında bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum, TMS uygulamasının bilişsel ağlardaki genel uyarılabilirliği artırdığını ve bilişsel görev sırasında farklı beyin bölgelerinin esnek biçimde devreye girebildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, sistemin inhibe edilen bölgenin işlevini diğer kortikal alanlar aracılığıyla telafi etmeye çalıştığı anlaşılmaktadır(9,47,65,70,71) Bu bulgu, daha önceki sanal lezyon çalışmalarında öne sürülen dinamik beyin ağı modelleriyle de tutarlıdır; bu bağlamda, inhibe edilen bir bölgenin geçici devre dışı bırakılması, bilişsel yükün yeniden dağıtılmasına ve alternatif nöral yolların devreye girmesine neden olmaktadır(77).

Toplama işlemi sırasında, frontal bölgede sham uyarım öncesinde yüksek düzeyde teta yanıtı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, frontal bölgenin görevle ilişkili temel yürütücü işlevlerde — özellikle dikkat, karar verme ve çalışma belleği süreçlerinde — aktif rol oynadığını desteklemektedir(16,20). Öte yandan, sanal lezyon uyarımı sonrasında frontal bölgede teta yanıtının daha da artması, inhibisyon sonucu oluşan bilişsel yüklenmeye karşı sistemin bir kompanzasyon (telafi) mekanizması geliştirdiğini düşündürmektedir(76). Buna ek olarak, uygulanan uyarım protokolünün teta frekans aralığında olması, bu frekansta gözlenen artışı nörofizyolojik olarak destekleyici bir etki yaratmış olabilir. Bu bulgular, aynı zamanda prefrontal korteksin yürütücü kontrol, hata izleme ve bilişsel adaptasyon süreçlerindeki merkezi rolünü de yansıtmaktadır.

Toplama işlemi sırasında teta yanıtının uyarım türü, zaman, beyin bölgesi ve hemisfer gibi birçok faktör etkileşiminde anlamlı farklılık göstermesi, teta osilasyonlarının bilişsel süreçlere çok boyutlu ve bağlamsal duyarlılığı olan bir nörofizyolojik belirteç olabileceğini göstermektedir(43,72,73). Bu bulgular, teta

yanıtının yalnızca bölgesel değil, aynı zamanda nöral ağ düzeyinde plastisiteyi ve fonksiyonel yeniden yapılanmayı da yansıtabileceğini düşündürmektedir(47).

Eldeli toplama işlemi sırasında, sanal lezyon uyarımı sonrası teta bandı gücünde öncesine kıyasla anlamlı bir artış gözlenmiştir. Toplama işlemi sırasında da benzer sonuç gözlenmiştir ve bu durum zihinsel aritmetik görevlerinin artan bilişsel yük ve yürütücü işlev gereksinimiyle ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Daha önceki çalışmalar, teta osilasyonlarının özellikle dikkat, bilişsel kontrol ve çalışma belleği süreçleriyle ilişkili olduğunu belirtilmiş ve bu artışın, görevle başa çıkmak için geliştirilen mekanizmaların bir göstergesi olabileceği öne sürülmektedir(43,73,76).

Her iki uyarım koşulunda (sham ve sanal lezyon) uyarım sonrası teta yanıtında artış gözlenmiş, ancak bu artış sanal lezyon uyarımı sonrasında daha belirgin olmuştur. Teta bandındaki bu genel artış, literatürde basit ve karmaşık düzeydeki problemleri çözerken bilişsel yükün artmasına bağlı olarak teta ve hızlı frekanslarda yükselme olduğu şeklinde rapor edilmektedir (9,47). Sanal lezyon sonrası artışın daha fazla olması ise, inhibe edilen bölgenin görevdeki katkısının diğer beyin bölgeleri tarafından telafi edilmeye çalışıldığını göstermektedir. Bu durum, beynin plastisite ve fonksiyonel yeniden yapılanma kapasitesini yansıtarak, inhibitör TMS uygulamasıyla hedeflenen alandaki bilişsel etkinin azalmasına karşılık diğer kortikal alanlarda kompensatuar aktivasyonların devreye girdiğini ortaya koymaktadır(65,66).

Eldeli toplama görevinde en yüksek teta yanıtının parietal bölgede görülmesi, bu bölgenin sayısal işleme ve hesaplama süreçlerindeki temel rolünü desteklemektedir. Fonksiyonel nörogörüntüleme çalışmaları, özellikle IPS aritmetik işlemler sırasında aktif olduğunu ve sayı temsili, miktar kıyaslaması gibi görevlerde görev aldığını göstermiştir(70,74,75). EEG çalışmalarında da parietal bölgelerde teta yanıtının artışı, bu bölgenin bilişsel yüke duyarlı olduğunu ve aritmetik işleme sırasında kritik bir merkez olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır (37,71).

PL'de uyarım öncesinde dahi yüksek düzeyde teta gücünün gözlenmesi, bu bölgenin göreve özgü temel bilişsel işlemleri — örneğin eldeli işlemler ve sayı manipülasyonu — başlatan birincil merkezlerden biri olduğunu göstermektedir (15,22). Sanal lezyon uyarımı sonrası tüm beyin bölgelerinde yaygın olarak artan teta

gücü ise, bilişsel yükün artması veya sistemin görev taleplerini karşılayabilmek için daha geniş bir nöral ağına devreye girmesiyle açıklanmaktadır(77).

Andres ve arkadaşlarının, PL'nin aritmetik işlemlere katkısını inceleyen fMRI ve TMS sanal lezyon çalışmalarında, aritmetik görevler sırasında hem İPS hem de posterior SPL'de, her iki hemisferde artan aktivasyonlar gözlemlenmiş olması, çalışmamızdaki bulgularla uyumludur. Ayrıca, Fresnoza ve arkadaşlarının sembolik aritmetik işleminin sinirsel temelini incelemek amacıyla farklı beyin bölgelerine uyguladıkları TMS ve transkraniyal elektrik stimülasyonu üzerine yaptıkları derleme çalışması, sayı işleminin üçlü kod modeli çerçevesinde çoklu kortikal alanların aritmetik becerilerde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bu çalışma, teta bant aktivitesinin yalnızca belirli bölgesel aktivasyonları değil, aynı zamanda sistem düzeyinde bilişsel düzenleme süreçlerini de yansıttığını ortaya koymaktadır(11).

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, eldeli toplama gibi yüksek bilişsel yük gerektiren görevlerde teta bantı aktivitesinin hem görev zorluğuna hem de kortikal uyarıma duyarlı olarak dinamik biçimde değiştiği; özellikle parietal bölge başta olmak üzere çoklu beyin alanlarının görevle ilişkili şekilde yeniden organize olduğu anlaşılmaktadır. Sanal lezyon koşullarında gözlenen teta aktivitesindeki artış ise bilişsel süreçlerin dağıtılmış doğasını ve beynin işlevsel esnekliğini vurgulamaktadır (11).

Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular, sayı işleme süreçlerinin altında yatan nörobilişsel mekanizmaları açıklamada üçlü kod modeli açısından önemli ipuçları sunmaktadır(78). Üçlü kod modeli, sayıların beyinde üç ayrı formatta temsil edildiğini öne sürer: analog büyüklük temsili, sözel (verbal) temsili ve görsel-sembolik temsili. Bu temsillerin her biri farklı beyin bölgelerine karşılık gelir: sağ ve sol İPS büyüklük/miktar temsilinden, sol İFG ve AG sözel kodlamadan, oksipito-temporal bölgeler ise görsel-sembolik tanımadan sorumludur(4,74).

Analog büyüklük kodu, sayıların yaklaşık değerleriyle ilgili olup nicelik temsillerini kapsar. Bu sistem, sayıların miktar olarak karşılaştırılmasını ve yaklaşık hesaplamaları sağlamaktadır. Temsil formatı, logaritmik özellik taşır ve genellikle Weber-Fechner yasasına uyan davranışlarla ilişkilendirilmektedir. Bu temsilin en temel nöroanatomik karşılığı, her iki hemisferde yer alan İPS olarak bilinmektedir. Bu

bölge, insanlarda ve primatlarda yapılan fMRI ve tek-nöron düzeyindeki elektrofizyolojik çalışmalarla, sayıların büyüklüğüne duyarlı nöron popülasyonları içerdiği gösterilen bir merkez olduğu belirtilmektedir(79,80).

Sözel kod, sayıların dilsel temsillerini ve aritmetik bilgiye (özellikle ezbere dayalı işlemlere; örn. $3 \times 4 = 12$) dair bellek erişimini içermektedir. Bu sistem, sayma, sayıları telaffuz etme, aritmetik işlem sonuçlarını hatırlama gibi görevlerde devreye girer. Sözel temsillerin nöroanatomik olarak sol hemisferdeki AG, İFG (Broca alanı) ve temporal bölgelerle ilişkilendirildiği gözlenmektedir(70,81). Sözel işlem bileşenleri, sayı işleme ile dil işleme arasındaki yakın ilişkiyi vurgulamakta ve bu kodun özellikle aritmetik bilgiye otomatik erişim süreçlerinde ön plana çıktığını göstermektedir(81).

Görsel-sembolik kod, sayıların görsel-sembolik temsillerin anlamını kapsamaktadır (örneğin, “3” rakamı). Bu sistem, sayıların tanınması ve görsel olarak işlenmesini sağlamaktadır. Temsil, özellikle sayıların tanınması, eşleştirilmesi ve görsel karşılaştırma işlemlerinde işlevseldir. Nörogörüntüleme çalışmaları, bu formatın özellikle oksipito-temporal bölgelerde, görsel sayı tanımayla ilişkili alanlarda temsil edildiğini göstermektedir(5,82). Görsel sembollerin tanınması, üçlü kod modeli içinde diğer kodlara geçişi mümkün kılan bir arayüz işlevi de görmektedir. Arabik rakamlar genellikle sözel kod (sayının telaffuzu) ya da büyüklük kodu (sayının nicel anlamı) ile bütünleşerek işlem sürecini başlatmaktadırlar(83).

Üçlü kod modelinin temel varsayımlarından biri, bu üç kodun birbiriyle dinamik olarak etkileşim içerisinde çalışıyor olmasıdır. Sayı işleme sırasında bireyler, görev tipine göre farklı kodları aktif hale getirir ve bu kodlar arasında geçiş yapmaktadır. Örneğin, bir birey $7 + 5$ işlemini çözerken, hem sözel hafızadaki bilgiye ($7 + 5 = 12$) hem de analog büyüklük temsiline başvurabilir. Bu geçişler nörofizyolojik düzeyde özellikle farklı kortikal bölgeler arasındaki senkronizasyon, osilatuar aktivite ve beyin bölgeleri arasındaki bağlantısal dinamikler yoluyla gerçekleştiği ileri sürülmektedir(84). Bu bağlamda, çalışmamızda 0–400 ms zaman aralığında özellikle teta frekans yanıtında gözlenen anlamlı artış, teta yanıtının bilişsel kontrol, çalışma belleği ve ağ düzeyindeki bilgi entegrasyonunu sağlamasıyla ilişkili olduğu

bilindiğinden söz konusu kodlar arası geçişlerin nörofizyolojik karşılıklarını yansıtmaktadır.

Bulgularımız, sanal lezyon uyarımı sonrasında özellikle temporal, frontal ve parietal bölgelerde teta yanıt gücünde anlamlı bir artış olduğunu göstermektedir. Bu bölgeler, üçlü kod modelinde yer alan temsil sistemlerinin sözel kod için sol temporal bölgeler, analog büyüklük için sağ parietal bölgeler, ve sembolik işlem kontrolü için frontal alanlar anatomik karşılıklarıyla örtüşmektedir(5). Ayrıca, uyarım tipi, zaman, hemisfer ve lokasyon arasındaki anlamlı etkileşimler, sayısal işlem sırasında birden fazla temsil biçiminin eşzamanlı aktivasyonunu ve aralarındaki dinamik etkileşimi düşündürmektedir. Özellikle sanal lezyon sonrası sağ hemisfer ve parietal bölgelerde gözlenen teta yanıtındaki artış, katılımcıların soruları çözmek için analog büyüklük temsilini daha fazla kullanarak sonuca ulaşmaya çalıştıklarını göstermektedir. Analog büyüklük temsilinin doğrudan sensörimotor bilgi ile ilişkili olduğundan parietal bölgeler arasında senkronize osilatuar aktivite gerektirir bu durum da artan teta gücü ile örtüşmektedir. Üçlü kod modelinin öngördüğü gibi, bir kod sisteminde meydana gelen bozulmanın çalışmamız özelinde sol SPL'ye sanal lezyon uygulanmasının sembolik işleme yollarını baskılaması, bilişsel sistemin görevi analog yollarla çözmeye yönelmesine neden olduğunu kompensatuvar bir mekanizmayla olarak devreye girmesiyle telafi edildiğini düşündürmektedir(76,84). Böylece elde edilen teta bandındaki artışlar, kod modelindeki dinamik geçiş ve çoklu sistem etkileşimi varsayımıyla yüksek düzeyde tutarlılık göstermekte; ayrıca sayısal işlem süreçlerinin sadece bölgesel değil, zamansal ve bağlamsal olarak da modüle olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmamızda, sol SPL' ye uygulanan sanal lezyon sonrası 0–400 ms zaman aralığında özellikle teta bandında anlamlı artışlar gözlenmiş ve bu artışın temporal, parietal ve frontal bölgelerde, özellikle de sağ hemisferde daha belirgin olması kortikal inhibisyonun olduğu bir durumda beynin fonksiyonel yeniden organizasyon kapasitesini ortaya koymaktadır. Literatürde, SPL'nin özellikle analog büyüklük kodlaması ve mental hesaplamalar sırasında aktif olduğu, dolayısıyla bu bölgenin işlevsel olarak geçici şekilde baskılanmasının diğer bölgelerde telafi edici aktivasyonları tetikleyebileceği belirtilmektedir(70,85). Bu telafi edici süreçler, beynin bilişsel sistem bütünlüğünü korumaya yönelik fonksiyonel yeniden yapılanma

kapasitesi ile ilişkilendirilmektedir(65,86). Özellikle sol SPL'ye uygulanan sanal lezyonun ardından sağ hemisferde artan teta yanıt gücü, interhemisferik denge modeline göre karşı hemisferdeki homolog yapılar, baskılanan bölgenin işlevlerini devralmak üzere görece aktivite artışı gösterebilir buna bağlı olarak da sol hemisferdeki baskılanmanın sağ hemisferdeki uyarılabilirliği artırdığını göstermektedir(65). Ayrıca, görevle ilişkili diğer nöral ağların düğümleri – örneğin AG veya DLDPFK gibi bölgeler-alternatif işlem yolları devreye sokarak görev performansını destekleyebilmektedir. Bu yeniden yapılanma süreci yalnızca yapısal bir değişim değil, aynı zamanda osilatuar senkronizasyon yoluyla gerçekleşen dinamik bir yeniden organizasyonu da içermektedir. Nitekim, teta frekans bandında gözlenen artış, farklı beyin bölgeleri arasında kurulan senkronize bilgi aktarımı ve görevle ilişkili bilişsel ağların yeniden düzenlenmesinin bir göstergesi olduğu bildirilmektedir(76,87). Bu bağlamda, sanal lezyon sonrası gözlenen sağ hemisfer ve parietal bölgelerdeki teta yanıt artışı, fonksiyonel plastisitenin bir sonucu olarak ortaya çıkan alternatif işlem yollarının nöral yansıması olarak değerlendirilmektedir.

Teta frekans bandı (4–7 Hz), özellikle bilişsel kontrol, dikkat, çalışma belleği ve yürütücü işlevler ile ilişkilendirilmektedir(76,87). Toplama işlemleri gibi sürekli izleme, hata kontrolü ve bilgi manipülasyonu gerektiren görevlerde, frontal ve parietal bölgeler arasında teta senkronizasyonu, top-down kontrol mekanizmasını yansıtmaktadır. Sanal lezyon sonrası bu bölgelerdeki teta yanıtındaki artış, beynin artan görev talebini karşılamak için işlemsel yükü farklı bölgelere dağıttığını ve alternatif nöral yolları devreye soktuğunu düşündürmektedir. Ayrıca, literatürde SPL lezyonlarının ardından sağ hemisfer parietal bölgelerde ve prefrontal kortekste artan aktivite gözlenmesi, telafi edici yeniden ağ yapılanmasının hem zamana hem de görev tipine bağlı olarak esnek biçimde şekillendiğini göstermektedir (65,88).

Sham ve sanal lezyon koşullarının her ikisinde de teta yanıt gücünde uyarım sonrası artış gözlenmiş; ancak sanal lezyon etkisi, hem büyüklük hem de bölgesel dağılım açısından daha belirgin olmuştur. Bu durum, sadece zaman faktörüne değil, aynı zamanda uyarım türüne bağlı olarak da teta bandı yanıtının modüle olduğunu göstermektedir. Zaman × uyarım × lokasyon × hemisfer etkileşiminin anlamlı çıkması, teta yanıtının çok boyutlu bir şekilde şekillendiğini sadece uyarım tipi ya da tek bir anatomik bölgeye sınırlandırılmayacağını bunun yerine zamansal dinamikler,

hemisferik asimetri ve bölgesel farklarla birlikte çok boyutlu bir biçimde organize olduğunu ve beynin bağlamsal olarak fonksiyonel değişkenlik gösterdiğini desteklemektedir(87). Özellikle bilateral temporal bölgelerde görülen yüksek teta yanıtları, sayıların sözel temsiliyetine ve dilsel işleme süreçlerine ilişkin olabileceğini ve bu da üçlü kod modelinin verbal kod bileşenini yansıtmaktadır. Dolayısıyla, parietal bölgelerdeki baskılanmanın ardından verbal ve görsel stratejilere dayalı bilgi işlem süreçlerinin daha fazla devreye girmiş olabileceğini göstermektedir(74).

Sonuç olarak, bu bulgular, sanal lezyonun sağlıklı bireylerde kortikal telafi mekanizmalarını aktive edebileceğini, sanal lezyon uyarım türüne bağlı olarak bu mekanizmaların frekans bandı düzeyinde izlenebileceğini göstermektedir. Üçlü kod modelinde tanımlanan sayı işlem ağı, statik değil, dinamik ve esnek bir sistem olarak ele alınmalıdır. Belirli bir bölgenin işlevsel dışlanması, ağın diğer bileşenlerinin reorganizasyonuna olanak tanımaktadır. Bu durum, insan beyninin nöral adaptasyon kapasitesini ve bilişsel görevlerde sürdürülebilir performans için alternatif yollar geliştirme becerisini yansıtmaktadır.

7.1. Limitasyonlar

Çalışmamızın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Birincisi, katılımcı sayısının görece az olması, bulguların genellenebilirliğini kısıtlayabilir. İkincisi, sağlıklı bireylerle çalışılması nedeniyle kullanılan görevlerin katılımcılar için görece kolay olması ve bu durumun başarı oranlarının uyarımdan etkilenmemesine yol açmış olması mümkündür. Bu nedenle, gelecekte alternatif uyarım protokolleri ve farklı zorluk seviyelerine sahip görevler kullanılarak çalışmaların tekrarlanması önerilmektedir.

8. SONUÇ

Bu çalışmanın temel amacı, sol SPL'nin toplama işlemleri sırasında üstlendiği bilişsel rolü ortaya koymak ve bu bölgeye uygulanan TMS ile oluşturulan sanal lezyonun, eldesiz ve eldeli toplama işlemlerine eşlik eden EEG teta bandı yanıtı üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu kapsamda, SPL'nin eldeli ve eldesiz toplama işlemleri süreçlerindeki işlevsel katkısını teta osilasyonları aracılığıyla değerlendirmek ve TMS uygulamasının bu nöral aktiviteyi nasıl modüle ettiğini belirlemek amaçlanmıştır.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms teta yanıtında sanal lezyonun beyin aktivitesinde spesifik bir etki oluşturduğu görüldü.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms teta yanıtında uyarım sonrası teta yanıt gücünde anlamlı artış görüldü. Stimulasyon etkisi zaman içinde artış yönündedir.

Toplama işlemi sırasında Temporal loblar 0-400 ms'de teta yanıtına daha duyarlıdır.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms'de sağ hemisferde teta yanıtı sol hemisfere göre daha yüksektir. Teta aktivitesinde lateralizasyon söz konusudur.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms'de her iki uyarımda da teta yanıt gücü artarken, sanal lezyonda bu artış daha fazladır. Sanal lezyonun etkisi sadece zamana değil, sham'a göre göreceli güce de bağlıdır.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms'de temporal bölgede uyarım öncesi de yüksek teta vardır; uyarım sonrası tüm bölgelerde artış gözlenmiştir. Teta artışı bölgesel olarak farklılık gösterse de geneldir.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms'de Frontal bölgede teta yanıtı sham uyarım öncesi daha yüksekken, sanal lezyon sonrası daha çok artmıştır. Santral, temporal, parietal, oksipital gibi bölgelerde de sanal lezyon sonrası daha belirgin teta artışı var. Teta yanıt gücündeki değişim hem zamana hem uyarım tipine hem de beyin bölgesine göre farklılaşmaktadır.

Toplama işlemi sırasında 0-400 ms'de Uyarım Tipi * Zaman * Lokasyon * Hemisfer Etkileşiminin anlamlı bulunması, teta yanıtının çok boyutlu olarak (uyarım

türü, zaman, beyin bölgesi ve hemisfer) değiştiğini göstermektedir. Etki sadece bir faktöre bağlı değildir; bağlamsal ve topografik bir etki söz konusudur.

Eldeli toplama işlemi sırasında uyarım sonrası teta yanıtı, öncesine kıyasla anlamlı şekilde artmıştır. Uyarım, teta bandı aktivitesini artırıcı bir etki oluşturmaktadır.

Eldeli toplama işlemi sırasında en yüksek teta yanıtı parietal bölgede görülmüştür. PL, teta aktivitesine en duyarlı bölge olarak öne çıkmaktadır.

Eldeli toplama işlemi sırasında hem sham hem sanal lezyon uyarımında teta yanıtı uyarım sonrası artmıştır. Ancak sanal lezyon sonrası artış daha yüksektir. Sanal lezyon, teta gücünde daha güçlü bir değişim oluşturmaktadır.

Eldeli toplama işlemi sırasında PL'de uyarım öncesi de teta gücü yüksektir; uyarım sonrası tüm bölgelerde artış gözlenmiştir. Teta yanıtı uyarımdan sonra yaygın olarak artmış, ancak özellikle parietal bölgede en yüksek düzeye ulaşmıştır.

Sonuç olarak hem sanal lezyon hem de sham uyarım, toplama görevinde başarıyı, hata oranını ya da cevapsız kalma durumunu istatistiksel olarak anlamlı düzeyde etkilememiştir. Çalışma bulguları, toplama işlemi sırasında 100–400 ms aralığında teta bandı yanıtının sanal lezyon uyarımı sonrasında anlamlı şekilde arttığını göstermektedir. Bu artış özellikle temporal ve sağ hemisfer bölgelerinde daha belirgindir. Ayrıca, uyarım tipi, zaman, lokasyon ve hemisfer arasında anlamlı etkileşimler bulunması, teta yanıtının çok boyutlu bir şekilde modüle olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, sanal lezyon uyarımının beyin aktivitesine özgül etkiler oluşturduğunu ve teta frekans bandında nörofizyolojik değişimlere neden olabileceğini düşündürmektedir. Eldeli toplama işlemi sırasındaki bulgular, 100–400 ms aralığında teta frekans bandı yanıtının uyarım sonrasında anlamlı şekilde arttığını göstermektedir. Bu artış, özellikle parietal bölgede belirgin olup, sanal lezyon uyarımı sham uyarıma kıyasla daha güçlü bir teta yanıtı ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, tüm beyin bölgelerinde uyarım sonrası teta yanıtı gücünde genel bir artış gözlenmiş, bu da uyarımın yaygın bir etkisi olduğunu düşündürmektedir.

9.KAYNAKLAR

1. Rocha FT, Rocha AF, Massad E, Menezes R. Brain mappings of the arithmetic processing in children and adults. *Cognitive Brain Research*. 01 Mart 2005;22(3):359-72.
2. Liang P, Wang Z, Yang Y, Jia X, Li K. Functional Disconnection and Compensation in Mild Cognitive Impairment: Evidence from DLPFC Connectivity Using Resting-State fMRI. *PLOS ONE*. 21 Temmuz 2011;6(7):e22153.
3. Liang Y, Liu X, Qiu L, Zhang S. An EEG Study of a Confusing State Induced by Information Insufficiency during Mathematical Problem-Solving and Reasoning. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 25 Temmuz 2018;2018:1-13.
4. Arsalidou M, Taylor MJ. Is $2+2=4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *Neuroimage*. 01 Şubat 2011;54(3):2382-93.
5. Dehaene S, Cohen L. Cerebral pathways for calculation: double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*. Haziran 1997;33(2):219-50.
6. Klein E, Moeller K, Dressel K, Domahs F, Wood G, Willmes K, vd. To carry or not to carry — Is this the question? Disentangling the carry effect in multi-digit addition. *Acta Psychologica*. 01 Eylül 2010;135(1):67-76.
7. Moeller K, Klein E, Nuerk HC. Three processes underlying the carry effect in addition – Evidence from eye tracking. *British Journal of Psychology*. 2011;102(3):623-45.
8. Dimitriadis SI, Laskaris NA, Tsirka V, Vourkas M, Micheloyannis S. What does delta band tell us about cognitive processes: a mental calculation study. *Neurosci Lett*. 08 Ekim 2010;483(1):11-5.
9. Molina del Río J, Guevara MA, Hernández González M, Hidalgo Aguirre RM, Cruz Aguilar MA. EEG correlation during the solving of simple and complex

logical–mathematical problems. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 01 Ağustos 2019;19(4):1036-46.

10. Roslan NS, Amin HU, Izhar LI, Saad MNM, Sivapalan S. Role of EEG delta and beta oscillations during problem solving tasks. İçinde: 2016 6th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS) [Internet]. Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE; 2016 [a.yer 25 Şubat 2023]. s. 1-4. Erişim adresi: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7824138/>
11. Fresnoza S, Ischebeck A. Probing Our Built-in Calculator: A Systematic Narrative Review of Noninvasive Brain Stimulation Studies on Arithmetic Operation-Related Brain Areas. *eNeuro*. Nisan 2024;11(4):ENEURO.0318-23.2024.
12. Turan BN, Asal R. Sınıf Öğretmeni Adaylarının Matematik Öğretimine Yönelik Kaygı Düzeylerinin Farklı Değişkenlere Göre İncelenmesi. *EJE*. 31 Mayıs 2020;4(1):20-33.
13. Türk C, Bedir G. The Relationship Between Mathematics Anxiety and Course Success of 4th Grade Primary School Students [İlkokul 4. Sınıf Öğrencilerinin Matematik Kaygısı ile Ders Başarısı Arasındaki İlişki]. *EDUREF*. 31 Aralık 2021;5(2):73-88.
14. Looi CY, Thompson J, Krause B, Kadosh RC. The Neuroscience of Mathematical Cognition and Learning. [a.yer 25 Şubat 2025]; Erişim adresi: https://ajanda.ibu.edu.tr/wp-content/uploads/2017/08/Matematiksel-Bili%C5%9Fin-ve-%C3%96%C4%9Frenmenin-Sinirbilimi-Final.pdf?utm_source=chatgpt.com
15. Andres M, Pelgrims B, Michaux N, Olivier E, Pesenti M. Role of distinct parietal areas in arithmetic: An fMRI-guided TMS study. *NeuroImage*. 14 Şubat 2011;54(4):3048-56.
16. Anderson JR, Betts S, Ferris JL, Fincham JM. Cognitive and metacognitive activity in mathematical problem solving: prefrontal and parietal patterns. *Cogn Affect Behav Neurosci*. Mart 2011;11(1):52-67.

17. Aarsland D, Batzu L, Halliday GM, Geurtsen GJ, Ballard C, Ray Chaudhuri K, vd. Parkinson disease-associated cognitive impairment. *Nat Rev Dis Primers*. 01 Temmuz 2021;7(1):47.
18. Kubanç Y. TOPLAMA İŞLEMİNDE GENEL ÖĞRENCİ ZORLUKLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ [İnternet]. [a.yer 27 Şubat 2025]. Erişim adresi: https://www.academia.edu/99271885/TOPLAMA_%C4%B0%C5%9ELEM%C4%B0NDE_GENEL_%C3%96%C4%9ERENC%C4%B0_ZORLUKLARI_VE_%C3%87%C3%96Z%C3%9CM_%C3%96NER%C4%B0LER%C4%B0
19. Campbell JID, Xue Q. Cognitive Arithmetic Across Cultures. *Journal of Experimental Psychology: General*. 2001;130(2):299.
20. Baddeley A. Working memory. İçinde: *Memory*. 3. bs Routledge; 2020.
21. Baddeley A. Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders*. 01 Mayıs 2003;36(3):189-208.
22. Imbo I, Vandierendonck A, De Rammelaere S. The role of working memory in the carry operation of mental arithmetic: Number and value of the carry. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 01 Mayıs 2007;60(5):708-31.
23. Seitz K, Schumann-Hengsteler R. Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication - ProQuest. [a.yer 27 Şubat 2025]; Erişim adresi: <https://www.proquest.com/openview/92ad53d13f19e42e09d7844a861e1b2c/1?q-origsite=gscholar&cbl=43472>
24. Menon V. Chapter 7 - Memory and cognitive control circuits in mathematical cognition and learning. İçinde: Cappelletti M, Fias W, editörler. *Progress in Brain Research* [İnternet]. Elsevier; 2016 [a.yer 24 Şubat 2025]. s. 159-86. (The Mathematical Brain Across the Lifespan; c. 227). Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612316300528>
25. Miller EK. The prefrontal cortex and cognitive control. *Nat Rev Neurosci*. Ekim 2000;1(1):59-65.

26. Verner M, Herrmann MJ, Troche SJ, Roebers CM, Rammsayer TH. Cortical oxygen consumption in mental arithmetic as a function of task difficulty: a near-infrared spectroscopy approach. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 22 Mayıs 2013 [a.yer 17 Nisan 2024];7. Erişim adresi: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00217>
27. Artemenko C, Soltanlou M, Dresler T, Ehlis AC, Nuerk HC. The neural correlates of arithmetic difficulty depend on mathematical ability: evidence from combined fNIRS and ERP. *Brain Struct Funct*. 01 Temmuz 2018;223(6):2561-74.
28. Abd Hamid AI, Yusoff AN, Mukari SZMS, Mohamad M. Brain Activation during Addition and Subtraction Tasks In-Noise and In-Quiet. *Malays J Med Sci*. Nisan 2011;18(2):3-15.
29. Fehr T, Code C, Herrmann M. Common brain regions underlying different arithmetic operations as revealed by conjunct fMRI-BOLD activation. *Brain Res*. 03 Ekim 2007;1172:93-102.
30. Klein E, Nuerk HC, Wood G, Knops A, Willmes K. The exact vs. approximate distinction in numerical cognition may not be exact, but only approximate: How different processes work together in multi-digit addition. *Brain and Cognition*. 01 Mart 2009;69(2):369-81.
31. Owen AM, McMillan KM, Laird AR, Bullmore E. N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. 1999;
32. Vuilleumier P, Ortigue S, Brugger P. The number space and neglect. *Cortex*. Nisan 2004;40(2):399-410.
33. Zorzi M, Priftis K, Umiltà C. Brain damage: neglect disrupts the mental number line. *Nature*. 09 Mayıs 2002;417(6885):138-9.
34. Fan J, Woods KJ, Jacobson JL, Taylor PA, Toich JTF, Molteno CD, vd. Lower resting state functional connectivity partially mediates adverse effects of prenatal alcohol exposure on arithmetic performance in children. *Alcohol, Clinical and Experimental Research*. 2024;48(6):1050-62.

35. Granovsky Y, Liem KS, Weissman-Fogel I, Yarnitsky D, Chistyakov A, Sinai A. “Virtual lesion” in pain research; a study on magnetic stimulation of the primary motor cortex. *Eur J Pain*. Şubat 2016;20(2):241-9.
36. Chung SW, Sullivan CM, Rogasch NC, Hoy KE, Bailey NW, Cash RFH, vd. The effects of individualised intermittent theta burst stimulation in the prefrontal cortex: A TMS-EEG study. *Human Brain Mapping*. 2019;40(2):608-27.
37. Rotenberg A, Horvath JC, Pascual-Leone A. The Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) Device and Foundational Techniques. İçinde: Rotenberg A, Horvath JC, Pascual-Leone A, editörler. *Transcranial Magnetic Stimulation* [Internet]. New York, NY: Springer; 2014 [a.yer 01 Mart 2025]. s. 3-13. Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0879-0_1
38. Fecteau S, Eldaief M. Offline and Online “Virtual Lesion” Protocols. İçinde: Rotenberg A, Horvath JC, Pascual-Leone A, editörler. *Transcranial Magnetic Stimulation* [Internet]. New York, NY: Springer; 2014 [a.yer 16 Eylül 2023]. s. 143-52. (Neuromethods). Erişim adresi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0879-0_8
39. Fuson KC, Murata A, Abrahamson D. Using Learning Path Research to Balance Mathematics Education: teaching/learning for understanding and fluency. İçinde: Cohen Kadosh R, Dowker A, editörler. *The Oxford Handbook of Numerical Cognition* [Internet]. Oxford University Press; 2015 [a.yer 07 Mart 2025]. s. 0. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.003>
40. Sandrini M, Umiltà C, Rusconi E. The use of transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience: A new synthesis of methodological issues. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 01 Ocak 2011;35(3):516-36.
41. Cohen MX. Where Does EEG Come From and What Does It Mean? *Trends in Neurosciences*. 01 Nisan 2017;40(4):208-18.

42. Jackson AF, Bolger DJ. The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*. Kasım 2014;51(11):1061-71.
43. Başar E, Güntekin B. Chapter 19 - Review of delta, theta, alpha, beta, and gamma response oscillations in neuropsychiatric disorders. İçinde: Başar E, Başar-Eroğlu C, Özerdem A, Rossini PM, Yener GG, editörler. *Supplements to Clinical Neurophysiology* [İnternet]. Elsevier; 2013 [a.yer 20 Nisan 2025]. s. 303-41. (Application of Brain Oscillations in Neuropsychiatric Diseases; c. 62). Erişim adresi:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780702053078000193>
44. Berka C, Levendowski DJ, Lumicao MN, Yau A, Davis G, Zivkovic VT, vd. EEG Correlates of Task Engagement and Mental Workload in Vigilance, Learning, and Memory Tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 01 Mayıs 2007;78(5):B231-44.
45. Güntekin B, Başar E. Review of evoked and event-related delta responses in the human brain. *International Journal of Psychophysiology*. 01 Mayıs 2016;103:43-52.
46. Harmony T. The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Front Integr Neurosci* [İnternet]. 05 Aralık 2013 [a.yer 09 Aralık 2024];7. Erişim adresi: <https://www.frontiersin.org/journals/integrative-neuroscience/articles/10.3389/fnint.2013.00083/full>
47. Lin CL, Jung M, Wu YC, She HC, Jung TP. Neural correlates of mathematical problem solving. *Int J Neural Syst*. Mart 2015;25(2):1550004.
48. Harmony T, Fernández T, Silva J, Bernal J, Díaz-Comas L, Reyes A, vd. EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*. 01 Kasım 1996;24(1):161-71.

49. Amin HU, Malik AS, Hussain M, Kamel N, Chooi WT. Brain behavior during reasoning and problem solving task: An EEG study. İçinde: 2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS) [İnternet]. 2014 [a.yer 22 Nisan 2025]. s. 1-4. Erişim adresi: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6869515>
50. Copello M. EEG Study of Simple Problem Solving.
51. Earle JB. Task Difficulty and EEG Alpha Asymmetry: An Amplitude and Frequency Analysis. *Neuropsychobiology*. 20 Şubat 2008;20(2):96-112.
52. Ozdilek B, Kenangil G. Validation of the Turkish Version of the Montreal Cognitive Assessment Scale (MoCA-TR) in patients with Parkinson's disease. *Clin Neuropsychol*. 2014;28(2):333-43.
53. S K. Turk kulturu icin standardizasyonu yapilmis noropsikolojik testler toplulugu. 32 Ulusal noroloji Kongre Kitabı (Turkish) 1996 İstanbul [İnternet]. 1996 [a.yer 28 Mayıs 2024]; Erişim adresi: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571135650256885376>
54. Karakaş S, Erdoğan E, Sak L, Soysal AŞ, Ulusoy T, Ulusoy İY, vd. Stroop Testi TBAG Formu: Türk kültürüne standardizasyon çalışmaları, güvenilirlik ve geçerlik. *Klinik Psikiyatri*. 1999;2(2):75-88.
55. Hisli N. Beck depresyon envanterinin universite ogrencileri icin gecerliligi, guvenilirliigi.(A reliability and validity study of Beck Depression Inventory in a university student sample). *J Psychol*. 1989;7:3-13.
56. Ulusoy M, Sahin NH, Erkmen H. Turkish version of the Beck Anxiety Inventory: psychometric properties. *Journal of cognitive psychotherapy*. 1998;12(2):163.
57. Akçakın V, Cebesoy Ü, İnel Y. İki Boyutlu Matematik Kaygısı Ölçeğinin Türkçe Formunun Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması Validity and Reliability Study of Turkish Version of Bidimensional Mathematics Anxiety Scale. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*. 01 Ağustos 2015;35:283-301.

58. Kong J, Wang C, Kwong K, Vangel M, Chua E, Gollub R. The neural substrate of arithmetic operations and procedure complexity. *Cognitive Brain Research*. 01 Mart 2005;22(3):397-405.
59. Fox PT, Laird AR, Fox SP, Fox PM, Uecker AM, Crank M, vd. BrainMap taxonomy of experimental design: description and evaluation. *Hum Brain Mapp*. Mayıs 2005;25(1):185-98.
60. Fox PT, Lancaster JL. Opinion: Mapping context and content: the BrainMap model. *Nat Rev Neurosci*. Nisan 2002;3(4):319-21.
61. Vanasse TJ, Fox PM, Barron DS, Robertson M, Eickhoff SB, Lancaster JL, vd. BrainMap VBM: An environment for structural meta-analysis. *Hum Brain Mapp*. Ağustos 2018;39(8):3308-25.
62. Eickhoff SB, Laird AR, Grefkes C, Wang LE, Zilles K, Fox PT. Coordinate-based activation likelihood estimation meta-analysis of neuroimaging data: a random-effects approach based on empirical estimates of spatial uncertainty. *Hum Brain Mapp*. Eylül 2009;30(9):2907-26.
63. Eickhoff SB, Bzdok D, Laird AR, Kurth F, Fox PT. Activation likelihood estimation meta-analysis revisited. *Neuroimage*. 01 Şubat 2012;59(3):2349-61.
64. Steel A, Song S, Bageac D, Knutson KM, Keisler A, Saad ZS, vd. Shifts in connectivity during procedural learning after motor cortex stimulation: A combined transcranial magnetic stimulation/functional magnetic resonance imaging study. *Cortex*. 01 Ocak 2016;74:134-48.
65. Hartwigsen G. Flexible Redistribution in Cognitive Networks. *Trends in Cognitive Sciences*. 01 Ağustos 2018;22(8):687-98.
66. Sack AT, Kohler A, Bestmann S, Linden DEJ, Dechent P, Goebel R, vd. Imaging the Brain Activity Changes Underlying Impaired Visuospatial Judgments: Simultaneous fMRI, TMS, and Behavioral Studies. *Cerebral Cortex*. 01 Aralık 2007;17(12):2841-52.

67. Garcia-Sanz S, Ghotme KA, Hedmont D, Arévalo-Jaimes MY, Cohen Kadosh R, Serra-Grabulosa JM, vd. Use of transcranial magnetic stimulation for studying the neural basis of numerical cognition: A systematic review. *Journal of Neuroscience Methods*. 01 Mart 2022;369:109485.
68. Missonnier P, Deiber MP, Gold G, Millet P, Gex-Fabry Pun M, Fazio-Costa L, vd. Frontal theta event-related synchronization: comparison of directed attention and working memory load effects. *J Neural Transm*. 01 Ekim 2006;113(10):1477-86.
69. Polanía R, Nitsche MA, Ruff CC. Studying and modifying brain function with non-invasive brain stimulation. *Nat Neurosci*. Şubat 2018;21(2):174-87.
70. Grabner RH, Ansari D, Reishofer G, Stern E, Ebner F, Neuper C. Individual differences in mathematical competence predict parietal brain activation during mental calculation. *NeuroImage*. 01 Kasım 2007;38(2):346-56.
71. Zamarian L, Ischebeck A, Delazer M. Neuroscience of learning arithmetic—Evidence from brain imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 01 Haziran 2009;33(6):909-25.
72. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*. 01 Nisan 1999;29(2):169-95.
73. Mitchell DJ, McNaughton N, Flanagan D, Kirk IJ. Frontal-midline theta from the perspective of hippocampal “theta”. *Progress in Neurobiology*. 01 Kasım 2008;86(3):156-85.
74. Dehaene S, Piazza M, Pinel P, Cohen L. Three parietal circuits for number processing. *Cogn Neuropsychol*. 01 Mayıs 2003;20(3):487-506.
75. Fresnoza S, Christova M, Purgstaller S, Jehna M, Zaar K, Hoffermann M, vd. Dissociating Arithmetic Operations in the Parietal Cortex Using 1 Hz Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation: The Importance of Strategy Use. *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet]. 2020 [a.yer 10 Mayıs 2023];14. Erişim adresi: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2020.00271>

76. Cavanagh JF, Frank MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*. 01 Ağustos 2014;18(8):414-21.
77. Cocchi L, Gollo LL, Zalesky A, Breakspear M. Criticality in the brain: A synthesis of neurobiology, models and cognition. *Progress in Neurobiology*. 01 Kasım 2017;158:132-52.
78. Dehaene S. Varieties of numerical abilities. *Cognition*. 01 Ocak 1992;44(1):1-42.
79. Piazza M, Izard V, Pinel P, Bihan DL, Dehaene S. Tuning Curves for Approximate Numerosity in the Human Intraparietal Sulcus. *Neuron*. 28 Ekim 2004;44(3):547-55.
80. Nieder A, Dehaene S. Representation of Number in the Brain. *Annual Review of Neuroscience*. 21 Temmuz 2009;32(Volume 32, 2009):185-208.
81. Delazer M, Domahs F, Bartha L, Brenneis C, Lochy A, Trieb T, vd. Learning complex arithmetic—an fMRI study. *Cognitive Brain Research*. 01 Aralık 2003;18(1):76-88.
82. Holloway ID, Price GR, Ansari D. Common and segregated neural pathways for the processing of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude: An fMRI study. *NeuroImage*. 01 Ocak 2010;49(1):1006-17.
83. Ansari D. Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nat Rev Neurosci*. Nisan 2008;9(4):278-91.
84. Sokolowski HM, Fias W, Bosah Ononye C, Ansari D. Are numbers grounded in a general magnitude processing system? A functional neuroimaging meta-analysis. *Neuropsychologia*. 01 Ekim 2017;105:50-69.
85. Cohen Kadosh R. From Single-Cell Neuropathology to Mathematics Education: navigator chapter. İçinde: Cohen Kadosh R, Dowker A, editörler. *The Oxford Handbook of Numerical Cognition* [İnternet]. Oxford University Press; 2015 [a.yer 07 Mart 2025]. s. 0. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.59>

86. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet LB. THE PLASTIC HUMAN BRAIN CORTEX. *Annual Review of Neuroscience*. 21 Temmuz 2005;28(Volume 28, 2005):377-401.
87. Sauseng P, Klimesch W, Schabus M, Doppelmayr M. Fronto-parietal EEG coherence in theta and upper alpha reflect central executive functions of working memory. *International Journal of Psychophysiology*. 01 Ağustos 2005;57(2):97-103.
88. O'Shea J, Sebastian C, Boorman ED, Johansen-Berg H, Rushworth MFS. Functional specificity of human premotor–motor cortical interactions during action selection. *European Journal of Neuroscience*. 2007;26(7):2085-95.

10.EKLER

Beck Anksiyete Ölçeği

Beck Anxiety Inventory (BAI)

Hastanın Adı Soyadı: _____ Tarih: ____/____/____

Aşağıda insanların kaygılı ya da endişeli oldukları zamanlarda yaşadıkları bazı belirtiler verilmiştir. Lütfen her maddeyi dikkatle okuyunuz. Daha sonra, bugün dâhil son **bir (1) hafta** içinde, aşağıda maddeler halinde sıralanmış belirtilerin sizi ne kadar rahatsız ettiğini uygun yeri işaretleyerek belirleyiniz.

Son bir hafta içinde;	Hiç	Hafif Beni pek etkilemedi	Orta Hoş değildi ama katlanabildim	Ciddi Dayanmakta çok zorlandım
1. Bedeninizin herhangi bir yerinde uyuşma veya karıncalanma	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
2. Sıcak/ ateş basmaları	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
3. Bacaklarda halsizlik, titreme	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
4. Gevşeyememe	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
5. Çok kötü şeyler olacak korkusu	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
6. Baş dönmesi veya sersemlik	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
7. Kalp çarpıntısı	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
8. Dengeyi kaybetme duygusu	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
9. Dehşete kapılma	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
10. Sinirlilik	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
11. Boğuluyormuş gibi olma duygusu	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
12. Ellerde titreme	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
13. Titreklilik	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
14. Kontrolü kaybetme korkusu	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
15. Nefes almada güçlük	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
16. Ölüm korkusu	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
17. Korkuya kapılma	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
18. Midede hazımsızlık ya da rahatsızlık hissi	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
19. Baygınlık, sersemlik	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
20. Yüzün kızarması	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3
21. Terleme (sıcaklığa bağlı olmayan)	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3

Beck, A. T., Epstein, N., Brown (1988) Journal of Consulting and Clinical Psychology, 56, 893-897.

<21: hafif | 22-35: orta | >36 şiddetli



www.ftronline.com

Toplam Puan (0-63): _____

Tasarım ve düzenleme: Dr. Ender Salbaş 2016

Adı Soyadı:

Tarih:

Toplam Beck D Skoru:

(0010N-1116HS-1720SD-2130HD-3140CD-4063CCD)

Beck Depresyon Ölçeği

Aşağıda gruplar halinde bazı cümleler ve önünde sayılar yazılıdır. Her gruptaki cümleleri dikkatle okuyunuz. **Bugün de dâhil, geçen hafta içinde** kendinizi nasıl hissettiğinizi en iyi anlatan cümleyi seçin ve yanındaki kutucuğu işaretleyin. Seçiminizi yapmadan önce gruptaki cümlelerin hepsini dikkatle okuyunuz ve yalnızca bir maddeyi işaretleyin.

- [0] Kendimi üzüntülü ve sıkıntılı hissetmiyorum.
[1] Kendimi üzüntülü ve sıkıntılı hissediyorum.
[2] Hep üzüntülü ve sıkıntılıyım. Bundan kurtulamıyorum.
[3] O kadar üzüntülü ve sıkıntılıyım ki artık dayanamıyorum.

- [0] Gelecek hakkında umutsuz ve karamsar değilim.
[1] Gelecek hakkında karamsarım.
[2] Gelecekte beklediğim hiçbir şey yok.
[3] Geleceğim hakkında umutsuzum ve sanki hiçbir şey düzelmeyecekmiş gibi geliyor.

- [0] Kendimi başarısız bir insan olarak görmüyorum.
[1] Çevremdeki birçok kişiden daha çok başarısızlıklarım olmuş gibi hissediyorum.
[2] Geçmişime baktığımda başarısızlıklarla dolu olduğunu görüyorum.
[3] Kendimi tümüyle başarısız bir kişi olarak görüyorum.

- [0] Birçok şeyden eskisi kadar zevk alıyorum.
[1] Eskiden olduğu gibi her şeyden hoşlanmıyorum.
[2] Artık hiçbir şey bana tam anlamıyla zevk vermiyor.
[3] Her şeyden sıkılıyorum.

- [0] Kendimi herhangi bir şekilde suçlu hissetmiyorum.
[1] Kendimi zaman zaman suçlu hissediyorum.
[2] Çoğu zaman kendimi suçlu hissediyorum.
[3] Kendimi her zaman suçlu hissediyorum.

- [0] Kendimden memnunum.
[1] Kendi kendimden pek memnun değilim.
[2] Kendime çok kızıyorum.
[3] Kendimden nefret ediyorum.

- [0] Başkalarından daha kötü olduğumu sanmıyorum.
[1] Zayıf yanlarım veya hatalarım için kendi kendimi eleştiririm.
[2] Hatalarımdan dolayı her zaman kendimi kabahatli bulurum.
[3] Her aksilik karşısında kendimi kabahatli bulurum.

- [0] Kendimi öldürmek gibi düşüncelerim yok.
[1] Zaman zaman kendimi öldürmeyi düşündüğüm oluyor, fakat yapmıyorum.
[2] Kendimi öldürmek isterdim.
[3] Fırsatını bulsam kendimi öldürürüm.

- [0] Her zamankinden fazla içimden ağlamak gelmiyor.
[1] Zaman zaman içimden ağlamak geliyor.
[2] Çoğu zaman ağlıyorum.
[3] Eskiden ağlayabilirdim şimdi istesem de ağlayamıyorum.

- [0] Şimdi her zaman olduğumdan sinirli değilim.
[1] Eskisine kıyasla daha kolay kızıyorum.
[2] Şimdi hep sinirliyim.
[3] Bir zamanlar beni sinirlendiren şeyler şimdi hiç sinirlendirmiyor.

- [0] Şimdi her zaman olduğumdan sinirli değilim.
[1] Eskisine kıyasla daha kolay kızıyorum.
[2] Şimdi hep sinirliyim.
[3] Bir zamanlar beni sinirlendiren şeyler şimdi hiç sinirlendirmiyor.

- [0] Başkaları ile görüşmek, konuşmak isteğimi kaybetmedim.
[1] Başkaları ile eskisinden daha az konuşmak, görüşmek istiyorum.
[2] Başkaları ile konuşma ve görüşme isteğimi kaybettim.
[3] Hiç kimseyle görüşüp, konuşmak istemiyorum.

- [0] Eskiden olduğu kadar kolay karar verebiliyorum.
[1] Eskiden olduğu kadar kolay karar veremiyorum.
[2] Karar verirken eskisine kıyasla çok güçlük çekiyorum.
[3] Artık hiç karar veremiyorum.

- [0] Aynada kendime baktığımda bir değişiklik görmüyorum.
[1] Daha yaşlanmışım ve çirkinleşmişim gibi geliyor.
[2] Görünüşümün çok değiştiğini ve daha çirkinleştiğimi hissediyorum.
[3] Kendimi çok çirkin buluyorum.

- [0] Eskisi kadar iyi çalışabiliyorum.
[1] Bir şeyler yapmak için gayret göstermek gerekiyor.
[2] Herhangi bir şeyi yapabilmek için kendimi çok zorlamam gerekiyor.
[3] Hiçbir şey yapamıyorum.

- [0] Her zamanki gibi iyi uyuyabiliyorum.
[1] Eskiden olduğu gibi iyi uyuyamıyorum.
[2] Her zamankinden bir-iki saat daha erken uyanıyorum ve tekrar uyuyamıyorum.
[3] Her zamankinden çok daha erken uyanıyorum ve tekrar uyuyamıyorum.

- [0] Her zamankinden daha çabuk yorulmuyorum.
[1] Her zamankinden daha çabuk yoruluyorum.
[2] Yaptığım hemen her şey beni yoruyor.
[3] Kendimi hiçbir şey yapamayacak kadar yorgun hissediyorum.

- [0] İştahım her zamanki gibi
[1] İştahım eskisi kadar iyi değil
[2] İştahım çok azaldı.
[3] Artık hiç iştahım yok.

- [0] Son zamanlarda kilo vermedim.
[1] İki kilodan fazla kilo verdim.
[2] Dört kilodan fazla kilo verdim.
[3] Altı kilodan fazla kilo verdim.

- [0] Sağlığım beni fazla endişelendirmiyor.
[1] Ağrı, sancı, mide bozukluğu veya kabızlık gibi rahatsızlıklar beni endişelendiriyor.
[2] Sağlığım beni endişelendirdiği için başka şeyler düşünmek zorlaşıyor.
[3] Sağlığım hakkında o kadar endişeliyim ki, başka hiçbir şey düşünemiyorum.

- [0] Son zamanlarda cinsel konulara olan ilgimde bir değişme fark etmedim.
[1] Cinsel konularda eskisinden daha az ilgiliyim.
[2] Cinsel konularda şimdi çok daha az ilgiliyim.
[3] Cinsel konulara olan ilgimi tamamen kaybettim.

- [0] Bana cezalandırılmışım gibi geliyor.
[1] Cezalandırılabilceğimi seziyorum.
[2] Cezalandırılmayı bekliyorum.
[3] Cezalandırıldığımı hissediyorum.

MONTREAL BİLİŞSEL DEĞERLENDİRME ÖLÇEĞİ

Montreal Cognitive Assessment (MOCA)

İsim:
Eğitim:
Cinsiyet:

Protokol:
Test Tarihi:
Doğum Tarihi:

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

KIRMIZI MAVİ MAVİ YEŞİL KIRMIZI MAVİ MAVİ YEŞİL KIRMIZI YEŞİL

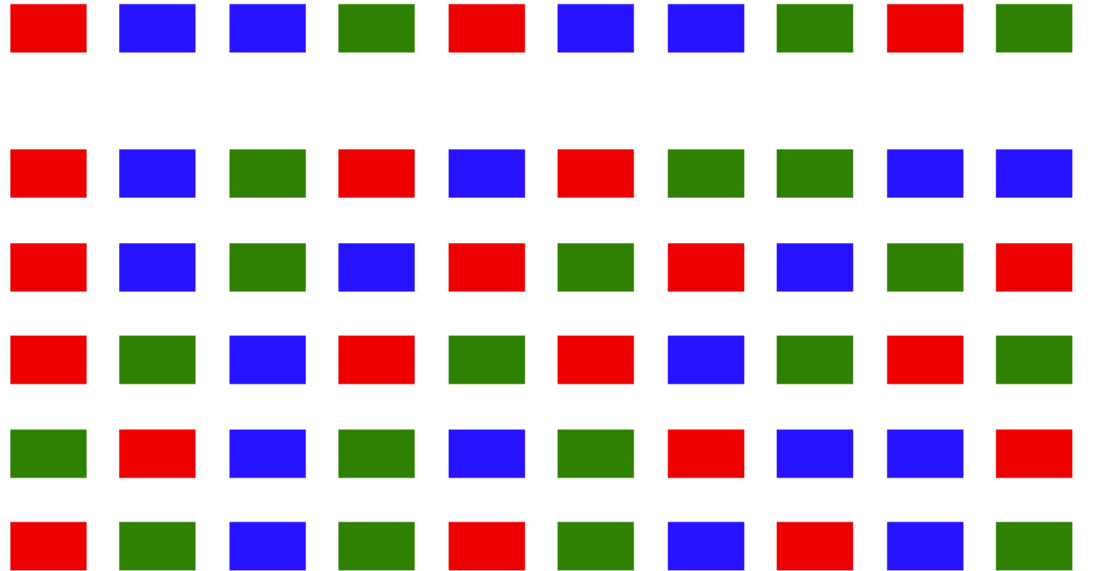
KIRMIZI MAVİ YEŞİL KIRMIZI MAVİ KIRMIZI YEŞİL YEŞİL MAVİ MAVİ

KIRMIZI MAVİ YEŞİL MAVİ KIRMIZI YEŞİL KIRMIZI MAVİ YEŞİL KIRMIZI

KIRMIZI YEŞİL MAVİ KIRMIZI YEŞİL KIRMIZI MAVİ YEŞİL KIRMIZI YEŞİL

YEŞİL KIRMIZI MAVİ YEŞİL MAVİ YEŞİL KIRMIZI MAVİ MAVİ KIRMIZI

KIRMIZI YEŞİL MAVİ YEŞİL KIRMIZI YEŞİL MAVİ KIRMIZI MAVİ YEŞİL



01 - WMS-R SAYI MENZİLİ + (GÖRSEL MENZİL)

<i>Düz Sayı Dizisi</i>	<i>Sayı Menzili</i>	<i>Ters Sayı Dizisi</i>	<i>Sayı Menzili</i>
6 2 9 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	5 1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
3 7 5 <input type="checkbox"/>		3 8 <input type="checkbox"/>	
6 4 3 9 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	2 8 3 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
7 2 8 6 <input type="checkbox"/>		4 1 5 <input type="checkbox"/>	
4 2 7 3 1 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>	3 2 7 9 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
7 5 8 3 6 <input type="checkbox"/>		4 9 6 8 <input type="checkbox"/>	
6 1 9 4 7 3 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	1 5 2 8 6 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
3 9 2 4 8 7 <input type="checkbox"/>		6 1 8 4 3 <input type="checkbox"/>	
5 9 1 7 4 2 8 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>	5 3 9 4 1 8 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
4 1 7 9 3 8 6 <input type="checkbox"/>		7 2 4 8 5 6 <input type="checkbox"/>	
5 8 1 9 2 6 4 7 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>	8 1 2 9 3 6 5 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
3 8 2 9 5 1 7 4 <input type="checkbox"/>		4 7 3 9 1 2 8 <input type="checkbox"/>	

Ekl. İki Boyutlu Matematik Kaygısı Ölçeği

	Kesinlikle Katılıyorum	Katılıyorum	Kararsızım	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum
1. Matematik konuları ilgimi çeker.	1	2	3	4	5
2. Matematik sınavlarında telaşlanırım.(-)	1	2	3	4	5
3. Matematiği gelecekte kullanacağımı düşünürüm.	1	2	3	4	5
4. Matematik sınavlarında aklım durur ve mantıklı düşünemem. (-)	1	2	3	4	5
5. Matematiğin günlük yaşamımla ilişkili olduğunu düşünürüm.	1	2	3	4	5
6. Matematik problemleri çözmeye becerim konusunda endişe duyarım. (-)	1	2	3	4	5
7. Matematik problemleri çözmeye çalıştığımda, çaresiz kalmaya başladığımı hissedirim. (-)	1	2	3	4	5
8. Matematiği benim için çok zor bir derstir. (-)	1	2	3	4	5
9. Matematik dersinde kendimi gergin hissedirim. (-)	1	2	3	4	5
10. Matematik derslerinin sayısının artırılmasını isterim.	1	2	3	4	5
11. Matematik derslerinde kendimi huzursuz hissedirim. (-)	1	2	3	4	5
12. Matematik en çok sevdiğim derslerimden biridir.	1	2	3	4	5
13. Matematik öğrenmek eğlencelidir.	1	2	3	4	5
14. Matematik dersi kafamı karıştırır. (-)	1	2	3	4	5

11.ETİK KURUL ONAYI



T.C.
İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu Başkanlığı

Sayı : E-10840098-772.02-6572
Konu: Etik Kurulu Kararı

13/10/2023

Sayın Sümeyye Demir

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz “Sol Süperior Parietal Lobulün Toplama İşlemi Becerisi ile İlişkinin TMS 'Sanal Lezyon' ile Değerlendirilmesi” isimli başvurunuz Etik Kurulumuzca değerlendirilerek uygun görülmüş olup Etik Kurulu kararı ekte sunulmuştur.

Bilgilerinize rica ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TOKAÇ
Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar
Etik Kurulu Başkanı

Ek
-Karar Formu (2 sayfa)

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Evracınızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden 9513F5FEX9 kodu ile doğrulayabilirsiniz.

Medipol Üniversitesi Kavacık Yerleşkesi (Ana Yerleşke Rektörlük)
Kavacık Mah. Ekinçiler Cad. No: 19, Kavacık Kavşağı, 34810 Beykoz, İstanbul
T: 444 85 44 F: 0212 531 75 55
E-Posta: bilgi@medipol.edu.tr İnternet Adresi: www.medipol.edu.tr
Kep Adresi: medipoluniversitesi@hs03.kep.tr

Ayrıntılı Bilgi İçin: Esra KAN
Tel: 5461 E-Posta: etik.kurul@medipol.edu.tr



İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU KARAR FORMU

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Sol Süperior Parietal Lobulün Toplama İşlemi Becerisi ile İlişkisinin TMS 'Sanal Lezyon' ile Değerlendirilmesi			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Sümeyye Demir			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Odyolog/Sinirbilim			
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	İstanbul			
	DESTEKLEYİCİ	-			
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ <input checked="" type="checkbox"/>	ÇOK MERKEZ <input type="checkbox"/>	ULUSAL <input checked="" type="checkbox"/>	ULUSLARARASI <input type="checkbox"/>

Değerlendirilen Belgeler	Belge Adı	Tarihi	Versiyon Numarası	Dili
	ARAŞTIRMA PROTOKOLÜ/PLANI			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	OLGU RAPOR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
	BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU			Türkçe <input type="checkbox"/> İngilizce <input type="checkbox"/> Diğer <input type="checkbox"/>
Karar Bilgileri	Karar No: 822	Tarih: 12.10.2023		
	Yukarıda bilgileri verilen Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın gerekçe, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve araştırmanın etik ve bilimsel yönden uygun olduğuna “ oybirliği ” ile karar verilmiştir.			

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Evrağınızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden 9513F5FEX9 kodu ile doğrulayabilirsiniz.

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ
GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR
ETİK KURULU KARAR FORMU

İSTANBUL MEDİPOL ÜNİVERSİTESİ GİRİŞİMSEL OLMAYAN KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU	
BAŞKANIN UNVANI / ADI / SOYADI	Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TOKAÇ

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Cinsiyet		Araştırma ile ilişki		Katılım *		İmza
			E	K	E	H	E	H	
Dr. Öğr. Üyesi Mahmut TOKAÇ	Tıp Tarihi ve Etik	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E imzalıdır
Prof. Dr. Mete ÜNGÖR	Endodonti	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E imzalıdır
Prof. Dr. İlknur KESKİN	Histoloji ve Embriyoloji	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E imzalıdır
Doç. Dr. Devrim TARAKCI	Fizyoterapi ve Rehabilitasyon	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Nezih HACİHASANOĞLU ÇAKMAK	Biyokimya	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	E imzalıdır
Dr. Öğr. Üyesi Pakize YİĞİT	Sayısal Yöntemler/ Biyoistatistik	İstanbul Medipol Üniversitesi	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Katılmadı

* :Toplantıda Bulunma

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Evrağınızı <https://turkiye.gov.tr/istanbul-medipol-universitesi-ebys> linkinden 9513F5FEX9 kodu ile doğrulayabilirsiniz.