



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**MATEMATİK KAYGISI VE EĞİTİM UYGULAMASININ
SAYISAL GÖREVLER SIRASINDAKİ
BEYİN AKTİVİTESİNE ETKİSİ**

Simge ALTINOK

**DİSİPLİNLERARASI SİNİR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Metehan ÇİÇEK**

ANKARA

2025

**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MATEMATİK KAYGISI VE EĞİTİM UYGULAMASININ
SAYISAL GÖREVLER SIRASINDAKİ
BEYİN AKTİVİTESİNE ETKİSİ**

Simge ALTINOK

**DİSİPLİNLERARASI SİNİR BİLİMLERİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ**

DANIŞMAN

Prof. Dr. Metehan ÇİÇEK

İKİNCİ DANIŞMAN

Prof. Dr. Nihal APAYDIN

Bu araştırma 16469 numaralı TÜSEB B Grubu Ar-Ge Projesi ile desteklenmiştir.

ANKARA

2025

ETİK BEYAN

Ankara Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Doktora tezi olarak hazırlayıp sunduğum “Matematik Kaygısı ve Eğitim Uygulamasının Sayısal Görevler Sırasındaki Beyin Aktivitesine Etkisi” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Simge ALTINOK

Tarih:

İmza:

KABUL VE ONAY

Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
Disiplinlerarası Sinir Bilimleri Anabilim Dalında

Simge Altınok tarafından hazırlanan

“Matematik Kaygısı ve Eğitim Uygulamasının Sayısal Görevler Sırasındaki Beyin Aktivitesine Etkisi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından DOKTORA TEZİ olarak OY BİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 18/12/2024

Prof. Dr. Metehan ÇİÇEK
Ankara Üniversitesi
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Aysun UZ
Ankara Üniversitesi
Raportör

Prof. Dr. Orhan Murat KOÇAK
Başkent Üniversitesi
Üye

Doç. Dr. Kevser AKTAŞ
Gazi Üniversitesi
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç ÜSTÜN
Ankara Üniversitesi
Üye

Tez hakkında alınan jüri kararı, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu tarafından onaylanmıştır.

İmza

Unvanı Adı ve Soyadı

Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Matematik Kaygısı ve Eğitim Uygulamasının Sayısal Görevler Sırasındaki Beyin Aktivitesine Etkisi

Matematik kaygısı, sayısal görevler sırasında kişilerin yaşadığı olumsuz duygusal deneyimlerini ve performanslarına ilişkin başarısızlık beklentisini ifade etmektedir. Yüksek matematik kaygılı bireylerin sayısal görevlerde daha başarısız olduğu bilinmektedir. Ancak, matematik kaygısının nöral temelleri henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Diğer yandan, pratik uygulamaları beyin ağ yapısında yapısal ve işlevsel farklılıklara yol açabilmektedir. Tez çalışmasında, düşük ve yüksek matematik kaygısı gruplarında sayısal görevler sırasında oluşan beyin aktivasyonlarının pratik uygulamasından nasıl etkilendiği işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (iMRG) yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak, geniş bir örneklemede matematik kaygısı taraması gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan matematik kaygı puanı dağılımı üzerinden çalışmanın dahil etme kriterlerine uygun olan bireyler belirlenerek, düşük matematik kaygı grubu ($n=14$; ortalama yaş= $22,857\pm3,739$) ve yüksek matematik kaygı grubu ($n=12$; ortalama yaş= $22,417\pm2,109$) oluşturulmuştur. Çalışma grupları, sayısal görevler yaptıkları sırada iMRG kayıtları alınmıştır. Çalışmada iki farklı sayısal görev türü (zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik) ve her görevin kendine ait bir kontrol koşulu görevi (zihinsel sayı doğrusu benzerlik ve sayısal benzerlik) yer almıştır. Katılımcılar ilk iMRG kaydından sonra, dört hafta boyunca ve haftada iki defa olmak üzere, sayısal pratik uygulaması gerçekleştirmiştir. Sayısal pratik uygulamasından sonra katılımcılardan bir iMRG kaydı daha alınmıştır. Böylece, çalışma grupları pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) olmak üzere iki defa MR çekimine katılmıştır. Tüm bireyler, iMRG çekimlerinden önce psikometrik ve bilişsel bazı değerlendirmelerden geçmiştir. Beyin görüntüleri, 2 (grup) x 2 (seans) x 2 (görev) tekrarlayan ölçümler için ANOVA kullanılarak MATLAB SPM12 programında analiz edilmiştir. Davranışsal sonuçlar sayısal pratik uygulamasının matematik kaygısını azaltarak, bilişsel performansı ve sayısal görev başarısını artırdığını göstermiştir. Grup etkisi iMRG sonuçlarına göre; düşük matematik kaygısı grubunda angular girus ve yüksek matematik kaygısı grubunda frontal göz alanı aktivasyonu bulunmuştur. Pratik etkisine bağlı olarak bilateral posterior singulat korteks aktive olmuştur. Görev etkisi farklı beyin alanlarında iMRG yanıtlarıyla karakterize bulunmuştur. Zihinsel sayı doğrusu görevi; supramarginal girus, angular girus, preküneus, posterior singulat korteks, precentral girus, postcentral girus, superior temporal girus, frontal göz alanı, inferior frontal junction, posterior insula ve fusiform girus aktivasyonu göstermiştir. Aritmetik görevi; intraparyetal sulkus/okspital korteks, inferior frontal junction/precentral girus, premotor/suplementer motor alan, dorsolateral prefrontal korteks, anterior insula, kaudat nükleus, supramarginal girus ve serebellum aktivasyonu ortaya çıkarmıştır. Grup, seans ve görev etkileşiminde hipokampus, superior temporal girus, bilateral suplementer motor alan ve primer motor korteks aktivasyonu tespit edilmiştir. Angular girus aritmetik yeteneklerle, frontal göz alanı dikkat süreçleriyle ilişkilendirilmiştir. Bilateral posterior singulat korteksin, sayısal görevlerde oluşturulan zihinsel temsillerin hatırlanması süreçleriyle ilişkili olarak pratik sonrasında aktive olduğu düşünülmüştür. Zihinsel sayı doğrusu görevinde aktive olan beyin alanlarının sayısal işlemlerin yanında uzaysal süreçlerle ilişkili olduğu bilinmektedir. Diğer yandan, aritmetik görevi aktivasyonlarının görüldüğü beyin alanları sayıların sembolik temsili ve manipülasyonu süreçleriyle ilgilidir. Ayrıca zihinsel sayı doğrusu görevi yaygın bilateral aktivasyonları ortaya çıkarırken, aritmetik görevi bilateral fronto-paryetal ve oksipital korteks aktivasyonlarına ek olarak sol baskın iMRG yanıtları göstermiştir. Etkileşim sonuçlarında görülen hipokampus aktivasyonu bellek temsili, superior temporal girus aktivasyonu sözel temsilleştirmede, suplementer motor alan aktivasyonu motor eylem planlama ilişkili temsil süreçlerinde sayısal pratik ilişkili kazanımlarla ilgili olarak düşünülmüştür. Sonuçlar, yüksek matematik kaygılı bireylerin, sayısal pratik sonrası başarılarının daha fazla arttığını ve beyinlerindeki sayısal süreç mekanizmalarının düşük kaygılı bireylerden farklı bir şekilde geliştiğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Aritmetik, işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (iMRG), matematik anksiyetesi, sayısal pratik, zihinsel sayı doğrusu.

SUMMARY

The Effect of Math Anxiety and Implementation of Training on Brain Activity During Numerical Tasks

Mathematics anxiety refers to individuals' negative emotional experiences and expectations of failure regarding their performance during numerical tasks. It is known that individuals with high mathematics anxiety tend to perform worse on numerical tasks. However, the neural underpinnings of mathematics anxiety are not yet fully understood. On the other hand, practice sessions can lead to structural and functional differences in brain networks. In this thesis, the impact of practice sessions on brain activations during numerical tasks was examined using functional magnetic resonance imaging (fMRI) in groups with low and high mathematics anxiety. Initially, a mathematics anxiety screening was conducted on a large sample. Based on the distribution of mathematics anxiety scores, individuals meeting the inclusion criteria were identified, and two groups were formed: the low mathematics anxiety group ($n=14$; mean age= $22,857\pm3,739$) and the high mathematics anxiety group ($n=12$; mean age= $22,417\pm2,109$). fMRI data were collected from the study groups while they performed numerical tasks. The study included two types of numerical tasks (mental number line and arithmetic) and a control condition for each task (mental number line coherence and numerical coherence). After the first fMRI scan, participants engaged in math practice twice a week for four weeks. Following the math practice period, a second fMRI scan was conducted. Thus, fMRI data were collected twice: before practice (first session) and after practice (last session). Before the fMRI scans, all participants underwent certain psychometric and cognitive evaluations. Brain images were analyzed using a 2 (group) $\times$ 2 (session) $\times$ 2 (task) repeated-measures ANOVA in MATLAB SPM12. Behavioral results showed that math practice reduced mathematics anxiety while improving cognitive performance and success in numerical tasks. Regarding group effects in the fMRI results, activation was found in the angular gyrus for the low mathematics anxiety group and in the frontal eye field for the high mathematics anxiety group. Practice-related effects showed activation in the bilateral posterior cingulate cortex. Task effects were characterized by fMRI responses in different brain regions. For the mental number line task, activations were observed in the supramarginal gyrus, angular gyrus, precuneus, posterior cingulate cortex, precentral gyrus, postcentral gyrus, superior temporal gyrus, frontal eye field, inferior frontal junction, posterior insula, and fusiform gyrus. The arithmetic task elicited activations in the intraparietal sulcus/occipital cortex, inferior frontal junction/precentral gyrus, premotor/supplementary motor area, dorsolateral prefrontal cortex, anterior insula, caudate nucleus, supramarginal gyrus, and cerebellum. In the group, session, and task interaction, activations were detected in the hippocampus, superior temporal gyrus, bilateral supplementary motor area, and primary motor cortex. The angular gyrus was associated with arithmetic abilities, while the frontal eye field was linked to attentional processes. It was thought that the bilateral posterior cingulate cortex was activated after the math practice, in relation to the recall of mental representations formed during numerical tasks. The brain areas activated during the mental number line task are known to be associated with spatial processes in addition to numerical processing. On the other hand, the brain regions activated during the arithmetic task are associated with the symbolic representation and manipulation of numbers. Moreover, while the mental number line task revealed widespread bilateral activations, the arithmetic task showed bilateral fronto-parietal and occipital cortex activations, along with left-lateralized fMRI responses. Hippocampal activation observed in the interaction results was associated with memory representation, superior temporal gyrus activation with verbal representation, and supplementary motor area activation with representations related to motor action planning, suggesting that math practice led to gains in these processes. The results indicated that individuals with high mathematics anxiety showed greater performance improvements after math practice and that the mechanisms of numerical processing in their brains progressed differently compared to those with low anxiety.

Keywords: Arithmetic, functional magnetic resonance imaging (fMRI), mathematics anxiety, mental number line, math practice.

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	ii
Kabul ve Onay	iii
Özet	iv
Summary	v
İçindekiler	vi
Önsöz	viii
Simgeler ve Kısaltmalar	xi
Şekiller	xiii
Çizelgeler	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Sayı Algısı	1
1.2. Zihinsel Sayı Doğrusu	4
1.3. Matematiksel Beceriler İlişkili Nöral Mekanizmalar	6
1.4. Matematik ve Matematik Öğreniminde Pratik Etkisi	8
1.5. Matematik Kaygısı ve Nörogörüntüleme	10
1.6. İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme (iMRG)	15
1.7. Çalışmanın Amacı	17
1.8. Çalışmanın Hipotezleri	18
2. GEREÇ VE YÖNTEM	19
2.1. Psikometrik Veri Toplama Araçları (İnternet Taraması)	19
2.1.1. El Tercihi Ölçeği	19
2.1.2. Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF)	19
2.1.3. Sürekli Kaygı Ölçeği	20
2.1.4. Sınav Kaygısı Envanteri	20
2.2. Katılımcılar	20
2.3. Bilişsel Değerlendirme Araçları	23
2.3.1. WMS-R Sayı Menzili Testi	23
2.3.2. Hesaplama Performans Testi	24
2.4. Etik Yaklaşım	24
2.5. Deney Dizaynı	24
2.4.1. Ön Davranış Çalışması	26
2.5. Sayısal Pratik Uygulaması	27
2.6. iMRG Çekimi	28
2.7. Veri Analiz Yöntemleri	30
2.7.1. Ölçek Verilerinin Analizi	30
2.7.2. Sayısal Pratik Uygulaması Verilerinin Analizi	30
2.7.3. iMRG Davranış Verilerinin Analizi	30
2.7.4. iMRG Verilerinin Analizi	31
2.7.4.1. iMRG Verilerinin Ön İşlenmesi	31
2.7.4.2. Birey Analizi	32
2.7.4.3. Grup Analizi	33
3. BULGULAR	35
3.1. Davranış Bulguları	35
3.1.1. Sosyodemografik ve Psikometrik Ölçüm Verileri	35
3.1.2. Sayısal Pratik Verileri	38
3.1.3. iMRG Davranış Bulguları	39

3.1.3.1. Zihinsel Sayı Doğrusu Görevleri Davranış Bulguları	40
3.1.3.2. Aritmetik ve Sayısal Benzerlik Görevleri Davranış Bulguları	44
3.2. iMRG Bulguları	47
3.2.1. Grup etkisi sonuçları	47
3.2.2. Pratik Etkisi Sonuçları	49
3.2.3. Görev Etkisi Sonuçları	50
3.2.4. Etkileşim Sonuçları	54
4. TARTIŞMA	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	76
EKLER	89
Ek 1: Sosyodemografik Bilgi Formu	89
Ek 2: El Tercihi Ölçeği	90
Ek 3: Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF)	91
Ek 4: Sürekli Kaygı Ölçeği	94
Ek 5: Sınav Kaygısı Envanteri	96
Ek 6: Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu	98
Ek 7: WMS-R Sayı Menzili Testi	100
Ek 8: Hesaplama Performans Testi	101
Ek 9: Etik Kurul Onayı	102
ÖZGEÇMİŞ	103

ÖNSÖZ

Matematik öğreniminin nöral mekanizmalarını anlamaya çalışan çok sayıda araştırma, sayısal başarıyı etkileyen faktörlere odaklanmaktadır. Literatürde matematik kaygısı olarak ifade edilen sayısal görevlere ilişkin olumsuz duygusal deneyimlerin başarıya etkisi bu konuda yapılan nörogörüntüleme araştırmalarına yeni bir bakış açısı kazandırmıştır. Bu tez çalışmasında, sayısal pratik uygulamasının beyin mekanizmalarına olan etkisi matematik kaygısı bağlamında iMRG yöntemi kullanılarak incelenmiş ve literatüre önemli katkılarda bulunulmuştur.

TÜSEB B Grubu AR-GE Proje Destek Programı kapsamında 16469 numarasıyla desteklenen bu tez projesi, büyük bir çabanın ortaya konduğu ekip çalışmasının bir ürünüdür. Boylamsal nörogörüntüleme yönteminin kullanıldığı bu projenin bilimsel hedeflerine ulaşmasında katkı sağlayan tüm gönüllülere ve stajyer arkadaşlarıma MR çalışmalarına verdikleri destekten ve iş birliklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca bilimsel bakış açısını bana kazandıran, bilgisi ve araştırma deneyimiyle MR çalışmalarına ilgi duymamı sağlayan ve bu süreçte beni eğiten; aynı zamanda akademik anlamda yolumu bulmamda bana yardım eden, birlikte çalışma olanağı bulduğum için çok şanslı olduğumu düşündüğüm değerli tez danışmanım Prof. Dr. Metehan Çiçek'e çok teşekkür ederim.

Doktora ilk başladığım yıllardan itibaren bilimsel gelişimimde çok büyük katkılar sağlayan ve sinirbilim eğitimimin temellerinin atılmasında rol oynayan değerli eş danışmanım Prof. Dr. Nihal Apaydın'a çok teşekkür ederim.

Laboratuvara geldiğim ilk yıllardan itibaren bilimsel donanımıyla öğrenimime ve projenin hayata geçirilmesine önemli katkılar sağlayan, ihtiyacım olan her an var olan dostluğuyla bana yardım etmekten geri durmayan Dr. Öğr. Üyesi Sertaç Üstün'e zorlandığım anlardaki anlayış ve sabrı için çok teşekkür ederim.

Doktora sürecimin büyük bir kısmında laboratuvarında birlikte çalışarak ürettiğimiz, sinirbilim programına başlamamda beni heveslendiren, bilgisine her daim güvendiğim, şu anda Paris'te postdoc olarak çalışan Dr. Gözde Vatansever'e uzun yıllardır devam eden dostluğu ve bana kattıkları için çok teşekkür ederim.

Sinirbilim eğitiminde gerçekleştirdiğim bu yolculukta benimle aynı süreci yaşayan, omuz omuza beraber keyifle çalıştığımız, araştırma merakıyla bana yeni fikirler açan Burcu Sırmatel Bakrıyanık’a, her daim süren pozitif yaklaşımıyla zorlandığım anları eğlenceli hale getirdiği için çok teşekkür ederim.

Birlikte geçirdiğimiz süreç boyunca hem laboratuvarında hem de bilimsel etkinliklerde keyifle çalıştığım, araştırma merakıyla bana yeni bakış açıları kazandıran Zeynep Ceren Onlat’a desteği ve yardımları için çok teşekkür ederim.

Beyin Görüntüleme Laboratuvarı’nda beraber çalıştığımız zamanlarda öğrenim sürecimde katkıları olan ve bana destek sağlayan arkadaşlarım Nazife Ayyıldız ve Hazal Şimşek Ünver’e çok teşekkür ederim.

Çalışma ortamının sıcaklığını her daim hissettiğim, uzun yıllar boyunca laboratuvarımıza kucak açan Ankara Üniversitesi Fizyoloji Anabilim Dalı’nın değerli hocalarına, birlikte çalıştığım arkadaşlarıma ve personeline bana olan tüm katkıları için çok teşekkür ederim.

MR çekimlerini birlikte gerçekleştirdiğimiz ve birlikte yorulduğumuz, özellikle tez sürecimde laboratuvarında geçirdiğim yorucu zamanlarda bana destek olan ve moral vermeye çalışan NÖROM’un MR Birimi personellerine çok teşekkür ederim.

Tez sürecim boyunca bilgi ve deneyimleriyle projenin hedeflerine ulaşmasında katkı sunarak, bana yeni fikirler açan değerli hocam Doç. Dr. Kevser Aktaş’a çok teşekkür ederim.

Bu uzun süreç boyunca edindiğim hayat tecrübelerinde bana yol gösteren ve ilgileriyle her zaman beni motive eden, varlıklarıyla bana kendimi şanslı hissettiren Havvanur Yılmaz ve Gizem Kayan’a bana olan inançları için çok teşekkür ederim.

Üniversite yıllarımda yanında stajyer olarak çalıştığım, sinirbilim eğitimine ilk adımı atmamda bana yol gösteren, tecrübesine ve hayat görüşüne çok güvendiğim değerli hocam Prof. Dr. Canan Kalaycıoğlu’na; zorlandığım anlarda beni kendime getiren fikirleriyle akademik ve sosyal hayatta bana mentörlük ettiği için çok ama çok teşekkür ederim. Canan Hoca’mın bana olan inancının bu yolculukta en büyük motivasyon kaynaklarımdan biri olduğunu söyleyebilirim.

Son olarak; akademik yolculuğumda her daim bana inanan, geçirdiğim zor zamanlarda beni maddi ve manevi olarak destekleyen, varlıklarını ve desteğini her zaman arkamda hissettiğim canım aileme çok teşekkür ederim.

Doktora tez sürecimde 16469 numaralı proje kapsamında Doktora Bursiyeri desteği aldığım TÜSEB'e teşekkür ederim.

Simge ALTINOK

Ankara, 2024



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Anterior
AG	Angular Girus
AI	Anterior İnsula
ANOVA	Varyans Analizi
ATP	Adenozin Trifosfat
BOLD	Kan Oksijenlenme Seviyesine Bağımlı
DLPFK	Dorsolateral Prefrontal Korteks
DMK	Düşük Matematik Kaygısı
DTG	Difüzyon Tensör Görüntüleme
EEG	Elektroensefalografi
FG	Fusiform Girus
FGA	Frontal Göz Alanı
FOV	Görme Alanı
FWHM	Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik
GLM	Genel Lineer Model
HPT	Hesaplama Performans Testi
IFJ	Inferior Frontal Junction
IQ	Zekâ Katsayısı
ITI	Uyaranlar Arası Boşluk Süresi
iMRG	İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme
İPS	İntraparyetal Sulkus
L	Sol (Left)
LCD	Sıvı Kristal Ekran
MKDÖ-KF	Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form
MNI	Montreal Nöroloji Enstitüsü
MRG	Manyetik Rezonans Görüntüleme
NFA	Sayı Tanıma Alanı
NÖROM	Nörobilim ve Nöroteknoloji Mükemmeliyet Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi
OK	Oksipital Korteks
P	Posterior
PI	Posterior İnsula
PostG	Postcentral Girus

PreG	Precentral Girus
PSK	Posterior Singulat Korteks
R	Sağ (Right)
SKE	Sınav Kaygısı Envanteri
SKÖ	Sürekli Kaygı Ölçeği
SLF	Superior Longitüdinale Fasikül
SMA	Suplementer Motor Alan
SMG	Supramarginal Girus
SMT	Sayı Menzili Testi
SNARC	Yanıt Kodlarının Uzaysal-Sayısal İlişkisi Etkisi
STAI	Spielberger Durumluk/Sürekli Kaygı Ölçeği
STG	Superior Temporal Girus
T	Tesla
TCM	Üçlü Kod Modeli
tDCS	Transkraniyal Doğru Akım Stimülasyonu
TE	Eko Zamanı
TR	Tekrar Zamanı
WMS-R	Wechsler Bellek Ölçeği-Geliştirilmiş Formu
YMK	Yüksek Matematik Kaygısı

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	Sayı algısı gelişimi modeli.	4
Şekil 2.1.	Taklit MR (Mock MR) cihazı	23
Şekil 2.2.	MR deney paradigması	25
Şekil 3.1.	Düşük matematik kaygısı (DMK) ve yüksek matematik kaygısı (YMK) gruplarının pratik öncesi ve pratik sonrası psikometrik ölçüm değerleri..	37
Şekil 3.2.	Grupların sayısal pratik uygulaması yüzde başarı ve reaksiyon zamanı ortalamalarının seviyelere göre değişimi	38
Şekil 3.3.	Grupların pratik öncesi ve pratik sonrası yüzde hata verileri	41
Şekil 3.4.	Grupların pratik öncesi ve pratik sonrası sapma katsayısı verileri	42
Şekil 3.5.	Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verileri..	44
Şekil 3.6.	Grupların pratik öncesi ve pratik sonrası yüzde başarı verileri	45
Şekil 3.7.	Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verileri	47
Şekil 3.8.	Düşük ve yüksek matematik kaygı grupları arasındaki aktivasyon farkı	48
Şekil 3.9.	Pratik sonrasında gözlenen aktivasyonlar.	49
Şekil 3.10.	Zihinsel sayı doğrusu görevinde gözlenen aktivasyonlar	51
Şekil 3.11.	Aritmetik görevinde gözlenen aktivasyonlar	53
Şekil 3.12.	Grup, seans ve görev etkileşiminde gözlenen aktivasyonlar	55

ÇİZELGELER

Çizelge 3.1.	Matematik kaygı gruplarının sosyodemografik sonuçları (Ort ± St Sapma)	35
Çizelge 3.2.	Düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının psikometrik özellikleri	35
Çizelge 3.3.	Grupların pratik önce ve pratik sonra psikometrik ölçümlerine ait ANOVA sonuçları	36
Çizelge 3.4.	Sayısal pratik verilerine ait tanımlayıcı istatistikler	38
Çizelge 3.5.	Grupların sayısal pratik uygulaması yüzde başarı verilerinin ANOVA sonuçları	39
Çizelge 3.6.	Grupların sayısal pratik uygulaması reaksiyon zamanı verilerinin ANOVA sonuçları	39
Çizelge 3.7.	Yüzde hata verilerine ait tanımlayıcı istatistikler	40
Çizelge 3.8.	Yüzde hata verilerinin ANOVA sonuçları	40
Çizelge 3.9.	Sapma katsayısı verilerine ait tanımlayıcı istatistikler	42
Çizelge 3.10.	Sapma Katsayısı verilerinin ANOVA sonuçları	42
Çizelge 3.11.	Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisine ait tanımlayıcı istatistikler	43
Çizelge 3.12.	Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi ANOVA sonuçları	43
Çizelge 3.13.	Yüzde başarı verilerine ait tanımlayıcı istatistikler	45
Çizelge 3.14.	Yüzde başarı verilerinin ANOVA sonuçları	45
Çizelge 3.15.	Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisine ait tanımlayıcı istatistikler	46
Çizelge 3.16.	Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi ANOVA sonuçları	46
Çizelge 3.17.	Grup etkisi iMRG sonuçları	48
Çizelge 3.18.	Pratik etkisi iMRG sonuçları	49
Çizelge 3.19.	Zihinsel sayı doğrusu görevi iMRG sonuçları	50
Çizelge 3.20.	Aritmetik görevi iMRG sonuçları	52
Çizelge 3.21.	Grup, seans, görev etkileşimi iMRG sonuçları	54

1. GİRİŞ

1.1. Sayı Algısı

Sayı algısı, çoklukları ayırt etme ve çokluk-azlık kavramlarını anlama gibi süreçleri kapsayan temel bilişsel bir sistemdir. Çokluklara dair algımız, çeşitli hayvan türleri —arılar, balıklar, güvercinler, maymunlar— tarafından daha basit formlarda paylaşılan ve biyolojik bir kökeni olan oldukça işlevsel bir mekanizmadır (Cantlon, 2012; Dehaene vd., 1998). Yapılan çalışmalar küçük yaştaki çocukların ve hatta 6 aylık bebeklerin dahi sayısal büyüklük değişimleri arasındaki farkları ayırt edebildiğini göstermiştir (Starr vd., 2013). İki yaşından küçük çocuklarda yapılan bir çalışmada, sabit sayıda nokta çokluklarının (..) tekrarlı sunumunda izleme süresi azaldığı anda (habitüasyon), yeni sayıda nokta çokluğu (...) gösterilmiş ve izleme süresinin anlamlı olarak daha uzun olduğu kaydedilmiştir (dishabitüasyon). Bu sonuç, sayma becerisinin kazanımından önce sayı algılama kapasitesinin var olduğunu göstermektedir (Starkey & Cooper, 1980).

Sayı algısı becerimiz, yaştan bağımsız olmanın yanı sıra kültür ya da eğitim gibi farklı çevresel özelliklerden de bağımsızdır. Kültürlerarası yapılan kapsamlı bir çalışmada, katılımcılardan nokta kümelerini kategorilere yerleştirmeleri istenmiştir. Katılımcılar kategorileri oluştururken; nokta kümelerinin sayısı, kapladığı yüzey alanı ve bu iki boyutun kombinasyonu gibi özelliklerinden yararlanmıştır. Farklı yaş, eğitim düzeyi ya da kültürel özelliklere rağmen katılımcıların kategorileri oluşturmada noktaların diğer özelliklerine kıyasla çoğunlukla sayı özelliklerine dikkat ederek kararlarını verdikleri bulunmuştur (Ferrigno vd., 2017).

Bu alanda yapılan enteresan araştırmalardan biri Brezilya'da yaşana bir Amazon kabilesi olan Mundurucu halkında sayı algısı becerilerinin dil özelliklerinden bağımsız olup olmadığını inceleyen çalışmadır. Araştırmada, kabile üyelerinin 1'den 5'e kadar olan çokluklar için sayı kelimelerini kullandıkları; ancak 5'i geçen çoklukları ifade ederken yaklaşık temsiller kullandığı görülmüştür. Buna rağmen, kabile üyeleri çokluk karşılaştırma görevlerinde daha fazla olan nokta setini (kendi dillerinde buna karşılık gelen bir sayı kelimesi olmamasına rağmen) kontrol grubundaki Fransızlara benzer başarı oranıyla ayırt edebilmiştir. Ayrıca, nokta çokluklarının yaklaşık olarak toplanması istenen basit aritmetik görevlerde de kabile üyeleri kontroller kadar başarılı olmuş; ancak net sonuçları bulmayı gerektiren hesaplama görevlerinde düşük performans göstermiştir (Pica vd., 2004).

Sayısal çoklukların farklı kültür, gelişimsel dönem ve yaşam koşullarına sahip canlılar tarafından benzer biçimde işlemlendiğini gösteren bu çalışmalar, sayı algısı için beyinde paylaşılan bir temsil sisteminin var olduğunu düşündürmektedir. Diğer yandan, karmaşık aritmetik görevlerin bilişsel işlem süreçlerinin yaşanılan kültürün dil özelliklerine daha bağımlı olduğu anlaşılmaktadır. Aritmetik ilişkili bilişsel süreçleri daha iyi anlamak için öncelikle literatürde tanımlanan sayı sisteminden bahsetmemiz gerekir.

Çokluklar, sembolik ve sembolik olmayan şeklinde ikiye ayrılarak incelenmektedir. Sembolik olmayan çokluklar, çeşitli birimlerin (noktaların, elmaların vb.) bir araya gelerek oluşturduğu kümeler şeklinde ifade edilebilir. Örneğin, iki ayrı sepette yer alan elmalardan hangisinin daha çok olduğuna anlık karar verebilmek sembolik olmayan bir çokluk algısı gerektirir. Sembolik olmayan çoklukların algılanmasını sağlayan beyin mekanizmaları “çekirdek sayı sistemi” olarak isimlendirilir. Çekirdek sayı sistemi, küçük çoklukların miktarının anlık ve net olarak algılanmasını sağlayan “kesin sayı sistemi” ile yaklaşık olarak algılanmasını sağlayan “yaklaşık sayı sistemi” gibi iki ayrı sistemi ve ilişkili nöral yapıları kapsar (Feigenson vd., 2004).

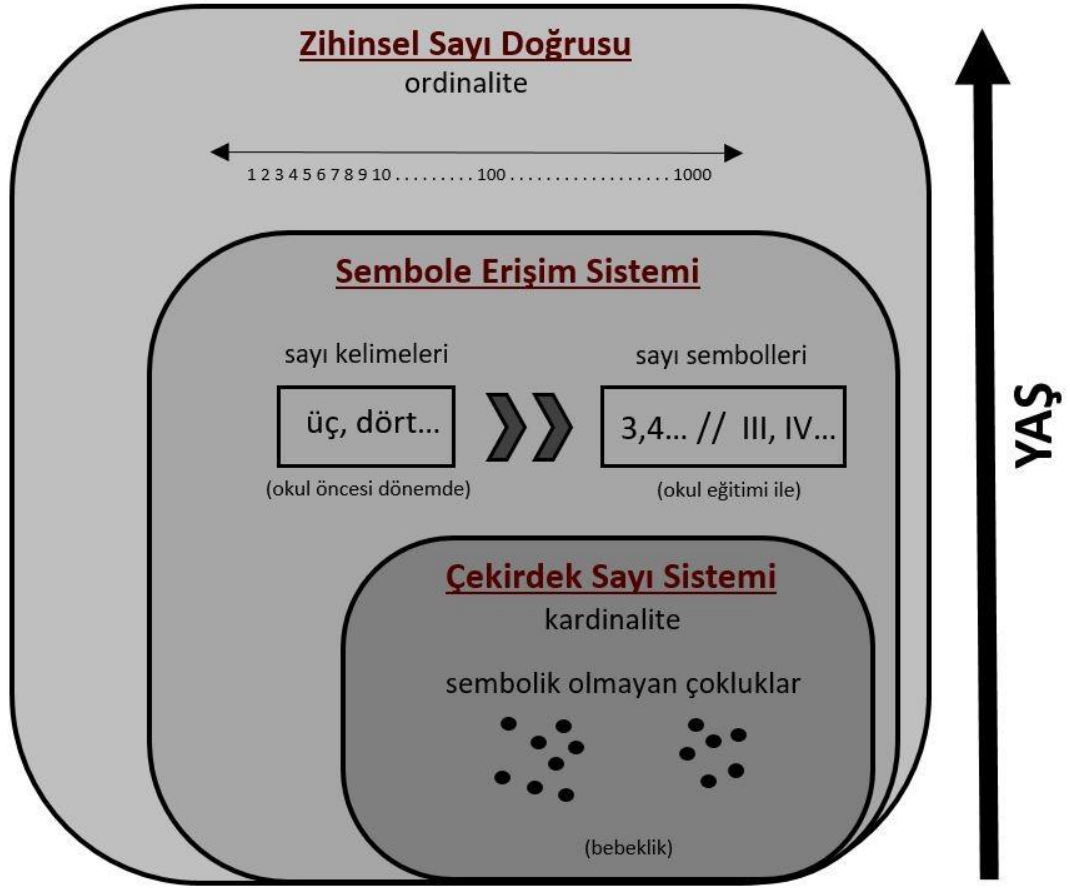
Sembolik çokluklar ise çoklukların sayı sembolleriyle ilişkilendirilerek ifadesidir. Çokluklar miktar olarak arttıkça anlık algılanması zorlaştığından çekirdek sayı sistemi yetersiz kalır. Örneğin; tepeleme dolu bir sepetteki elmaların kesin olarak kaç tane olduğunu bilmek istersek elmaları saymamız gerekir. Eğitim öncesi dönemde çokluklar sayı kelimeleriyle ilişkilendirilirken (örneğin; “bir”, “iki”, “üç”), eğitim süreciyle birlikte karşılık geldikleri sayı sembolleri (örneğin; “1”, “2”, “3”) ile ilişkilendirilerek öğrenilirler (Von Aster & Shalev, 2007). Çoklukların temsil edildikleri sayı sembolleri ile ilişkilendirilerek ifade edilmesinde yer alan beyin mekanizmaları “sebole erişim sistemi” olarak tanımlanır (Şekil 1.1).

Sembolik ve sembolik olmayan çoklukların algılanmasına ilişkin karar süreçlerinde iki temel özelliğin olduğu bilinmektedir. Bu özellikler, *büyüklik etkisi* ve *uzaklık etkisidir* (Titia & Reynvoet, 2015; Üstün vd., 2019). Büyüklik etkisine (size effect) göre sayısal çoklukların büyüklükleri arttıkça birbirinden ayırt edilmeleri zorlaşmaktadır. Maymun ve insanda yapılan çalışmaların sonuçlarına göre büyüklik etkisi beyinde (özellikle intraparyetal sulkusda) nöronal aktivite ayarının (neural tuning) Weber Yasası’na uyması sonucu ortaya çıkmaktadır. Sayılar büyüdükçe nöronların temsil keskinliği belirsizleşmekte yani temsil alanları daha fazla örtüşmektedir (Nieder, 2005; Titia & Reynvoet, 2015). Buna göre; 4 ve 6 sayılarını birbirinden ayırt etmek, 24 ve 26 sayılarını birbirinden ayırt etmeye göre daha kolay

bir görev olarak algılanır. Uzaklık etkisine (distance effect) göre ise çoklukların ayırt edilmesinde ifade ettikleri büyüklüklerin birbirlerine olan mesafelerinden yararlanılır. Çoklukların büyüklükleri bakımından aralarındaki mesafeler azaldıkça temsil alanları daha fazla örtüşmekte ve ayırt edilmeleri zorlaşmaktadır (Gebuis & Reynvoet, 2015; Nieder, 2005). Buna göre; 5 ve 7 sayılarını birbirinden ayırt etmek, 5 ve 21 sayılarının ayırt edilmesine göre daha zor bir görev olarak algılanır.

Çoklukların miktar bakımından özellikleri *kardinalite* ile ilişkili bir bilgidir ve “kaç tane?” sorusunun cevabını verir (Lyons vd., 2016a). Sayısal çokluk algısının gelişimsel süreç içerisinde çekirdek sayı sistemi ile başlayarak, okul döneminde sembole erişim sisteminin kazanımıyla devam ettiği düşünülür (Von Aster & Shalev, 2007). Sayıların kardinalite işleme özelliklerinin üzerine kurulan bir diğer önemli algısal özelliği ise konum ya da sıra bilgilerinin ifadesi olan *ordinalite* özellikleridir ve “kaçıncı?” sorusunun cevabını verir (Lyons vd., 2016).

Beyin hasarı olan hastalarda yapılan çalışmalar, hasarın beyindeki yerine bağlı olarak sayıların kardinalite ve ordinalite özelliklerinin seçici kaybının mümkün olabileceğini göstermiştir. Delazer & Butterworth (1997) yaptıkları çalışmada, sol frontal beyin alanında enfarktüsü bulunan bir hastanın sembolik olmayan çokluk karşılaştırma, sayma ya da sayısal çoklukları sıralama gibi ordinalite ilişkili becerilerinin korunduğunu; ancak sembolik çokluk temsili ya da aritmetik hesaplama gibi kardinalite bilgisinin kullanılması gereken görevleri gerçekleştirmede başarısız olduğunu bulmuştur. Tam tersi bir örüntü, Turconi & Seron (2002) çalışmasında bahsettiği sol posterior parietal ve sağ parieto-okspital junction alan hasarları bulunan bir hastada, sayısal büyüklük temsillerinin görece korunduğu fakat sıralama ilişkili süreçlerinin bozulduğu bir vaka raporunda görülmüştür. Bu sonuçlar, sayıların kardinalite ve ordinalite ilişkili özelliklerinin birbiriyle ilişkili fakat ayrışabilen bilişsel işlem süreçleri olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 1.1. Sayı algısı gelişimi modeli (Üstün vd., 2019).

1.2. Zihinsel Sayı Doğrusu

Çoklukların birbirlerine göre konumlarını içeren sıra bilgisinin hayali bir “*zihinsel sayı doğrusu*” boyunca temsil edildiği düşünülür (Lyons vd., 2016b; Schneider vd., 2009). Sayı ve uzay büyüklüklerinin yakın ilişkisine atıf yapan zihinsel sayı doğrusu, küçük sayısal çoklukların sol tarafta ve büyük sayısal çoklukların sağ tarafta temsil edildiği varsayımsal bir uzaysal düzlemi tasvir eder (Dehaene, 1999). Burada vurgulanması gereken noktalardan biri, zihinsel sayı doğrusunun yönünün içinde yaşanan kültürün dil ve okuma ilişkili özelliklerinden etkilenebildiğidir. Buna göre; sayıların soldan sağa (küçük sayılar solda, büyük sayılar sağda) yönlü bir zihinsel sayı doğrusu boyunca temsili, soldan sağa doğru okuyan kültürler için geçerlidir. Dehaene ve arkadaşlarının (1993) yaptığı bir çalışmada; ana dillerinde sağdan sola doğru yazan İranlı katılımcıların sayısal büyüklük temsillerinin yazı dillerine benzer şekilde sağdan sola doğru (küçük sayılar sağda, büyük sayılar solda) bir zihinsel sayı doğrusu boyunca olduğu bulunmuştur.

Beyinde zihinsel sayı doğrusu temsilinin varlığını destekleyen davranışsal çalışmalar iki temel konuya odaklanır (Nieder, 2005; Schneider vd., 2009). Bunlardan ilki bir önceki bölümde tanımlanan uzaklık etkisi alanında yapılan çalışmaların sonuçlarıdır. Bu çalışmalarda, katılımcılardan iki sayısal değerin hangisinin büyük olduğuna karar vermeleri istendiğinde, sayıların uzaklıklarının azalmasının ayırt edilmeleri için gereken yanıt süresini arttırdığı bulunmuştur (van Oeffelen & Vos, 1982). Tam tersi olarak, sayıların birbirlerinden uzaklıkları artıkça hangisinin daha büyük olduğuna karar vermek kolaylaştığından yanıt süresi de azalmaktadır (Gebuis & Reynvoet, 2015).

Sayı ve uzay büyüklük temsillerinin yakın ilişkisi hakkındaki bildiklerimizin bir kısmı ise *yanıt kodlarının uzaysal-sayısal ilişkisi etkisi* (*Spatial-numerical association of response codes – SNARC*) çalışmalarının sunduğu bulgulardan gelmektedir. Dehaene ve arkadaşlarının (1993) çalışmasında katılımcılardan sayıları sabit bir referans değerine göre sağ ve sol ellerindeki yanıt tuşlarını kullanarak sıralamaları istenmiştir. Bir grup katılımcı, büyük sayıları sağ ve küçük sayıları sol ellerinde bulunan tuşları kullanarak yanıtlamışlardır. Diğer grup katılımcılar ise tam tersi bir yönerge almıştır (büyük sayılar sol el, küçük sayılar sağ el). Çalışmanın sonuçları, sayının sabit referans değerinden büyük olduğu durumda katılımcıların sağ ellerindeki yanıt tuşuyla daha hızlı ve doğru yanıtlar verirken, küçük olduğu durumda sol ellerindeki yanıt tuşuyla daha hızlı ve doğru yanıtlar verdiklerini göstermiştir. Büyük sayıların sağ el uzaysal alanı ve küçük sayıların sol el uzaysal alanı ile ilişkilendirildiği ve çoklukların sayısal yakınlıklarına göre uzaysal organizasyonunu ifade eden bu fenomen SNARC etkisi olarak isimlendirilir (Dehaene vd., 1993).

Sayısal büyüklüklerin farklı düzeylerde işlenmesini sağlayan alt yapı sistemleri “9’un 5’ten büyük olduğunu, 3’ün 2 ve 4 arasında yer aldığını veya $12 + 15$ ’in 96’ya eşit olamayacağını hızla belirleyebilmek” konusunda bizlere yardımcı olur (Dehaene, 2001). Sayısal çoklukların zihinsel sayı doğrusu boyunca temsil edilmesi, otomatik ve etkin bir şekilde işlenmelerini sağlayarak soyut aritmetik ilişkileri anlamayı ve matematiksel kavramların kazanımını mümkün kılmaktadır (Lyons vd., 2016b; Lyons & Beilock, 2011).

Bütün bu bilgiler ışığında; matematik becerisinin gelişimi için sayısal büyüklüklerin farklı düzeylerde işlenmesini sağlayan alt yapı sistemlerinin başarılı bir şekilde kurulması gerektiğini söylemek doğru olacaktır. Bir sonraki bölümde, sembolik ve sembolik olmayan sayısal çokluk temsillerinin aritmetik becerisiyle olan ilişkisinin beyindeki nöral mekanizmaları üzerinde durulacaktır.

1.3. Matematiksel Beceriler İlişkili Nöral Mekanizmalar

Aritmetik gibi çok daha karmaşık bilişsel süreçlerin nöral temellerini anlamak için öncelikle sayısal çokluk işlemlerinin beyindeki mekanizmalarını anlamamız gerekmektedir. Sayısal temsil süreçlerinin nöral temellerini inceleyen çok sayıda araştırma beyinde paryetal alanları sorumlu bölge olarak öne çıkarmaktadır (Menon, Rivera, White, Glover, vd., 2000). Paryetal korteksten yapılan tek hücre kaydı (*single cell recording*) araştırmalarında bu bölgede sayısal çokluklara duyarlı nöronların var olduğu gösterilmiştir (Sawamura vd., 2002). Ayrıca, paryetal korteks lezyonuna sahip hastalarda sayılarla işlem yapma becerisinde bozulmalar (*acalculia*) görüldüğü raporlanmıştır (Lemer vd., 2003).

Paryetal korteksin fonksiyonel organizasyonunu incelemeyi hedefleyen bir beyin görüntüleme araştırmasında işaret etme, kavrama, göz hareketleri, dikkat, dil ve hesaplama gibi farklı bilişsel görevler kullanılmış ve intraparyetal sulkus (İPS) kıvrımının derin kısımlarının sadece hesaplama sırasında aktivasyon gösterdiği görülmüştür (Simon vd., 2002). Bununla birlikte, İPS etkinliğinin hesaplama probleminin zorluğu ve uygulanan çözüm stratejilerinden etkilenebileceği bulunmuştur (Matejko & Ansari, 2019). Bilateral İPS'nin sembolik ve sembolik olmayan sayısal çokluk temsilde aktivasyon gösteren başlıca alan olduğu düşünülmektedir (Dehaene, 2001). Ansari ve arkadaşları (2007) yaptıkları işlevsel manyetik rezonans görüntüleme (iMRG) araştırmasında, sol İPS'nin uyaran formatından (sembolik veya sembolik olmayan) bağımsız olarak çokluk bilgisini temsil ettiği; ancak sağ İPS'nin özellikle sembolik çokluk işlemlemeye duyarlı olduğu ortaya konmuştur. İPS'nin sayısal işleme sürecinde lateralizasyonunu inceleyen bir transkraniyal doğru akım stimülasyonu (*transcranial direct current stimulation – tDCS*) araştırması, sayısal çokluk bilgisinin her iki İPS alanında da temsil edildiğini; ancak çoklukların sayı sembolü ilişkili temsil süreçlerinin sağ İPS lateralizasyonu gösterdiğini ortaya koymuştur (Artemenko, Moeller, vd., 2015a). İPS, sayısal büyüklük işleme sırasında tutarlı olarak aktive olduğu bilinen bir beyin alanıdır. Dahası, matematik öğrenme güçlüğü (*diskalkuli*) gibi gelişimsel anormalliklerde İPS alanında yapısal ve işlevsel farklılaşmalar görüldüğü bilinmektedir (Isaacs vd., 2001; G. R. Price vd., 2007).

Literatürde sayısal çokluk işleme süreçlerini anlamaya odaklanan çok sayıda model açıklanmıştır. Bunlardan en bilineni Dehaene ve arkadaşları'nın öne sürdüğü Üçlü Kod Modeli (*Triple Code Model – TCM*) olmuştur (Dehaene vd., 2003). Üçlü Kod Modeli'ne göre paryetal kortekste yer alan intraparietal sulkus, angular girus ve superior paryetal alanlar sayı

ve matematik ilişkili farklı bilişsel süreçlerden sorumludur. Buna göre; sayıların çokluk temsili bilateral intraparietal sulkus, sayıların sözel temsili sol perisylvian alanlar ile sol angular girus ve sayıların görsel-uzaysal temsili bilateral superior paryetal alanlar görev almaktadır. Modelde sayısal işleme ilişkili süreçlerde temel önem paryetal kortekse atfedilirken, frontal alanların daha çok yürütücü işlevler aracılığıyla hesaplama süreçlerinde destekleyici mekanizmaları temsil ettiği üstünde durulmuştur (Dehaene vd., 2003). Aritmetiksel işlem yapma becerisi içeren özellikle hesaplama gibi görevlerde bilişsel işlevlerin kullanımı gerektiğinden *prefrontal alanlar* aktive olmaktadır (Arsalidou & Taylor, 2011; Hawes vd., 2019; Matejko & Ansari, 2019).

Sonraki dönemde yapılan birçok çalışma aslında frontal alanların ve daha birçok farklı beyin bölgesinin sayısal işleme süreçlerinde önemli roller üstlendiğini göstermiştir. Primatlarda tek hücre kaydı çalışmalarından gelen bulgular, paryetal kortekse benzer şekilde, frontal kortekste de sayısal çokluk temsillerine duyarlı nöronlar olduğunu göstermiştir (Nieder vd., 2002). Nieder & Miller (2004) tarafından maymunlarda yapılan tek hücre kaydı çalışmasında, sayısal çokluklara ilişkin yanıtların öncelikle IPS nöronlarında daha sonrasında prefrontal korteks nöronlarında kaydedildiği bulunmuş; böylece sayısal çokluk bilgisinin temsili akış yönüne dair bir ipucu elde edilmiştir.

Aritmetik her ne kadar karmaşık bir bilişsel işlem süreci olsa da kullandığı temel birimleri sayılardır ve sayıların algılanması ile birbirleri arasındaki bağlantıları incelemeyi içerir. Çocuk ve yetişkin katılımcı gruplarında yapılan fonksiyonel nörogörüntüleme meta-analiz çalışmaları, sayısal işlem süreçleri ve aritmetik ile ilişkili nöral mekanizmaların örtüştüğünü raporlamıştır (Arsalidou vd., 2018; Arsalidou & Taylor, 2011). Buna göre; sayısal çoklukların algılanmasında yer alan beyin alanları aynı zamanda aritmetik hesaplama görevlerinde aktivasyon göstermektedir. Çok sayıda araştırma, sayısal işlemin beyinde *fronto-paryetal* alanlara yayılmış bir ağ yapısında aktivasyon farklılaşmaları oluşturduğunu raporlamıştır (Arsalidou vd., 2018; Sokolowski vd., 2017). Dahası, sayı algısında öne çıkan fronto-parietal ağın bağlantısallık gücünün bireylerin matematik performansı ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Emerson & Cantlon, 2012). Difüzyon tensör görüntüleme (*diffusion tensor imaging* – DTI) çalışmaları; sayı algısı ağında yer alan prefrontal, posterior paryetal ve oksipitotemporal alanlar arası yapısal bağlantısallığı sağlayan superior longitudinal fasikül'ün (*superior longitudinal fasciculus* – SLF) mikroyapısal beyaz madde entegrasyonu ile aritmetik başarı arasında anlamlı pozitif korelasyon bildirmiştir (Tsang vd., 2009; Van Eimeren vd., 2008; Wen vd., 2012).

Sayısal işlem ve aritmetiksel beceriler ile ilişkili bilişsel süreçlerde fronto-paryetal alanlar aktivasyon gösteren başlıca beyin bölgeleri olsa da daha birçok farklı beyin alanı sayısal işleme sürecine katılmaktadır. Sayı algısı literatürüne bakıldığında, çokluk karşılaştırma görevlerinde özellikle görev zorluğu ile ilişkili olarak insular korteks aktivasyonunun görüldüğü raporlanmıştır (Ansari vd., 2005; Üstün vd., 2021). İnsular korteks, aynı zamanda belirginlik ağı (*saliency network*) aracılığıyla aritmetik problem çözme sırasında kontrol sinyallerinin başlatıcısı olarak çalışmaktadır (Menon, 2015). Belirginlik ağında yer alan bir diğer önemli bölge olan singulat korteks de sayısal büyüklük karşılaştırma görevlerinde benzer şekilde bilişsel kontrol ilişkili aktivasyonlar göstermiştir (Mock vd., 2018). Özellikle gelişimsel sayı algısı ve matematik öğrenimi çalışmalarında fusiform girus'ta yer alan sayı tanıma alanı (*number form area – NFA*) da literatürde öne çıkan bir diğer önemli sayısal işlem süreci ilişkili beyin alanı olmuştur (Nemmi vd., 2018; Vatansever vd., 2020).

Özetle, sayı ve aritmetik ilişkili işlem süreçleri merkezinde frontal ve paryetal beyin bölgelerinin olduğu, farklı beyin alanlarının birbiriyle bağlantı kurarak oluşturduğu yayılmış bir ağ yapısı tarafından temsil edilmektedir (Dehaene vd., 2004). Bu ağ yapısında yer alan her bir beyin alanı, aritmetik çözümlemede genel (sayısal büyüklük işleme, çokluk karşılaştırma) ve özel bilişsel faktörlerin (yürütücü işlevler, dikkat, inhibisyon kontrolü, bilişsel esneklik, dil) süreç içerisindeki rolünü yansıtmaktadır.

1.4. Matematik ve Matematik Öğreniminde Pratik Etkisi

Matematik, sembolik çoklukları kullanarak işlem yapabilme becerisi olarak tanımlanabilir (Wikipedia, 2024). Davranış çalışmaları, sayısal çoklukları ayırt etme ve sembolik sayı karşılaştırma başarısı ile matematik performansının ilişkili olduğunu göstermiştir (Chen & Li, 2014; Schneider vd., 2017). Bununla birlikte, sayıların büyüklük temelli sıralama ilişkilerini anlayabilmek matematik başarısı için güçlü bir belirteç olarak görülmektedir (Lyons vd., 2014; Sommerauer vd., 2020). Ancak sadece tek bir faktöre bakarak kişilerin matematik performansı hakkında yorum yapmamız mümkün değildir. Genel popülasyona baktığımızda kişilerin matematik performanslarının birbirinden farklılıklar gösterdiğini görmek mümkündür. Bazı insanlar sayısal görevlerde oldukça başarılı iken, bazı insanlar oldukça zorlanmakta ve daha düşük bir performans ortaya koymaktadır (Vogel & De Smedt, 2021).

Literatürde yer alan araştırmaların toplu sonuçları matematik görevlerinde bireysel farklılıklara yol açan faktörleri “*genel bilişsel faktörler*” (*domain-genel*) ve “*özel bilişsel faktörler*” (*domain-spesifik*) olarak iki ayrı grupta toplamaktadır (Vogel & De Smedt, 2021). Genel bilişsel faktörler; kişilerin hemen her tür görevde performansını etkileyebilecek yürütücü işlev, çalışma belleği, inhibisyon kontrolü, bilişsel esneklik, dil, uzaysal beceriler gibi genel özellikleri ifade eder. Özel bilişsel faktörler ise; spesifik olarak matematik ve sayı ilişkili görevlerde bireylerin performansını etkileyebilecek sayısal çokluk işleme başarısı, matematiksel kavram bilgisi, özgül öğrenme güçlüğü (diskalkuli) veya matematik kaygısına sahip olma durumu gibi kişiye özgü özellikleri ifade eder. Sunulan tez çalışması kapsamında ilerleyen bölümlerde matematik kaygısı ile ilişkili araştırmaların literatürde yer alan sonuçları üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır.

Matematik başarısı yaş, eğitim veya pratik gibi çok farklı durumdan etkilenebilmektedir. Araştırmalar, pratik veya eğitim uygulamalarının beyin ağ yapısında yapısal ve işlevsel değişikliklere yol açabildiğini göstermiştir (Tymofiyeva & Gaschler, 2021). Kişilere karmaşık aritmetik problemleri içeren kısa süreli yoğun pratikler uygulandığında davranışsal performansın arttığı ve beyin aktivasyonlarının değiştiği raporlanmıştır (Ischebeck vd., 2006, 2009).

Sayısal problemlerin pratik edilmesi, aritmetik çözümlerde uzmanlaşmayı ve strateji kullanımında değişiklikleri beraberinde getirir. Nörogörüntüleme çalışmaları, aritmetik çözümlerde uzmanlaşma etkisine bağlı olarak, işlevsel beyin görüntüleme sırasında İPS alanından angular girus/supramarginal girus alanlarına doğru aktivasyon kaymaları gözlemlendiğini bulmuştur (Delazer vd., 2003; Ischebeck vd., 2006; Zamarian vd., 2009). Nöral aktivasyonlarda görülen bu değişiklikler, özellikle aritmetik çözümleme stratejilerinin kullanımında görülen değişimle ilişkilendirilmektedir. Pratik etkisiyle birlikte, hesaplama temelli strateji (*procedural strategies*) kullanımının azaldığı ve aritmetik bilgilerin otomatizasyonuna bağlı olarak hatırlama temelli stratejilerin (*fact-retrieval strategies*) kullanımının arttığı bilinmektedir. Ayrıca, görev karmaşıklıkça (örneğin; $17 - 9 + 5$) veya sayılar büyüdükçe (örneğin; $43 - 27$) aritmetik çözümlerde aktif bir hesaplama yapılırken; kolay ve küçük sayıları içeren hesaplama görevlerinde (örneğin; $2 + 3$) çoğunlukla sonucun hatırlanması temelli bir çözüm stratejisi kullanılmaktadır. Aritmetiğin nöral temellerini inceleyen nörogörüntüleme çalışmaları, karmaşık sayısal görevlerde hesaplama temelli çözümler kullanıldığından daha çok frontal alanların aktive olduğunu; basit sayısal görevlerde

sonuç hatırlama temelli çözümler kullanıldığından daha çok angular girus gibi paryetal alanların aktive olduğunu raporlamıştır (Sokolowski vd., 2022).

Yaşla birlikte de aritmetiksel problemlere ilişkin çözümlerde uzmanlaşma meydana gelmekte ve bu uzmanlaşma sayı algısı ilişkili nöral sistemde değişimlere yol açmaktadır. Yaşa bağlı nöral sistemlerde görülen olgunlaşmanın beyindeki sayı algısı ağında yer alan sol posterior paryetal ve oksipito-temporal korteks alanlarında fonksiyonel uzmanlaşmayı beraberinde getirdiği bilinmektedir (Cantlon vd., 2009; Rivera vd., 2005). Özellikle erken yaşlarda sayısal görevlerde bilişsel süreçlerin (dikkat, çalışma belleği vb.) etkinliğine daha fazla ihtiyaç duyulduğu için frontal alanlarda aktivasyonlar öne çıkmakta; ancak yaşa bağlı olarak aritmetik çözümlerde otomatizasyon kazanılmasıyla frontal alan aktivasyonları yerini paryetal alanlara bırakmaktadır (Ansari vd., 2005; Cantlon vd., 2009). Vogel ve arkadaşlarının (2015) yaptığı nörogörüntüleme çalışmasında gelişimsel sürece bağlı olarak sol İPS alanında sembolik temsillere duyarlılığın artmasıyla birlikte aktivasyonların da güçlendiği bulunmuştur. Aritmetik ilişkili beyin aktivasyonlarında yaşa veya gelişimsel sürece bağlı olarak frontal korteksten paryetal kortekse doğru görülen bu aktivasyon kayması literatürde *fronto-parietal shift theory* olarak isimlendirilmektedir (Ansari vd., 2005; Cantlon vd., 2009). Bununla birlikte, erken dönemde aritmetik bilgilerin sağlamlaştırılması (konsolidasyon) ile başlayan süreçte ortaya çıkan hipokampus aktivasyonu, otomatizasyon sürecinin ileriki dönemlerinde yerini paryetal sistemlerin (angular girus, supramarjinal girus) etkinliğine bırakmaktadır (Menon, 2016). Bu sonuçlar, temelde yaşa ve gelişimsel sürece bağlı olsa da, eş zamanlı olarak öğrenme ve pratik etkisine bağlı ortaya çıkan aritmetik bilgi kazanımındaki artışın beyinde yaygın işlevsel farklılaşmalarla birlikte seyrettiğini göstermektedir.

1.5. Matematik Kaygısı ve Nörogörüntüleme

Matematik kaygısı, aritmetik ve sayısal becerilerin kullanımını gerektiren görevler sırasında (Richardson & Suinn, 1972) ya da öncesinde (Lyons & Beilock, 2012a) bireylerin yaşadığı korku, gerginlik, stres gibi olumsuz duygusal yanıtları ve performans (veya görev başarısızlığı) kaygılarını tanımlamaktadır (Dowker vd., 2016). Sayısal görevler sırasında yaşanan yoğun kaygı, bireylerin gelecek tercihlerinde matematik ağırlıklı akademik etkinliklerden ya da meslek seçimlerinden uzak durmalarına yol açabilmektedir (Cipora vd., 2022).

Matematik kaygısı, literatürde tanımlanan sürekli kaygı veya sınav kaygısı gibi farklı kaygı ilişkili özelliklerle benzerlikler gösterir; ancak ölçüm araçları kendi aralarında yüksek bir korelasyona işaret eder (Dowker vd., 2016). Bu nedenle matematik kaygısı diğer kaygı ilişkili faktörlerden ayrılarak literatürde ele alınmaktadır (Dowker vd., 2016). Matematik kaygısının özgül olarak sayısal görevlerde performansı etkilediği bilinmektedir (Pizzie & Kraemer, 2019). Maloney ve arkadaşlarının (2011) yaptığı iki farklı davranışsal deneyde matematik kaygısının sayısal büyüklük işleme ile ilişkisi araştırılmıştır. İlk deneyde; düşük ve yüksek matematik kaygılı katılımcılardan 1-4 ve 6-9 arasında değişen sayısal uyarıların, 5 referans uyarısından büyük mü küçük mü olduğuna karar vermeleri istenmiştir. İkinci deneyde ise kullanılan sembolik karşılaştırma görevi ve örneklem grubu değiştirilerek, katılımcılardan sunulan iki sayısal uyarıdan hangisinin büyük olduğuna karar vermeleri istenmiştir. Grupların doğru yanıtlar için reaksiyon süreleri karşılaştırıldığında, sayısal uzaklık etkisi matematik kaygısı yüksek olan grupta daha belirgin bulunmuştur. Buna göre; ilk deneyde sorulan sayısal uyarı 5 referans değerine yaklaştıkça ve ikinci deneyde sorulan sayısal büyükler arasındaki uzaklık azaldıkça, yüksek matematik kaygılı kişilerin reaksiyon süreleri düşük matematik kaygılı katılımcılara kıyasla anlamlı olarak daha uzun kaydedilmiştir.

Bazı araştırmalar matematik kaygı düzeyi ile aritmetik performansı, sayısal çokluk algısı ve okuma performansı arasındaki ilişkileri ayrı ayrı incelemiştir. Maldonado Moscoso ve arkadaşlarının (2022) yaptığı çalışmada, matematik kaygısı yüksek bireylerin aritmetik performansı ve sayısal büyüklüklere duyarlılığı daha düşük bulunmuş; ancak okuma performansları anlamlı fark göstermemiştir. Bu sonuç, matematik kaygısının genel performans başarısının genel bir yordayıcısı olmadığını ve sadece aritmetik görevlerine özgü ilişkisel bir faktör olduğunu düşündürmektedir.

Matematik kaygısı yüksek bireylerin çalışma belleği işlem kapasitesinin daha düşük olduğu ve kişilerin çalışma belleğinde görülen bu etkilenmenin kullanılan görev hesaplama temelli işlemler gerektirdiğinde daha belirgin olduğu bulunmuştur (Ashcraft & Kirk, 2001). Özellikle, aritmetik görevlerinde çalışma belleği yükü arttıkça yani görev karmaşıktıkça, matematik kaygısının sayısal görev performansı üzerindeki negatif etkisi daha belirgin olmaktadır (Ashcraft & Krause, 2007; Huber & Artemenko, 2021).

Matematik kaygısının nöral temellerini anlamaya çalışan kısıtlı sayıdaki araştırmaların toplu sonuçlarına baktığımızda henüz tutarlı bilgilere ulaşılamadığı görülür.

Lyons & Beilock (2012b) tarafından bu alanda yapılan öncü bir işlevsel nörogörüntüleme araştırmasında; matematik kaygı düzeyi bakımından farklı ancak sürekli kaygı (trait-anxiety) ve çalışma belleği performansı benzer olan gruplara aritmetik görevi ve kelime görevi verilerek iMRG kaydı alınmıştır. Sonuçlar, matematik kaygısının aritmetik görevi öncesinde posterior insular korteks ve midsingulat korteks aktivasyonlarını (duygusal süreçlerle ilişkili beyin bölgeleridir) ortaya çıkardığını göstermiştir (Lyons & Beilock, 2012b). Aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir diğer iMRG çalışmasında; yüksek matematik kaygılı bireylerde aritmetik görevi öncesinde frontoparyetal ağda yer alan beyin alanlarının (bilateral inferior frontal bileşke, bilateral inferior paryetal korteks, sol inferior frontal girus) aktivasyonu arttıkça aritmetik görevi sırasında hipokampus ve kaudat nükleus aktivasyonunda artış görüldüğü bulunmuştur (Lyons & Beilock, 2012a). Buna göre, aritmetik görevi öncesi bilişsel kontrol ilişkili beyin alanlarının etkinliğine bağlı olarak aritmetik görevi sırasında motivasyonel davranışın arttığı ve matematik kaygısına rağmen aritmetik başarısızlığının kompanse edilebileceği düşünülmüştür (Lyons & Beilock, 2012a).

Matematik kaygı düzeyleri anlamlı olarak farklı olan grupların aritmetik başarıları eşitlendiğinde, yüksek matematik kaygı grubunda sayısal işleme sırasında *default mode network* deaktivasyonunda azalma tespit edilmiştir (Pletzer vd., 2015). Buna göre; matematik kaygısı yüksek olan bireylerin sayısal görevler sırasında başarı gösterebilmek için emosyonel durumlarını düzenlemede daha fazla bilişsel kaynağa ihtiyaç duyuyor olabilecekleri düşünülmüştür. Benzer şekilde, yapılan bir iMRG araştırmasında matematiksel düşünme sırasında prefrontal kortekste aktivasyonun yüksek matematik kaygı grubunda anlamlı olarak daha fazla artış gösterdiği bulunmuştur (Atabek vd., 2022). Bu sonuç, aritmetik görevleri sırasında yüksek matematik kaygı grubunun daha fazla bilişsel kontrol ilişkili beyin alanı etkinliğine ihtiyaç duyduğunu düşündürmüştür. Diğer yandan, emosyonel düzenlemede rol aldığı bilinen dorsolateral prefrontal kortekse tDCS uygulandığında, yüksek matematik kaygılı bireylerde kaygı düzeyi azalarak matematik performansı artmıştır (Sarkar vd., 2014). Ancak aynı prosedür düşük matematik kaygı grubunda tam tersi etkiler ortaya çıkarmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkan bazı araştırmacılar; aritmetik görevlerde yaşanan kaygı ilişkili amigdala ve singulat korteks aktivasyon artışının çalışma belleği ve dikkat süreçlerinde yer alan prefrontal alanların işlem kapasitesini sınırlayarak (ve bazal çekirdekler aracılığıyla), matematik görevleri sırasında ihtiyaç duyulan karar vermeyi daha yavaş ve yanlış yanıtlara yol açacak şekilde olumsuz etkilediğini öne sürmüştür (Moustafa vd., 2020).

Matematik kaygısının beyindeki mekanizmalarını henüz formal eğitimine devam etmekte olan yaşça daha küçük gruplarda inceleyen bazı araştırmalar da literatüre sunulmuştur. Çocuk katılımcıları içeren bir nörogelişimsel araştırmada; matematik kaygı puanı bakımından anlamlı farklılık gösteren ancak IQ (intelligence quotient), sürekli kaygı, çalışma belleği, okuma ve matematik başarıları faktörleri açısından benzer olan gruplar iMRG yöntemiyle karşılaştırılmıştır (Young, 2012). Nörogörüntüleme sonuçlarına göre; matematik kaygısı, aritmetik görevi sırasında sağ amigdalanın basolateral nükleusunda hiperaktivasyonun yanı sıra posterior parietal korteks (intraparietal sulkus, superior parietal lobül) ve prefrontal korteks (dorsolateral prefrontal korteks, ventromediyal prefrontal korteks, premotor korteks) alanlarında deaktivasyon gibi işlevsel farklılaşmalarla karakterize bulunmuştur. Sağ amigdalanın basolateral nükleus aktivasyonu multivoksel patern analiziyle (*multivoxel pattern analysis*) incelendiğinde grupların birbirinden anlamlı olarak ayırt edilebildiği ortaya konmuştur. Ayrıca; yüksek matematik ankiyitesi grubunda sağ amigdalanın kaygı ilişkili ventromediyal prefrontal korteks ile bağlantısallığında artış ve sayısal işleme ilişkili posterior parietal korteks ile bağlantısallığında azalma gözlenmiştir (Young, 2012). İşlevsel farklılaşmalara ek olarak, Kucian ve arkadaşlarının (2018) yaptığı bir yapısal nörogörüntüleme araştırmasında matematik kaygısındaki artışın olumsuz emosyonel yanıtlarla ilişki olan amigdalanın gri madde hacminde azalmayla ilişkili olduğu bulunmuştur.

Aritmetik hesaplama görevlerinin yanı sıra matematik kavram bilgisinin ya da soyut düşünme becerisinin kullanılmasını gerektiren görevler kullanıldığında, matematik kaygısı benzer şekilde görev performansını olumsuz etkilemektedir (Hembree, 1990). Matematik kavram bilgisinin incelendiği çalışmalarda; “*toplama işleminde toplanan sayıların yeri değişse de sonuç değişmez*” gibi aritmetik işlemlerin temel prensiplerine ilişkin önermelerin doğruluğu kişilerce değerlendirilir. Matematik kaygısı düşük ve yüksek olan gruplarda matematik kavram bilgisinin kullanılmasını gerektiren bir iMRG araştırması gerçekleştirildiğinde; aritmetik ilişkili intraparietal sulkus ve emosyonel süreçlerle ilişkili insular korteks alanlarının dinlenme durumu bağlantısallığı (*resting-state functional connectivity*) görev performansı ile ilişkili bulunmuştur (Cui vd., 2023). Buna göre; matematik kaygısında matematik kavram bilgisi görev başarıları arttıkça, nöral yanıtlarda İPS ve insular korteks işlevsel bağlantısallığı daha düşük bulunmuştur.

Aritmetik görevler zorlaştıkça kişiler daha çok kaygılanmaktadır. Sayı algısı araştırmalarından edindiğimiz bilgiler, özellikle matematik kaygısında etkinliği değiştiği bilinen insular korteks ve singulat korteks gibi beyin alanlarının görev zorluğu ile ilişkili

olduğunu göstermiştir (Üstün vd., 2021). Ayrıca, insular korteksin aritmetik görevler sırasında kontrol sinyallerinin başlatıcısı olduğu bulunmuştur (Supekar & Menon, 2012). Pizzie ve arkadaşlarının (2020) yaptığı bir matematik kaygısı nörogörüntüleme araştırmasında farklı yürütücü işlevlerin kullanımını gerektiren bilişsel yükü yüksek ve zor aritmetik görevler kullanılarak hesaplama süreçleri incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, matematik kaygısı puanı yüksek bireylerde, aritmetik görevine başlarken ortaya çıkan İPS aktivasyonunun daha az olduğu tespit edilmiştir. Kaygının ön planda olduğu diğer durumlarda etkili olduğu bilinen bilişsel davranışçı teknikler yüksek matematik kaygılı bireylerde kullanıldığında, kaygının azaldığı ve sayısal işlem performansının arttığı gösterilmiştir. Yüksek matematik kaygılı grupta uygulanan bilişsel davranışçı tekniğe bağlı olarak matematik performans başarısı ne kadar artıyorsa aritmetik ilişkili İPS alanında benzer oranda aktivasyon artışı görülmüştür (Pizzie vd., 2020).

Matematik kaygısında pratik etkisini inceleyen tek işlevsel nörogörüntüleme çalışması yaşça küçük çocuk katılımcılarda yapılmıştır. Supekar ve arkadaşları (2015) tarafından matematik kaygı düzeyi düşük ve yüksek olarak belirlenen çocuk gruplarında yapılan çalışmada, 8 haftalık bilişsel matematik eğitimi uygulanmış ve grupların beyin aktivasyonlarındaki değişimler iMRG yöntemiyle incelenmiştir. Bilişsel matematik eğitiminde, çocuklara aritmetik işleme ilişkin kavram bilgisi ile hızlı sonuç hatırlama ve sayma stratejileri gibi bazı teknikler öğretilerek problem çözme becerilerinin artırılması hedeflenmiştir. Pratik uygulamasından sonra her iki grubun matematik performansı artarak, matematik kaygı düzeyleri azalmıştır. Dahası, pratik etkisiyle yüksek matematik kaygılı grupta sağ amigdala hiperaktivasyonunda azalma görülmüş ve bu aktivasyon azalması kişilerin matematik kaygı düzeylerindeki değişimi yordayabilmiştir. Benzer şekilde, pratik öncesinde yüksek matematik kaygılı grupta görülen artmış bilateral amigdala bağlantısalılığı pratik sonrasında düşük matematik kaygı grubuna benzer şekilde normalize olmuştur (Supekar vd., 2015). Bu sonuçlar matematik kaygısı yüksek olan bireylerde sayısal işlem görevlerinde yer alan bilişsel süreçlerin etkinliğinin artırılmasına bağlı olarak aritmetik performansının da artabileceğini ve bununla ilişkili nöral aktivasyonların düzenlenebileceğini göstermektedir.

Matematik kaygısı alanında yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilere bakıldığında, emosyonel süreçler ve aritmetik başarısı arasındaki ilişkinin tam olarak nasıl şekillendiğini anlamak henüz mümkün değildir. Matematik görevlerinde yaşanan kaygı aritmetik performansını olumsuz yönde etkileyebileceği gibi, düşük aritmetik başarısına sahip olmak da matematik görevlerine ilişkin negatif duyguları ve kaçınma davranışını ortaya çıkarıyor

olabilir. Genel olarak bakıldığında, matematik kaygısı aritmetik performansı ile anlamlı ilişki göstermekte ve kişilerin matematik görevlerine ilişkin kaygısı arttıkça aritmetik performansları düşmektedir (Barroso vd., 2021). Yapılan az sayıda nörogörüntüleme araştırmasının toplu sonuçları; matematik kaygısının emosyonel boyutunun nöral mekanizmalarının ağrı/tehdit algısı ilişkili insular korteks ve korku algısı ilişkili amigdala üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir (Artemenko, Daroczy, vd., 2015). Diğer yandan, matematik kaygısında emosyonel faktörlere bağlı olarak sayısal işleme süreçlerinin etkinliğinde görülen kısıtlanmalar bazı uygulamalara (emosyonel düzenleme, sayısal pratik) bağlı olarak değişebilmektedir (Artemenko et al., 2015). Matematik kaygısı yüksek bireylerin yaşadıkları kaygıyı azaltarak sayısal işlem becerilerinin artırılması, aritmetik başarıları üzerinde olumlu bir etki ortaya çıkarabilir.

1.6. İşlevsel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI)

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), kullandığı manyetik alan aracılığıyla biyolojik dokuların üç boyutlu incelenmesine olanak sağlayan bir görüntüleme yöntemidir (Huettel ve ark., 2008). İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI), nöral aktiviteyle tetiklenen beyin kan akımı oksijenlenme düzeyi değişimlerinin oluşturduğu sinyali temel alan bir MR çekim prosedürüdür.

Nöral aktivite, nöron membranındaki depolarizasyon süreçlerine dayanır. Nöron membranının depolarizasyon sürecinden sonra eski denge haline dönebilmesi adenosin trifosfat (ATP) enerjisiyle çalışan iyon pompaları yardımıyla mümkündür. Oksijenli solunumla ortaya çıkan ATP, nöron aktif bir şekilde çalıştıkça hücrede tüketilir. Aktif olarak çalışan nöronun ATP ihtiyacının karşılanması için kan akımıyla taşınan glukoz ve oksijene ihtiyaç duyulur. Bu durum, beyinde aktif olarak çalışan bölgenin daha fazla enerji tüketmesine, dolayısıyla daha fazla kanla birlikte taşınan glukoz ve oksijene ihtiyaç duymasına neden olur. Oksijen molekülü, kan hücresi içinde yer alan hemoglobine bağlanarak *oksihemoglobin* adını alır. Oksihemoglobin manyetik alan enerjisiyle etkileşime girmez ve bu nedenle diamanyetik bir yapı gösterir. Hemoglobin taşıdığı oksijen molekülünü biyolojik dokuya bıraktığında *deoksihemoglobin* haline gelir. Deoksihemoglobin, paramanyetik bir yapı gösterir ve manyetik alan üzerinde bozucu etki yapar. Manyetik alan enerjisinde deoksihemoglobin kaynaklı görülen bu bozucu etki, MR sinyalinin azalmasına yol açar.

Beyinde bir bölge aktif olarak çalıştığında o bölgede görülen kanlanma miktarı artışına bağlı olarak oksihemoglobin ve deoksihemoglobin miktarlarında değişiklikler görülür. Bu süreçte, ihtiyaçtan daha fazla kan gönderilmesi sonucunda deoksihemoglobin miktarındaki azalma, bu beyin bölgesinden toplanan MR görüntüleme sinyalinin güçlenerek artmasına neden olur. MR sinyali beyinde aktif olarak çalışan bölgenin görüntülenmesinde kullanılır ve kandaki oksijenlenme düzeyi ile ilişkili olduğundan “kan oksijenlenme seviyesine bağımlı” sinyal yani BOLD (Kan Oksijenlenme Seviyesine Bağımlı – *Blood Oxygenation Level Dependent*) sinyali olarak isimlendirilir (Huettel ve ark., 2008). BOLD sinyali; kanlanma, kan hacmi, oksijen tüketimi ve bunların oluşturduğu kanın manyetik özelliklerinin değişimleri gibi bazı fizyolojik süreçlere dayandığı için nöral aktiviteyi dolaylı olarak ölçmektedir. BOLD sinyaliyle ölçülen ve nöral aktiviteye bağlı olarak MR sinyalinde ortaya çıkan değişime hemodinamik yanıt denir. Hemodinamik yanıt BOLD sinyalinde görülen anlık değişimleri gecikmeli olarak yansıtır. Kısa süreli duyuşsal bir uyarı izleyen süreçte kortikal nöral aktivite milisaniyeler içinde başlasa da hemodinamik yanıt 1-2 saniyede ortaya çıkmaya başlar, ardından 4-6 saniye sonra bir zirveye ulaşır ve yavaşça (10 saniye civarında) başlangıç seviyesine geri dönüş gözlemlenir.

İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme, girişimsel bir yöntem olmadığından (non-invaziv) kişiye herhangi bir zararlı etkisi bulunmaz. Beyinde saniye düzeyindeki değişimler hakkında bize bilgi sağlayabildiğinden zamansal çözünürlüğü görece daha zayıf olarak nitelendirilebilir (örneğin milisaniye düzeyinde örneklem alınabilen elektroensefalografiye göre). Diğer yandan, tüm beyindeki aktivasyon değişimlerini milimetre düzeyine kadar incelememize olanak sağlayabildiğinden uzaysal çözünürlüğü oldukça yüksektir. Günümüz beyin temelli araştırmalarında en yaygın olarak tercih edilen yöntem olan iMRG, özellikle bilişsel sinirbilim araştırmalarında öncü buluşlara yol açmış oldukça güçlü bir beyin görüntüleme tekniğidir.

MR araştırmalarında en sık karşılan sorun kapalı alan korkusu olarak adlandırılan klostrofobi yaşayan insanların cihaz içerisine girmekte zorlanmaları ve hatta çoğunlukla reddetmeleridir. Bu durum, kişilerin araştırmadan çekilmelerine sebep olabildiğinden MR araştırmaları açısından kısıtlayıcıdır. Son yıllara baktığımızda MR görüntüleme teknikleri alanında bu konuya çözüm yolları arayışına girildiğini söylemek mümkündür. Bu soruna dair geliştirilen en değerli ve etkili çözümlerden biri Mock MR (Taklit MR) cihazlarının kullanıma geçmesidir. Mock MR, MR cihazının birebir kopyasıdır; hareket eden hasta masası, MR çalışma sesi üretebilen ses sistemi, titreşim simülasyonu, kafa bobini (head-coil) ve tuş takımı

gibi diğer gereçleriyle ile MR cihazına özgü özellikleri taklit eder ancak manyetik alan içermez. MR cihazı oldukça yüksek sesler çıkararak çalışan bir makinedir ve bu durum bazen kişilerin çekim ortamından rahatsız olmasına neden olabilir. Mock MR cihazında katılımcılar MR çekim ortamına ve MR cihazının çalışma seslerine alışabilmektedir. MR çekimi sırasında yaşanan zorluklardan biri de çekim sırasında kişilerin hareketine bağlı olarak oluşan görüntüdeki bozulmalardır. MR çekimi kişilerin mümkün olduğunca hareketsiz bir pozisyonda yatmalarını gerektirmektedir; çünkü en ufak bir hareket MR görüntüsünde çok büyük bozulmalara yol açabilir. Bu durum, katılımcıların MR çekimini zorlaştırmaktadır. Mock MR, katılımcıların yaşadığı MR çekimi sırasındaki hareketsiz kalma sorunu için de yardımcı olmaktadır. Katılımcılar, araştırmada uygulanan prosedüre bağlı olarak, Mock MR cihazı içerisinde bir çalışma periyodundan geçtikten sonra asıl MR çekim seansında daha az zorlanmaktadır. Bu sayede, araştırmada elde edilen verinin kalitesi de artmaktadır.

1.7. Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmalara baktığımızda, matematik kaygısının emosyonel ve bilişsel boyutlarına ilişkin nöral mekanizmaların henüz net bir şekilde ortaya konulamadığını söylemek mümkündür. Bu durum, matematik kaygısının kişilerin günlük hayatlarında ve özellikle eğitim ortamında karşılaştığı sayısal görevlerde yaşadığı zorlukları anlamamızı engellemektedir. Ek olarak, sayısal görevler sırasında yoğun kaygı yaşayan bireylerin eğitim ortamında uygulanan aritmetik öğrenimi sürecinden nasıl etkilendiğini tam olarak anlamak mümkün değildir. Bu çalışma kapsamında literatürde eksik kalan bu soruların üzerine gidilmiştir.

Sunulan tez çalışmasında, matematik kaygı düzeyi anlamlı olarak farklılaşan genç yetişkinlerin sayısal görevler sırasındaki beyin aktivasyonları iMRG yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada, düşük ve yüksek matematik kaygılı iki grup yer almıştır. Gruplar MR çekimine katıldıkları sırada kendilerinden iki farklı sayısal görev yapmaları istenmiştir: *aritmetik görevi* ve *zihinsel sayı doğrusu görevi*. Ayrıca; çalışma kapsamında bir sayısal pratik uygulaması geliştirilmiştir. İlk MR çekimi seansına giren katılımcılar sayısal pratik uygulamasını tamamladıktan sonra ikinci bir MR çekim seansı gerçekleştirmiştir. Böylece, katılımcıların sayısal görevler sırasındaki beyin aktivasyonları pratik öncesi MR ve pratik sonrası MR seansları olmak üzere iki farklı zamanda yapılan iMRG çekimleriyle kaydedilmiştir.

Bu çalışmanın temel amacı, matematik kaygı düzeyi farklılaşan genç yetişkinlerde sayısal görevler sırasında aktivasyon gösteren beyin alanlarında görülebilecek işlevsel farklılaşmaları ortaya çıkarmak; bununla birlikte sayısal ve bilişsel süreçlerin kullanılmasını gerektiren bir pratik uygulamasına bağlı olarak işlevsel yanıtların değişip değişmeyeceğini gruplar arasında ve pratik önce – pratik sonra olmak üzere karşılaştırarak incelemektir.

1.8. Çalışmanın Hipotezleri

Sunulan tez çalışmasının amaçları doğrultusunda belirlenen hipotezleri aşağıdaki şekildedir.

Hipotez 1: Düşük ve yüksek matematik kaygılı grupların matematik başarıları ve pratiğin bu başarıya etkisi farklı olacaktır.

Hipotez 2: Çalışmada kullanılan sayısal görevler, her iki grupta beyinde frontal ve paryetal alanlarda nöral aktivasyonlar ortaya çıkaracaktır.

Hipotez 3: Düşük ve yüksek matematik kaygılı grupların sayısal görevler sırasındaki nöral aktivasyonları fark gösterecektir.

Hipotez 4: Düşük ve yüksek matematik kaygılı grupların sayısal görev ilişkili beyin aktiviteleri pratik öncesi ve pratik sonrası farkı gösterecektir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Psikometrik Veri Toplama Araçları (İnternet Taraması)

Sunulan tez çalışmasının hedeflerinden biri genel popülasyonun matematik kaygı skoru üzerinden bir dağılım oluşturarak çalışmanın düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarını belirlemektir. Bu amaçla, Google Forms üzerinden bir dizi ölçek ve bilgi formunun maddeleri bir araya getirilerek matematik kaygı taraması yapılmıştır. İnternet taramasında yer alan değerlendirme araçları; Sosyodemografik Bilgi Formu, El Tercihi Anketi, Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF), Sürekli Kaygı Ölçeği ve Sınav Kaygısı Envanteri'ni içermiştir. Bu aşamada çalışma internet aracılığıyla çevrimiçi ortamlarda, üniversite kampüslerinde, dersliklerde ve öğrenci gruplarında duyurularak katılımcıların bu formları doldurmaları sağlanmıştır. Sosyodemografik Bilgi Formu yaş, cinsiyet, eğitim süresi (yıl) ve çalışma durumu bilgilerini içermektedir. Diğer değerlendirme araçları aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (EK 1).

2.1.1. El Tercihi Ölçeği

Kişilerin günlük hayatta karşılaştıkları motor davranış kullanımını gerektiren işlerde (örneğin; yazı yazmak, diş fırçalamak, makas kullanmak, kavanoz kapağı açmak) kullandıkları baskın el tercihinin belirlemek için geliştirilmiş olan 13 maddelik bir ölçektir. Chapman & Chapman (1987) El Tercihi Anketi'nin Türkiye örneklemini için geçerlik ve güvenirlik çalışması Nalçacı ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan versiyonu bu çalışmada kullanılmıştır. El tercihi ölçeğinde, sağ el yanıtı "1" puan, sol el yanıtı "3" puan ve her iki el yanıtı "2" puan olarak hesaplanmaktadır. Katılımcılar ölçekten aldıkları toplam puana göre; 13-17 aralığında ise "sağlak", 18-32 aralığında ise "her iki eli", 33-39 aralığında ise "solak" baskın el tercihinin sahip olarak belirlenmektedir (EK 2).

2.1.2. Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF)

Matematik kaygı düzeyi farklılaşan grupları (düşük ve yüksek matematik kaygı grupları) belirlemede, Suinn & Winston (2003) tarafından geliştirilen 30 maddelik likert tipi bir ölçek olan "MARS-SV"nin (Math Anxiety Rating Scale-Short Version) Türkiye örneklemini için geliştirilen versiyonu (Baloğlu, 2010) kullanılmıştır. (Baloğlu, 2010) tarafından geçerlik ve güvenirlik çalışması yapılan Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form

(MKDÖ-KF)’nin Türkiye örnekleme için uygun psikometrik ölçütleri karşıladığı görülmüştür. MKDÖ-KF ölçeğinden alınabilecek en düşük puan “30” ve en yüksek puan “150” şeklindedir. Kişilerin ölçekten aldığı toplam puanının yüksek olması matematik kaygı düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir (EK 3).

2.1.3. Sürekli Kaygı Ölçeği

Spielberger ve arkadaşları (1970) tarafından geliştirilen Spielberger Durumluk/Sürekli Kaygı Ölçeği (STAI)’nin alt boyutlarından biri olan Sürekli Kaygı Ölçeği, katılımcıların genel kaygı düzeylerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sürekli kaygı ölçeği, 20 maddeden oluşan ve 1-4 arasında puanlanan likert tipi bir ölçek olup; ölçekten alınan yüksek puanlar yüksek kaygı düzeyi ile ilişkilendirilmektedir. Sürekli kaygı ölçeğinde, toplam 7 adet ters puanlanan madde (1., 6., 7., 10., 13., 16., 19. maddeler) yer alır. Ters maddelerin puanlaması 4-1 arasında değerlendirilir. Sürekli kaygı ölçeği puanın hesaplanmasında, düz madde puanlarının toplamından ters madde puanlarının toplamı çıkarılarak elde edilen sonuca 35 sabit değeri eklenir. Ölçekten alınabilecek puan 20-80 arasında değişen bir değerdir. Sürekli kaygı ölçeğinin Türkiye örnekleme için geçerlik ve güvenirlik çalışması Öner ve Le Compte (1983) tarafından yapılmıştır (EK 4).

2.1.4. Sınav Kaygısı Envanteri

Spielberger (1980) tarafından geliştirilen Sınav Kaygısı Envanteri; bireylerin yazılı ve sözlü sınavlarda genel olarak nasıl hissettiğinin değerlendirildiği 20 maddeden oluşan ve 1-4 arasında puanlanan likert tipi bir ölçektir. Ölçeğin sadece ilk maddesi ters maddedir ve 4-1 arasında değer alır. Ölçekten alınabilecek en yüksek puan 80 ve en düşük puan 20’dir. Ölçeğin Türkiye örnekleme uyarlama çalışması Öner (1990) ve Albayrak-Kaymak (1985) tarafından yapılmıştır (EK 5).

2.2. Katılımcılar

Sunulan tez çalışmasının katılımcıları için dâhil olma ve dışlama kriterleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Dâhil olma kriterleri şu şekildedir;

- Yaşı 18-30 aralığında olmak,
- En az lise mezunu olmak veya üniversitede eğitim görüyor olmak,
- Herhangi bir nörolojik/psikiyatrik hastalığa sahip olmamak,
- Sağ elini kullanıyor olmak,
- Matematik kaygısını derecelendirme ölçeğinden aldıkları puana göre %35'lik dilimin altında veya %65'lik dilimin üstünde yer almak.

Dışlama kriterleri şu şekildedir;

- Yaşı 18-30 aralığında olmamak,
- Lise mezunu olmamak veya üniversitede eğitim görüyor olmamak,
- Herhangi bir nörolojik/psikiyatrik hastalığa sahip olmak,
- Kalp pili, metalik kalp kapakçığı ve insülin pompası kullanıyor olmak,
- Sol el ya da her iki elini birden kullanıyor olmak,
- Matematik kaygısını derecelendirme ölçeğinden aldıkları puana göre %35 ile %65 dilimleri arasında yer almak.

Matematik kaygısı internet taraması sonuçlarına göre örneklem grubu seçilmiştir. Gerçekleştirilen internet taramasında **toplam 198 gönüllü katılımcıya** ulaşılmıştır. İnternet tarama ölçeğini birden fazla sayıda dolduran kişilerin (üç kişi) tekrarlayan verileri çıkarıldıktan sonra toplamda 195 kişinin verisi çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu kişilerden çalışmanın dâhil olma kriterlerine uygunluğu belirlenen kişiler, araştırmanın gönüllü katılımcı grubunu oluşturmuştur. Matematik kaygı puanı dağılımından hesaplanan kesme noktalarına (cut-off point) bağlı olarak 54 puanın altında kalan bireyler düşük matematik kaygı grubuna (*%0-35 dilim*) ve 70 puanın üstünde kalan bireyler yüksek matematik kaygı grubuna (*%65-100 dilim*) atanmıştır. Çalışmanın dâhil etme kriterlerine uygun olmayan bireyler dışlandığında geriye toplam 92 kişi kalmıştır. Bu kişilerden 51'i düşük matematik kaygı grubuna ve 41'i yüksek matematik kaygı grubuna atanmıştır.

Projenin düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarına giren katılımcılar Nörobilim ve Nöroteknoloji Mükemmeliyet Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (NÖROM) yürütülmekte olan deneylere davet edilmiştir. Sunulan tez çalışması kapsamında iki aşamalı MR çekim seanslarına katılan ve sayısal pratik uygulamasını tamamlayan **toplam 26**

katılımcının (12 erkek ve 14 kadın; yaş=22,65±3,05) verisi incelenmiştir. Çalışma katılımcılarını 14'ü düşük matematik kaygısı (6 erkek ve 8 kadın; yaş=22,86±3,74) ve 12'si yüksek matematik kaygısı (6 erkek ve 6 kadın; yaş=22,42±2,11) gruplarında yer alan kişiler oluşturmuştur. Yapılan istatistiksel incelemede oluşturulan düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının matematik kaygı puanı ortalamaları *t-test* ile karşılaştırıldığında, gruplar arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür ($U=0,000$; $p<0,001$). Tez çalışmasında yer alan 26 katılımcının tamamı pratik öncesi (ilk seans) MR çekimine katıldıktan sonra sayısal pratik uygulamasını tamamlamış ve devamında pratik sonrası (ikinci seans) MR çekimine girmiştir. Böylece her katılımcıdan iki ayrı zamanda (pratik öncesi ve sonrasında) iMRG verileri elde edilmiştir. Katılımcılar her iki MR çekim seansına başlamadan önce toplam 10 dakika süren bilişsel değerlendirmelerden geçirilmiştir. Bilişsel değerlendirmede, katılımcıların çalışma belleği ve dikkat performanslarını incelemek için Wechsler Bellek Ölçeği Geliştirilmiş Formu (*Wechsler Memory Scale-Revised*; WMS-R) bataryasında yer alan Sayı Menzili Testi (İleriye dönük sayı dizisi testi/Geriye dönük sayı dizisi testi) ve sayısal hesaplama performanslarını incelemek için Hesaplama Performansı Testi uygulanmıştır (testler hakkında ayrıntılı bilgi aşağıda verilmiştir). Ayrıca, pratik öncesi MR çekim seansına başlamadan önce, bilişsel değerlendirmesi yapılan katılımcılar 5 dk süren Mock (Taklit) MR seansına alınmıştır (Şekil 2.1). Katılımcıların tamamı çalışmanın amaçları hakkında bilgilendirilmiş ve aydınlatılmış onam formu ile onayları alınmıştır (EK 6).



Şekil 2.1. Taklit MR (Mock MR) cihazı

2.3. Bilişsel Değerlendirme Araçları

2.3.1. WMS-R Sayı Menzili Testi

Çalışma katılımcılarına WMS-R Sayı Menzili Testi'nin ileriye dönük ve geriye dönük olmak üzere iki alt boyutu uygulanarak sayı menzili değerlendirilmiştir. Test, 8 çift rastgele sayı dizisinden oluşmaktadır. İleriye dönük sayı menzili testinde 1 saniye aralıklarla okunan rakamların aynı sırayla kişi tarafından tekrarlanması istenir. Geriye dönük sayı menzili testinde ise 1 saniye aralıklarla okunan rakamların bu sefer sondan başa olacak şekilde tekrarlanması istenir. Sayı menzili testinde, aynı uzunluktaki iki sayı menziline üst üste hata yapılırsa test sonlandırılır. Sayı dizisinde ileriye dönük olarak başarılı bir şekilde hatırlanan rakam sayısının ifade ettiği sayı menzili sürdürülebilir basit dikkat ile ilişkilendirilirken; geriye dönük hatırlama becerisinin gösterdiği sayı menzili sözel çalışma belleği ve karmaşık dikkat performansını yansıtmaktadır (Wechsler ve ark, 1987) (EK 7).

2.3.2. Hesaplama Performans Testi

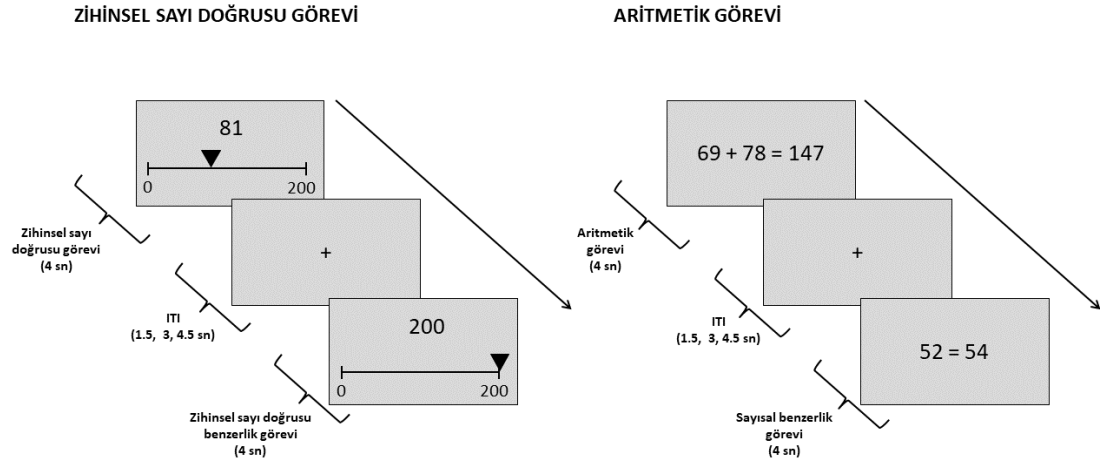
De Vos (1992) tarafından geliştirilen ve Türkçe'ye uyarlama çalışması Olkun ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan Hesaplama Performansı Testi, katılımcıların aritmetiksel işlemlere yönelik hesaplama hızlarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Hesaplama performans testi, her birinde 40 sorunun yer aldığı beş farklı sütundan oluşmaktadır. Her sütun için 1 dakika olmak üzere, toplam 5 dakikalık uygulama süresi içinde verilen doğru yanıt sayısı hesaplama performans testi skorunu oluşturur. Hesaplama performans testi, ilköğretim düzeyi öğrencileri üzerinde geliştirilmiştir. Üniversite öğrencilerinde yapılacak olan bu çalışmada hesaplama performans testinin yetişkin gruplarında uygulandığı çalışmalar örnek alınarak (Silver vd., 2022; Van den Bussche vd., 2020); her bir sütun için verilen süre 1 dakika yerine 30 saniye olacak şekilde kısıtlanarak uygulanmıştır. Yapılan çalışmalarda, hesaplama performans testinin yetişkinler için belirtilen uygulama yaklaşımının yeterli psikometrik ölçütlere ulaşabildiği gösterilmiştir (Van den Bussche vd., 2020) (EK 8).

2.4. Etik Yaklaşım

Çalışma için Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'ndan, 17 Haziran 2021 tarih ve İ6-406-21 karar numarası ile izin alınmıştır (EK 9).

2.5. Deney Dizaynı

Deney paradigmasının kodu MATLAB bilgisayar programı üzerinde çalışan Psychophysics Toolbox (<http://psychtoolbox.org/>) fonksiyonu yardımı ile yazılmıştır. Katılımcılar MR içindeyken cihazın arkasındaki bir LCD ekrandan verilen ve kafa bobinindeki ayna yoluyla görebildikleri uyaranları içeren görevleri yaptıkları sırada işlevsel beyin görüntüleri elde edilmiştir. Sunulan tez çalışmasında iki ayrı sayısal görev türü iMRG çekimi sırasında kullanılmıştır. Bunlar “aritmetik görevi” ve “zihinsel sayı doğrusu görevi”dir. Her bir sayısal görevin kendine ait bir kontrol görevi vardır. Aritmetik görevinin kontrol koşulunda yer alan görev “sayısal benzerlik görevi” ve zihinsel sayı doğrusu görevinin kontrol koşulunda yer alan görev “zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi” olarak isimlendirilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 MR deney paradigması

Aritmetik görevi; sonucu verilmiş, aritmetik işlemlerden birini içeren bir hesaplama sorusunu (toplama, çıkarma, çarpma, bölme) içermektedir. Deney paradigmasında sunulan aritmetik görevlerin yarısı doğru ve yarısı yanlış çözümlenmiş olarak ekrana gelmiştir. Kişilerden istenen aritmetik görevin sonucunun doğruluğunu değerlendirmeleridir. Katılımcılar aritmetiksel işlemin sonucunun doğru veya yanlış olduğuna karar verdikten sonra kendilerine öğretilen uygun tuşlara basarak yanıtlarını vermişlerdir.

Aritmetik görevinin kontrol koşulunda yer alan sayısal benzerlik görevi, ekranda verilen iki sayının eşitliğini değerlendirilmesi gereken bir doğrulama görevi olmuştur. Katılımcılar sayısal benzerlik görevinde ekranda sunulan iki sayı eşitse tanımlanan bir tuşa ve eşit değilse tanımlanan diğertuşa basarak yanıtlarını vermiştir. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevlerinde kişilerin doğru ve yanlış yanıtları ve ayrıca reaksiyon zamanları kaydedilmiştir. Aritmetik görevinde verilen doğru ve yanlış yanıtlar üzerinden her katılımcının yüzde başarı oranı hesaplanmıştır.

Zihinsel sayı doğrusu görevi; ekranda gösterilen hedef sayının, 0 ile 200 arasında ölçeklenen ve üzerinde kenar çizgileri dışında herhangi bir işaret bulunmayan sayı doğrusu üzerinde işaretlenmesini gerektirir. Sayı doğrusu üzerinde bir imleç (cursor) yer almaktadır. Katılımcılar bu imleci uygun tuşlar yardımıyla sağ ve sol yönlerde hareket ettirerek cevap olarak işaretlemek istedikleri konuma gelip üçüncü bir tuş yardımıyla yanıtlarını vermiştir. Bu görevlerde kullanılan hedef sayılar, yarısı 100' ün altında ve yarısı 100' ün üstünde ve rastgele olacak şekilde seçilerek ekrana gelmiştir.

Zihinsel sayı doğrusu görevinin kontrol koşulu olarak oluşturulan zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevinde, ekranda gösterilen 0 ya da 200 sayısının uygun tuşlar yardımıyla işaretlenmesini içermiştir. Kontrol görevinde ekranda sunulan hedef sayılar, yarısı 0 ve yarısı 200 olacak şekilde rastgele seçilmiştir. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevlerinde kişi yanıtlarının yüzde hata oranı ve sapma katsayısı gibi değerleri hesaplanmıştır. Ek olarak, zihinsel sayı doğrusu görevinde kişilerin reaksiyon zamanları da kaydedilmiştir.

Tüm görevler, iMRG çekimi sırasında olay ilişkili dizayn formatında sunulmuştur. Her oturumda 20 aritmetik ve 20 zihinsel sayı doğrusu görev türü olmak üzere toplam 40 uyaran sunumu yer almıştır. Sayısal görevlerin yarısı deney koşulu (aritmetik ve zihinsel sayı doğrusu) ve yarısı kontrol koşulu (sayısal benzerlik görevi ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi) olacak şekilde ayarlanmıştır. Nörogörüntüleme sırasında kullanılacak görev paradigması her biri 40 denemeden oluşan toplam 4 fonksiyonel oturumu içermiştir. Her oturumda 4 koşula ait (aritmetik, zihinsel sayı doğrusu, sayısal benzerlik ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik) 10 deneme yer almıştır. Deney ve kontrol koşulunda yer alan her deneme 4 saniye boyunca ekranda gösterilmiş ve kişiler görev ekrandayken yanıtlarını vermiştir. Oturumlarda yer alan tüm denemeler katılımcılara randomize olarak sunulmuştur. Denemeler arası süre (ITI) boyunca ekranda gösterilen fiksasyon işareti 1,5 - 3 - 4,5 saniye olarak pseudo-random şekilde ayarlanmıştır. Deney paradigmasında yer alan her bir oturum 4 dakika 30 saniye sürmüştür. Çalışmada, toplam 4 işlevsel görüntüleme oturumu yer almıştır.

2.4.1. Ön Davranış Çalışması

Deney paradigmasının yazımı tamamlandıktan sonra 10 kişiden oluşan bir grupta denenerek tasarlanan görevin çalışmanın amacına uygunluğu incelenmiştir. Yapılan analizlerde katılımcıların deney ve kontrol görev performansları karşılaştırılarak aralarında anlamlı bir fark olup olmadığına bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar aritmetik ve zihinsel sayı doğrusu görev türleri için ayrı ayrı incelenmiştir. Aritmetik görevi ile sayısal benzerlik görevi için katılımcıların performans ortalamaları *t-test* ile karşılaştırıldığında yüzde başarı ($t=7,745$; $p<0,001$) ve reaksiyon zamanı ($t=-23,353$; $p<0,001$) değişkenlerinde anlamlı fark olduğu görülmüştür. Buna göre katılımcılar aritmetik görevinde kontrol görevi olan sayısal benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha düşük bir performans ortaya koymuştur. Zihinsel sayı doğrusu görevi ile zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi için katılımcıların performans ortalamaları *t-test* ile karşılaştırıldığında yüzde hata ($t=4,460$; $p<0,001$) ve reaksiyon zamanı

($t=5,234$; $p<0,001$) değişkenlerinde anlamlı fark olduğu, sapma katsayısı değişkeninde de benzer bir eğilim olduğu ($t=-2,091$; $p=0,051$) görölmüştür. Buna göre katılımcılar zihinsel sayı doğrusu görevinde kontrol görevi olan zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha düşük bir performans ortaya koymuş ve daha başarısız tahminlerde bulunmuştur. Davranış çalışması sonuçları deney ve kontrol koşulu görevlerinin amaçlarına uygun olarak çalıştığını göstermiştir.

2.5. Sayısal Pratik Uygulaması

Sayısal pratik uygulaması, katılımcıların kendilerinin seçecekleri bilgisayarlarda ve internet yoluyla uzaktan erişerek yapabilecekleri şekilde tasarlanmıştır. Sayısal pratik uygulamasının teorik alt yapısı, MR görev paradigmasında yer alan aritmetik ve zihinsel sayı doğrusu görevleri temel alınarak yapılandırılmıştır. Bunun için her iki görev türü için de farklı zorluk düzeylerinde sorular üretilmiştir. Aritmetik görev türü için farklı zorluk düzeylerindeki soruları tanımlarken; tamsayılar kümesi üzerinde tanımlanan temel işlemler (toplama, çarpma) ve bu işlemlerin özellikleri olan ve sırasıyla elemanların tanımlandıkları işleme göre terslerini ifade etmede kullanılan çıkarma ve bölme özelliklerinden yararlanılmıştır. Bu aşama, Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik Eğitimi Bölümü'nde öğretim üyesi olan Doç. Dr. Kevser AKTAŞ'ın katkısıyla hazırlanmıştır. Zihinsel sayı doğrusu görev türünde ise farklı zorluk düzeylerinde sorular üretebilmek için sayı doğrusu üzerinde işaretli olarak verilen referans değerler değiştirilerek kullanılmıştır. Buna göre; görevin kolay düzeyinde sayı doğrusu üzerinde 0 – 50 – 100 – 150 – 200 değerleri, orta zorluk düzeyinde 0 – 100 – 200 değerleri ve zor düzeyinde 0 – 200 değerleri işaretli olarak sorular ekrana gelmiştir. Bu sayede sayıların zihinsel sayı doğrusu üzerinde yerleştirilmesinde yardımcı olacak referans değerleri görevin orta ve kolay düzeylerinde arttırılmıştır.

Sayısal pratik uygulamasının teorik alt yapısı tamamlandıktan sonra yazılım aşamasına geçilmiştir. Sayısal pratik uygulamasının yazılımının gerçekleştirilmesi sürecinde Ale Bilişim ve Danışmanlık firmasından kodlama ve web tasarımı desteği alınarak bu kapsamdaki çalışmalar yürütölmüştür. İlk olarak, aritmetik ve zihinsel sayı doğrusu görevlerinin farklı zorluk düzeyleri (kolay, orta, zor) için üretilen sorulardan oluşan bir soru havuzu tanımlanmıştır. Daha sonra, sayısal görevlerde pratik etkisinin gelişimini inceleyebilmek için toplam sekiz farklı seviyeden oluşan uygulama içerikleri belirlenmiştir. Buna göre her bir seviyede yer alan kolay - orta - zor tipte soruların oranları değişmiştir. Her

seviye için uygun orandaki soruların pseudorandom bir şekilde algoritma aracılığıyla var olan soru havuzundan çekilerek pratik uygulama içeriklerinin yapılandırılması hedeflenmiştir.

Seviyeler ve her birinde yer alan kolay - orta - zor tipte soruların oranları aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

- Seviye 1: Kolay %80 Orta %20
- Seviye 2: Kolay %50 Orta %50
- Seviye 3: Kolay %20 Orta %80
- Seviye 4: Kolay %10 Orta %80 Zor %10
- Seviye 5: Orta %80 Zor %20
- Seviye 6: Orta %50 Zor %50
- Seviye 7: Orta %20 Zor %80
- Seviye 8: Zor %100

Katılımcılar sayısal pratik aşamasına geçtiklerinde Seviye 1'den uygulamaya başlamıştır. Her uygulama sonucunda kişilerin puanları ölçülmüş ve %75 üstü başarı gösteren bir sonraki seviyeye atlamıştır. Eğer kişi %75 başarıya ulaşamazsa aynı seviyeden pratiğe devam etmiştir. Sayısal uygulamanın haftada iki defa olmak üzere toplam dört hafta boyunca katılımcılar tarafından pratik edilmesi istenmiştir. Böylece tüm katılımcılar toplam 8 defa sayısal pratik uygulamasını tamamlamış ve davranış verileri (yüzde başarı ve reaksiyon zamanı) kaydedilmiştir. Sayısal pratik uygulamasının anlatılan teorik alt yapısı web tabanlı bir uygulama haline dönüştürülmüştür. Katılımcılar sayısal pratik uygulamasına <https://trainingmath.com/> internet adresi üzerinden oturum açarak erişim sağlamıştır.

2.6. iMRG Çekimi

Çalışmanın iMRG veri toplama aşaması, Nörobilim ve Nöroteknoloji Mükemmeliyet Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (NÖROM) yer alan 3 Tesla Siemens Magnetom Prisma MRI cihazı ve 64 kanallı kafa bobini (head-coil) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, her katılımcı için pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) olmak üzere iki ayrı MR çekim seansı uygulanmıştır. Pratik öncesi (ilk seans) MR çekimine başlamadan önce katılımcılar 5 dakika süren Mock MR çekimine alınarak ortama alışmaları sağlanmıştır. Böylece katılımcıların MR cihazının çalışma seslerinden daha az etkilenmeleri, çekim

sırasında hareketsiz durmaya alışmaları ve MR cihazı kaynaklı kaygılarının azaltılması hedeflenmiştir.

Pratik öncesi (ilk seans) MR çekiminden önce içeride yapacakları deney paradigması katılımcılara anlatılmış ve kısa bir alıştırma yapılarak görevi anladıklarından emin olunmuştur. Kişiler MR cihazı içerisindeyken supin pozisyonunda (sırt üstü) yatırılarak baş kısımlarının üstüne bir kafa bobini yerleştirilmiş ve sağ ellerinin altına bir yanıt cihazı verilmiştir. Deney paradigması uyaran bilgisayarı aracılığıyla MR cihazının arkasında yer alan monitöre yansıtılmıştır. Katılımcılar kafa bobininin üstüne yerleştirilen bir ayna sayesinde deney paradigmasını görebilmiş ve yanıt cihazının uygun tuşlarına basarak yanıtlarını vermiştir.

Pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) MR çekimleri sırasında tüm katılımcılara lokalizer çekim, T1 ağırlıklı anatomik çekim, dinlenme durumu çekimi (resting-state), difüzyon tensör görüntüleme (DTG) çekimi ve dört oturumluk T2 ağırlıklı işlevsel çekim uygulanmıştır. Sunulan tez çalışmasında katılımcıların pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) iMRG verileri analiz edilmiştir, difüzyon görüntüleme ve dinlenme durumu verileri tez çalışması kapsamına girmemektedir. Çalışmada, T1 ağırlıklı anatomik çekimin özellikleri; TR: 2300 ms, TE: 3,01 ms, dilim kalınlığı: 0,9 mm ve voksel büyüklüğü 0,9×0,9×0,9 mm şeklindedir. T2 ağırlıklı işlevsel çekimin özellikleri ise TR: 1000 ms, TE: 28 ms, FOV: 208 mm, dilim sayısı: 48, dilim kalınlığı: 2,5 mm şeklindedir. Böylece işlevsel kayıt sırasında voksel boyutları 2,5×2,5×2,5 mm olmuştur. Her bir T2 ağırlıklı çekim sırasında 259 işlevsel görüntü olmak üzere, dört oturumluk işlevsel çekimin tamamında toplam 1036 iMRG görüntüsü elde edilmiştir. Her bir iMRG oturumu yaklaşık 4 dakika 30 saniye kadar sürmüştür. Çalışmanın diğer MR sekansları (lokalizer, anatomik, dinlenme durumu, DTI) ile birlikte bir katılımcının çekim süresi yaklaşık 1 saat olmuştur.

Çalışmanın pratik öncesi (ilk seans) MR çekimi gerçekleştirildikten sonra, katılımcılar uzaktan ve çevrimiçi olarak sayısal pratik uygulamasına başlamıştır. Sayısal pratik uygulamasını bitiren katılımcılar pratik sonrası (son seans) MR çekimi için bir kez daha NÖROM'a davet edilmiştir. Pratik sonrası (son seans) MR çekimi sırasında uygulanan çekim protokolü pratik öncesi (ilk seans) MR çekiminin parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın MR çekimi aşamasına başlamadan önce 2'si erkek ve 3'ü kadın toplam beş kişiden oluşan bir grupta pilot MR çekimi gerçekleştirilmiş ve toplanan iMRG verileri analiz edilmiştir. Bu ön deneyler sayesinde görev paradigması, çekim sekansları ve sonrasında yapılacak veri analizleri için geliştirme yapılabilmiştir.

2.7. Veri Analiz Yöntemleri

2.7.1. Ölçek Verilerinin Analizi

Çalışmanın matematik kaygı taraması aşamasından elde edilen yaş, eğitim süresi (yıl) ve el tercihi puanı verileri t-testi, cinsiyet verisi Ki-Kare testi kullanılarak gruplar arasında incelenmiştir. Düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının psikometrik ölçüm verileri (sürekli kaygı puanı, matematik kaygı puanı ve sınav kaygı puanı) ve ayrıca bunlara ek olarak MR çekim seansları öncesinde uygulanan bilişsel testlerden elde edilen puanları (hesaplama performans puanı ve sayı menzili skoru) pratik öncesi ve pratik sonrası için 2 (grup) × 2 (seans) ANOVA ile JASP (versiyon 0.18.2.0) programında incelenmiştir.

2.7.2. Sayısal Pratik Uygulaması Verilerinin Analizi

Katılımcılar sayısal pratik uygulamasını internet sitesi üzerinden gerçekleştirdiği sırada reaksiyon zamanı ile doğru ve yanlış yanıt bilgileri toplanmıştır. Sayısal pratik uygulamasının 8 ayrı uygulama periyodu boyunca her katılımcıdan elde edilen veriler üzerinden yüzde başarı oranları ve ortalama reaksiyon zamanları hesaplanmıştır. Düşük ve yüksek matematik kaygı grupları için 8 ardışık uygulama periyodunu içeren performans grafikleri çıkarılmıştır. Ayrıca grupların davranış verileri 2 (grup) x 8 (seviye) tekrarlayan ölçümler için ANOVA analizi kullanılarak JASP (versiyon 0.18.2.0) programında incelenmiştir.

2.7.3. iMRG Davranış Verilerinin Analizi

MR çekimi sırasında deney paradigmasını çalıştıran uyaran bilgisayarı aynı zamanda kişilerin tuşa basarak verdikleri görev ilişkili yanıtları MATLAB aracılığıyla toplamıştır. Aritmetik görevi sırasında katılımcıların verdikleri doğru ve yanlış yanıtlar üzerinden yüzde başarı oranı hesaplanmıştır. Zihinsel sayı doğrusu görevi sırasında katılımcıların yüzde hata oranı ve sapma katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Yüzde hata oranı, gerçek değer ile tahmin edilen değer arasındaki farkın yüzde olarak ifadesidir. Zihinsel sayı doğrusu görevinde yüzde hata oranını hesaplamada kullanılan formül, $Yüzde\ hata = |(hedef\ sayı - sayı\ doğrusu\ üzerinde\ işaretlenen\ sayı) / 200| * 100$ şeklindedir. Sapma katsayısı ise, tahmin edilen değer gerçeğe göre yanlışlığını ifade eder. Sapma katsayısı 0 ile 1 aralığında bir değer olarak hesaplanır ve bu değer 0'a yaklaştıkça sapma katsayısı küçülür. Buna göre; kişinin değerlendirmesindeki

yanlılık azalır, diğer bir deyişle tahminlerinin doğruluğu artar. Zihinsel sayı doğrusu görevinde sapma katsayısını hesaplamada kullanılan formül, *Sapma katsayısı* = $1 - (\text{hedef sayı} / \text{sayı doğrusu üzerinde işaretlenen sayı})$ şeklindedir. Ayrıca, aritmetik ve zihinsel sayı doğrusu görevlerinde kişilerin her bir uyarana sunumuna verdikleri yanıtların reaksiyon zamanı verileri de incelenmiştir.

Toplanan tüm iMRG davranış verileri grup, seans ve görev faktörleri için $2 (\text{grup}) \times 2 (\text{seans}) \times 2 (\text{görev})$ tekrarlayan ölçümler için varyans analizi (ANOVA) ile JASP programında (versiyon 0.18.2.0) incelenmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde çoklu karşılaştırmalar için Bonferroni düzeltmesi uygulanmıştır.

2.7.4. iMRG Verilerinin Analizi

Katılımcıların iMRG verilerinin tüm analiz basamakları (ön işleme, birey analizi ve grup analizi) MATLAB bilgisayar programında çalışan SPM12 (<https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>) paket programıyla gerçekleştirilmiştir.

2.7.4.1. iMRG Verilerinin Ön İşlenmesi

Katılımcıların iMRG verilerinin analize hazırlanması için bir dizi ön işleme basamağından geçirilmesi gerekmektedir. Ön işleme basamakları 6 adımdan oluşmaktadır ve her adım aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Yeniden hizalama (realignment): iMRG verisi çekim sırasındaki en ufak harekete dahi oldukça hassastır ve bu durum beyin görüntülerinde istenmeyen hatalı aktivasyonların görülmesine sebep olabilir. Kafa hareketi başta olmak üzere tüm hareket kaynaklı hataların (nefes alıp verme, tuşa basma) oluşturduğu görüntüdeki kaymaların düzeltilmesi için işlevsel görüntülerin uzaysal olarak hizalaması gerekir. İşlevsel görüntülerin ilk sıradaki beyin görüntüsü temel alınarak uzaysal olarak çakıştırılması işlemine *yeniden hizalama* denir.

Dilim zamanlama (slice timing correction): iMRG yönteminde bir beyin görüntüsünün elde edilmesi bir TR (repetition time) süresi boyunca gerçekleşir. Beyin görüntüsü dilimler halinde ilerleyen bir sırada elde edilir. Bu durum elde edilen ilk ve son dilim arasında ufak da olsa bir miktar zamansal fark yaratır. Ancak iMRG analizlerinde tüm beyin görüntüsünün aynı anda elde edildiği kabul edilir. Bu sebeple, her bir vokselden elde edilen sinyalin zaman

serisinin aynı anda örneklenmişçesine zamansal olarak düzeltilmesi gerekir. İşlevsel görüntülerin genellikle orta beyin görüntüsü gibi bir şablon görüntü temel alınarak zamansal olarak hizalanmasına *dilim zamanlama* denir.

Bağdaştırma (coregistration): Uzaysal ve zamansal olarak hizalanmış işlevsel görüntülerin her bireyin kendisine ait yüksek çözünürlükteki T1 ağırlık görüntüsüyle karşılaştırılması işlemine *bağdaştırma* denir. Böylece işlevsel aktivasyonların anatomik lokalizasyonu mümkün hale gelir.

Bölütleme (segmentation): iMRG analizlerinin düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesi için beyin görüntüsündeki dokuların ve beyin dışı alanların tanımlanması gerekir. Beyin görüntülerindeki beyaz madde, gri madde, beyin omurilik sıvısı, kafatası, kafa derisi ve hava olacak şekilde 6 farklı yapının tanımlandığı bu işleme *bölütleme* denir.

Normalleştirme (spatial normalization): Beyin görüntüleme araştırmalarında çok sayıda katılımcının verisinin ortalaması alınarak genel bir sonuca varılmaya çalışılır. Ancak her katılımcının beyin hacmi ve şekli açısından farklılıklar göstermesi elde edilen sonuçları hataya açık hale getirir. Bu durumun yarattığı sorunu önlemek için tüm katılımcıların beyin görüntüsünün standartlaştırılması gerekir. Beyin görüntülerinin standart bir beyin görüntüsü atlasına yerleştirildiği bu işleme *normalizasyon* denir. Sunulan tez çalışmasının iMRG analizlerinde bu işlem için SPM12 paket programında yer alan MNI (Montreal Neurological Institute) atlası koordinatları kullanılmıştır.

Yumuşatma (smoothing): Beyin görüntüleri belli bir ölçüde yumuşatılarak uzaysal çözünürlükten bir miktar taviz verilerek gürültünün azaltılması hedeflenir. Böylece elde edilen veri normal dağılıma yaklaştığından karşılaştırma yapma imkânı artmış olur. İşlevsel verideki sinyal/gürültü oranının arttırılmasını hedefleyen uzaysal filtreleme işlemine *yumuşatma* denir. Bu çalışma kapsamında iMRG veri analizinde 8 mm FWHM yumuşatma yapılmıştır.

2.7.4.2. Birey Analizi

Ön işleme basamağından çıkan veriler birey analizi (birinci seviye analiz) basamağına alınmıştır. Zihinsel sayı doğrusu görevi sırasında işlev gösteren beyin bölgelerini belirleyebilmek için kontrol koşulu görevi çıkarılarak (zihinsel sayı doğrusu görevi > zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi kontrastı) geriye kalan aktivasyonlar

incelenmiştir. Aritmetik görevi sırasında etkinlik gösteren beyin bölgelerini inceleyebilmek için kontrol koşulu görevi çıkarılarak (aritmetik görevi > sayısal benzerlik görevi kontrastı) geriye kalan aktivasyonlar değerlendirilmiştir. Bireylerin beyin görüntülerinin analizinde SPM12 programında yüklü olan çok boyutlu bir regresyon analiz yöntemi olarak bilinen genel lineer model (GLM) kullanılmıştır. GLM yöntemi, lineer regresyon modelini temel alır:

$$Y = X \cdot \beta + \epsilon$$

GLM modelinde her bir değişkenin ifade ettiği bir değer bulunur. Y değişkeni MR cihazından alınan BOLD sinyalinin bir ifadesi olan matris değeridir. Bu matrisin her bir sütunu bir vokseli ve o vokselde belirli bir zamanda örneklenen veriyi ifade eder. Modeldeki X değişkeni deneydeki bağımsız değişkenleri ifade eden dizayn matrisidir. Dizayn matrisinde katılımcıların görevde gördüğü tüm deney durumlarının ve bunların hangi sırayla görüldüğünün bilgisi yer alır. β değişkeni parametre matrisi olarak bilinir ve her bir görev durumunun ölçülen sinyale ilişkin etkisini diğer bir deyişle ağırlıklı değerini yansıtır. ϵ değişkeni ise modeldeki olası bütün hatalara karşılık gelir.

Dizayn matrisinde yer alan her bir regresör ilgilenilen bir değişkeni modeller ve bu sayede kafa hareketi gibi ilgilenilmeyen regresörlerin veri analizindeki etkisi kontrol edilebilir. Birey analizinde görev faktörleri için belirlenen 2 regresör (aritmetik, zihinsel sayı doğrusu) kullanılarak GLM üzerinden kontrastlar oluşturulmuştur. Görev ilişkili regresörlere ek olarak, kafanın 3 yönde ve 3 düzlemde hareketiyle ilgili toplam 6 dosya da dizayn matrisinde yer almıştır. Çalışma kapsamında toplam 26 kişinin pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) iMRG verilerinde birey analizleri gerçekleştirilmiştir.

2.7.4.3. Grup Analizi

Birey analizi tamamlandıktan sonra elde edilen kontrastlar GLM ile modellenerek grup analizleri (ikinci seviye analiz) gerçekleştirilmiştir. iMRG verilerinin ikinci seviye analizinde, $2 (\text{grup}) \times 2 (\text{seans}) \times 2 (\text{görev})$ ANOVA dizaynında grup düzeyinde analizler tamamlanmıştır. Çalışmada tekrarlı ölçümlerin çoklu karşılaştırmasında $p < 0,05$ düzeyinde düzeltme sağlayabilmek için Monte Carlo simülasyonu kullanılarak 10000 tekrar sonucunda

alınabilecek en düşük küme voksel eşiği elde edilmiştir (Slotnick, 2017). Monte Carlo simülasyonu sonucuna göre aktivasyonların $p<0,05$ anlamlılık ve $p<0,001$ voksel düzeyinde eşik kullanılarak anlamlı kabul edilebilmesi için gereken küme voksel eşiği bu çalışma için $k>51$ olarak bulunmuştur.



3. BULGULAR

3.1. Davranış Bulguları

3.1.1. Sosyodemografik ve Psikometrik Ölçüm Verileri

Düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının yaş ($t=0,361$; $p=0,721$), eğitim süresi (yıl) ($t=-0,128$; $p=0,900$) ve el tercihi puanı ortalamaları ($t=-0,749$; $p=0,461$) t-test ile karşılaştırıldığında aralarında anlamlı fark olmadığı görülmüştür (Çizelge 3.1). Grupların cinsiyet dağılımları Ki-kare testiyle incelendiğinde kadın ve erkek katılımcı sayılarının gruplar arasında benzer olduğu bulunmuştur ($X^2(1)=0,133$; $p=0,716$).

Çizelge 3.1. Matematik kaygı gruplarının sosyodemografik sonuçları (Ort $\pm$ St Sapma)

	Düşük matematik kaygısı (n=14)	Yüksek matematik kaygısı (n=12)	p değeri
Yaş	22,857 $\pm$ 3,739	22,417 $\pm$ 2,109	0,721
Eğitim süresi (yıl)	15,643 $\pm$ 2,468	15,750 $\pm$ 1,658	0,900
El tercihi puanı	13,714 $\pm$ 1,326	14,167 $\pm$ 1,749	0,461
Cinsiyet (Kadın / Erkek)	8 / 6	6 / 6	0,716

Grupların sürekli kaygı, sınav kaygısı, matematik kaygısı, hesaplama performans testi, sayı dizisi testi düz form ve sayı menzili testi ters form gibi psikometrik ölçüm verilerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının psikometrik özellikleri

	Düşük matematik kaygısı (n=14)	Yüksek matematik kaygısı (n=12)
SKÖ pratik önce	48,214 $\pm$ 4,209	48,833 $\pm$ 5,096
SKÖ pratik sonra	46,929 $\pm$ 4,811	48,000 $\pm$ 3,838
SKE pratik önce	31,143 $\pm$ 7,941	37,583 $\pm$ 14,324
SKE pratik sonra	35,071 $\pm$ 8,740	34,083 $\pm$ 13,595
MKDÖ-KF pratik önce	47,071 $\pm$ 5,622	86,167 $\pm$ 15,266
MKDÖ-KF pratik sonra	53,857 $\pm$ 18,309	74,667 $\pm$ 24,039
HPT toplam pratik önce	98,500 $\pm$ 2,378	94,833 $\pm$ 6,820
HPT toplam pratik sonra	98,643 $\pm$ 2,341	96,167 $\pm$ 3,407
WMS-R SMT düz pratik önce	6,000 $\pm$ 0,877	6,083 $\pm$ 0,900
WMS-R SMT düz pratik sonra	6,214 $\pm$ 0,975	6,500 $\pm$ 1,168
WMS-R SMT ters pratik önce	4,357 $\pm$ 1,216	4,583 $\pm$ 0,900
WMS-R SMT ters pratik sonra	4,857 $\pm$ 1,292	5,000 $\pm$ 1,348

SKÖ: STAI – Sürekli Kaygı Ölçeği, SKE: Sınav Kaygısı Envanteri, MKDÖ-KF: Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği-Kısa Form, HPT: Hesaplama Performans Testi, SMT: WMS-R Sayı Menzili Testi

Grupların psikometrikleri ölçüm puanları pratik önce ve pratik sonra zamanları arasında 2 (grup) x 2 (seans) ANOVA ile incelendiğinde; sürekli kaygı puanı ve sayı dizisi düz form puanı için herhangi anlamlı bir sonuç tespit edilmemiştir (Çizelge 3.3). Diğer yandan, matematik kaygı puanı için grup etkisi ve grup*zaman etkileşimi anlamlı bulunmuştur. Grup etkisine göre; pratik öncesi ve pratik sonrasında düşük matematik kaygı grubunun MKDÖ-KF puan ortalaması yüksek matematik kaygı grubundan anlamlı olarak daha düşüktür ($F(1,24)=26,716$; $p<0,001$). Grup*zaman etkileşimine göre; grupların pratik sonrası matematik kaygı puanları arasındaki fark pratik öncesine kıyasla anlamlı olarak azalmaktadır ($F(1,24)=7,920$; $p<0,010$), (Çizelge 3.3, Şekil 3.1). Ek olarak, sınav kaygı puanı için grup*zaman etkileşimi anlamlı bulunmuştur ($F(1,24)=4,947$; $p=0,036$). Ancak, Bonferroni düzeltilmiş post hoc karşılaştırma sonuçları anlamlı bir fark ortaya koymamıştır ($p>0,05$). Bu durum etkileşim etkisinin anlamlılığına rağmen, farkın kaynağının post hoc testlerle belirlenemediğini göstermiştir.

Grupların hesaplama performans testi puanları incelendiğinde grup etkisi anlamlı sonuç göstermiştir ($F(1,24)=4,329$; $p=0,048$). Buna göre; düşük matematik kaygı grubunun hesaplama performans testi ortalaması pratik öncesi ve pratik sonrası için yüksek matematik kaygı grubuna göre anlamlı olarak daha yüksektir. Ayrıca, grupların sayı menzili testi ters form puanları zaman etkisi açısından anlamlı sonuç göstermiştir ($F(1,24)=5,813$; $p=0,024$). Grupların sayı dizisi ters form puan ortalamaları pratik etkisine bağlı olarak artış göstermektedir (Çizelge 3.3, Şekil 3.1).

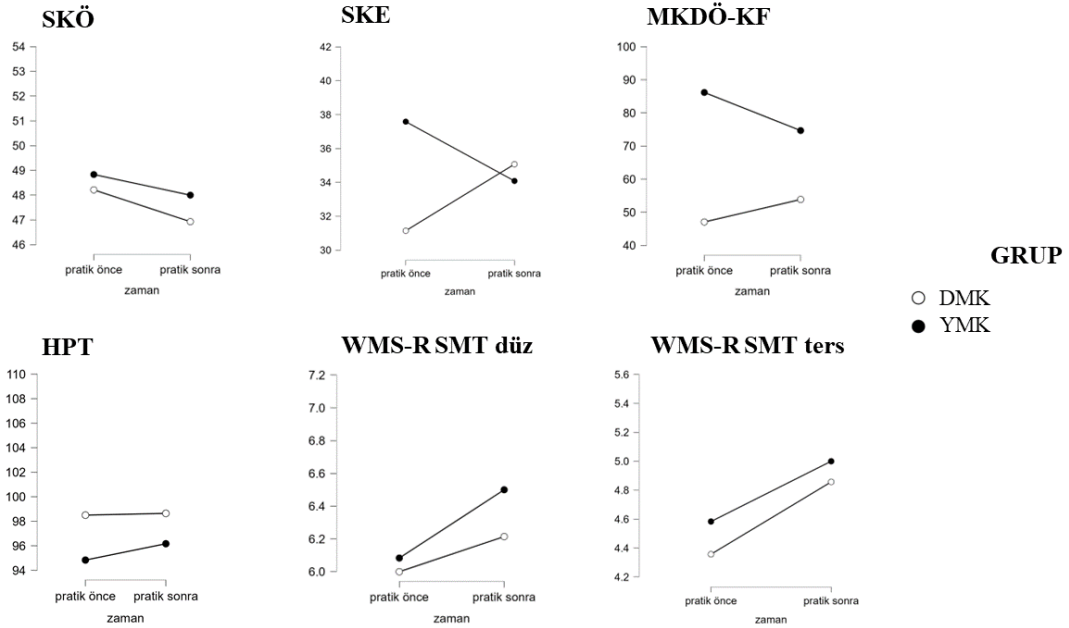
Çizelge 3.3. Grupların pratik önce ve pratik sonra psikometrik ölçümlerine ait ANOVA sonuçları

Faktör		df	F	p	η^2
SKÖ	grup	1	0,338	0,566	0,009
	zaman	1	1,077	0,310	0,014
	zaman * grup	1	0,049	0,827	$6,590 \times 10^{-4}$
SKE	grup	1	0,440	0,513	0,015
	zaman	1	0,016	0,899	$9,305 \times 10^{-5}$
	zaman * grup	1	4,947	0,036	0,028
MKDÖ-KF	grup	1	26,716	<,001	0,439
	zaman	1	0,526	0,475	0,003
	zaman * grup	1	7,920	0,010	0,041

Çizelge 3.3. (Devamı) Grupların pratik önce ve pratik sonra psikometrik ölçümlerine ait ANOVA sonuçları

Faktör		df	F	p	η^2
HPT toplam	grup	1	4,329	0,048	0,133
	zaman	1	1,562	0,223	0,008
	zaman * grup	1	1,016	0,324	0,005
WMS-R SMT düz	grup	1	0,305	0,586	0,009
	zaman	1	2,653	0,116	0,027
	zaman * grup	1	0,273	0,606	0,003
WMS-R SMT ters	grup	1	0,180	0,675	0,006
	zaman	1	5,813	0,024	0,037
	zaman * grup	1	0,048	0,828	$3,072 \times 10^{-4}$

SKÖ: STAI – Sürekli Kaygı Ölçeği, **SKE:** Sınav Kaygısı Envanteri, **MKDÖ-KF:** Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği-Kısa Form, **HPT:** Hesaplama Performans Testi, **WMS-R SMT:** WMS-R Sayı Menzili Testi



Şekil 3.1. Düşük matematik kaygısı (DMK) ve yüksek matematik kaygısı (YMK) gruplarının pratik öncesi ve pratik sonrası psikometrik ölçüm değerleri

SKÖ: Sınav Kaygısı Ölçeği, **SKE:** Sınav Kaygısı Envanteri, **MKDÖ-KF:** Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği-Kısa Form, **HPT:** Hesaplama Performans Testi, **WMS-R SMT düz:** Wechsler Sayı Menzili Testi Düz Form, **WMS-R SMT ters:** Wechsler Sayı Menzili Testi Ters Form

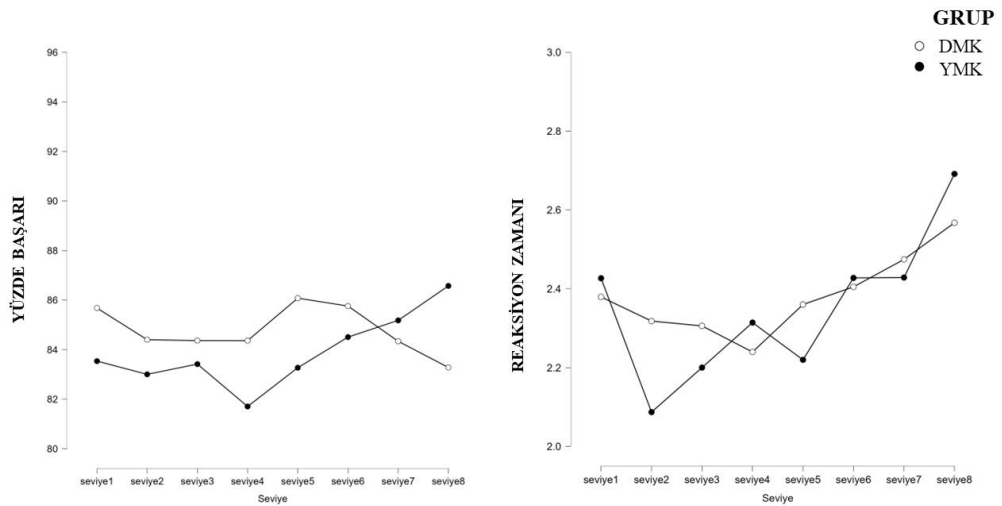
3.1.2. Sayısal Pratik Verileri

Düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının sayısal pratik uygulaması boyunca her seviyede (toplam 8 seviye) elde ettikleri ortalama yüzde başarı ve reaksiyon zamanı verilerine ait tanımlayıcı istatistik sonuçları Çizelge 3.4’te sunulmuştur (Şekil 3.2).

Çizelge 3.4. Sayısal pratik verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

		DMK (N=14)	YMK (N=12)
Yüzde başarı	seviye 1	85,679 ± 2,915	83,538 ± 3,165
	seviye 2	84,401 ± 3,858	83,004 ± 2,597
	seviye 3	84,366 ± 2,522	83,417 ± 3,817
	seviye 4	84,363 ± 3,759	81,706 ± 5,153
	seviye 5	86,079 ± 0,682	83,270 ± 2,494
	seviye 6	85,760 ± 1,973	84,507 ± 4,149
	seviye 7	84,338 ± 6,335	85,182 ± 1,610
	seviye 8	83,281 ± 5,455	86,573 ± 3,651
Reaksiyon zamanı	seviye 1	2,379 ± 0,267	2,427 ± 0,402
	seviye 2	2,318 ± 0,096	2,087 ± 0,395
	seviye 3	2,306 ± 0,172	2,200 ± 0,431
	seviye 4	2,240 ± 0,182	2,314 ± 0,318
	seviye 5	2,360 ± 0,229	2,220 ± 0,428
	seviye 6	2,405 ± 0,179	2,428 ± 0,443
	seviye 7	2,475 ± 0,276	2,429 ± 0,327
	seviye 8	2,567 ± 0,265	2,691 ± 0,472

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, YMK: Yüksek matematik kaygısı grubu



Şekil 3.2 Grupların sayısal pratik uygulaması yüzde başarı ve reaksiyon zamanı ortalamalarının seviyelere göre değişimi.

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, YMK: Yüksek matematik kaygısı grubu.

Grupların sayısal pratik uygulaması yüzde başarı ortalamalarının seviyelere göre değişimi 2 (grup) x 8 (seviye) ANOVA analizi ile incelendiğinde grup ana etkisi ($F(1,8)=0,689$; $p=0,431$), seviye ana etkisi ($F(7,56)=0,429$; $p=0,880$) ve etkileşim etkisi ($F(7,56)=0,861$; $p=0,543$) anlamlı bir sonuç göstermemiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Grupların sayısal pratik uygulaması yüzde başarı verilerinin ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	0,689	0,431	0,016
seviye	7	0,429	0,880	0,037
seviye * grup	7	0,861	0,543	0,074

Grupların sayısal pratik uygulaması reaksiyon zamanı ortalamalarının seviyelere göre değişimi 2 (grup) x 8 (seviye) ANOVA analizi ile incelendiğinde seviye ana etkisi ($F(7,56)=7,551$; $p<0,001$) anlamlı bulunmuştur. Grup ana etkisi ($F(1,8)=0,030$; $p=0,866$) ve etkileşim etkisi ($F(7,56)=1,440$; $p=0,208$) anlamlı bir sonuç göstermemiştir (Çizelge 3.6). Seviye ana etkisi sonuçları incelendiğinde, seviye 8 reaksiyon zamanı ortalaması seviye 2 ($p<0,001$), seviye 3 ($p<0,001$), seviye 4 ($p<0,001$) ve seviye 5'e ($p<0,001$) kıyasla; ayrıca seviye 7 reaksiyon zamanı ortalaması seviye 2'ye ($p=0,022$) kıyasla anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 3.6. Grupların sayısal pratik uygulaması reaksiyon zamanı verilerinin ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	0,030	0,866	0,002
seviye	7	7,551	<,001	0,160
seviye * grup	7	1,440	0,208	0,030

3.1.3. iMRG Davranış Bulguları

Grupların pratik öncesi ve pratik sonrası MR çekimlerinde sayısal görevler sırasında verdikleri davranış yanıtları 2 (grup) x 2 (seans) x 2 (görev) ANOVA kullanılarak analiz edilmiştir. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri için yüzde hata, sapma katsayısı ve reaksiyon zamanı verileri incelenmiştir. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri için yüzde başarı ve reaksiyon zamanı verileri değerlendirilmiştir.

3.1.3.1. Zihinsel Sayı Doğrusu Görevleri Davranış Bulguları

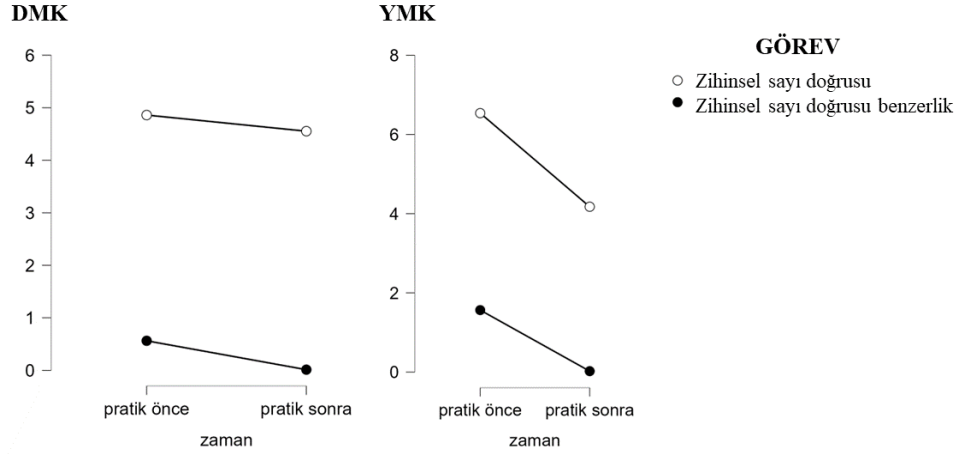
Matematik kaygı gruplarının yüzde hata verilerinin betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 3.7’de sunulmuştur. Yüzde hata değerinin yüksek olması zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevlerinde performans başarısının düşüklüğü anlamına gelmektedir. Yüzde hata verisi için zaman ve görev ana etkisi anlamlı bulunmuştur (Çizelge 3.8). Zaman ana etkisine göre pratik sonrası yüzde hata ortalaması pratik öncesine kıyasla anlamlı olarak düşmüştür ($F(1,24)=9,884$; $p< 0,004$). Görev ana etkisine göre zihinsel sayı doğrusu görevi yüzde hata ortalaması zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha düşüktür ($F(1,24)= 292,571$; $p<0,001$;) (Şekil 3.3).

Çizelge 3.7. Yüzde hata verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Görev	Grup	N	Ortalama	Std Sapma
pratik önce	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	4,860	1,506
		YMK	12	6,539	3,538
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	0,563	1,400
		YMK	12	1,565	2,421
pratik sonra	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	4,553	1,352
		YMK	12	4,175	1,246
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	0,013	0,050
		YMK	12	0,024	0,050

Çizelge 3.8. Yüzde hata verilerinin ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	1,410	0,247	0,010
zaman	1	9,884	0,004	0,042
zaman * grup	1	4,050	0,056	0,017
görev	1	292,571	<,001	0,591
görev * grup	1	0,075	0,786	$1,519 \times 10^{-4}$
zaman * görev	1	0,678	0,418	$6,158 \times 10^{-4}$
zaman * görev * grup	1	2,285	0,144	0,002



Şekil 3.3. Grupların pratik öncesi ve pratik sonrası yüzde hata verileri.

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, **YMK:** Yüksek matematik kaygısı grubu.

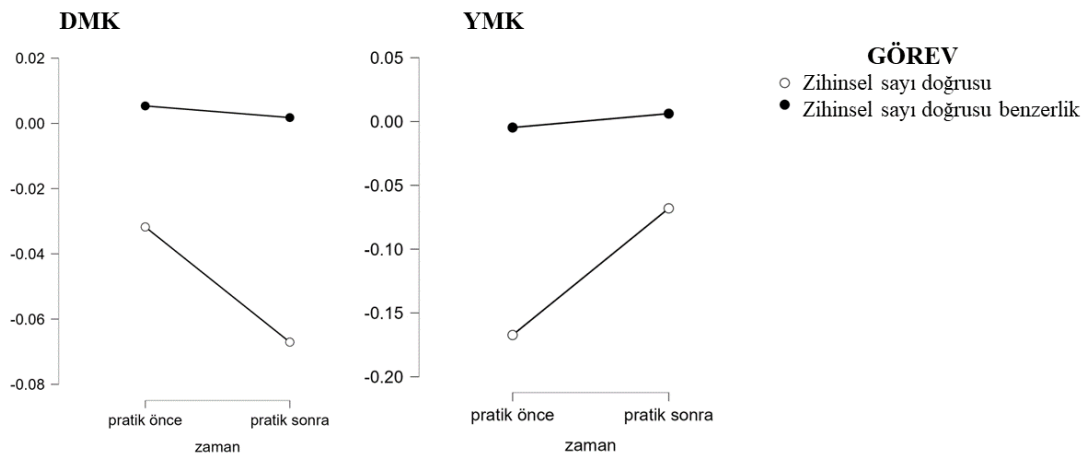
Matematik kaygı gruplarının sapma katsayısı verilerinin betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 3.9’da sunulmuştur. Sapma katsayısı 0 değerine yaklaştıkça zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevlerinde tahmin başarısı artmaktadır. Sapma katsayısı verisi için görev ana etkisi, zaman ve grup etkileşim etkisi, görev ve grup etkileşim etkisi ve üçlü etkileşim etkisi anlamlı bulunmuştur (Çizelge 3.10). Görev ana etkisine göre zihinsel sayı doğrusu görevi sapma katsayısı zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir ($F(1,24)=33,701$; $p<0,001$). Etkileşim etkisi sonuçlarına göre düşük matematik kaygısı grubunun pratik öncesi zihinsel sayı doğrusu görevi sapma katsayısı yüksek matematik kaygı grubuna göre anlamlı olarak daha düşük bulunmuştur ($F(1,24)=10,014$; $p<0,001$). Yüksek matematik kaygısı grubunun pratik öncesi zihinsel sayı doğrusu görevi sapma katsayısı düşük ve yüksek matematik kaygısı gruplarının pratik öncesi ve pratik sonrası zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi sapma katsayısına göre anlamlı olarak daha yüksektir ($F(1,24)=10,014$; $p<0,001$) (Şekil 3.4).

Çizelge 3.9. Sapma katsayısı verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Görev	Grup	N	Ortalama	Std Sapma
pratık önce	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	-0,032	0,071
		YMK	12	-0,167	0,164
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	0,005	0,030
		YMK	12	-0,005	0,068
pratık sonra	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	-0,067	0,078
		YMK	12	-0,068	0,087
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	0,002	0,007
		YMK	12	0,006	0,016

Çizelge 3.10. Sapma Katsayısı verilerinin ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	3,921	0,059	0,036
zaman	1	0,999	0,328	0,009
zaman * grup	1	4,367	0,047	0,039
görev	1	33,701	<,001	0,208
görev * grup	1	4,916	0,036	0,030
zaman * görev	1	2,226	0,149	0,006
zaman * görev * grup	1	10,014	0,004	0,026



Şekil 3.4. Grupların pratık öncesi ve pratık sonrası sapma katsayısı verileri.

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, **YMK:** Yüksek matematik kaygısı grubu

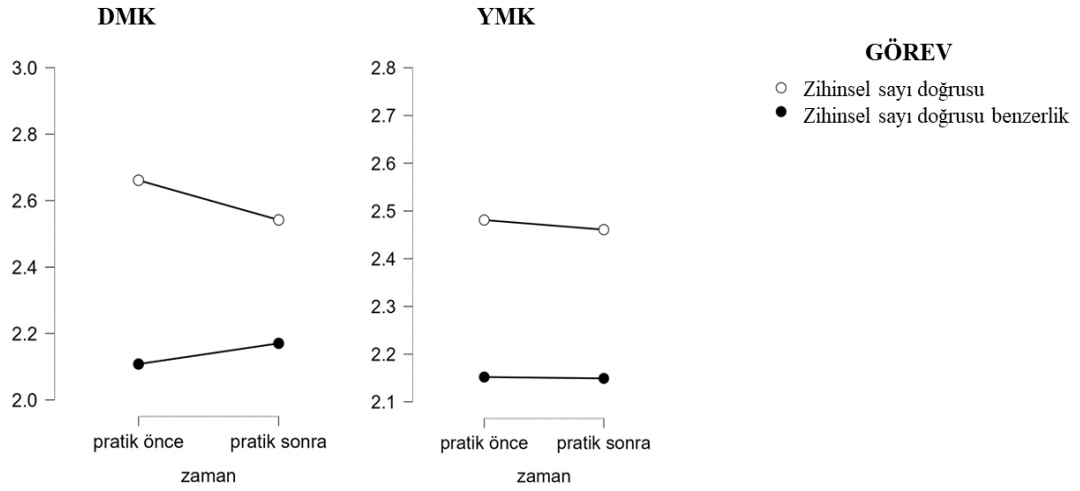
Matematik kaygı gruplarının zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verilerinin betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 3.11’de sunulmuştur. Reaksiyon zamanı değeri arttıkça görev performans başarısı azalmaktadır. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi için görev ana etkisi anlamlı bulunmuştur. Görev ana etkisine göre zihinsel sayı doğrusu görevi reaksiyon zamanı, zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir ($F(1,24)=58,890$; $p<0,001$) (Çizelge 3.12, Şekil 3.5).

Çizelge 3.11. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Görev	Grup	N	Ortalama	Std Sapma
pratik önce	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	2,661	0,329
		YMK	12	2,481	0,474
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	2,108	0,284
		YMK	12	2,152	0,408
pratik sonra	zihinsel sayı doğrusu	DMK	14	2,542	0,407
		YMK	12	2,461	0,369
	zihinsel sayı doğrusu benzerlik	DMK	14	2,170	0,347
		YMK	12	2,149	0,230

Çizelge 3.12. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	0,241	0,628	0,005
zaman	1	0,182	0,673	$6,113 \times 10^{-4}$
zaman * grup	1	0,033	0,857	$1,110 \times 10^{-4}$
görev	1	58,890	<,001	0,235
görev * grup	1	1,939	0,177	0,008
zaman * görev	1	3,252	0,084	0,004
zaman * görev * grup	1	2,219	0,149	0,003



Şekil 3.5. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verileri. **DMK:** Düşük matematik kaygısı grubu, **YMK:** Yüksek matematik kaygısı grubu

3.1.3.2. Aritmetik ve Sayısal Benzerlik Görevleri Davranış Bulguları

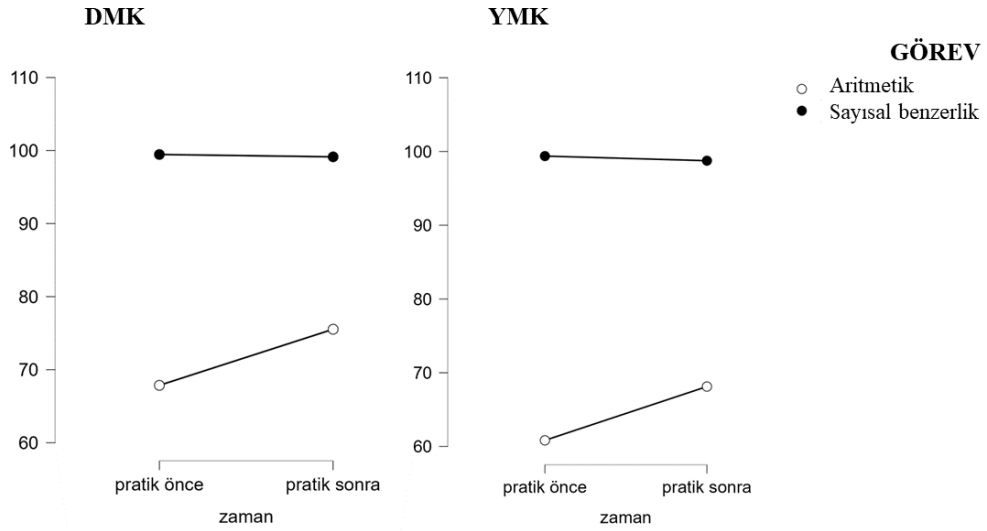
Matematik kaygı gruplarının yüzde başarı verilerinin betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 3.13'te sunulmuştur. Yüzde başarı değeri arttıkça aritmetik ve sayısal benzerlik görevlerinde performans başarıları artmaktadır. Yüzde başarı verisi için zaman ana etkisi, görev ana etkisi, zaman ve görev etkileşim etkisi anlamlı bulunmuştur (Çizelge 3.14). Zaman ana etkisine göre pratik sonrası yüzde başarı ortalaması pratik öncesine kıyasla anlamlı olarak artış göstermektedir ($F(1,24)=7,447$; $p<0,012$). Görev ana etkisine göre sayısal benzerlik görevinde yüzde başarı oranı aritmetik görevine kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir ($F(1,24)=285,017$; $p<0,001$). Zaman ve görev etkileşim etkisine göre pratik sonrası aritmetik görevi yüzde başarı oranı pratik öncesine kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir ($F(1,24)=0,011$; $p<0,001$) (Şekil 3.6).

Çizelge 3.13. Yüzde başarı verilerine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Görev	Grup	N	Ortalama	Std Sapma
pratık önce	aritmetik	DMK	14	67,857	12,855
		YMK	12	60,833	12,355
	sayısal benzerlik	DMK	14	99,464	1,065
		YMK	12	99,375	1,554
pratık sonra	aritmetik	DMK	14	75,536	8,725
		YMK	12	68,125	12,346
	sayısal benzerlik	DMK	14	99,143	1,834
		YMK	12	98,750	1,685

Çizelge 3.14. Yüzde başarı verilerinin ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
Grup	1	3,390	0,078	0,011
zaman	1	7,447	0,012	0,010
zaman * grup	1	0,018	0,894	$2,334 \times 10^{-5}$
görev	1	285,017	<,001	0,757
görev * grup	1	3,586	0,070	0,010
zaman * görev	1	0,011	0,004	0,012
zaman * görev * grup	1	39,046	0,987	$3,399 \times 10^{-7}$



Şekil 3.6. Grupların pratık öncesi ve pratık sonrası yüzde başarı verileri.

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, **YMK:** Yüksek matematik kaygısı grubu

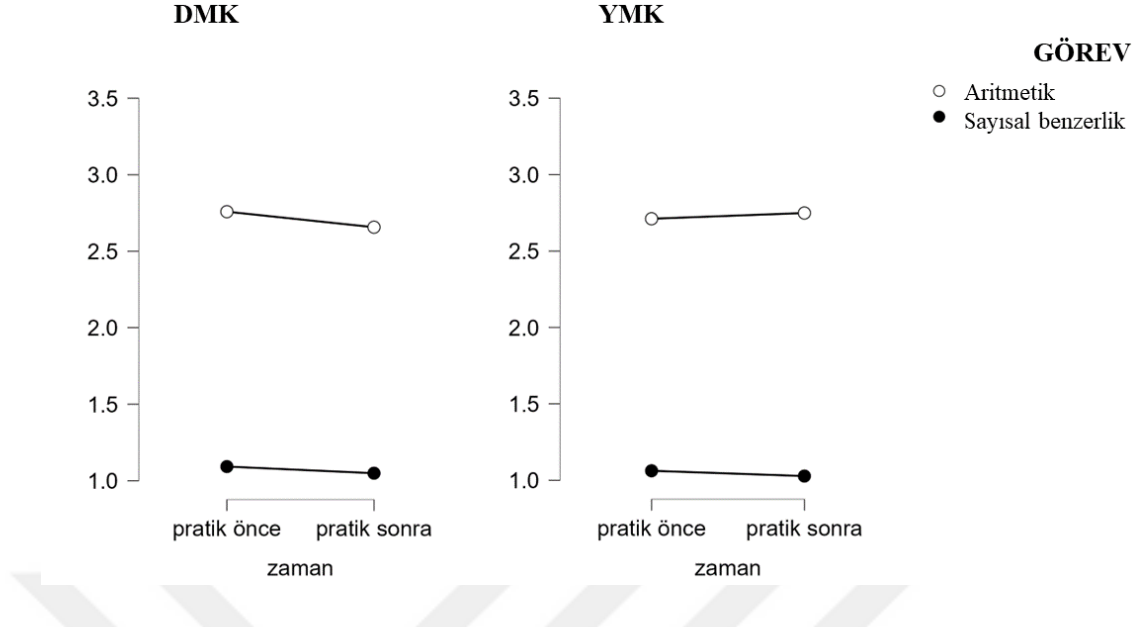
Matematik kaygı gruplarının aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verilerinin betimleyici istatistik sonuçları Çizelge 3.15'te sunulmuştur. Reaksiyon zamanı değeri arttıkça görev performans başarısı azalmaktadır. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi için görev ana etkisi anlamlı bulunmuştur. Görev ana etkisine göre aritmetik görevi reaksiyon zamanı, sayısal benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha yüksek bulunmuştur ($F(1,26)=565,715$; $p<0,001$) (Çizelge 3.16, Şekil 3.7).

Çizelge 3.15. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisine ait tanımlayıcı istatistikler

Zaman	Görev	Grup	N	Ortalama	Std Sapma
pratik önce	aritmetik	DMK	14	2,758	0,386
		YMK	12	2,711	0,528
	sayısal benzerlik	DMK	14	1,092	0,184
		YMK	12	1,062	0,229
pratik sonra	aritmetik	DMK	14	2,657	0,403
		YMK	12	2,749	0,430
	sayısal benzerlik	DMK	14	1,049	0,139
		YMK	12	1,028	0,165

Çizelge 3.16. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verisi ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	p	η^2
grup	1	$2,863 \times 10^{-4}$	0,987	$8,549 \times 10^{-7}$
zaman	1	0,688	0,415	$3,953 \times 10^{-4}$
zaman * grup	1	0,749	0,395	$4,305 \times 10^{-4}$
görev	1	565,715	<,001	0,868
görev * grup	1	0,118	0,734	$1,819 \times 10^{-4}$
zaman * görev	1	0,011	0,917	$3,776 \times 10^{-6}$
zaman * görev * grup	1	0,985	0,331	$3,329 \times 10^{-4}$



Şekil 3.7. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri reaksiyon zamanı verileri.

DMK: Düşük matematik kaygısı grubu, **YMK:** Yüksek matematik kaygısı grubu

3.2. iMRG Bulguları

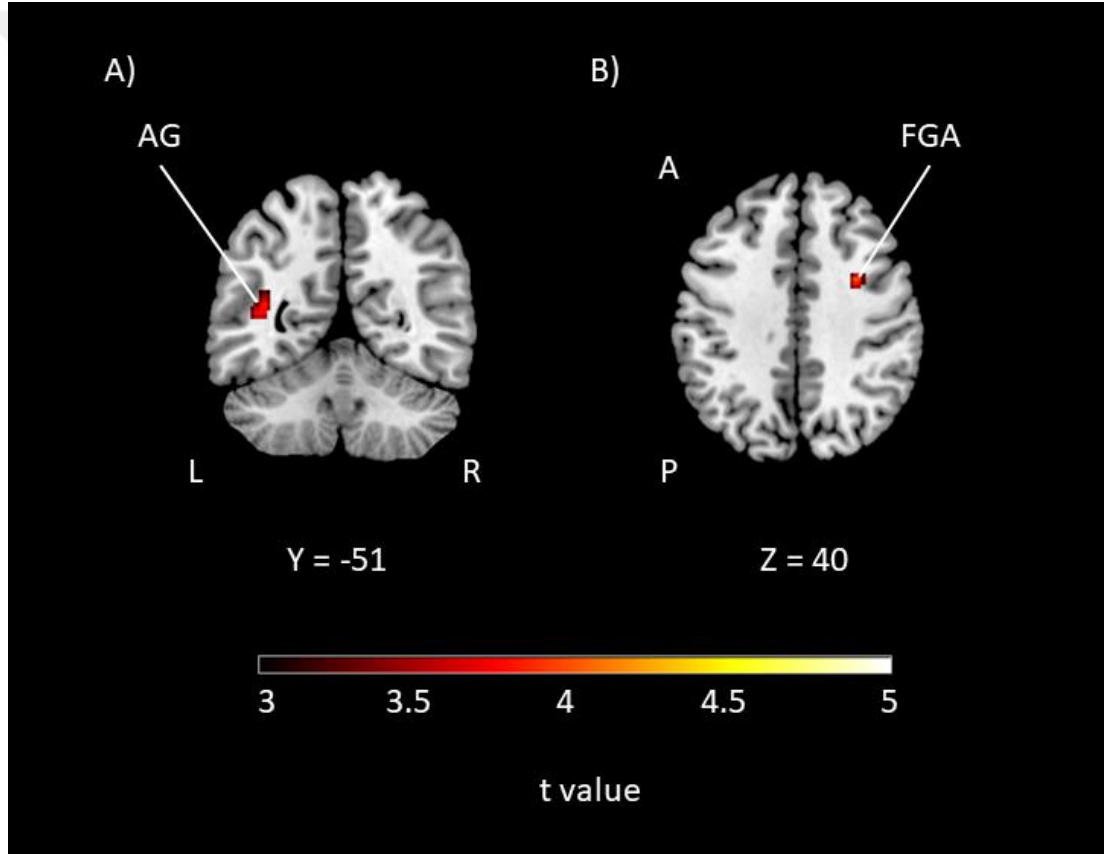
iMRG verilerinin ikinci düzey analizinde 2 (grup) x 2 (seans) x 2 (görev) ANOVA dizaynında beyin aktivasyon sonuçları incelenmiştir. Monte Carlo simülasyonu uygulanarak, $p < 0,001$ voksel düzeyinde eşik kullanılarak elde edilen sonuca göre $k > 51$ birbirine bitişik voksel kümesi çoklu karşılaştırmalar için $p < 0,05$ düzeyinde düzeltme sağlamıştır ve tez çalışmasında sunulan sonuçlar bu şekilde rapor edilmiştir (Slotnick, 2017).

3.2.1. Grup etkisi sonuçları

Gruplar arası beyin aktivasyon sonuçları incelendiğinde düşük matematik kaygısı grubunda yüksek matematik kaygısı grubuna kıyasla (DMK > YMK) sol angular korteks aktivasyonu olduğu görülmüştür (Çizelge 3.17, Şekil 3.8A). Tam tersi yönde bir grup karşılaştırması yapılarak elde edilen sonuçlara göre; yüksek matematik kaygısı grubunda düşük matematik kaygısı grubuna kıyasla (YMK > DMK) sağ frontal göz alanı aktive olmaktadır (Çizelge 3.17, Şekil 3.8B).

Çizelge 3.17. Grup etkisi iMRG sonuçları

Beyin Bölgesi	Küme Büyüklüğü	Lateralite	MNI Koordinatları			Z-skoru
			X	Y	Z	
DMK > YMK						
Angular girus	72	L	-40	-54	10	3,78
YMK > DMK						
Frontal göz alanı	62	R	32	4	42	4,27



Şekil 3.8. Düşük ve yüksek matematik kaygı grupları arasındaki aktivasyon farkı

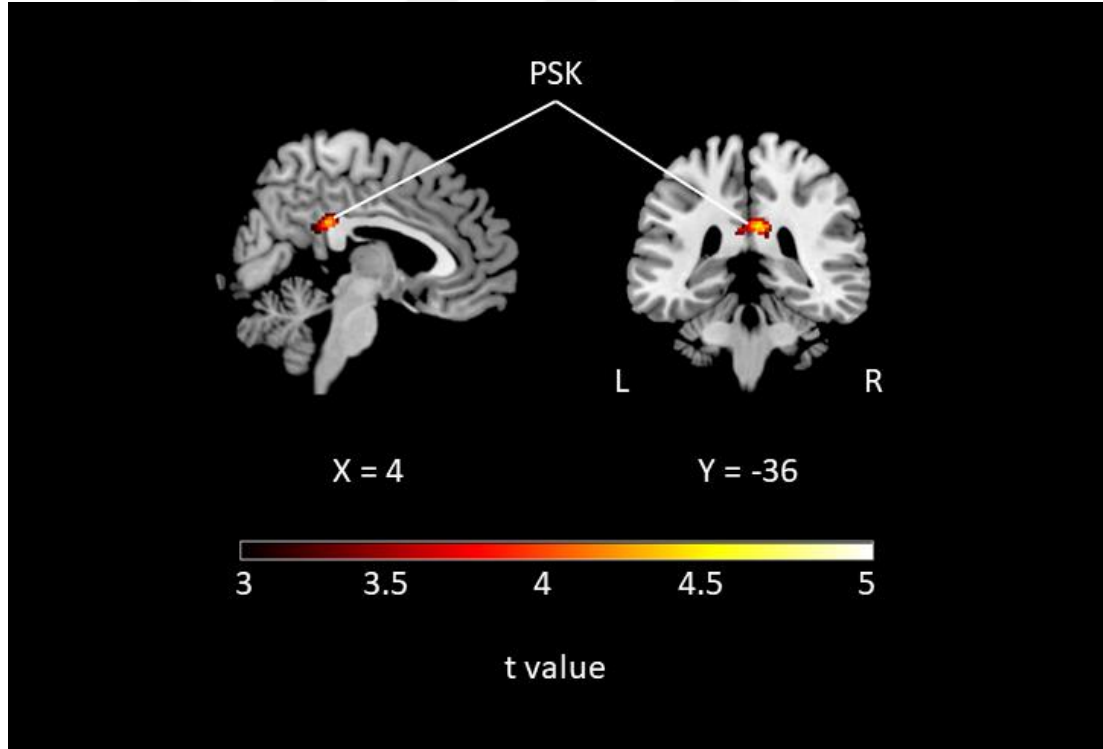
A) Düşük matematik kaygısı grubu aktivasyonları. **B)** Yüksek matematik kaygısı grubu aktivasyonları. **AG:** Angular Girus; **FGA:** Frontal Göz Alanı; **L:** Sol (Left); **R:** Sağ (Right); **A:** Anterior; **P:** Posterior.

3.2.2. Pratik Etkisi Sonuçları

iMRG çekim seansları arası beyin aktivasyon farkları incelendiğinde, pratik sonrasında pratik öncesine kıyasla bilateral posterior singulat korteks aktivasyonu ortaya çıkmıştır (Çizelge 3.18, Şekil 3.9).

Çizelge 3.18. Pratik etkisi iMRG sonuçları

Beyin Bölgesi	Küme Büyüklüğü	Lateralite	MNI Koordinatları			Z-skoru
			X	Y	Z	
Pratik sonra > Pratik önce						
Posterior singulat korteks	220	Bilateral	8	-36	26	4,22



Şekil 3.9. Pratik sonrasında gözlenen aktivasyonlar.

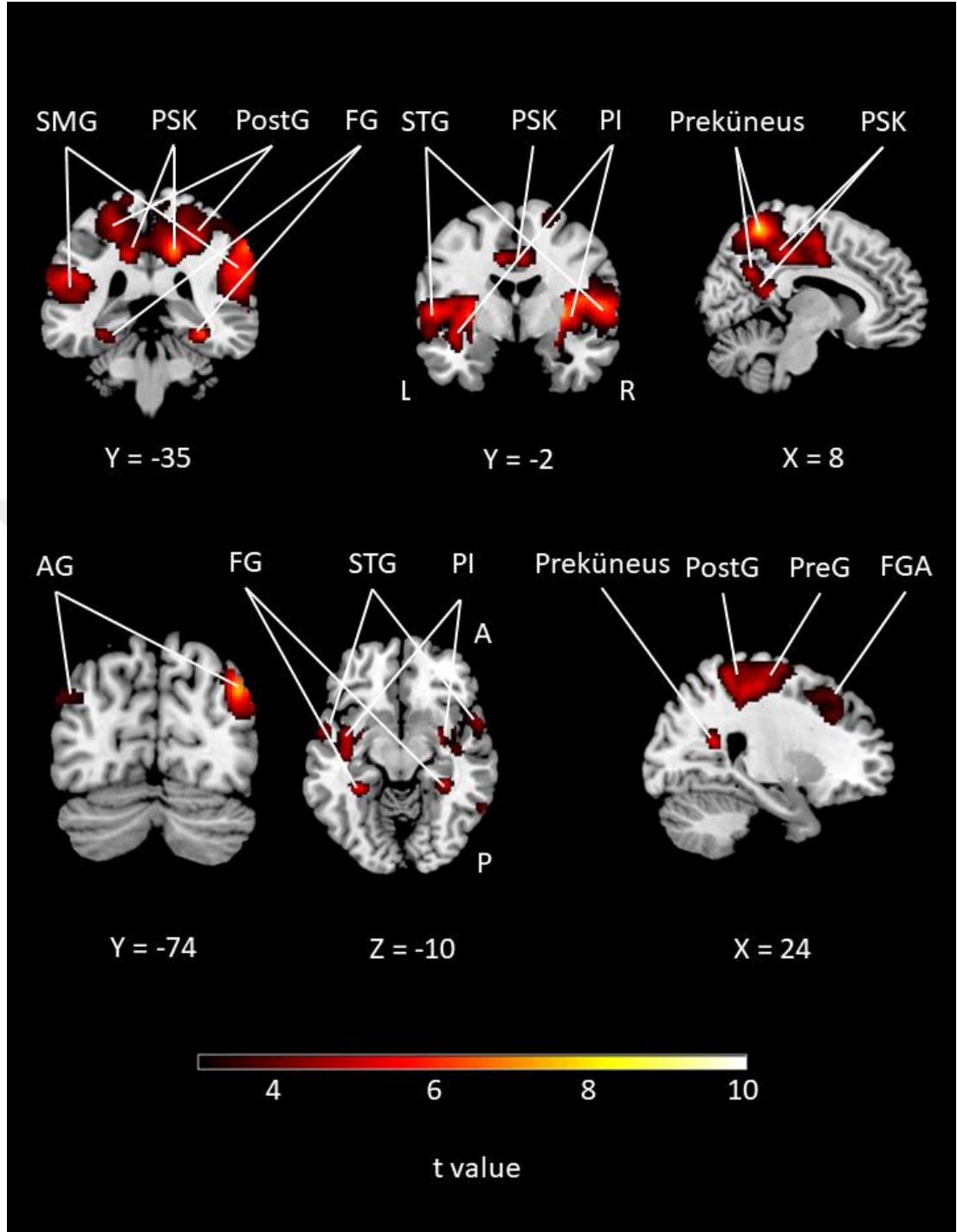
PSK: Posterior Singulat Korteks; **L:** Sol (Left); **R:** Sağ (Right).

3.2.3. Görev Etkisi Sonuçları

Sayısal görevler arasında yönlü karşılaştırma yapılarak (zihinsel sayı doğrusu > aritmetik kontrastı) beyin aktivasyon farkları incelendiğinde; zihinsel sayı doğrusu görevinde bilateral supramarginal girus, bilateral preküneus, bilateral posterior singulat korteks, bilateral precentral girus, bilateral postcentral girus, bilateral superior temporal girus, sağ inferior frontal junction, bilateral posterior insula, bilateral angular girus, bilateral fusiform girus ve sağ frontal göz alanında aritmetik görevine kıyasla yaygın aktivasyonlar görülmüştür (Çizelge 3.19, Şekil 3.10).

Çizelge 3.19. Zihinsel sayı doğrusu görevi iMRG sonuçları

Beyin Bölgesi	Küme Büyüklüğü	Lateralite	MNI Koordinatları			Z-skoru
			X	Y	Z	
Zihinsel sayı doğrusu > Aritmetik						
Supramarginal girus	20336	Bilateral	62	-26	26	> 8
Preküneus		Bilateral				
Posterior singulat korteks		Bilateral				
Precentral girus		Bilateral				
Postcentral girus		Bilateral				
Superior temporal girus		Bilateral				
İnferior frontal junction		R				
Posterior insula		Bilateral				
Angular girus	879	Bilateral	42	-74	34	6,60
Fusiform girus	173	Bilateral	32	-34	-14	5,83
Frontal göz alanı	443	R	28	28	36	4,28



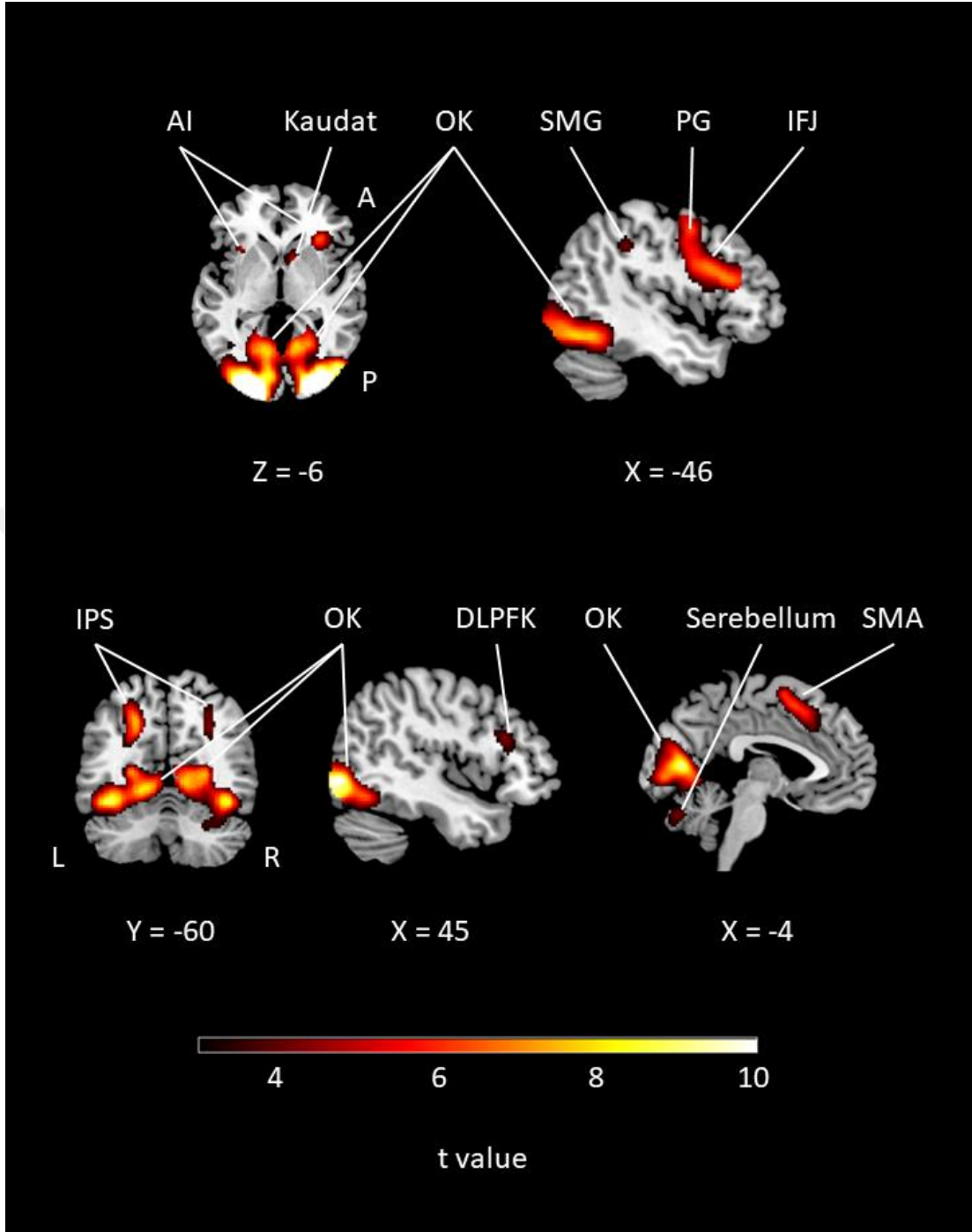
Şekil 3.10. Zihinsel sayı doğrusu görevinde gözlenen aktivasyonlar.

SMG: Supramarginal Girus; **PSK:** Posterior Singulat Korteks; **PostG:** Postcentral Girus; **FG:** Fusiform Girus; **STG:** Superior Temporal Girus; **PI:** Posterior İnsula; **AG:** Angular Girus; **PreG:** Precentral Girus; **FGA:** Frontal Göz Alanı; **L:** Sol (Left); **R:** Sağ (Right); **A:** Anterior; **P:** Posterior.

Ters yönde bir karşılaştırma yapıldığında (aritmetik > zihinsel sayı doğrusu kontrastı); aritmetik görevinde bilateral oksipital korteks/intraparyetal sulkus, bilateral anterior insula, sol inferior frontal junction/precentral girus, sol premotor/suplementer motor korteks, bilateral dorsolateral prefrontal korteks, sağ kaudat nükleus, sağ serebellum ve sol supramarginal girusa zihinsel sayı doğrusu görevine kıyasla aktivasyonlar olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 3.20, Şekil 3.11).

Çizelge 3.20. Aritmetik görevi iMRG sonuçları

Beyin Bölgesi	Küme Büyüklüğü	Lateralite	MNI Koordinatları			Z-skoru
			X	Y	Z	
Aritmetik > Zihinsel sayı doğrusu						
Oksipital korteks/ Intraparyetal sulkus	18478	Bilateral	-18	-98	-4	> 8
Anterior insula	667	Bilateral	32	26	-8	7,17
İnferior frontal junction/Precentral girus	2133	L	-42	18	22	6,76
Premotor/Suplementer motor korteks	1066	L	-4	8	54	5,73
Dorsolateral prefrontal korteks	307	Bilateral	42	26	20	4,54
Kaudat nükleus	60	R	10	12	0	4,46
Serebellum	79	Bilateral	24	-70	-50	4,32
Supramarginal girus	63	L	-46	-38	38	3,91



Şekil 3.11. Aritmetik görevinde gözlenen aktivasyonlar.

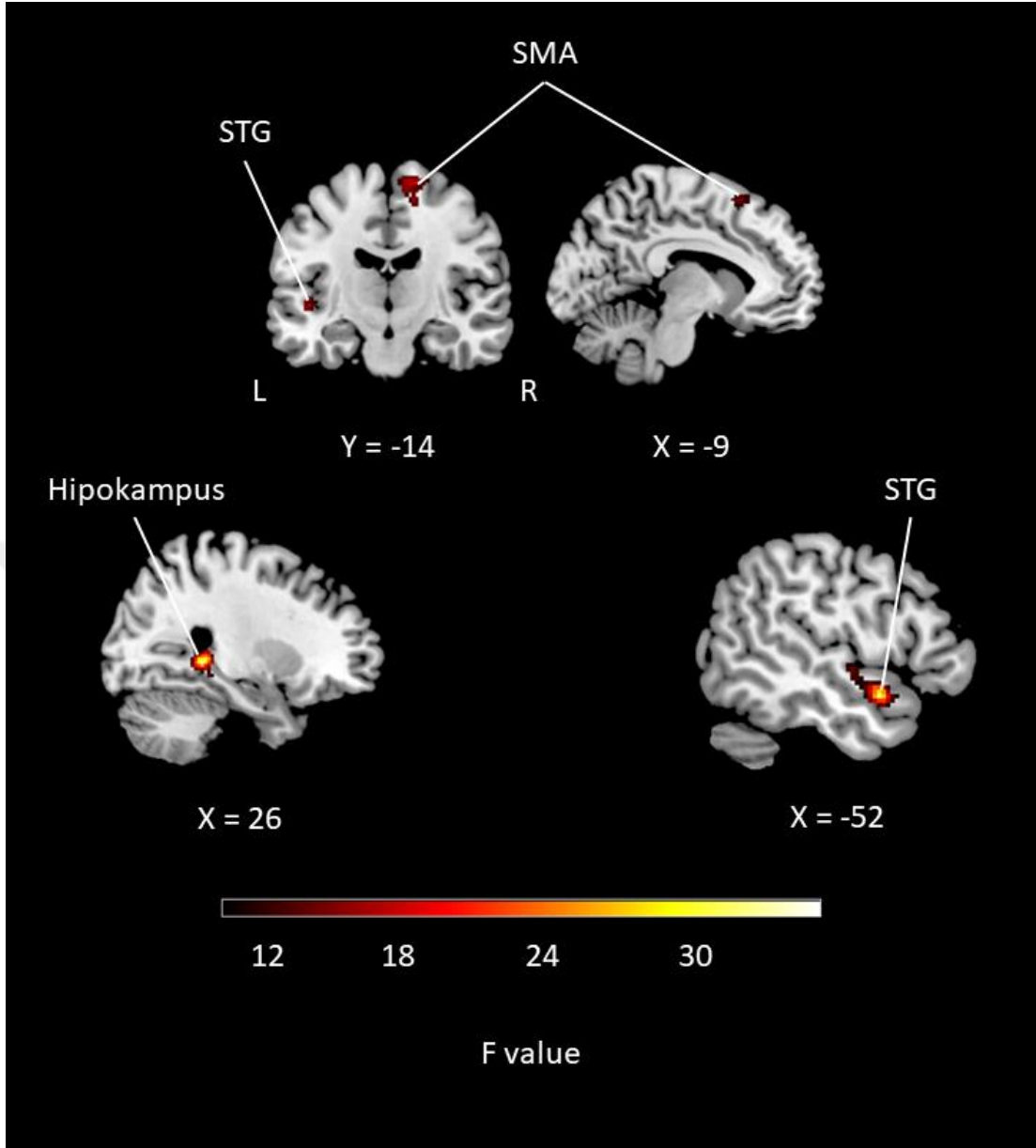
AI: Anterior Insula; **OK:** Oksipital Korteks; **SMG:** Supramarginal Girus; **PG:** Precentral Girus; **IFJ:** Inferior Frontal Junction; **IPS:** İntraparyetal Sulkus; **DLPFK:** Dorsolateral Prefrontal Korteks; **SMA:** Suplementer Motor Alan; **L:** Sol (Left); **R:** Sağ (Right); **A:** Anterior; **P:** Posterior.

3.2.4. Etkileşim Sonuçları

Grup, seans ve görev faktörleri etkileşim sonuçları incelendiğinde; sağ hipokampus, sol superior temporal girus, bilateral suplemer motor alan ve primer motor korteks alanlarında aktivasyonlar olduğu bulunmuştur (Çizelge 3.21, Şekil 3.12).

Çizelge 3.21. Grup, seans, görev etkileşimi iMRG sonuçları

Beyin Bölgesi	Küme Büyüklüğü	Lateralite	MNI Koordinatları			Z-skoru
			X	Y	Z	
Etkileşim Etkisi						
Grup x Seans x Görev						
Hipokampus	237	R	26	-40	0	5,31
Superior temporal girus (Brodmann 38)	391	L	-52	4	-14	5,08
Suplementer motor alan	95	Bilateral	-12	18	58	3,91
Primer motor korteks	53	R	14	-14	68	3,79
			12	-32	70	3,58



Şekil 3.12. Grup, seans ve görev etkileşiminde gözlenen aktivasyonlar.

SMA: Suplementer Motor Alan; **STG:** Superior Temporal Girus; **L:** Sol (Left); **R:** Sağ (Right).

4. TARTIŞMA

Matematik kaygısı, sayısal görevler sırasında kişilerin deneyimledikleri olumsuz duygular ve performanslarına dair duydukları başarısızlık beklentisini ifade etmektedir. Sunulan tez çalışmasında, matematik kaygısı düşük ve yüksek olan iki grubun sayısal görevler sırasında gerçekleşen beyin aktivasyonları iMRG yöntemi kullanılarak incelenmiştir. iMRG sırasında kullanılan sayısal görevler, zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik olmak üzere iki ayrı görev türüdür. Her görevin kendine ait bir kontrol koşulu deneyde yer almıştır. Zihinsel sayı doğrusu görevinin kontrolü, zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevi olmuştur. Aritmetik görevinin kontrolü, sayısal benzerlik görevi olmuştur. Katılımcılar ilk MR çekimini tamamladıktan sonra, uzaktan ve çevrimiçi olarak katıldıkları bir pratik uygulaması içerisinde haftada 2 defa ve toplam 4 hafta süresince sekiz uygulama yaparak sayısal görevleri tekrarlamıştır. Sayısal pratik uygulaması tamamlandıktan sonra gruplardan bir iMRG kaydı daha alınmıştır. Böylece, düşük ve yüksek matematik kaygı grupları pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) olmak üzere toplamda iki defa iMRG yöntemiyle incelenmiş ve sayısal pratiğin beyin mekanizmalarına olan etkisi gözlemlenmiştir.

Çalışmada, Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF) ile ölçülen matematik kaygı puanı açısından aralarında anlamlı fark olan gruplar yer almıştır. Matematik kaygı gruplarının belirlenmesi aşamasında geniş bir örnekleme tarama yapılarak matematik kaygı puanı dağılımı oluşturulmuştur. Oluşturulan dağılım üzerinden belirlenen dahil etme kriterlerine uygun olan bireyler seçilerek, düşük matematik kaygısı ve yüksek matematik kaygısı olmak üzere çalışma grupları belirlenmiştir. Çalışma grupları, Sürekli Kaygı Ölçeği ile değerlendirilen sürekli kaygı puanı ve Sınav Kaygısı Envanteri ile ölçülen sınav kaygı puanı açısından pratik öncesinde benzer bulunmuştur. Matematik kaygısı, sürekli kaygı ve sınav kaygısı gibi diğer kaygı ilişkili tanımlanan faktörlerle benzerlikler gösterir; ancak ölçüm araçları kendi aralarında yüksek bir korelasyon sunan ayrı bir faktördür (Dowker vd., 2016). Matematik kaygısının özgül olarak sayısal görevler sırasındaki performansı etkilediği bilinmektedir (Pizzie & Kraemer, 2019).

Psikometrik ölçüm verilerinden elde edilen sonuçlar, oluşturulan düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarının çalışmanın amacına uygun olacak şekilde sadece matematik kaygı puanı açısından anlamlı farklılaştığını göstermiştir (Çizelge 3.3). Gruplar sayısal görevleri toplam 8 defa pratik ettikten sonra kaygı puanlarındaki değişim incelenmiştir. Sonuçlar; pratik uygulamasının grupların matematik kaygı puanı ortalamaları arasındaki farkı

anlamli olarak azalttığını ortaya koymuştur. Pratik etkisine baēlı olarak matematik kaygı puanındaki deēiřim incelendiēinde, yüksek matematik kaygı grubunun pratik sonrasında matematik kaygı puanı ortalamasının azaldığı ve düşük matematik kaygı grubuna yaklaştığı görülmüştür (şekil 3.1). Bu sonuē, sayısal görevlerin tekrar edilmesinin matematik kaygısını azalttığını ortaya koymaktadır.

Matematik kaygı grupları pratik önce ve pratik sonra MR ēekimleri öncesinde bazı bilişsel ve davranışsal deēerlendirmelerden geēmiřtir. Bu aşamada katılımcıların Hesaplama Performans Testi kullanılarak hesaplama başarıları ve WMS-R Sayı Menzili Testi (ileriye ve geriye dönük alt formlar) kullanılarak basit dikkat ve karmaşık dikkat (yanı sıra ēalıřma belleēi) gibi bilişsel özellikleri incelenmiştir (ēizelge 3.3, şekil 3.1). Sonuēlar, pratik öncesi ve pratik sonrasında düşük matematik kaygı grubunun hesaplama başarısının yüksek matematik kaygısı grubuna göre anlamli olarak daha iyi olduēunu göstermiştir. Buna göre; yüksek matematik kaygı grubunda yer alan katılımcılar henüz ēalıřmanın başında hesaplama performans başarısı düşük olan bireylerdir. Bu sonuē literatürde yer alan bilgilerle uyumludur. ēok sayıda ēalıřma, matematik kaygısı yüksek olan bireylerin sayısal büyüklük işleme ve aritmetik görevlerinde daha başarısız olduklarını göstermiştir (Maldonado Moscoso vd., 2022; Maloney vd., 2011; Pizzie & Kraemer, 2019).

ēalıřma belleēi ve karmaşık dikkatin bir lēm olarak kullanılan geriye doēru sayı dizisi testinden alınan puanlar incelendiēinde, her iki grupta da pratik uygulamasına baēlı olarak bilişsel performansın arttığı bulunmuştur (ēizelge 3.3, şekil 3.1). Buna göre, geliştirilen pratik uygulamasının sayısal becerilerin yanı sıra ēalıřma belleēi ve karmaşık dikkat gibi bilişsel özellikleri de desteklediēi söylenebilir.

Sayısal pratik uygulamasında, gruplar sayısal görevleri sekiz defa uygulayarak pratik etmişlerdir. Sayısal performansın pratik etkisine baēlı gelişimini inceleyebilmek iēin 8 ayrı zorluk seviyesinde uygulama iēerikleri tanımlanmıştır. Katılımcılar seviye 1 zorluk seviyesinden pratik uygulamasına başlatılmıştır. Her seviyede belirli bir başarı lētn karşılayan kişiler bir sonraki seviyeden uygulama devam etmiştir. Her bir zorluk seviyesinde grupların yüzde başarı oranları ve reaksiyon zamanları davranışsal olarak incelenmiştir (şekil 3.2).

Matematik kaygı gruplarının sayısal pratik yüzde başarıları zorluk seviyelerinden benzer şekilde etkilenmektedir (ēizelge 3.5). Bu sonucun temel nedeni kişilerin bir sonraki

seviyeye atlamak için ulaşmaları gereken bir performans başarı kriterinin olmasıdır. Çalışmada bu kriter %75 başarı olarak uygulanmıştır. Diğer yandan; grupların sayısal pratik reaksiyon zamanı ortalamaları zorluk seviyesinden anlamlı olarak etkilenmiştir (Çizelge 3.6). Davranış performans grafikleri incelendiğinde sayısal pratik uygulamasında yer alan sorular zorlaştıkça grupların reaksiyon zamanlarının arttığı görülmüştür (Şekil 3.2). Diğer bir deyişle, sayısal pratik uygulaması zorlaştıkça kişiler daha geç yanıtlar vermiştir. Bu sonuç, sayısal pratik uygulaması zorluk seviyelerinin uygulama içeriğinin doğru bir şekilde kurgulandığını ve tavan etkisinin ortaya çıkmadığını göstermektedir. Bu anlamda, geliştirilen pratik uygulamasının sayısal performansı ve ilişkili bilişsel süreçleri değiştirebildiğini söylemek mümkündür. Sayısal pratik uygulaması amacına uygun olacak şekilde farklı zorluk seviyeleri sunarak kişilerin performansını geliştirici niteliktedir.

Tez çalışmasında, sayısal işlemlenin zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik ilişkili farklı süreçlerinin nöral temellerini inceleyebilmek amacıyla özgün bir deney paradigması geliştirilerek ilk defa bu çalışmanın örneklem grubunda denenmiştir. Pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) MR çekimi aşamalarında katılımcılar zihinsel sayı doğrusu, zihinsel sayı doğrusu benzerlik, aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri gerçekleştirmiştir. Zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri için yüzde hata ve sapma katsayısı skorları ayrıca reaksiyon zamanları hesaplanmıştır. Aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri için yüzde başarı skoru ve reaksiyon zamanları çıkarılmıştır. Grupların zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik görevleri için hesaplanan MR davranış skorlarının sayısal pratikten nasıl etkilendiğı davranışsal olarak incelenmiştir.

MR davranış verisi yüzde hata sonuçları incelendiğinde, katılımcıların gruptan bağımsız olarak zihinsel sayı doğrusu görevinde zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla yüzde hata puanları daha yüksektir. Buna göre kişiler zihinsel sayı doğrusu görevinde daha fazla zorlanmış ve daha çok hata yapmışlardır. Pratik etkisine bağılı olarak grupların her iki görevde de yüzde hata puanları anlamlı olarak azalmaktadır. Bu sonuç, pratik etkisinin kişilerin hatalı yanıtlarını azaltarak görev başarılarını arttırdığını göstermektedir (Çizelge 3.8, Şekil 3.3).

Zihinsel sayı doğrusu ve kontrol koşulu görevinde değerlendirilen bir diğer davranışsal ölçüt olan sapma katsayısı kişilerin tahmin başarısına ilişkin bir çıkarım sunmaktadır. Sapma katsayısı 1 ile 0 arasında bir değer alır ve 0'a yaklaştıkça kişilerin tahmin başarısı artar. Sonuçlara göre; grupların zihinsel sayı doğrusu görevi sapma katsayısı zihinsel

sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla anlamlı olarak daha yüksektir. Buna göre kişiler zihinsel sayı doğrusu görevinde daha kötü tahminlerde bulunmuştur. Diğer yandan, grupların sapma katsayısı pratikten farklı etkilenmiştir (anlamlı grup-zaman etkileşimi). Buna göre; pratik öncesinde düşük matematik kaygısı grubunun sapma katsayısı, yüksek matematik kaygısı grubuna kıyasla anlamlı olarak daha düşüktür. Diğer bir deyişle, yüksek matematik kaygısı grubunun yanıtlarının tahmin başarısı pratik öncesinde daha düşüktür. Ancak, pratik etkisiyle birlikte yüksek matematik kaygısı grubunun sapma katsayısı skoru 0 değerine yaklaşmış yani tahmin başarıları anlamlı olarak artış göstermiştir. İlginç olan düşük matematik kaygı grubunda pratikle tam tersi tahmin başarısı azalmıştır (anlamlı grup-zaman-görev etkileşimi) (Çizelge 3.10, Şekil 3.4).

Reaksiyon zamanı sonuçları, zihinsel sayı doğrusu ve zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevleri için görev etkisinin anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Buna göre, katılımcıların zihinsel sayı doğrusu görevinde reaksiyon zamanları zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevine kıyasla daha yüksektir (Çizelge 3.12, Şekil 3.5). Diğer bir deyişle; kişiler zihinsel sayı doğrusu görevinde daha fazla zorlanmış ve reaksiyon zamanları uzamıştır. Bu sonuç, zihinsel sayı doğrusu benzerlik görevinin doğru bir kontrol koşulu oluşturduğunu göstermektedir.

MR davranış verisi yüzde başarı sonuçları incelendiğinde, pratik etkisine bağlı olarak katılımcıların aritmetik ve sayısal benzerlik görevlerinde yüzde başarılarının arttığı ve performanslarının iyileştiği bulunmuştur. Ayrıca, grupların sayısal benzerlik görevi yüzde başarılarının aritmetik görevine kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuç, katılımcıların aritmetik görevinde sayısal benzerlik görevine kıyasla daha çok zorlandıklarını ve daha başarısız bir performans sergilediklerini göstermektedir. Ancak, pratik etkisiyle birlikte katılımcıların aritmetik görevindeki yüzde başarıları artmaktadır. Buna göre; pratik etkisi özellikle aritmetik görevi performansını belirgin bir biçimde arttırmakta ve bu etki iki grupta da ortaya çıkmaktadır (Çizelge 3.14, Şekil 3.6).

Reaksiyon zamanı sonuçları, aritmetik ve sayısal benzerlik görevleri için görev etkisinin anlamlı olduğunu göstermiştir. Buna göre; katılımcıların aritmetik görevinde reaksiyon zamanları sayısal benzerlik görevine kıyasla daha yüksektir. Diğer bir deyişle, kişiler aritmetik görevini daha zor bir görev olarak algılamış ve reaksiyon zamanları uzamıştır. Bu sonuçlara bakıldığında, sayısal benzerlik görevinin aritmetik görevi için doğru bir kontrol koşulu oluşturduğu düşünülmektedir (Çizelge 3.16, Şekil 3.7).

Çalışmanın MR sonuçlarında grup etkisi beyin aktivasyonları ortaya çıkarılmıştır. Çalışmada grup etkisini anlayabilmek için pratik öncesi ve pratik sonrası tüm görevler birlikte incelenerek, gruplar arası yönlü ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna göre düşük matematik kaygısı grubunda yüksek matematik kaygısı grubuna kıyasla ($DMK > YMK$ kontrastı) sol angular girus'ta aktivasyon artışı olduğu görülmüştür. Tam tersi yönde bir grup karşılaştırması yapıldığında, yüksek matematik kaygısı grubunda düşük matematik kaygısı grubuna göre ($YMK > DMK$ kontrastı) sağ frontal göz alanı bölgesinin aktive olduğu bulunmuştur.

Angular girus, Wernicke Alanı gibi posterior dil alanlarıyla güçlü işlevsel bağlantılara sahiptir ve görsel girdinin dilsel temsillerinin oluşturulmasında öne çıkmaktadır (Démonet vd., 1992). Dehaene ve arkadaşları (2003) tarafından tanımlanan Üçlü Kod Modeli'nde sayı algısı ve matematiksel becerilerle ilişkili farklı bilişsel süreçler ayırt edilmiş ve bu modelde sol angular girus özellikle sayıların sözel temsil süreçleriyle ilişkili olarak ele alınmıştır. Modele göre; sol angular girus sayıların sözel bellek ilişkili temsillerinin işlem süreçleri ve daha genel anlamda dilsel işlemeyle ilgili bir beyin bölgesi olarak ifade edilmiştir (Dehaene vd., 2003). Sayısal görevlere ek olarak, okuma çalışmalarında semantik işleme sırasında angular girus bölgesinin sıklıkla aktive olduğu raporlanmıştır (C. J. Price & Mechelli, 2005; Seghier vd., 2010). Çalışmamızda tüm görev durumları birlikte ele alındığında, düşük matematik kaygısı grubunda görülen sol angular girus aktivasyonu sayıların sözel temsillerine ilişkin bilişsel süreçlerin etkinliğini ve dilsel temelli sayısal düşünme süreçlerini yansıtır olabilir. Özellikle aritmetik bilgilerin öğrenilmesi ve sonuç hatırlama stratejilerinin kullanımındaki artışla birlikte angular girus gibi paryetal alanların aktivasyonlarında artış gözlemlendiği bilinmektedir (Menon, 2016; Sokolowski vd., 2022). Bu çalışmalarda, aritmetik görevlerinde gözlenen angular girus aktivasyonunun uzmanlaşma etkisini yansıttığı düşünülmüştür (Menon vd., 2000). Çalışmamızda grupların hesaplama performanslarının farklı olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, düşük matematik kaygı grubunda görülen angular girus aktivasyonu aynı zamanda grupların sayısal başarıları arasındaki farkı da yansıtır olabilir.

Çalışmamızda tam tersi yönde bir grup karşılaştırması yapılarak gruplar arası farklar incelendiğinde, yüksek matematik kaygı grubunda sağ frontal göz alanı aktivasyonunun öne çıktığı görülmüştür. Frontal göz alanı, göz hareketlerinin başlatılmasında öne çıkan beyin bölgesi olarak bilinmektedir (Bruce & Goldberg, 1985). Göz hareketleri aynı zamanda uyaran seçimi için kritik olduğundan, yapılan çalışmalar frontal göz alanı bölgesini dikkatin yönlendirilmesiyle de ilişkilendirmiştir (Corbetta & Shulman, 2002). Araştırmalar, frontal göz

alanının görsel-uzaysal dikkat, görsel farkındalık ve algısal modülasyon gibi bilişsel süreçlerde rol aldığını bulmuştur (Vernet vd., 2014). Tüm görev durumları birlikte değerlendirildiğinde, yüksek matematik kaygısı grubunda görülen frontal göz alanı aktivasyonunun görsel dikkat süreçlerinin etkisini yansıtıyor olabileceği düşünülmüştür. Çalışmamızda, yüksek matematik kaygılı grubun hesaplama başarısı daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlar, yüksek matematik kaygılı bireylerin sayı görevlerinde dikkat kaynaklarının devreye sokulmasına düşük matematik kaygılı bireylere kıyasla daha fazla ihtiyaç duyuyor olabileceklerini düşündürmektedir.

Grup karşılaştırması sonuçları, matematik kaygı grupları arasında sayı ilişkili görevler için farklı bilişsel işlev süreçlerinin öne çıktığını göstermektedir. Düşük matematik kaygılı bireyler sayısal görevlerde sözel düşünme ve bellek süreçlerini daha fazla kullanırken, yüksek matematik kaygılı bireyler görsel dikkat süreçlerini daha çok devreye sokuyor olabilir.

Çalışmanın MR sonuçlarında pratik etkisiyle ilişkili beyin aktivasyonlarını ortaya çıkarabilmek için, pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrası (son seans) tüm görev durumları arasındaki yönlü farklar bütün katılımcılar birlikte değerlendirilerek incelenmiştir. Pratik sonrası beyin aktivasyonlarından pratik öncesi beyin aktivasyonları çıkarıldığında (pratik sonrası > pratik öncesi kontrastı) bilateral posterior singulat korteksin pratik etkisiyle ilişkili aktivasyon gösteren beyin bölgesi olduğu bulunmuştur.

Çalışmamızda katılımcılardan ilk MR kaydı alındıktan sonra sayısal pratik aşamasına geçilmiştir. Katılımcılar sayısal görevleri dört hafta boyunca tekrarlamış (toplam 8 uygulamayla) ve daha sonra pratik ettikleri görevleri MR cihazı içinde bir kere daha yapmışlardır. Sayısal pratik uygulaması kişilerin performans başarılarına bağlı olarak zorlaştırılmış, böylece katılımcılar davranışsal olarak kendilerini geliştirebilme imkânı bulmuştur. Kişiler sayısal pratikte zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik görevlerini farklı zorluk seviyelerinde çokça kez tekrar etmişlerdir. Nitekim, katılımcıların MR davranış yanıtları değerlendirildiğinde pratik sonrasında hesaplama başarılarının artış gösterdiği görülmüştür (istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte). Bunun yanında, katılımcıların çalışma belleği ve karmaşık dikkat gibi bilişsel süreçleri de pratik sonrasında anlamlı bir şekilde performans artışı göstermiştir. Bu sonuçlar pratik etkisiyle birlikte katılımcıların sayısal görev performansında belirgin bir davranışsal kazanımın gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Sayısal pratik ile görülen davranışsal kazanım işlevsel yanıtlarda bilateral posterior singulat korteks aktivasyonu ile karakterize olmuştur.

Posterior singulat korteks, çevremize ve içsel durumumuza ilişkin sinyalleri birleştirerek anlık durumumuz hakkında farkındalık sağlar (Raichle vd., 2001). Bu nedenle daha çok hatırlama, geleceğe yönelik plan yapma ve zihinsel imgelerin oluşturulması gibi süreçlerle ilişkilendirilmiştir (Buckner vd., 2008). Bunun yanında kişinin kendine yönelik farkındalığı kapsamında da ele alınmıştır (Whitfield-Gabrieli vd., 2011).

Dikkat ve hedef yönelimli davranış görevleri sırasında aktivasyonu azalan, aslında bir bakıma suskunlaşan beyin bölgelerinin birlikte oluşturduğu işlevsel organizasyon, beynin default ya da baseline aktivasyonunu yansıtmakta ve “olağan durum ağı” (*default mode network*) olarak tanımlanmaktadır (Raichle vd., 2001). Beynin olağan durum ağının, kişi dinlenim durumundayken ve özellikle dikkatini çevresel bir uyarana bilinçli olarak yönlendirmediği durumda aktif olduğu bilinmektedir. Posterior singulat korteks, bu ağ yapısında yer alan temel merkez (hub) bölgelerinden birini oluşturmaktadır (Fox vd., 2006). Bu sonuçlar göz önüne alındığında, çalışmamızda pratik sonrası iMRG bulgularında görülen bilateral posterior singulat korteks aktivasyonu dikkatin aktif yönlendirilmesine duyulan ihtiyaçtaki azalmayla ilişkilendirilebilir. Pratik sonrasında hedef yönelimli dikkate duyulan ihtiyaçtaki azalma, kişileri içsel temsil süreçleri ve ilişkili mekanizmaları kullanmaya yönlterek posterior singulat korteks aktivasyonunu öne çıkarmış olabilir.

Posterior singulat korteks, bellek formasyonunda öne çıkan hipokampus ile de güçlü yapısal bağlantılara sahip olan bir beyin bölgesi olarak bilinmektedir (Vann vd., 2009). Yapılan çalışmalarda, posterior singulat korteksin bellek kodlama ve hatırlama süreçlerinde de rol aldığı gösterilmiştir (Uncapher vd., 2006; Uncapher & Wagner, 2010). Vaidehi ve arkadaşları (2019) tarafından yapılan bir çalışmada bellek oluşturma görevi sırasında derin beyin stimülasyonu (deep brain stimulation) yöntemi kullanılarak posterior singulat korteks alanına elektriksel uyarım verildiğinde hatırlama performansının bozulduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar posterior singulat korteksin bellek ve hatırlama süreçlerinde rolüne işaret etmektedir. Pratik etkisiyle hedef yönelimli dikkat ihtiyacında görülen azalma, bellek süreçlerinin devreye sokularak sayısal bilgilerin ve bunlara yönelik kazanılan temsillerin hatırlanmasını kolaylaştırıyor olabilir. Bu nedenle, posterior singulat korteksin sayısal görev ilişkili temsil süreçlerinin hatırlanmasına yönelik olarak pratik sonrasında aktivasyon göstermiş olabileceği düşünülmüştür.

Çalışmanın MR sonuçlarında görev etkisi beyin aktivasyonları ortaya çıkarılmıştır. Görev etkisi sonuçları, tüm katılımcılardan her iki çekim seansında da elde edilen görev ilişkili

işlevsel yanıtların toplamını yansıtmaktadır. Çalışmada, zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik ilişkili beyin alanlarının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik görevleri aralarında sayısal temsil ve büyüklük işleme süreçleri açısından benzerlikler ve farklılıklar olan iki ayrı sayısal görevdir. Zihinsel sayı doğrusu görevinde katılımcıların ekranda gördükleri sayıyı, sayı doğrusunda uzaysal alanda büyüklük bilgisine bağlı olarak konumlandırmaları gerekmektedir. Örneğin; küçük sayısal çoklukların sayı doğrusunun sol tarafında ve büyük çoklukların sayı doğrusunun sağ tarafında konumlandırılması zihinsel sayı doğrusu ilişkili bir temsildir (Dehaene, 1999). Bu anlamda, zihinsel sayı doğrusu görevi, sayı ve uzay büyüklüklerinin yakın ilişkisine atıf yapar. Aritmetik görevi ise temelde sayıların büyüklük bilgisinin işlenmesi ve manipülasyonu gibi bilişsel süreçlere dayanmaktadır. Sayıların zihinsel sayı doğrusu ilişkili temsil süreçlerinin sayısal büyüklüklerin etkin bir şekilde işlenmesini sağlayarak, karmaşık matematiksel süreçleri anlamayı mümkün kıldığı düşünülmektedir (Lyons vd., 2016b; Lyons & Beilock, 2011; Üstün vd., 2019). Bu nedenle, zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik iki ayrı fakat ilişkili sayısal işlem süreci olarak ele alınabilir.

Çalışmamızda zihinsel sayı doğrusu göreviyle ilişkili olarak yaygın bilateral aktivasyonlar gözlenmiştir. Bu aktivasyonlar özellikle paryetal (supramarginal girus, angular girus, preküneus) ve temporal (superior temporal girus) korteks alanlarında öne çıkmaktadır. Ayrıca, zihinsel sayı doğrusu görevi sırasında posterior singulat korteks, posterior insula ve fusiform girus alanlarında da bilateral aktivasyonlar bulunmuştur. Sağ hemisferde inferior frontal junction ve frontal göz alanı ilişkili aktivasyonlar da zihinsel sayı doğrusu görevinde tespit edilmiştir.

Paryetal korteks, sayıların beyindeki temsil süreçlerinde öne çıkan temel beyin bölgesi olarak düşünülmektedir (Menon vd., 2000). Bu bölgeden yapılan tek hücre kaydı çalışmaları, paryetal kortekste sayısal çokluklara duyarlı nöronların var olduğunu göstermiştir (Sawamura vd., 2002). Literatürde yer alan lezyon çalışmaları, paryetal alan hasarı bulunan hastalarda sayısal düşünme ve işlem yapma becerisinde bozulmalar görüldüğünü raporlamıştır (Lemer vd., 2003). Sayıların farklı işlem süreçleriyle ilişkili tanımlamaların yapıldığı Üçlü Kod Modeli'nde temel önem yine paryetal kortekse atfedilmiştir (Dehaene vd., 2003).

Diğer yandan, paryetal korteksin aynı zamanda uzaysal büyüklük algısıyla da ilişkilendirildiği bilinmektedir. Özellikle sağ inferior paryetal ve sağ temporo-paryetal

junction alan hasarı bulunan hastalarda tek taraflı uzaysal ihmal sendromu geliştiği raporlanmıştır (Karnath vd., 2002; Vallar, 2001). Yapılan bir nörogörüntüleme çalışmasında, çizgi bölme uzaysal görevinde paryetal korteks ilişkili aktivasyonlar tespit edilmiştir (Çiçek vd., 2009). Sayı ve uzaysal büyüklüklerin anatomik ve fonksiyonel ilişkisi bu algısal sistemlerin beyindeki temsiliinde bir ortaklık bulanabileceği düşüncesinin öne sürülmesine neden olmuştur. Walsh (2003) tarafından ortaya atılan bu teoride inferior parietal korteksin ortak büyüklük temsiliyle ilişkili beyin alanı olabileceği düşünülmüştür. Paryetal korteks lezyonlarında doğrudan sayıların sıralama süreçleriyle ilişkili mekanizmalarda bozulmalar rapor eden vaka raporu çalışmaları da literatüre sunulmuştur (Turconi & Seron., 2002). Yapılan bir çalışmada, sayı ve uzunluk işleme süreçlerinin paryetal kortekste benzer bölgelerde ilişkilendirildiği gösterilmiştir (Borghesani vd., 2019).

Çalışmamızda, zihinsel sayı doğrusu görevinde görülen paryetal aktivasyonlar literatürle uyumludur. Supramarginal girusta spesifik bir hasarın görüldüğü bir vaka çalışması raporu, sembollerin anlama ve işleme becerisinde bozulmalar görüldüğünü bildirmiştir (Polk vd., 2001). Angular girus'un sayısal işlemedeki temel rolü daha çok sayıların sözel temsili ve bununla ilgili dilsel süreçlerle ilişkili olarak ele alınmıştır (Dehaene vd., 2003). Supramarginal girus ve angular girus, kazanılmış aritmetik bilgilerin uzun süreli bellekten çağırılması gibi süreçlerde rol oynadığı bilinen beyin bölgeleridir (Vogel & De Smedt, 2021). Matematik öğrenimi çalışmalarından gelen bulgular, aritmetik çözümlerde uzmanlaşma etkisinin sıklıkla supramarginal girus ve angular girus aktivasyonlarıyla karakterize olduğunu ortaya koymuştur (Delazer vd., 2003; Ischebeck vd., 2006, 2009; Zamarian vd., 2009). Yaş ve öğrenme süreciyle birlikte aritmetik bilgilerin otomatikleşmesine bağlı olarak, özellikle inferior parietal alan (supramarginal girus, angular girus) aktivasyonlarının öne çıktığı bilinmektedir (Menon, 2016). Sayısal büyüklüklerin zihinsel sayı doğrusu üzerinde temsil başarısının karmaşık matematiksel süreçlerin anlaşılmasının temelini oluşturduğu öne sürülmüştür (Lyons vd., 2016b; Lyons & Beilock, 2011; Üstün vd., 2019). iMRG sonuçlarında görülen supramarginal girus ve angular aktivasyonu zihinsel sayı doğrusu ve matematiksel işlem süreçleri arasındaki yakın ilişkiyi yansıtır olabilir.

Paryetal kortekte yer alan diğer bir beyin alanı olan preküneus, çalışmamızda zihinsel sayı doğrusu görevinde bilateral aktivasyonlar göstermiştir. Preküneus bölgesinin, aritmetik çalışmalarında daha çok hatırlama süreçlerinde görsel imgelemeyle ilişkili olduğu bulunmuştur (Delazer vd., 2005). Uzaysal bellek temsillerinin hatırlanması sırasında hipokampus, prefrontal korteks ve görme korteksi alanlarıyla işlevsel bağlantısallık gösteren

bir merkez olduğu bildirilmiştir (Schedlbauer vd., 2014). Ayrıca, preküneus'un görsel-uzaysal işleme ve navigasyon süreçlerinde rol oynadığını gösteren araştırmalar da literatürde bulunmaktadır (Murias vd., 2019). Zihinsel sayı doğrusu görevi sayı ve uzay büyüklüklerinin yakın ilişkine odaklanan algısal bir görevdir. Çalışmamızda zihinsel sayı doğrusu görevinde tespit edilen preküneus aktivasyonunun sayıların görsel-uzaysal temsil veya imgeleme süreçleriyle ilişkili olabileceği düşünülmüştür

Paryetal korteks aktivasyonlarına ek olarak bilateral superior temporal girus aktivasyonları da zihinsel sayı doğrusu göreviyle ilişkili olarak iMRG sonuçlarında tespit edilmiştir. Sayma temelli aritmetik görevlerin kullanıldığı bir EEG çalışmasında, superior temporal girus bölgesi mental aritmetik ile ilişkili olarak öne çıkarılmıştır (Dattola vd., 2023). iMRG çalışmalarından gelen sonuçlar, özellikle sağ superior temporal girus alanının aritmetik problem çözme görevlerinde aktive olduğunu bulmuştur (Andres vd., 2012; Fehr vd., 2008). Seksen dokuz genç yetişkinin yer aldığı oldukça geniş bir örnekleme gerçekleştirilen yapısal bir nörogörüntüleme çalışmasında, matematiksel yetkinliği değerlendirmek için toplam dört ayrı kategoride (basit aritmetik, karmaşık aritmetik, ileri düzey matematik ve sayısal zekâ) değerlendirmeler yapılmıştır (Heidekum vd., 2020). Araştırma sonucunda, sağ superior temporal girus'un kortikal yüzey alanı karmaşıklığının sayısal zekâ ile pozitif ilişki gösterdiği bulunmuştur (Heidekum vd., 2020). Çalışmamızda bilateral olarak bulunan superior temporal girus aktivasyonu, özellikle sağ beyin korteksinde daha yaygın olarak öne çıkmaktadır ve verilen görevin sayısal yönüyle ilişkili olabilir.

Zihinsel sayı doğrusu görevinde aktive olduğu bulunan bir diğer beyin alanı, posterior singulat kortekstir. Posterior singulat korteks, olağan durum altında yer alan temel bölgelerden biridir. Yapılan çalışmalar, posterior singulat korteksin anlık durum farkındalığı (Buckner vd., 2008; Raichle vd., 2001) ve zihinsel imgeleme (Buckner vd., 2008) bilişsel işlevleriyle ilişkili olduğunu bulmuştur. iMRG yönteminin kullanıldığı bir nörogörüntüleme çalışmasında, posterior singulat korteks'in dikkat gerektiren bir görev sırasında içsel ve dışsal sinyallerin düzenlenmesi için fronto-paryetal ağ ile etkileşimde bulunduğunu gösteren sonuçlar elde edilmiştir (Leech vd., 2012). Posterior singulat korteks'in farklı modalite bilgilerinin etkileşiminde yer alan bir bölge olduğu düşünüldüğünde, sayıların uzaysal temsili gibi zihinsel temsil süreçlerinde rol oynayabileceği düşünülebilir.

Sağ hemisferde inferior frontal junction aktivasyonu zihinsel sayı doğrusu görevinde tespit edilen bir diğer iMRG sonucu olmuştur. Sağ beyin hasarı çalışmalarından gelen bulgular

inferior frontal girus'un sayıların uzaysal temsil süreçlerinde rol oynadığını göstermiştir (Doricchi vd., 2005). Ayrıca, inferior frontal girus'un uzaysal ve sayısal büyüklük karşılaştırma görevlerinde benzer şekilde aktive olduğu bulunmuştur (Skagerlund vd., 2016). Yapılan bir çalışmada, sembolik sayı sıralama ve büyüklük karşılaştırma görevleri sırasında inferior frontal girus alanında gözlenen aktivasyonlar bildirilmiştir (Sommerauer vd., 2020). Bu sonuçlar düşünüldüğünde, zihinsel sayı doğrusu görevinde görülen sağ inferior frontal junction aktivasyonu sayısal ve uzaysal temsil süreçleri arasındaki ilişkiyi yansıtır olabilir.

Son olarak, çalışmada zihinsel sayı doğrusu görevinde bilateral fusiform girus aktivasyonu tespit edilmiştir. Literatürde, sayı algısı süreçlerinde sembol tanımayla ilişkili olarak fusiform girus'un rolünü rapor eden araştırmalar bulunmaktadır (Grotheer vd., 2016; Shum vd., 2013). Fusiform girus'ta sayıların tanınması süreçleriyle ilişkili olarak spesifik bir alanın "sayı tanıma alanı" (number form area) bulunduğu raporlanmıştır (Nemmi vd., 2018). Yapılan gelişimsel bir nörogörüntüleme araştırmasında, fusiform girus alanının sayı algısı ile ilişkili olarak yetişkinlerde daha çok aktive olduğu bulunmuştur (Vatansever vd., 2020).

Çalışmamızda aritmetik görevinde, bilateral aktivasyonlara ek olarak beynin daha çok sol hemisferinde öne çıkan aktivasyonlar görülmektedir. Aritmetik ilişkili bilateral aktivasyonlar özellikle oksipital korteks, parietal korteks (intraparietal sulkus) ve frontal korteks (dorsolateral korteks) alanlarında öne çıkmaktadır. Sol hemisferde baskın olarak ortaya çıkan aktivasyonlar, inferior frontal junction, premotor/suplementer motor alan ve supramarginal girus alanları olmuştur. Ek olarak, aritmetik görevi bilateral anterior insula ve kaudat nükleus aktivasyonlarıyla karakterize bulunmuştur.

Supramarginal girus ve angular girus bölgeleriyle anatomik yakınlığı bulunan intraparietal sulkus alanının, sembolik ve sembolik olmayan çoklukların işlenmesi sürecinde tutarlı olarak aktivasyon gösteren bir beyin alanı olduğu bilinmektedir (Dehaene, 2001). Maymunlarda fronto-parietal alanlardan yapılan tek hücre kaydı çalışmalarında, sayısal çokluk işleme süreciyle ilgili olarak kaydedilen ilk yanıtların intraparietal sulkus alanından geldiği bulunmuştur (Nieder & Miller, 2004). Çok sayıda nörogörüntüleme çalışması, intraparietal sulkus alanının sayısal büyüklük işleme süreçleriyle ilgili olarak aktivasyon gösterdiğini raporlamıştır (Ansari vd., 2007; Üstün vd., 2021). Sol intraparietal sulkus'un hem sembolik hem de sembolik olmayan çokluk temsiliinde yer aldığı; ancak sağ intraparietal sulkus alanının özellikle sayı sembollerinin işlenmesi sürecinde öne çıktığı bulunmuştur (Ansari vd., 2007; Artemenko, Moeller, vd., 2015b). İntraparietal sulkus

alanının, temel sayısal işleme süreçlerinin yanında hesaplama görevlerinde de aktivasyon gösterdiği bilinmektedir (Matejko & Ansari, 2019; Simon vd., 2002). Diskalkuli olarak bilinen gelişimsel matematik öğrenme güçlüğünde intraparyetal sulkus alanının yapısal/işlevsel farklılaşmalar gösterdiği bulunmuştur (Isaacs vd., 2001; G. R. Price vd., 2007). Bu sonuçlar, çalışmamızda aritmetik görevinde aktive olan intraparyetal sulkus'un sayısal işleme ve matematiksel süreçlerdeki rolünü desteklemektedir.

Aritmetik görevinde, bilateral dorsolateral prefrontal korteks aktivasyonu ve yanı sıra sol hemisferde inferior frontal junction ve premotor/suplementer motor alan ilişkili aktivasyonlar bulunmuştur. Özellikle aritmetik ve sayısal işlem süreçleri söz konusu olduğunda paryetal korteks kadar frontal alanların süreçteki rolü de öne çıkarılmakta; sayısal işlevlerin fronto-paryetal alanlara yayılmış bir ağ tarafından temsil edildiği vurgulanmaktadır (Arsalidou vd., 2018; Sokolowski vd., 2017). Sol frontal beyin alanı hasarında sayma ve çoklukların sıralama ilişkili özelliklerinin korunduğu; ancak sembolik büyüklük temsili ve hesaplama gibi süreçlerde bozulmaların görüldüğü raporlanmıştır (Delazer & Butterworth, 1997). Frontal korteksten yapılan tek hücre kaydı çalışmalarında, paryetal alanlara benzer şekilde, bu bölgede sayısal büyüklüklere duyarlı nöronların bulunduğu gösterilmiştir (Nieder vd., 2002; Nieder & Miller, 2004). Bunun yanında, özellikle prefrontal korteks aktivasyonu literatürde sıklıkla çalışma belleği bilişsel işleviyle de ilişkilendirilmiştir (Carpenter vd., 1999; Cohen vd., 1996). Hesaplama görevleri temelde sayıların aklında tutulması ve manipülasyonunu içerdiğinden, prefrontal alanlarda görülen aktivasyonların sayısal işleme süreçlerinde daha çok genel bilişsel işlevlerle ilişkili olabileceği düşünülmüştür (Arsalidou & Taylor, 2011; Hawes vd., 2019; Matejko & Ansari, 2019).

Aritmetik görevinde aktivasyon gösterdiği bulunan bir diğer beyin bölgesi motor korteks (premotor alan/suplementer motor alan) alanlarıdır. Premotor korteks'in büyüklük işleme süreçlerinde eylem planlama ile ilgili olarak etkinlik gösterebileceği öne sürülmüştür (Skagerlund vd., 2016). Lyons & Beilock (2013) çalışmasında, sembolik sayı sıralama görevleri sırasında görsel-motor süreçlerle ilgili olarak premotor korteks aktivasyonu tespit etmiştir. Diğer yandan, premotor alanların (ve premotor korteks'in suplementer motor alana yakın kısımlarının) paryetal korteks ile birlikte mental rotasyon görevlerinde rol üstlendiği bulunmuştur (Jäncke & Jordan, 2007).

Oksipital korteks, aritmetik görevinde bilateral aktivasyonlarla karakterize bulunmuştur. Sembolik ve sembolik olmayan sayısal büyüklük karşılaştırma görevlerinde

görsel işlemeyle ilgili olduğu tahmin edilen oksipital korteks aktivasyonu rapor eden çalışmalar literatürde yer almaktadır (Holloway & Ansari, 2010; Mock vd., 2018). Toplama, çıkarma ve çarpma görevlerinin kullanıldığı bir iMRG çalışmasında; frontal ve temporal alanlara ek olarak bilateral oksipital alanlarda da aktivasyonlar görülmüştür (Kawashima vd., 2004). Sayısal işlem süreçlerinde, sayıların çokluk ilişkili temsillerinin posterior parietal kortekste, sayıların görsel tanıma ile ilişkili süreçlerinin temporo-okcipital alanlarda öne çıktığı düşünülmektedir (Menon & Chang, 2021). Çalışmamızdaki aritmetik görevler, sayıların ve aritmetik sembollerin tanınması ve görsel manipülasyonunu gerektirdiğinden bilateral oksipital korteks ilişkili aktivasyonlara neden olmuş olabilir.

Bilateral anterior insula aktivasyonu aritmetik görevi ilişkili iMRG sonuçlarında bulunmuştur. Anterior insula, sayısal büyüklük karşılaştırma sırasında özellikle görev zorluğu ve zorlanma ilişkili olarak aktivasyonu rapor edilmiş bir beyin alanıdır (Ansari vd., 2005; Üstün vd., 2021). Karar verme süreçlerinin incelendiği bir iMRG çalışmasında, anterior insula aktivasyonunun kişilerin zorlanma düzeyi ile ilişkili olarak artış gösterdiği rapor edilmiştir (Lamichhane vd., 2016). Belirginlik ağında yer alan bir bölge olması sebebiyle aritmetik görevlerinde daha çok bilişsel kontrol süreçleriyle ilişkili olarak ele alınmıştır (Menon, 2015; Mock vd., 2018). İnsular korteksin, intraparietal sulkus alanıyla fonksiyonel ve anatomik bağlantıları olduğu bilinmektedir (Uddin vd., 2010).

Çalışmamızda aritmetik görevinde aktivasyon gösteren bir diğer bölge kaudat nükleus olmuştur. Kaudat nükleus, sayı algısı literatüründe az sayıda çalışmada rapor edilmiştir. Ancak yine de aritmetik işleme sırasında beyinde kaudat nükleus aktivasyonu tespit eden araştırmalar literatürde yer almaktadır (Menon, Rivera, White, Eliez, vd., 2000). Menon ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan bir çalışmada aritmetik görevlerin zorluğu arttıkça kaudat nükleusun aktivasyon paterninde değişim gözlenmiştir. Araştırmacılar, kaudat nükleusun karmaşık ve seri aritmetik süreçlerin işlenmesinde destekleyici rolünün olabileceğini öne sürmüştür. Bu çalışmalar, kaudat nükleusun aritmetik ilişkili işlem süreçlerinde rol oynayabileceğini öne sürmektedir.

Çalışmanın MR sonuçlarında grup, seans ve görev etkileşimi beyin aktivasyonları ortaya çıkarılmıştır. Grup, seans ve görev faktörleri etkileşimi sağ hipokampus, sol superior temporal girus, bilateral suplementer motor alan ve sağ primer motor korteks aktivasyonlarıyla ilişkili bulunmuştur.

Bellek sisteminin merkezinde hipokampus alanı yer alır. Çocuk ve yetişkinlerde yapılan çalışmalar, hipokampus ve ilişkili olduğu fonksiyonel devrelerin özellikle bellek oluşturma ve hatırlama süreçlerinde öne çıktığını göstermektedir (Ghetti vd., 2010; Menon vd., 2005). Sayı algısı çalışmalarında hipokampus'un rolüne değinen araştırmalar literatürde yer almaktadır. Bu araştırmalarda hipokampusun sayısal yeteneklerin kazanımı sürecindeki rolü özellikle vurgulanmaktadır. Supekar ve arkadaşlarının (2013) yaptığı araştırmada, sekiz haftalık bireysel matematik eğitimi uygulanmış ve aritmetik yeteneklerdeki kazanım iMRG yöntemiyle incelenmiştir. Çalışmada, hipokampusteki gri madde hacminin aritmetik problem çözme becerilerindeki kazanımla ilişkili olduğu bulunmuştur (Supekar vd., 2013). Ayrıca hipokampusun prefrontal korteksle olan fonksiyonel bağlantısalığının aritmetik yeteneklerdeki kazanım artışı tahmin edebildiği gösterilmiştir (Supekar vd., 2013).

Öğrenmenin, çaba isteyen prosedüral süreçlerin kullanımındaki azalma ve bellek temelli hatırlama stratejilerinin kullanımındaki artışla ilişkilendirildiği bilinmektedir. Aritmetik bilgilerin öğreniminde özellikle erken dönemde hipokampal aktivasyonların rolü bildirilmiştir (Menon, 2016). Aritmetik çözümlerde farklı stratejilerin kullanımının farklı aktivasyonlarla karakterize olabileceği düşünülmektedir. Sayma temelli stratejiler ve bellek temelli hatırlama stratejilerinin, hipokampusta farklı aktivasyon örüntüleriyle ilişkili olduğu bulunmuştur (Cho vd., 2011). Yapılan bir çalışmada, hatırlama temelli stratejilerin kullanımındaki artışın hipokampal yanıtlardaki artmayla ilişkili olduğu gösterilmiştir (Cho vd., 2012). Qin ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan gelişimsel bir iMRG araştırması, aritmetiksel problem çözme sırasında sayma stratejilerinden hatırlama stratejilerine geçişle birlikte hipokampal aktivasyonların arttığını ve prefrontal-paryetal alanların süreçteki rolünün azaldığını göstermiştir. Çalışmada, aritmetik yeteneklerdeki kazanımla birlikte hipokampus'un fronto-paryetal alanlarla olan bağlantısalığının arttığı bulunmuştur (Qin vd., 2014). Bu bilgilere dayanarak, aritmetiksel problem çözümleriyle ilişkili bilişsel becerilerdeki gelişimin hipokampus ve prefrontal korteks alanları arasındaki dinamik etkileşimlere bağlı olabileceği öne sürülmüştür (Menon, 2016). Bu sonuçlar, hipokampusun sayısal yeteneklerin kazanımı sürecindeki rolüne işaret etmektedir. iMRG sonuçlarında gözlenen üçlü etkileşim ilişkili hipokampus aktivasyonu uygulanan pratik etkisinin gruplar arasında farklı kazanımlarla karakterize olabileceğini düşündürmektedir.

Çalışmamızda üçlü etkileşim ilişkili olarak superior temporal girus aktivasyonu iMRG sonuçlarında bulunmuştur. Superior temporal girus, zihinsel sayı doğrusu görevinde de bu çalışmada aktivasyon göstermiştir. Superior temporal girus alanının mental aritmetik (Dattola

vd., 2023) ve problem çözme (Andres vd., 2012; Fehr vd., 2008) gibi daha çok sayıların görsel manipülasyonunu gerektiren görevlerde rol oynadığı gösterilmiştir. Bununla birlikte, superior temporal girusun kortikal yüzey alanı karmaşıklığının sayısal zekâ ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Heidekum vd., 2020). Matematik öğrenimi çalışmalarında pratik etkisiyle ilişkili olarak superior temporal girus aktivasyonu rapor eden çalışmalar da literatürde yer almaktadır (Delazer vd., 2005; Ischebeck vd., 2007). Yapılan bir çalışmada, toplama görevlerine kıyasla özellikle çarpma problemleri gibi sözel işleme süreçlerinin daha baskın olduğu hesaplama görevlerinde sol superior temporal girus alanının aktivasyon gösterdiği bulunmuştur (Liu vd., 2019). Bu bölgede gözlenen lezyonların, aritmetiksel problemlerde çarpma işlemi ile ilgili öğrenilmiş kavramların hatırlanmasını zorlaştırdığı gözlemlenmiştir (Delazer vd., 2006; Sandrini vd., 2003). Yapılan bir iMRG çalışmasında karmaşık çarpma problemlerinin basit problemlere kıyasla superior temporal girus aktivasyonlarını öne çıkardığı bulunmuştur (Prado vd., 2013). Araştırmacılar gözlenen superior temporal girus aktivasyonunun fonolojik süreçlerle ilişkili olabileceği öne sürmüştür. Bu sonuçlar, superior temporal girusun sayısal görevlerde özellikle sözel temsil süreçleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Çalışmamızda bulunan superior temporal girus aktivasyonu, pratik etkisine bağlı olarak gruplar arasında aritmetiksel işlem ve özellikleri ile ilişkili sözel temsil süreçlerinde farklılaşmalar görülebileceğini düşündürmektedir.

Suplementer motor ve premotor korteks, üçlü etkileşime ek olarak çalışmamızda aritmetik görevi sırasında da aktivasyon göstermiştir. Bu bölgelerin her türlü büyüklük işleme süreçlerinde eylem planlama (Skagerlund vd., 2016) ve sembolik sıralama görevlerinde görsel-motor süreçlerle (Lyons & Beilock, 2013) ilgili olarak farklı çalışmalar tarafından aktivasyonu rapor edilmiştir. Yapılan bir çalışmada, premotor korteksin üst-düzey işlem alanlarının paryetal korteks ile birlikte mental rotasyon ilişkili süreçlerde rol oynayabileceği öne sürülmüştür (Jäncke & Jordan, 2007). Çalışmada, premotor korteks ve paryetal korteks alanlarından elde edilen BOLD sinyalinin zamansal özellikler açısından benzerlik gösterdiği bulunmuştur (Jäncke & Jordan, 2007). Pratik çalışmaları, zihinsel aritmetik görevlerinde motor korteks aktivasyonlarının rolünü özellikle sayma stratejilerinin (parmak sayma, sessiz sayma gibi) kullanımı ile ilişkili olarak açıklamıştır (Delazer vd., 2003). Ischebeck ve arkadaşlarının (2009) yaptıkları çalışmada, tekrar edilmemiş çarpma işlemi içeren matematiksel problemlerle ilişkili olarak suplementer motor alan aktivasyonu rapor etmiştir. Matematik eğitimi alanında yapılan araştırmalar, çok fazla tekrar yapılmayan aritmetik işlemler içeren problem çözme süreçlerinde sayma stratejilerinin kullanımının sıklıkla başvurulan bir yöntem olduğunu bildirmektedir (Ischebeck vd., 2007). Bu sonuçlar göz önüne

alındığında, bu araştırmada suplemeter motor alan aktivasyonunun pratik ilişkili öğrenme süreçlerinde farklı strateji kullanımlarıyla ilişkili olabileceği düşünölebilir. Ayrıca, suplemeter motor alan aktivasyonu, sayısal görevlerde motor planlama süreçlerinde gruplar arasında farklılıkları yansıtıyor olabilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, düşük ve yüksek matematik kaygısı olan gruplarda sayısal görevler sırasında beyin aktivasyonları iMRG yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma grupları ilk MR çekiminden sonra, dört hafta boyunca ve haftada 2 defa olmak üzere (toplam 8 uygulamayla), sayısal görevleri pratik etmiş ve sonrasında bir iMRG çekimine daha katılmışlardır. Böylece, düşük ve yüksek matematik kaygısı gruplarında sayısal pratik uygulamasının beyin mekanizmalarına olan etkisi boylamsal nörogörüntüleme yöntemi ile incelenmiştir. Matematik kaygısı gruplarının belirlenmesi amacıyla geniş bir örneklemede matematik kaygı taraması gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan matematik kaygı puanı dağılımı üzerinden çalışma kriterlerine uygun olan kişiler belirlenerek, düşük ve yüksek matematik kaygısı grupları tanımlanmıştır. Tüm çalışma katılımcıları, MR çekimleri öncesinde psikometrik ve bilişsel bazı değerlendirmelerden geçmiştir. MR çekimlerinde iki farklı türde sayısal görev kullanılmıştır. Bunlar, zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik görevleri olmuştur. Her görevin kendine ait bir kontrol koşulu görevi de deney paradigmasında yer almıştır. Düşük ve yüksek matematik kaygısı grupları sayısal görevleri pratik öncesi (ilk seans) ve pratik sonrasında (son seans) gerçekleştirdikleri sırada iMRG kayıtları alınmıştır.

Literatürden gelen bilgilerle uyumlu olarak, yüksek matematik kaygısı grubunun hesaplama performansı daha düşük bulunmuştur. Davranışsal test sonuçları incelendiğinde, sayısal pratik uygulamasının grupların matematik kaygı düzeyleri arasındaki farkı azalttığı; karmaşık dikkat ve çalışma belleği bilişsel özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Zihinsel sayı doğrusu görevi MR davranış yanıtlarına göre pratik etkisine bağlı olarak grupların yüzde hata oranları azalmıştır. Ayrıca, özellikle yüksek matematik kaygı grubunun tahmin başarısı sayısal pratik uygulaması sonrasında artış göstermiştir. Aritmetik görevi MR davranış yanıtlarına göre grupların yüzde başarıları pratikten olumlu etkilenmiş ve artmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında; sayısal pratik uygulamasının davranışsal ve bilişsel performansı destekleyici nitelikte olduğu anlaşılmaktadır.

iMRG analizi sonuçlarına göre; matematik kaygı gruplarının beyin aktivasyonları açısından bazı işlevsel farklar gösterdiği bulunmuştur. Düşük matematik kaygısı grubunda aritmetik yeteneklerle ilişkilendirilebilecek angular girus aktivasyonu tespit edilmiştir. Yüksek matematik kaygısı grubu, dikkat süreçleriyle ilişkili olduğu düşünülen frontal göz alanı aktivasyonu göstermiştir. Sayısal pratik etkisi, beyinde bilateral posterior singulat korteks aktivasyonu ile karakterize bulunmuştur. Posterior singulat korteks, sayısal görevlerde

oluşturulan zihinsel temsillerin hatırlanması süreçleriyle ilişkili olarak pratik sonrasında bu araştırmada aktivasyon göstermiş olabilir.

Sayısal görevlerin oluşturduğu aktivasyonlar birlikte incelendiğinde, iki görevin paryetal korteksteki temsilde farklı beyin alanlarının süreçte rol oynadığı görülmüştür. Zihinsel sayı doğrusu görevi; paryetal korteksin supramarginal girus, angular girus ve preküneus alanlarında yaygın bilateral aktivasyonlar ortaya çıkarmıştır. Bu aktivasyonların görüldüğü beyin alanları, sayısal işleme süreçlerinin yanında uzaysal temsilleştirme ve görsel-uzaysal işlevlerle ilişkilidir. Diğer yandan, aritmetik görevi bilateral intraparyetal sulkus ilişkili paryetal aktivasyonlar göstermiştir. İntraparyetal sulkus, özellikle sembolik sayılarla ilgili aritmetiksel işlemler ve özellikleri ile ilişkili süreçlerde öne çıkmaktadır. Görev ilişkili aktivasyonlar arasındaki diğer önemli fark; zihinsel sayı doğrusu görevinin beyinde yaygın bilateral paryetal aktivasyonları tetiklerken, aritmetik görevinin bilateral fronto-paryetal ve oksipital korteks aktivasyonlarına ek olarak özellikle sol hemisfer baskın işlevsel yanıtlar göstermesidir. Aritmetik görevin, zihinsel sayı doğrusu görevine kıyasla sayıların akılda tutulması ve manipülasyonu gibi bilişsel süreçleri içermesinden dolayı genel bilişsel işlevlerle ilişki frontal aktivasyonları (dorsolateral prefrontal korteks, inferior frontal junction, premotor/suplementer motor alan) tetiklediği düşünülmüştür. Zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik, literatürde birbirinden farklı fakat ilişkili sayısal işlem süreçleri olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada gözlenen zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik ilişkili aktivasyonlar literatürle uyumlu bulunmuştur.

Çalışmanın grup, seans ve görev etkileşimi sonuçları; beyinde hipokampus, superior temporal girus ve suplementer motor alan aktivasyonları ortaya çıkarmıştır. Etkileşim ilişkili aktivasyonlar, pratiğe bağlı olarak sayısal süreçlerin zihinsel temsilde görülebilecek kazanımların gruplar arasında farklılaşabileceğini düşündürmektedir. Buna göre; hipokampus aktivasyonu bellek temsilde, superior temporal girus aktivasyonu sözel temsilleştirmede, suplementer motor alan aktivasyonu motor eylem planlama ilişkili temsil süreçlerinde kazanımlarla ilişkili olarak pratik etkisinin çalışmadaki rolünü açıklayabilir. Bu sonuçlar, pratik etkisine bağlı olarak grupların sayısal görevlerde gözlenen davranışsal performansındaki kazanımlarla uyumludur. Davranışsal sonuçlar, pratik etkisine bağlı olarak grupların sayısal görev performansında hatanın azaldığını ve başarının arttığını göstermiştir. Grupların davranışsal performansında gözlenen iyileşme, sayısal görevlerin beyindeki zihinsel temsil süreçlerinde pratiğe bağlı farklı kazanımların etkisini yansıtır olabilir.

Genel olarak çalışma sonuçları; matematik kaygısında pratik etkisinin sayısal performansı iyileştirdiğini ve grupların davranışsal özelliklerinde görülen kazanımların iMRG yanıtlarında bellek, sözel ve motor temsil ilişkili beyin aktivasyon farklılaşmalarıyla karakterize olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmanın en temel ve en önemli kısıtlılığı örneklem sayısının az olmasıdır. Araştırmanın başlangıç aşamaları, pandemi sonrası devam edilen online eğitim sistemi uygulamasına denk geldiğinden matematik kaygı taramasında hedeflenen kişi sayısının altında kalmıştır. Buna bağlı olarak, düşük ve yüksek matematik kaygı gruplarına giren katılımcıların sayısı beklenenin altında olmuştur. Ayrıca, çalışmada yürütülen deneyler kapsamında katılımcıların MR çekimlerine başlayabilmek için NÖROM binasının kurulum sürecinin tamamlanması beklenmiştir. Çalışmanın iş takviminde yaşanan gecikmelerin yanında, araştırmanın iki aşamalı MR çekimi içermesi katılımcıların araştırmaya başlama ve devam sürecindeki motivasyonunu olumsuz yönde etkilemiştir. Katılımcıların bir kısmı çalışmanın pratik aşamasına katılmak istememiş ya da başlayıp bırakmıştır. Bazı bireyler, araştırmanın aritmetik görevleri içermesinden dolayı çalışmaya katılmayı reddetmiştir. Yaşanan bu durumlar, çalışmadaki katılımcı sayısının hedeflenenin altında kalmasına neden olmuştur. Çalışmada değinilebilecek bir diğer önemli kısıtlılık, yetişkin katılımcıların aritmetik yeteneklerinin değerlendirilmesinde kullanılan standart testlerin yetersizliğidir. Bu durum, katılımcıların aritmetik yeteneklerinin kapsamlı olarak incelenmesini etkilediğinden çalışmanın bir kısıtlılığı olarak ele alınabilir.

Bundan sonra yapılacak araştırmalarda, sembolik temsillerin manipülasyonu için kullanılan aritmetik işlemlerin ve özelliklerinin ayrı ayrı farklı zorluk düzeylerinde daha geniş örneklemli matematik kaygı gruplarında iMRG yöntemiyle incelenmesi faydalı olacaktır. Bu çalışmadan elde edilen bulgular, zihinsel sayı doğrusu ve aritmetik görevlerinin nöral temsillerinin farklılaşabileceğini göstermiştir. Diğer yandan, matematik kavram bilgisinin ve soyut akıl yürütmenin nöral temelleri henüz tam olarak bilinmemektedir. Ayrıca, literatürden gelen bilgiler sayısal görevler sırasında kullanılan çözüm stratejilerinin beyinde farklı aktivasyonlarla karakterize olduğunu göstermektedir. Aritmetik işlemler ve özellikleri ile ilgili süreçlerin (toplama-çarpma arasında beyin aktivasyonlarının benzerliği ve farklılığı gibi) ve çözüm stratejilerinin (hatırlama-parmak sayma gibi) iMRG yöntemiyle incelenmesi sayısal yeteneklerin nöral temsillerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Böylece, matematik kaygısı ilişkili davranışsal farklılıkların beyin mekanizmalarına nasıl yansıdığı daha iyi ortaya konabilir. Ek olarak, aritmetiksel işlemlerin beyin mekanizmalarıyla olan ilişkisinde çalışma

belleğinin gelişiminin daha iyi anlaşılması matematik öğretimine yönelik farklı eğitim uygulamalarının geliştirilmesine olanak sağlayabilir. Bu sayede, matematik eğitime daha uygun ve insan doğasına daha uyumlu materyaller tasarlanmasına ve sınıf ortamlarında yenilikçi öğretim yöntemlerinin geliştirilmesine olanak tanınabilir.

Ayrıca, yetişkin gruplarında sayısal yeteneklerin değerlendirilebilmesi için yeni ölçüm araçlarına gereksinim bulunmaktadır. Özellikle genç yetişkin bireylerde uygulanabilecek geçerlik ve güvenirlik çalışmaları yapılmış standart testlerin geliştirilmesinin matematik öğreniminin nöral süreçlerinin anlaşılmasında gelişimsel nörogörüntüleme araştırmalarının önünü açabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, pratik etkisinin davranışsal kazanımların yanında görev ilişkili aktivasyon değişiklikleriyle ilişkili olduğu bulunmuştur. Bundan sonraki adımda, sayısal pratiğin işlevsel bağlantısalılık düzeyinde ve hatta yapısal düzeydeki potansiyel etkileri araştırılmalıdır. Ayrıca, daha uzun süreli sayısal pratiklerin nöral yanıtlara etkisi merak konusudur. Gelecek çalışmalardan elde edilecek bilgiler, matematik öğrenimini destekleyecek yeni sayısal pratik uygulamalarının geliştirilmesinde yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- Albayrak Kaymak, D. (1987). Sınav kaygısı envanterinin Türkçe formunun oluşturulması ve güvenilirliği. *Türk Psikoloji Dergisi*, 6(21).
- Andres, M., Michaux, N., & Pesenti, M. (2012). Common substrate for mental arithmetic and finger representation in the parietal cortex. *NeuroImage*, 62(3), 1520-1528. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.047>
- Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *NeuroReport*, 16(16), 1769-1773. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000183905.23396.f1>
- Ansari, D., Lyons, I. M., Van Eimeren, L., & Xu, F. (2007). *Linking Visual Attention and Number Processing in the Brain: The Role of the Temporo-parietal Junction in Small and Large Symbolic and Nonsymbolic Number Comparison*.
- Arsalidou, M., Pawliw-Levac, M., Sadeghi, M., & Pascual-Leone, J. (2018). Brain areas associated with numbers and calculations in children: Meta-analyses of fMRI studies. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 30(July 2017), 239-250. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.08.002>
- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is $2+2=4$? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *NeuroImage*, 54(3), 2382-2393. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.10.009>
- Artemenko, C., Daroczy, G., & Nuerk, H.-C. (2015). Neural correlates of math anxiety – an overview and implications. *Frontiers in Psychology*, 6(September). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01333>
- Artemenko, C., Moeller, K., Huber, S., & Klein, E. (2015a). Differential influences of unilateral tDCS over the intraparietal cortex on numerical cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(MAR), 1-8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00110>
- Artemenko, C., Moeller, K., Huber, S., & Klein, E. (2015b). Differential influences of unilateral tDCS over the intraparietal cortex on numerical cognition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(MAR). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00110>
- Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 224-237. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.130.2.224>
- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin and Review*, 14(2), 243-248. <https://doi.org/10.3758/BF03194059>
- Atabek, O., Şavklıyıldız, A., Orhon, G., Colak, O. H., Özdemir, A., & Şenol, U. (2022). The effect of anxiety on mathematical thinking: An fMRI study on 12th-grade students. *Learning and Motivation*, 77(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2021.101779>

- Baloğlu, M. (2010). An investigation of the validity and reliability of the adapted mathematics anxiety rating scale-short version (MARS-SV) among Turkish students. *European Journal of Psychology of Education*, 25(4), 507-518. <https://doi.org/10.1007/s10212-010-0029-2>
- Barroso, C., Ganley, C. M., McGraw, A. L., Geer, E. A., Hart, S. A., & Daucourt, M. C. (2021). A Meta-analysis of the Relation Between Math Anxiety and Math Achievement. *Psychol Bull.*, 147(2), 134–168. <https://doi.org/10.1177/0022146515594631>.Marriage
- Borghesani, V., de Hevia, M. D., Viarouge, A., Pinheiro-Chagas, P., Eger, E., & Piazza, M. (2019). Processing number and length in the parietal cortex: Sharing resources, not a common code. *Cortex*, 114(July), 17-27. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.07.017>
- Bruce, C. J., & Goldberg, M. E. (1985). Primate frontal eye fields. I. Single neurons discharging before saccades. *Journal of Neurophysiology*, 53(3), 603-635. <https://doi.org/10.1152/jn.1985.53.3.603>
- Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R., & Schacter, D. L. (2008). The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, 1-38. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.011>
- Cantlon, J. F. (2012). Math, monkeys, and the developing brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(SUPPL.1), 10725-10732. <https://doi.org/10.1073/pnas.1201893109>
- Cantlon, J. F., Libertus, M. E., Pinel, P., Dehaene, S., Brannon, E. M., & Pelphrey, K. A. (2009). The neural development of an abstract concept of number. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(11), 2217-2229. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21159>
- Carpenter, P. A., Just, M. A., Keller, T. A., Eddy, W., & Thulborn, K. (1999). Graded functional activation in the visuospatial system with the amount of task demand. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11(1), 9-24. <https://doi.org/10.1162/089892999563210>
- Chapman, L. J., & Chapman, J. P. (1987). The Measurement of Handedness. *Brain Cogn*, 6(2), 175-183. <https://doi.org/10.1080/08856559.1933.10533126>
- Chen, Q., & Li, J. (2014). Association between individual differences in non-symbolic number acuity and math performance: A meta-analysis. *Acta Psychologica*, 148, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.01.016>
- Cho, S., Metcalfe, A. W. S., Young, C. B., Ryali, S., Geary, D. C., & Menon, V. (2012). Hippocampal-prefrontal engagement and dynamic causal interactions in the maturation of children's fact retrieval. *J Cogn Neurosci.*, 24(9), 1849–1866. <https://doi.org/10.1162/jocn>
- Cho, S., Ryali, S., Geary, D. C., & Menon, V. (2011). How does a child solve 7 + 8? Decoding brain activity patterns associated with counting and retrieval strategies. *Dev Sci.*, 14(5), 989–1001. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01055.x>.How
- Cohen, M. S., Kosslyn, S. M., Breiter, H. C., Digirolamo, G. J., Thompson, W. L., Anderson, A. K., Bookheimer, S. Y., Rosen, B. R., & Belliveau, J. W. (1996). Changes in cortical activity during mental rotation: A mapping study using functional MRI. *Brain*, 119(1), 89-100. <https://doi.org/10.1093/brain/119.1.89>

- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
- Cui, F., Liao, X., Yang, J., & Liu, J. (2023). The neural mechanism of the impact of mathematical anxiety on the math conceptual knowledge: Evidence from a resting-state fMRI study. *Acta Psychologica Sinica*, 55(6), 968-977. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2023.00968>
- Çiçek, M., Deouell, L. Y., & Knight, R. T. (2009). Brain activity during landmark and line bisection tasks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3(May), 1-8. <https://doi.org/10.3389/neuro.09.007>
- Dattola, S., Bonanno, L., Ielo, A., Quercia, A., Quartarone, A., & La Foresta, F. (2023). Brain Active Areas Associated with a Mental Arithmetic Task: An eLORETA Study. *Bioengineering*, 10(12), 1-12. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10121388>
- Dehaene, S. (1999). *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics* (47 (2)). *ish Journal of Educational Studies*.
- Dehaene, S. (2001). Précis of the number sense. *Mind and Language*, 16(1), 16-36. <https://doi.org/10.1111/1468-0017.00154>
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The Mental Representation of Parity and Number Magnitude Access to Parity and Magnitude Knowledge During Number Processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371-396.
- Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in Neurosciences*, 21(8), 355-361. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(98\)01263-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(98)01263-6)
- Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. J. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(2), 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.03.008>
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20(3-6), 487-506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- Delazer, M., Benke, T., Trieb, T., Schocke, M., & Ischebeck, A. (2006). Isolated numerical skills in posterior cortical atrophy-An fMRI study. *Neuropsychologia*, 44(10), 1909-1913. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.007>
- Delazer, M., & Butterworth, B. (1997). A Dissociation of Number Meanings. *Cognitive Neuropsychology*, 14(4), 613-636. <https://doi.org/10.1080/026432997381501>
- Delazer, M., Domahs, F., Bartha, L., Brenneis, C., Lochy, A., Trieb, T., & Benke, T. (2003). Learning complex arithmetic - An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 18(1), 76-88. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.09.005>
- Delazer, M., Ischebeck, A., Domahs, F., Zamarian, L., Koppelstaetter, F., Siedentopf, C. M., Kaufmann, L., Benke, T., & Felber, S. (2005). Learning by strategies and learning by drill - Evidence from an fMRI study. *NeuroImage*, 25(3), 838-849. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.009>

- De Vos, T. (1992). Tempotest rekenen TTR. [Arithmetic Number Fact Retrieval Test]. Nijmegen: Berkhout.
- Démonet, J. F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D., Nespoulous, J. L., Wise, R., Rascol, A., & Frackowiak, R. (1992). The anatomy of phonological and semantic processing in normal subjects. *Brain*, 115(6), 1753-1768. <https://doi.org/10.1093/brain/115.6.1753>
- Doricchi, F., Guariglia, P., Gasparini, M., & Tomaiuolo, F. (2005). Dissociation between physical and mental number line bisection in right hemisphere brain damage. *Nature Neuroscience*, 8(12), 1663-1665. <https://doi.org/10.1038/nn1563>
- Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years? *Frontiers in Psychology*, 7(APR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00508>
- Turconi, E. & Seron, X. (2002). DISSOCIATION BETWEEN ORDER AND QUANTITY MEANINGS IN A PATIENT WITH GERSTMANN SYNDROME. *Cortex*, 38(5), 911-914.
- Emerson, R. W., & Cantlon, J. F. (2012). Early math achievement and functional connectivity in the fronto-parietal network. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(SUPPL. 1), S139-S151. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.11.003>
- Fehr, T., Code, C., & Herrmann, M. (2008). Auditory task presentation reveals predominantly right hemispheric fMRI activation patterns during mental calculation. *Neuroscience Letters*, 431(1), 39-44. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2007.11.016>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>
- Ferrigno, S., Jara-Ettinger, J., Piantadosi, S. T., & Cantlon, J. F. (2017). Universal and uniquely human factors in spontaneous number perception. *Nature Communications*, 8, 1-10. <https://doi.org/10.1038/ncomms13968>
- Fox, M. D., Corbetta, M., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., & Raichle, M. E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103(26), 10046-10051. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604187103>
- Ghetti, S., DeMaster, D. M., Yonelinas, A. P., & Bunge, S. A. (2010). Developmental differences in medial temporal lobe function during memory encoding. *Journal of Neuroscience*, 30(28), 9548-9556. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3500-09.2010>
- Grotheer, M., Ambrus, G. G., & Kovács, G. (2016). Causal evidence of the involvement of the number form area in the visual detection of numbers and letters. *NeuroImage*, 132, 314-319. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.02.069>
- Hawes, Z., Sokolowski, H. M., Ononye, C. B., & Ansari, D. (2019). Neural underpinnings of numerical and spatial cognition: An fMRI meta-analysis of brain regions associated with symbolic number, arithmetic, and mental rotation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 103(May), 316-336. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.007>

- Heidekum, A. E., Vogel, S. E., & Grabner, R. H. (2020). Associations Between Individual Differences in Mathematical Competencies and Surface Anatomy of the Adult Brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14(March), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00116>
- Hembree, R. (1990). The Nature, Effects, and Relief of Mathematics Anxiety. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(1), 33-46. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.21.1.0033>
- Holloway, I. D., & Ansari, D. (2010). Developmental specialization in the right intraparietal sulcus for the abstract representation of numerical magnitude. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(11), 2627-2637. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21399>
- Huber, J. F., & Artemenko, C. (2021). Anxiety-Related Difficulties with Complex Arithmetic: A Web-Based Replication of the Anxiety-Complexity Effect. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, 229(4), 236-240. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000469>
- Huettel, S. A., Song, A. W., & McCarthy, G. (2008). *Functional magnetic resonance imaging* (2nd ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Isaacs, E. B., Edmonds, C. J., Lucas, A., & Gadian, D. G. (2001). Calculation difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain*, 124(9), 1701-1707. <https://doi.org/10.1093/brain/124.9.1701>
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Egger, K., Schocke, M., & Delazer, M. (2007). Imaging early practice effects in arithmetic. *NeuroImage*, 36(3), 993-1003. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.03.051>
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Schocke, M., & Delazer, M. (2009). Flexible transfer of knowledge in mental arithmetic - An fMRI study. *NeuroImage*, 44(3), 1103-1112. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.10.025>
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Siedentopf, C., Koppelstätter, F., Benke, T., Felber, S., & Delazer, M. (2006). How specifically do we learn? Imaging the learning of multiplication and subtraction. *NeuroImage*, 30(4), 1365-1375. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.11.016>
- Jäncke, L., & Jordan, K. (2007). Functional neuroanatomy of mental rotation performance. İçinde *Spatial Processing in Navigation, Imagery and Perception* (ss. 183-207). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71978-8_12
- Karnath, H. O., Himmelbach, M., & Rorden, C. (2002). The subcortical anatomy of human spatial neglect: Putamen, caudate nucleus and pulvinar. *Brain*, 125(2), 350-360. <https://doi.org/10.1093/brain/awf032>
- Kawashima, R., Taira, M., Okita, K., Inoue, K., Tajima, N., Yoshida, H., Sasaki, T., Sugiura, M., Watanabe, J., & Fukuda, H. (2004). A functional MRI study of simple arithmetic - A comparison between children and adults. *Cognitive Brain Research*, 18(3), 227-233. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.10.009>
- Kucian, K., McCaskey, U., O’Gorman Tuura, R., & von Aster, M. (2018). Neurostructural correlate of math anxiety in the brain of children. *Translational Psychiatry*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41398-018-0320-6>

- Lamichhane, B., Adhikari, B. M., & Dhamala, M. (2016). The activity in the anterior insulae is modulated by perceptual decision-making difficulty. *Neuroscience*, 327, 79-94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.04.016>
- Leech, R., Braga, R., & Sharp, D. J. (2012). Echoes of the brain within the posterior cingulate cortex. *Journal of Neuroscience*, 32(1), 215-222. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3689-11.2012>
- Lemer, C., Dehaene, S., Spelke, E., & Cohen, L. (2003). Approximate quantities and exact number words: Dissociable systems. *Neuropsychologia*, 41(14), 1942-1958. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00123-4)
- Liu, D., Zhou, D., Li, M., Li, M., Dong, W., Verguts, T., & Chen, Q. (2019). The Neural Mechanism of Number Line Bisection: A fMRI study. *Neuropsychologia*, 129(May 2018), 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.03.007>
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2011). Numerical ordering ability mediates the relation between number-sense and arithmetic competence. *Cognition*, 121(2), 256-261. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2011.07.009>
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2012a). Mathematics anxiety: Separating the math from the anxiety. *Cerebral Cortex*, 22(9), 2102-2110. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr289>
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2012b). When Math Hurts: Math Anxiety Predicts Pain Network Activation in Anticipation of Doing Math. *PLoS ONE*, 7(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048076>
- Lyons, I. M., & Beilock, S. L. (2013). Ordinality and the nature of symbolic numbers. *Journal of Neuroscience*, 33(43), 17052-17061. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1775-13.2013>
- Lyons, I. M., Price, G. R., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). Numerical predictors of arithmetic success in grades 1-6. *Developmental science*, 17(5), 714-726. <https://doi.org/10.1111/desc.12152>
- Lyons, I. M., Vogel, S. E., & Ansari, D. (2016a). On the ordinality of numbers: A review of neural and behavioral studies. İçinde *Progress in Brain Research* (1. bs, C. 227). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.010>
- Lyons, I. M., Vogel, S. E., & Ansari, D. (2016b). On the ordinality of numbers: A review of neural and behavioral studies. İçinde *Progress in Brain Research* (1. bs, C. 227). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.010>
- Maldonado Moscoso, P. A., Castaldi, E., Arrighi, R., Primi, C., Caponi, C., Buonincontro, S., Bolognini, F., & Anobile, G. (2022). Mathematics and Numerosity but Not Visuo-Spatial Working Memory Correlate with Mathematical Anxiety in Adults. *Brain Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/brainsci12040422>
- Maloney, E. A., Ansari, D., & Fugelsang, J. A. (2011). The effect of mathematics anxiety on the processing of numerical magnitude. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(1), 10-16. <https://doi.org/10.1080/17470218.2010.533278>

- Matejko, A. A., & Ansari, D. (2019). The neural association between arithmetic and basic numerical processing depends on arithmetic problem size and not chronological age. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 37(May 2018), 100653. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2019.100653>
- Menon, V., Boyett-Anderson, J. M., & Reiss, A. L. (2005). Maturation of medial temporal lobe response and connectivity during memory encoding. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.07.007>
- Menon, V., & Chang, H. (2021). Emerging neurodevelopmental perspectives on mathematical learning. *Developmental Review*, 60(May), 100964. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2021.100964>
- Menon, V., Rivera, S. M., White, C. D., Eliez, S., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2000). Functional optimization of arithmetic processing in perfect performers. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 343-345. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(00\)00010-0](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(00)00010-0)
- Menon, V., Rivera, S. M., White, C. D., Glover, G. H., & Reiss, A. L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *NeuroImage*, 12(4), 357-365. <https://doi.org/10.1006/nimg.2000.0613>
- Menon, V. (2014). Arithmetic in child and adult brain. In: Cohen Kadosh, R., Dowker, A., editors. *Handbook of Mathematical Cognition*. Oxford University Press; Oxford, p. 502-530.
- Menon, V. (2015). A neurodevelopmental perspective on the role of memory systems in children's math learning. In: Berch, D.B., Geary, D.C., Mann Koepke, K., editors. *Development of Mathematical Cognition-Neural Substrates and Genetic Influences*. Elsevier Science Publishing Co Inc.; United States, p. 79-107.
- Menon, V. (2016). Memory and cognitive control circuits in mathematical cognition and learning. *Prog Brain Res.*, 227, 159-186. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.026>.
- Mock, J., Huber, S., Bloechle, J., Dietrich, J. F., Bahnmüller, J., Rennig, J., Klein, E., & Moeller, K. (2018). Magnitude processing of symbolic and non-symbolic proportions: An fMRI study. *Behavioral and Brain Functions*, 14(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s12993-018-0141-z>
- Moustafa, A. A., Porter, A., & Megreya, A. M. (2020). Mathematics anxiety and cognition: An integrated neural network model. *Reviews in the Neurosciences*, 31(3), 287-296. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2019-0068>
- Murias, K., Slone, E., Tariq, S., & Iaria, G. (2019). Development of spatial orientation skills: an fMRI study. *Brain Imaging and Behavior*. <https://doi.org/10.1007/s11682-018-0028-5>
- Nalçacı, E., Kalaycıoğlu, C., Güneş, E., & Çiçek, M. (2002). El Tercihi Anketinin Geçerlik ve Güvenilirliği. *Türk Psikiyatri Derg*, 13(2), 99-106.
- Nemmi, F., Schel, M. A., & Klingberg, T. (2018). Connectivity of the human number form area reveals development of a cortical network for mathematics. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(November), 1-15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00465>
- Nieder, A. (2005). Counting on neurons: The neurobiology of numerical competence. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(3), 177-190. <https://doi.org/10.1038/nrn1626>

- Nieder, A., Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, 297(5587), 1708-1711. <https://doi.org/10.1126/science.1072493>
- Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(19), 7457-7462. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402239101>
- Olkun, S., Fidan, E., Babacan Özer, A., & Üniversitesi Öz, A. (2013). 5-7 Yaş Aralığındaki Çocuklarda Sayı Kavramının Gelişimi ve Saymanın Problem Çözmede Kullanımı The Development of Number Concept and the Use of Counting in Problem Solving of 5-7 Year Olds *. *Cilt*, 38(169), 169.
- Öner N. (1990). Sınav Kaygısı Envanteri El Kitabı. İstanbul: Yüksek Öğrenimde Rehberliği Tanıtma ve Rehber Yetiştirme Vakfı Yayını.
- Öner N., & Le Compte, A. (1998). *Sürekli Durumluk/Sürekliliği Kaygısı Envanteri El Kitabı* (2nd ed.). Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306(5695), 499-503. <https://doi.org/10.1126/science.1102085>
- Pizzie, R. G., & Kraemer, D. J. M. (2019). The Academic Anxiety Inventory: Evidence for dissociable patterns of anxiety related to math and other sources of academic stress. *Frontiers in Psychology*, 9(JAN), 1-20. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02684>
- Pizzie, R. G., McDermott, C. L., Salem, T. G., & Kraemer, D. J. M. (2020). Neural evidence for cognitive reappraisal as a strategy to alleviate the effects of math anxiety. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 15(12), 1271-1287. <https://doi.org/10.1093/SCAN/NSAA161>
- Pizzie, R. G., Raman, N., & Kraemer, D. J. M. (2020). Math anxiety and executive function: Neural influences of task switching on arithmetic processing. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 20(2), 309-325. <https://doi.org/10.3758/s13415-020-00770-z>
- Pletzer, B., Kronbichler, M., Nuerk, H. C., & Kerschbaum, H. H. (2015). Mathematics anxiety reduces default mode network deactivation in response to numerical tasks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9(APR), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00202>
- Polk, T. A., Reed, C. L., Keenan, J. M., Hogarth, P., & Anderson, C. A. (2001). A dissociation between symbolic number knowledge and analogue magnitude information. *Brain and Cognition*, 47(3), 545-563. <https://doi.org/10.1006/brcg.2001.1486>
- Prado, J., Lu, J., Liu, L., Dong, Q., Zhou, X., & Booth, J. R. (2013). The neural bases of the multiplication problem-size effect across countries. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(APR 2013), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00189>
- Price, C. J., & Mechelli, A. (2005). Reading and reading disturbance. *Current Opinion in Neurobiology*, 15(2), 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.003>

- Price, G. R., Holloway, I., Räsänen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology*, 17(24), 1042-1043. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.013>
- Qin, S., Cho, S., Chen, T., Rosenberg-Lee, M., Geary, D. C., & Menon. (2014). Hippocampal-neocortical functional reorganization underlies children's cognitive development. *Nat Neurosci.*, 17(9), 1263–1269. <https://doi.org/10.1038/nn.3788>.Hippocampal-neocortical
- Raichle, M. E., MacLeod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A., & Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(2), 676-682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The Mathematics Anxiety Rating Scale: Psychometric data. *Journal of Counseling Psychology*, 19(6), 551-554. <https://doi.org/10.1037/h0033456>
- Rivera, S. M., Reiss, A. L., Eckert, M. A., & Menon, V. (2005). Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1779-1790. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi055>
- Sandrini, M., Miozzo, A., Cotelli, M., & Cappa, S. F. (2003). The residual calculation abilities of a patient with severe aphasia: Evidence for a selective deficit of subtraction procedures. *Cortex*, 39(1), 85-96. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70076-5](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70076-5)
- Sarkar, A., Dowker, A., & Kadosh, R. C. (2014). Cognitive enhancement or cognitive cost: Trait-specific outcomes of brain stimulation in the case of mathematics anxiety. *Journal of Neuroscience*, 34(50), 16605-16610. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3129-14.2014>
- Sawamura, H., Shima, K., & Tanji, J. (2002). Numerical representation for action in the parietal cortex of the monkey. *Nature*, 415(6874), 918-922. <https://doi.org/10.1038/415918a>
- Schedlbauer, A. M., Copara, M. S., Watrous, A. J., & Ekstrom, A. D. (2014). Multiple interacting brain areas underlie successful spatiotemporal memory retrieval in humans. *Scientific Reports*, 4, 1-9. <https://doi.org/10.1038/srep06431>
- Schneider, M., Beeres, K., Coban, L., Merz, S., Susan Schmidt, S., Stricker, J., & De Smedt, B. (2017). Associations of non-symbolic and symbolic numerical magnitude processing with mathematical competence: a meta-analysis. *Developmental Science*, 20(3), 1-16. <https://doi.org/10.1111/desc.12372>
- Schneider, M., Grabner, R. H., & Paetsch, J. (2009). Mental Number Line, Number Line Estimation, and Mathematical Achievement: Their Interrelations in Grades 5 and 6. *Journal of Educational Psychology*, 101(2), 359-372. <https://doi.org/10.1037/a0013840>
- Seghier, M. L., Fagan, E., & Price, C. J. (2010). Functional subdivisions in the left angular gyrus where the semantic system meets and diverges from the default network. *Journal of Neuroscience*, 30(50), 16809-16817. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3377-10.2010>
- Shum, J., Hermes, D., Foster, B. L., Dastjerdi, M., Rangarajan, V., Winawer, J., Miller, K. J., & Parvizi, J. (2013). A brain area for visual numerals. *Journal of Neuroscience*, 33(16), 6709-6715. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4558-12.2013>

- Silver, A. M., Elliott, L., Reynvoet, B., Sasanguie, D., & Libertus, M. E. (2022). Teasing apart the unique contributions of cognitive and affective predictors of math performance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1-18. <https://doi.org/10.1111/nyas.14747>
- Simon, O., Mangin, J. F., Cohen, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and language-related areas in the human parietal lobe. *Neuron*, 33(3), 475-487. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00575-5](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00575-5)
- Skagerlund, K., Karlsson, T., & Träff, U. (2016). Magnitude Processing in the Brain: An fMRI Study of Time, Space, and Numerosity as a Shared Cortical System. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10(October), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00500>
- Slotnick, S. D. (2017). Cluster success: fMRI inferences for spatial extent have acceptable false-positive rates. *Cogn Neurosci*, 8(3), 150-155. <https://doi.org/10.1080/17588928.2017.1319350>
- Sokolowski, H. M., Fias, W., Mousa, A., & Ansari, D. (2017). Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *NeuroImage*, 146, 376-394. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.028>
- Sokolowski, H. M., Hawes, Z., & Ansari, D. (2022). The neural correlates of retrieval and procedural strategies in mental arithmetic: A functional neuroimaging meta-analysis. *Human Brain Mapping*. <https://doi.org/10.1002/hbm.26082>
- Sommerauer, G., Graß, K. H., Grabner, R. H., & Vogel, S. E. (2020). The semantic control network mediates the relationship between symbolic numerical order processing and arithmetic performance in children. *Neuropsychologia*, 141(January). <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107405>
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. ., & Lushene, R. E. (1970). *STAI manual for the State-Trait Inventory*.
- Spielberger CD, Gorsuch RL, Lushene RE. STAI manual for the Stait-Trait Anxiety Inventory. California: Consulting Psychologists Press; 1970.
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210(4473), 1033-1035. <https://doi.org/10.1126/science.7434014>
- Starr, A., Libertus, M. E., & Brannon, E. M. (2013). Number sense in infancy predicts mathematical abilities in childhood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(45), 18116-18120. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302751110>
- Suinn, R. M., & Winston, E. H. (2003). the Mathematics Anxiety Rating Scale, a Brief Version: Psychometric Data. *Psychological Reports*, 92(1), 167. <https://doi.org/10.2466/pr0.92.1.167-173>
- Supekar, K., Iuculano, T., Chen, L., & Menon, V. (2015). Remediation of childhood math anxiety and associated neural circuits through cognitive tutoring. *Journal of Neuroscience*, 35(36), 12574-12583. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0786-15.2015>

- Supekar, K., & Menon, V. (2012). Developmental maturation of dynamic causal control signals in higher-order cognition: A neurocognitive network model. *PLoS Computational Biology*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002374>
- Supekar, K., Swigart, A. G., Tenison, C., Jolles, D. D., Rosenberg-Lee, M., Fuchs, L., & Menon, V. (2013). Neural predictors of individual differences in response to math tutoring in primary-grade school children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(20), 8230-8235. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222154110>
- The MathWorks Inc. (2018). *MATLAB* (9.7.0.1190202 (R2018a)). The MathWorks Inc.
- Titia, G., & Reynvoet, B. (2015). *The oxford handbook of numerical cognition* (R. C. Kadosh & A. Dowker, Ed.). Oxford University Press.
- Tsang, J. M., Dougherty, R. F., Deutsch, G. K., Wandell, B. A., & Ben-Shachar, M. (2009). Frontoparietal white matter diffusion properties predict mental arithmetic skills in children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(52), 22546-22551. <https://doi.org/10.1073/pnas.0906094106>
- Tymofiyeva, O., & Gaschler, R. (2021). Training-Induced Neural Plasticity in Youth: A Systematic Review of Structural and Functional MRI Studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14(January), 1-24. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.497245>
- Uddin, L. Q., Supekar, K., Amin, H., Rykhlevskaia, E., Nguyen, D. A., Greicius, M. D., & Menon, V. (2010). Dissociable connectivity within human angular gyrus and intraparietal sulcus: Evidence from functional and structural connectivity. *Cerebral Cortex*, 20(11), 2636-2646. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq011>
- Uncapher, M. R., Otten, L. J., & Rugg, M. D. (2006). Episodic encoding is more than the sum of its parts: An fMRI investigation of multifeature contextual encoding. *Neuron*, 52(3), 547-556.
- Uncapher, M., & Wagner, A. D. (2010). *Posterior Parietal Cortex and Episodic Encoding: Insights from fMRI Subsequent Memory Effects and Dual Attention Theory*. 91(2). <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2008.10.011>. Posterior
- Üstün, S., Ayyıldız, N., Kale, E. H., Mançe Çalışır, Ö., Uran, P., Öner, Ö., Olkun, S., & Çiçek, M. (2021). Children With Dyscalculia Show Hippocampal Hyperactivity During Symbolic Number Perception. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15(July), 1-13. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.687476>
- Üstün, S., Ayyıldız, N., Vatansever, G., & Çiçek, M. (2019). Neural Foundations of Number Sense and Dyscalculia. *Journal of Ankara University Faculty of Medicine*, 72(3), 254-261. <https://doi.org/10.4274/atfm.galenos.2019.83584>
- Vaidehi S., N., Jui-Jui, L., Alexis, B., Akshay, A., Michael D., R., & Bradley, L. (2019). Stimulation of the Posterior Cingulate Cortex Impairs Episodic Memory Encoding. *The Journal of Neuroscience*, 39(36), 7173-7182. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00334>
- Vallar, G. (2001). Extrapersonal visual unilateral spatial neglect and its neuroanatomy. *NeuroImage*, 14(1 II), 52-58. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0822>

- Van den Bussche, E., Vanmeert, K., Aben, B., & Sasanguie, D. (2020). Too anxious to control: the relation between math anxiety and inhibitory control processes. *Scientific Reports*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76920-7>
- Van Eimeren, L., Niogi, S. N., McCandliss, B. D., Holloway, I. D., & Ansari, D. (2008). White matter microstructures underlying mathematical abilities in children. *NeuroReport*, 19(11), 1117-1121. <https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e328307f5c1>
- van Oeffelen, M. P., & Vos, P. G. (1982). A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception & Psychophysics*, 32(2), 163-170. <https://doi.org/10.3758/BF03204275>
- Vann, S. D., Aggleton, J. P., & Maguire, E. A. (2009). What does the retrosplenial cortex do? *Nature Reviews Neuroscience*, 10(11), 792-802. <https://doi.org/10.1038/nrn2733>
- Vatansever, G., Üstün, S., Ayyıldız, N., & Çiçek, M. (2020). Developmental alterations of the numerical processing networks in the brain. *Brain and Cognition*, 141(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2020.105551>
- Vernet, M., Quentin, R., Chanes, L., Mitsumasu, A., & Valero-Cabré, A. (2014). Frontal eye field, where art thou? Anatomy, function, and non-invasive manipulation of frontal regions involved in eye movements and associated cognitive operations. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8(AUG), 1-24. <https://doi.org/10.3389/fnint.2014.00066>
- Vogel, S. E., & De Smedt, B. (2021). Developmental brain dynamics of numerical and arithmetic abilities. *npj Science of Learning*, 6(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41539-021-00099-3>
- Vogel, S. E., Goffin, C., & Ansari, D. (2015). Developmental specialization of the left parietal cortex for the semantic representation of Arabic numerals: An fMR-adaptation study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 12(1), 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2014.12.001>
- Von Aster, M. G., & Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(11), 868-873. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00868.x>
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483-488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- Wen, X., Yao, L., Liu, Y., & Ding, M. (2012). Causal interactions in attention networks predict behavioral performance. *Journal of Neuroscience*, 32(4), 1284-1292. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2817-11.2012>
- Wechsler, D. (1987). Manual for the WechslerMemory Scale--Revised. New York: Psychological Corporation.
- Whitfield-Gabrieli, S., Moran, J. M., Nieto-Castañón, A., Triantafyllou, C., Saxe, R., & Gabrieli, J. D. E. (2011). Associations and dissociations between default and self-reference networks in the human brain. *NeuroImage*, 55(1), 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.11.048>
- Wikipedia. (2024). *Matematik*. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Matematik>

Young, C. (2012). The Neurodevelopmental Basis of Math Anxiety. *Psychol Sci.*, 23(5), 492-501.
<https://doi.org/10.1177/0956797611429134>.The

Zamarian, L., Ischebeck, A., & Delazer, M. (2009). Neuroscience of learning arithmetic-Evidence from brain imaging studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(6), 909-925.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.03.005>



EKLER

Ek 1: Sosyodemografik Bilgi Formu

SOSYODEMOGRAFİK BİLGİ FORMU

Ad-soyad:

Telefon:

E-posta:

Yaşadığınız şehir:

Yaş:

Cinsiyet: ☐ Kadın ☐ Erkek

Herhangi bir işte çalışıyor musunuz?: ☐ Serbest Meslek ☐ Kamu/Özel kurum ☐ Çalışmıyor

Toplam kaç yıl eğitim aldığınızı (ilkokuldan itibaren) yazınız:

Okuduğunuz üniversiteyi, bölümünüzü ve kaçınıcı yılda olduğunuzu belirtiniz:

Bilinen nörolojik/psikiyatrik (ya da diğer) bir hastalığınız var mı?

☐ Evet ☐ Hayır

Sürekli kullandığınız ilaç(lar) var mı?

☐ Evet ☐ Hayır

Cevabınız evet ise lütfen kullandığınız ilacın adını yazınız:

Ek 2: El Tercihi Ölçeği

EL TERCİHİ BELİRLEME FORMU

Aşağıda belirtilen işleri yaparken öncelikle tercih ettiğiniz elinizi işaretleyiniz. İki elinizden herhangi birini öncelikle tercih etmiyorsanız ‘Her ikisini de’ yanıtını işaretleyiniz.

<i>El Tercihi</i>	SOL	SAĞ	HER İKİSİNİ DE
Yazı yazarken			
Çizerken			
Bir şey fırlatırken			
Çekiç kullanırken (çekici tutan el)			
Diş fırçalarken			
Silgi ile silerken			
Makas kullanırken			
Kibrit çıkarken			
Bir teneke boya karıştırırken			
Kaşık kullanırken			
Tornavida kullanırken			
Kavanoz kapağı açarken (kapağı açan el)			
Bıçak kullanırken (çatalsız)			

Toplam Puan:

Ek 3: Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği: Kısa Form (MKDÖ-KF)

Tarih:

Ad-soyad:

MATEMATİK KAYGISINI DERECELENDİRME ÖLÇEĞİ: KISA FORM

(MKDÖ-KF)*

Açıklama: Bu ölçekte, gerilim veya endişeye neden olabilecek deneyim ve durumlarla ilgili ifadeler bulunmaktadır. 1-“Hiç kaygılanmam,” 2-“Çok az kaygılanırım,” 3-“Kaygılanırım,” 4-“Epeyce kaygılanırım” ve 5-“Aşırı derecede kaygılanırım” aralığında, belirtilen maddedeki durumun bugünlerde sizi ne kadar kaygılandıracağına karar veriniz. Maddelerin karşısındaki satırda belirtilen rakamlardan birini seçiniz. Her cümleyi ayrı olarak düşündünüz ve mümkün olduğunca hızlı cevaplamaya çalışınız.

KAYGI NEDENİ...		Hiç Kaygılanmam	Çok Az Kaygılanırım	Kaygılanırım	Epeyce Kaygılanırım	Aşırı Derecede Kaygılanırım
1.	Bir matematik dersinin dönem sonu sınavına girmekten	1	2	3	4	5
2.	Bir hafta öncesinden bir matematik sınavını düşündüğümde	1	2	3	4	5
3.	Bir gün öncesinden bir matematik sınavını düşündüğümde	1	2	3	4	5
4.	Bir saat öncesinden bir matematik sınavını düşündüğümde	1	2	3	4	5
5.	Beş dakika öncesinden bir matematik sınavını düşündüğümde	1	2	3	4	5
6.	İyi geçtiğini düşündüğüm bir matematik sınavının sonucunun ilan edilmesini beklerken	1	2	3	4	5
7.	Karnemde yıl sonu matematik notumu gördüğümde	1	2	3	4	5
8.	Mezun olabilmek için belli sayıda matematik dersini tamamlamak zorunda olduğumu fark ettiğimde	1	2	3	4	5
9.	Matematik dersinde daha önceden haber verilmemiş quiz tipi bir sınava girdiğimde	1	2	3	4	5
10.	Matematik sınavına çalışırken	1	2	3	4	5
11.	Ö.S.S. gibi bir standart testin matematik bölümünü cevaplandırırken	1	2	3	4	5
12.	Bir matematik dersinin ara sınavına girmekten	1	2	3	4	5

13.	Ödevimi yapmak için matematik kitabımı elime aldığımda	1	2	3	4	5
14.	Bir sonraki derse getirilmek üzere, içerisinde birçok zor matematik problemi bulunan bir ev ödevi verildiğinde	1	2	3	4	5
15.	Bir matematik sınavı için çalışmaya hazırlanırken	1	2	3	4	5
16.	Beş basamaklı bir sayıyı iki basamaklı bir sayıya bölme işlemini, kağıt - kalemle, tek başıma yaparken	1	2	3	4	5
17.	Kağıt üzerinde $976+777$ toplamasını yaparken	1	2	3	4	5
18.	Alışverişten sonra kasa fişini okurken	1	2	3	4	5
19.	1 Türk Lirası'ndan daha pahalı bir malın KDV'sini hesaplarken	1	2	3	4	5
20.	Aylık gelir ve giderlerimi hesaplarken	1	2	3	4	5
21.	Benden kağıt üzerinde bir dizi toplama işlemi yapmam istendiğinde	1	2	3	4	5
22.	Alt alta bir dizi sayıyı toplarken birinin beni izlemesinden	1	2	3	4	5
23.	Bir yemek sonrasında, fazla ödeme yaptığımı düşündüğümde, hesabı yeniden toplarken	1	2	3	4	5
24.	Bir dernekte aidatları toplayarak, toplanan miktarı takip etmekten sorumlu kişi olmaktan	1	2	3	4	5
25.	Ehliyet sınavına çalışırken, gerekli rakamları ezberlerken (Örneğin: Farklı hızlarda giden araçların durmaları için gerekli minimum mesafeler gibi.)	1	2	3	4	5
26.	Üyesi olduğum derneğe gelen aidatların ve dernek harcamalarının hesabını yapmaktan	1	2	3	4	5
27.	Hesap makinesi ile işlem yapan birini izlerken	1	2	3	4	5
28.	Benden kağıt üzerinde bir dizi bölme işlemi yapmam istendiğinde	1	2	3	4	5
29.	Benden kağıt üzerinde bir dizi çıkarma işlemi yapmam istendiğinde	1	2	3	4	5

30.	Benden kağıt üzerinde bir dizi çarpma işlemi yapmam istendiğinde	1	2	3	4	5
-----	--	---	---	---	---	---

* Matematik Kaygısını Derecelendirme Ölçeği Türkçe formu Prof. Dr. Richard Suinn'in 'Mathematics Anxiety Rating Scale: Short Version (MARS-SV)' adlı ölçeğinin orijinal formundan geliştirilmiştir. Orijinal form hakkında Prof. Dr. Richard Suinn 808 Cheyenne Drive, Ft. Collins, CO 80525 USA adresinden bilgi alınabilir.



Ek 4: Sürekli Kaygı Ölçeği

Tarih:

Ad-soyad:

STAI FORM TX – 2 (SÜREKLİ KAYGI ÖLÇEĞİ)

YÖNERGE: Aşağıda kişilerin kendilerine ait duygularını anlatmada kullandıkları birtakım ifadeler verilmiştir. Her ifadeyi okuyunuz, sonra da genel olarak nasıl hissettiğinizi ifadelerin sağ tarafındaki parantezlerden uygun olanını işaretlemek suretiyle belirtiniz. Doğru ya da yanlış cevap yoktur. Herhangi bir ifadenin üzerinde fazla zaman sarf etmeksizin genel olarak nasıl hissettiğinizi gösteren cevabı işaretleyiniz.

		Hemen hiçbir zaman	Bazen	Çok zaman	Hemen her zaman
1.	Genellikle keyfim yerindedir.	(1)	(2)	(3)	(4)
2.	Genellikle çabuk yorulurum.	(1)	(2)	(3)	(4)
3.	Genellikle kolay ağlarım.	(1)	(2)	(3)	(4)
4.	Başkaları kadar mutlu olmak isterim.	(1)	(2)	(3)	(4)
5.	Çabuk karar veremediğim için fırsatları kaçıırım.	(1)	(2)	(3)	(4)
6.	Kendimi dinlenmiş hissederim.	(1)	(2)	(3)	(4)
7.	Genellikle sakin, kendime hakim ve soğukkanlıyım.	(1)	(2)	(3)	(4)
8.	Güçlüklerin yenemeyeceğim kadar biriktiğini hissederim.	(1)	(2)	(3)	(4)
9.	Önemsiz şeyler hakkında endişelenirim.	(1)	(2)	(3)	(4)

10.	Genellikle mutluyum.	(1)	(2)	(3)	(4)
11.	Her şeyi ciddiye alır ve etkilenirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
12.	Genellikle kendime güvenim yoktur.	(1)	(2)	(3)	(4)
13.	Genellikle kendimi güvende hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
14.	Sıkıntılı ve güç durumlarla karşılaşmaktan kaçınırım.	(1)	(2)	(3)	(4)
15.	Genellikle kendimi hüznümlü hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
16.	Genellikle hayatımdan memnunum.	(1)	(2)	(3)	(4)
17.	Olur olmaz düşünceler beni rahatsız eder.	(1)	(2)	(3)	(4)
18.	Hayal kırıklıklarını öylesine ciddiye alırım ki hiç unutamam.	(1)	(2)	(3)	(4)
19.	Aklı başında ve kararlı bir insanım.	(1)	(2)	(3)	(4)
20.	Son zamanlarda kafama takılan konular beni tedirgin eder.	(1)	(2)	(3)	(4)

Ek 5: Sınav Kaygısı Envanteri

Tarih:

Ad-soyad:

SINAV KAYGISI ENVANTERİ

YÖNERGE: Aşağıda, insanların kendilerini tanımlamak için kullandıkları bir dizi ifade sıralanmıştır. Bunların her birini okuyun ve genel olarak nasıl hissettiğinizi anlatan ifadenin sağındaki boşluklardan uygun olanın içini karalayın. Burada doğru yada yanlış yanıt yoktur. İfadelerin hiçbirisi üzerinde fazla zaman harcamadan yazılı ve sözlü sınavlarda genel olarak nasıl hissettiğinizi gösteren yanıtı işaretleyin.

	Hemen Hiçbir Zaman	Bazen	Çoğu Zaman	Hemen Her Zaman
1. Sınav sırasında kendimi güvenli ve rahat hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
2. O dersten alacağım notu düşünmek, sınav sırasındaki başarımla olumsuz yönde etkiler.	(1)	(2)	(3)	(4)
3. Önemli sınavlarda donup kalırım.	(1)	(2)	(3)	(4)
4. Sınavlar sırasında, birgün okulu bitirip bitirmeyeceğimi düşünmekten kendimi alamam.	(1)	(2)	(3)	(4)
5. Bir sınav sırasında ne kadar çok uğraşırsam kafam o kadar çok karışır.	(1)	(2)	(3)	(4)
6. Sınavlarda kendimi huzursuz ve rahatsız hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
7. Önemli bir sınav sırasında kendimi çok sinirli hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)
8. Başarısız olma düşünceleri, dikkatimi sınav üzerinde toplamama engel olur.	(1)	(2)	(3)	(4)
9. Bir sınava çok iyi hazırlandığım zamanlar bile kendimi oldukça sinirli hissedirim.	(1)	(2)	(3)	(4)

10. Önemli sınavlarda sinirlerim öylesine gerilir ki midem bulanır.	(1)	(2)	(3)	(4)
11. Bir sınav kağıdını geri almadan hemen önce çok huzursuz olurum.	(1)	(2)	(3)	(4)
12. Önemli sınavlarda kendimi adeta yenilgiye iterim.	(1)	(2)	(3)	(4)
13. Sınavlar sırasında kendimi çok gergin hissederim.	(1)	(2)	(3)	(4)
14. Önemli bir sınav sırasında paniğe kapılırım.	(1)	(2)	(3)	(4)
15. Sınavların beni bu kadar rahatsız etmemesini isterdim.	(1)	(2)	(3)	(4)
16. Önemli bir sınava girmeden önce çok endişelenirim (kurarım).	(1)	(2)	(3)	(4)
17. Sınavlar sırasında, başarısız olmanın sonuçlarını düşünmekten kendimi alamam.	(1)	(2)	(3)	(4)
18. Önemli sınavlarda kalbimin çok hızlı attığını hissederim.	(1)	(2)	(3)	(4)
19. Sınav sona erdikten sonra endişelenmemeye (kurmamaya) çalışırım, fakat yapamam.	(1)	(2)	(3)	(4)
20. Sınavlar sırasında öylesine sinirli olurum ki aslında bildiğim şeyleri bile unuturum.	(1)	(2)	(3)	(4)

Ek 6: Bilgilendirilmiş Gönüllü Onam Formu

BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ ONAM FORMU

Değerli katılımcı,

Prof. Dr. Metehan Çiçek yürütücülüğünde NÖROM’ da yürütülmekte olan ve TÜSEB tarafından desteklenen “Matematik kaygısı ve eğitim uygulamasının sayısal görevler sırasındaki beyin aktivitesine etkisi” başlıklı araştırmamıza katıldığınız için teşekkür ederiz. Bu çalışmanın amacı, sayısal görevler sırasında hangi beyin bölgelerinin etkinlik gösterdiğini araştırmak ve sayısal pratik uygulamasına bağlı olarak matematik kaygısı olan bireylerin beyin etkinliklerinin değişip değişmeyeceğini Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) yöntemi ile incelemektir.

Çalışmamız toplam 3 aşamadan oluşmaktadır:

İlk aşamada; siz MR cihazı içindeyken bir ayna yardımıyla görebileceğiniz ve daha önce öğrenmiş olduğunuz sayısal görevleri yapmanız gerekmektedir. Bu aşama toplam 1 saat sürmektedir. Bu süre, 10 dakika sürecek bilişsel testler ile 50 dakika sürecek MRG çekimini kapsamaktadır.

İkinci aşamada; toplam 4 haftalık bir sayısal pratik uygulaması yer almaktadır. Sayısal pratiğe sizinle paylaşacağımız bir web sitesi adresi üzerinden ulaşarak; size uyan vakitlerinizde haftada 2 defa 10 dakika sürecek olan bu sayısal pratiklerin yapılması gerekmektedir. Sayısal pratik, MR cihazı içindeyken yapmış olduğunuz görevleri içermektedir.

Son aşamada; merkezimize bir kere daha davet edilecek ve sizden daha önce yapmış olduğunuz sayısal görevlerin benzerlerini MR cihazı içinde bir kere daha yapmanız istenecektir. Bu aşama toplam 1 saat sürmektedir. Bu süre, 10 dakika sürecek bilişsel testler ile 50 dakika sürecek MRG çekimini kapsamaktadır. Bu aşamayı da tamamladıktan sonra çalışmamızdaki katılımınız sonlanmaktadır.

Çalışmaya katılım gönüllülük esasına dayanmaktadır. Burada vereceğiniz yanıtlar tamamen gizli tutulacak ve yalnızca çalışmada yer alan araştırmacılar tarafından görülecektir. Paylaşacağınız bilgiler tamamen bilimsel amaçlarla kullanılacaktır. Çalışmadan elde edilen bulgular isim bilgisi yer almaksızın sadece bilimsel yayınlarda paylaşılacaktır. Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

Yukarıda yer alan bilgileri okudum ve anladım. İlgili çalışmanın kapsamını, amacını ve gönüllü olarak üstlenmem gereken sorumlulukları öğrendim. Çalışma ile ilgili yazılı ve sözlü açıklamalar, araştırmacılar tarafından tarafıma iletilmiştir. Potansiyel riskler ve faydalar hakkında bana sözlü bilgi

verildi ve kişisel bilgilerimin titizlikle korunacağı konusunda yeterli güvence sağlandı. Bu şartlar altında, hiçbir baskı veya telkin olmaksızın kendi isteğimle söz konusu araştırmaya katılmayı kabul ediyorum.

Katılımcının

Adı- Soyadı:

İmzası:

İletişim bilgilerimin diğer araştırmacıların benimle iletişime geçebilmesi için “ortak araştırma havuzuna” aktarılmasını;

☐ Kabul ediyorum

☐ Kabul etmiyorum (lütfen uygun seçeneği işaretleyiniz)



Ek 7: WMS-R Sayı Menzili Testi

WMS-R Sayı Menzili Testi

DÜZ

Skor:

582	6439	42731	619473	5917423	58192647
694	7286	75836	392487	4179386	38295174

TERS

Skor:

24	283	3279	15286	539418	8129365
58	415	4968	61843	724856	4739128

Ek 8: Hesaplama Performans Testi

HESAPLAMA PERFORMANS TESTİ

$1 + 1 =$	$2 - 1 =$	$1 \times 4 =$	$4 \div 2 =$	$2 + 1 =$
$2 + 1 =$	$3 - 2 =$	$2 \times 2 =$	$5 \div 1 =$	$2 - 1 =$
$3 + 0 =$	$4 - 2 =$	$1 \times 7 =$	$12 \div 2 =$	$2 \times 5 =$
$4 + 1 =$	$3 - 0 =$	$0 \times 5 =$	$15 \div 3 =$	$4 \div 2 =$
$2 + 3 =$	$5 - 2 =$	$8 \times 1 =$	$10 \div 5 =$	$3 + 2 =$
$7 + 2 =$	$8 - 3 =$	$3 \times 10 =$	$6 \div 3 =$	$8 - 4 =$
$3 + 5 =$	$6 - 0 =$	$2 \times 9 =$	$20 \div 2 =$	$9 \div 3 =$
$0 + 7 =$	$9 - 2 =$	$4 \times 4 =$	$24 \div 3 =$	$4 \times 5 =$
$2 + 5 =$	$7 - 5 =$	$5 \times 8 =$	$36 \div 6 =$	$7 + 2 =$
$4 + 6 =$	$8 - 6 =$	$6 \times 0 =$	$9 \div 3 =$	$9 - 5 =$
$6 + 3 =$	$7 - 4 =$	$10 \times 4 =$	$24 \div 6 =$	$15 \div 5 =$
$4 + 3 =$	$8 - 7 =$	$3 \times 3 =$	$18 \div 2 =$	$3 \times 9 =$
$8 + 2 =$	$7 - 5 =$	$6 \times 3 =$	$35 \div 5 =$	$10 - 3 =$
$3 + 6 =$	$8 - 3 =$	$7 \times 3 =$	$27 \div 9 =$	$5 + 4 =$
$5 + 2 =$	$6 - 5 =$	$2 \times 8 =$	$16 \div 4 =$	$5 \times 5 =$
$3 + 8 =$	$15 - 3 =$	$6 \times 6 =$	$49 \div 7 =$	$8 + 5 =$
$5 + 7 =$	$13 - 7 =$	$4 \times 5 =$	$27 \div 3 =$	$24 \div 4 =$
$2 + 6 =$	$18 - 6 =$	$8 \times 4 =$	$35 \div 5 =$	$13 - 5 =$
$7 + 5 =$	$16 - 9 =$	$5 \times 9 =$	$63 \div 9 =$	$7 \times 4 =$
$9 + 4 =$	$17 - 4 =$	$7 \times 6 =$	$64 \div 8 =$	$9 \div 3 =$

Ek 9: Etik Kurul Onayı

İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU KARAR FORMU

ETİK KURULUN ADI	ANKARA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU
AÇIK ADRES	Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Morfoloji Binası 06100 Sıhhiye/ANKARA
TELEFON	0312 595 82 27
FAKS	0312 310 63 70
E-POSTA	tipinsanetik@ankara.edu.tr

BAŞVURU BİLGİLERİ	ARAŞTIRMANIN AÇIK ADI	Matematik kaygısı ve eğitim uygulamasının sayısal görevler sırasındaki beyin aktivitesine etkisi	
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACI UNVANI/ADI/SOYADI	Prof.Dr. Metehan ÇİÇEK	
	PROJE YÜRÜTÜCÜSÜ UNVANI/ADI/SOYADI (TUBİTAK v.b. gibi kaynaklardan destek alanlar için)		
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ UZMANLIK ALANI	Fizyoloji	
	KOORDİNATÖR/SORUMLU ARAŞTIRMACININ BULUNDUĞU MERKEZ	Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Fizyoloji Anabilim Dalı	
	ARAŞTIRMAYA KATILAN MERKEZLER	TEK MERKEZ ☒	ÇOK MERKEZLİ ☐

KARAR BİLGİLERİ	Karar No:İ6-406-21	Tarih: 17 Haziran 2021
	Yukarıda bilgileri verilen başvuru dosyası ile ilgili belgeler araştırmanın/çalışmanın gerekece, amaç, yaklaşım ve yöntemleri dikkate alınarak incelenmiş ve uygun bulunmuş olup araştırmanın/çalışmanın başvuru dosyasında belirtilen merkezde gerçekleştirilmesinde etik ve bilimsel sakınca bulunmadığına toplanmaya katılan etik kurul üye tam sayısının salt çoğunluğu ile karar verilmiştir.	

İNSAN ARAŞTIRMALARI ETİK KURULU

ÇALIŞMA ESASI	İyi Klinik Uygulamaları Kılavuzu
BASKANIN UNVANI / ADI / SOYADI:	Prof.Dr.Nuray YAZIHAN

Unvanı/Adı/Soyadı	Uzmanlık Alanı	Kurumu	Araştırma ile İlgili		İmza
	Fizyopatoloji	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıbbi Biyokimya	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıbbi Farmakoloji	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıbbi Genetik	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Fizyoloji ve Embriyoloji	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıbbi Patoloji	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Biyoistatistik	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Genel Cerrahi	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Kulak, Burun ve Boğaz Hastalıkları	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıbbi Onkoloji	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Genel Cerrahi	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Anesteziyoloji ve Reanimasyon	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	
	Tıp Tarihi ve Etik	A.Ü.Tıp Fakültesi	E ☐	H ☒	