



## DİSLEKSİ VE DİSGRAFİ OLAN ÇOCUKLARIN OKUMA SIRASINDA BEYİN AKTİVİTELERİNİN FONKSİYONEL MR PSİKOFİZYOLOJİK ETKİLEŞİM ANALİZİ İLE İNCELENMESİ

Gizem Rüveyda SAĞIR, Semra İÇER\*

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

*Gelişimsel Disleksi,  
Gelişimsel Disgrafi,  
Görev Tabanlı fMRI,  
GLM Analizi,  
PPI Analizi.*

### Öz

Okuma ve yazma güçlükleri dünyada oldukça yaygın olan nörogelişimsel bozukluklardır. Okuma ve yazma güçlüğü olarak bilinen gelişimsel disleksi ve yazma güçlüğü olarak bilinen gelişimsel disgrafinin birlikte değerlendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışma, literatürdeki kısıtlı çalışmalara katkıda bulunmak amacıyla yapılmıştır. OpenfMRI'dan alınan veri setinde Almanca konuşan çocuklardan disleksi 20, disgrafi 16 ve kontrol grubundan 22 katılımcı bulunmaktadır. fMRI görevi, normal kelime ve sözde eş sesli kelimeleri sesli bir şekilde okumadır. Görevler sırasında tüm beyinde oluşan fonksiyonel aktivasyon analizi sonucunda, disgrafi grubu disleksi ve kontrol grubuna göre okuma ile ilgili olan bölgelerde hipoaktivasyon göstermiştir. Ek olarak disleksi grubunda ventral oksipitotemporal bölgede hipoaktivasyon gözlenmemiştir. Bununla birlikte fusiform girus, inferior frontal girus, precuneus ve precentral girus bölgeleri tohum olarak seçilip, ilgili tohum bölgesinin görevler sırasında fonksiyonel bağlantısını araştırmak amacıyla, psikofizyolojik etkileşim analizi yapılmıştır. Fonksiyonel bağlantı analizi sonucunda, disleksi grubunda diğer gruplara göre bağlantısal yollarında bozulmalar gözlenmiştir. Disgrafi grubu ise kontrol grubu ile benzer bağlantı yolları göstermiştir.

## EXAMINATION OF THE BRAIN ACTIVITIES OF CHILDREN WITH DYSLEXIA AND DYSGRAFIA DURING READING BY FUNCTIONAL MR PSYCHOPHYSIOLOGICAL INTERACTION ANALYSIS

### Keywords

*Developmental Dyslexia,  
Developmental Dysgraphia,  
Task Based fMRI,  
GLM Analysis,  
PPI Analysis.*

### Abstract

Reading and writing difficulties are neurodevelopmental disorders that are very common in the world. There are very few studies evaluating developmental dyslexia, known as reading and writing difficulties, and developmental dysgraphia, known as writing difficulties, together. This study was conducted to contribute to the limited studies in the literature. The data set from OpenfMRI includes 20 German-speaking children with dyslexia, 16 dysgraphia and 22 participants from the control group. The fMRI task is to read aloud normal words and pseudohomophones. As a result of the functional activation analysis in the whole brain during the tasks, the dysgraphia group showed hypoactivation in the regions related to reading compared to the dyslexia and control groups. In addition, no hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group. In addition, fusiform gyrus, inferior frontal gyrus, precuneus and precentral gyrus regions were selected as seeds, and psychophysiological interaction analysis was performed to investigate the functional connection of the relevant seed region during tasks. As a result of functional connectivity analysis, impairments in connectivity pathways were observed in the dyslexia group compared to the other groups. The dysgraphia group, on the other hand, showed similar pathways to the control group.

### Alıntı / Cite

Sağır, G.R., İçer, S., (2023). Disleksi ve Disgrafi Olan Çocukların Okuma Sırasında Beyin Aktivitelerinin Fonksiyonel MR Psikofizyolojik Etkileşim Analizi ile İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 11(4), 1310-1327.

\* İlgili yazar / Corresponding author: ksemra@erciyes.edu.tr, +90-505-299-4288

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
G.R. Sağır, 0000-0001-7650-7340	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	21.12.2022
S. İcer, 0000-0002-3323-9953	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	05.07.2023
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	25.08.2023
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	30.12.2023

## Examination of The Brain Activities of Children With Dyslexia And Dysgraphia During Reading By Functional MR Psychophysiological Interaction Analysis

Gizem Rüveyda SAĞIR, Semra İÇER<sup>†</sup>

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

### Highlights

- During task-based fMRI, children with dyslexia, dysgraphia, and the control group performed a reading aloud task.
- Activations occurring in the brain during reading and functional connectivity were examined through psychophysiological interaction analysis in selected seed regions.
- No hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group
- As a result of functional connectivity analysis, impairments in connectivity pathways were observed in the dyslexia group compared to the other groups

### Purpose and Scope

In this study, children with dyslexia who have difficulty in reading and writing, children with dysgraphia who have difficulty in writing, and children in the control group are examined with task-based fMRI. The aim of this study is to investigate the similarities and differences in the activations that occur in the brains of the groups during reading.

### Design/methodology/approach

The data set from OpenfMRI includes 20 German-speaking children with dyslexia, 16 dysgraphia and 22 participants from the control group. The fMRI task is to read aloud normal words and pseudohomophones. Whole brain analysis and psychophysiological interaction analysis were performed on the data set in the fMRI analysis program FSL FMRIB. Group differences resulting from the analysis were visualized and tables were made.

### Findings

As a result of the functional activation analysis in the whole brain during the tasks, the dysgraphia group showed hypoactivation in the regions related to reading compared to the dyslexia and control groups. In addition, no hypoactivation was observed in the ventral occipitotemporal region in the dyslexia group.

### Research limitations/implications

The limitations of the research include its reliance on a particular set of data and the potential for bias in the collection and analysis of the data.

### Practical implications

The conclusions obtained in this study are that there are differences in the functional connections formed in the brains of the dyslexia and dysgraphia groups during reading. As a result of functional connectivity analysis, similarities were observed between the dysgraphia group and the control group. The changes that can be made in this study are to increase the number of people in the data set.

### Originality

In this study, unlike other studies, psychophysiological interaction analysis was performed on the data set including dyslexia, dysgraphia and control groups.

<sup>†</sup> Corresponding author: ksemra@erciyes.edu.tr, +90-505-299-4288

## 1. Giriş (Introduction)

Gelişimsel disleksi, kelimeleri doğru veya akıcı okumada zorluk çekme, kelimeleri tanımada zorlanmalar, zayıf heceleme gibi zorluklarla ile kendini gösteren nörobiyolojik bir özel öğrenme güçlüğüdür. Bu zorluklar, diğer bilişsel yetenekler ve gerekli eğitimin sağlanması durumunun dışında beklenmedik bir şekilde ortaya çıkan dilin fonolojik bileşenindeki eksiklikten kaynaklanmaktadır (Lyon vd., 2003). Yazma bozukluğu olarak bilinen disgrafinin tanımı ise en geniş haliyle harflerin okunabilmesi, harflerin aralığı, heceleme, ince motor koordinasyonları, yazma hızı ile ilgili sorunlar dahil olmak üzere herhangi bir aşamada yazı yazma yeteneğinin bozulmasıdır (Chung vd., 2020).

Okuma ve yazma bozukluklarının dünya üzerinde yaygınlığının yaklaşık olarak %7-17 olduğu bildirilmektedir (S. E. Shaywitz & Shaywitz, 2005). Okuma ve yazma bozukluğu olarak bilinen disleksinin, daha iyi anlaşılabilmesi çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Bu teorilerden biri olan fonolojik açıklık teorisi, "fonolojik eksiklik genellikle üç ana bileşene sahip olarak tanımlanır: zayıf fonolojik farkındalık (konuşma seslerine bilinçli olarak erişme ve bunları manipüle etme yeteneği), yavaş sözcüksel geri çağırma ve zayıf sözlü kısa süreli bellek" şeklindedir (Ramus, 2004). Nörolojik olarak, bozukluğun kaynağının, fonolojik temsilin (ses) ve ortografik temsilin (harf sistemi) arasındaki bağlantının altında yatan beynin sol yarımküre alanlarının doğuştan gelen bir nörogelişimsel bozulmadan kaynaklandığı varsayılır (Ramus, 2003). Yapılan çalışmalarda da disleksili okuyucuların okuma görevlerini gerçekleştirirken sol yarım küre arka beyin sistemlerinin bozulması bir nörolojik imza olarak bildirilmektedir (Ramus, 2004; Richlan, 2020; Vellutino vd., 2004). Disleksiye açıklamak için başvurulan diğer teoriler ise; hızlı işitsel işleme teorisi (Tallal, 1980), görsel teori (Eden vd., 1996), serebellar (beyincik) teorisi (Nicolson vd., 2001) ve bu teorilerin birleştirilmiş hali olan magnoselüler teoridir (Stein ve Walsh, 1997).

Gelişimsel disgrafi ile ilgili de çeşitli hipotezler vardır. Bunlardan biri olan kısmi işaret hipotezinde izole yazım bozukluğu olan çocuklar okuma için yeterli olan ama yazma için yeterli olmayan eksik belirlenmiş ortografik temsillerinin olduğunu varsayar (Frith, 1980). (aktaran Banfi vd., 2021). Bunun sonucunda ise kelimeleri doğru bir şekilde tanımlayamazlar ve kendi kendine öğretme hipotezinin öngördüğü şekilde kesin ortografik temsiller oluşturamazlar. Kendi kendine öğretme hipotezinde yabancı bir kelimeyi öğrenirken o kelimenin kodunun çözülmesi ve kelimeye özel bilgi edinme olanağı sağladığından bahsedilmektedir (Share, 1995). Bir diğer hipotez ise aşırı güven hipotezidir. Bu hipotezde daha önce öğrenilmiş olan kelimeler uzun süreli bellekte imla sözlüğünde depolanırken, sözde eş sesli kelimeler imla sözlüğünde saklanmaz. Moll ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada disgrafili çocukların sözde eş sesli kelimelere normal kelimeler kadar hızlı yanıt vermelerinin sonucunda, bu çocukların sözcük okuma sırasında eksik olan imla bilgilerini telafi ettiklerini ve alt sözcüksel işlemlere aşırı güvenmenin bir göstergesi olduğunu vurgulamışlardır (Moll ve Landerl, 2009).

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Disleksi üzerine yapılan çalışmalar disgrafiye göre daha fazladır. Disleksi ile ilgili yapılan çalışmada, Wang ve arkadaşları disleksili çocukların putamen bölgesine odaklanmışlardır. Putamenin, yapısal ve fonksiyonel bağlantıları incelenmiştir. Bu çalışmanın (Chung vd., 2020) sonucunda sol putamen hacminin disleksili çocuklarda aynı yaştaki ve okuma eşleştirilmiş çocuklara kıyasla daha az olduğu bulunmuştur. Hacimsel olarak farklılık gösteren putamenin fonolojik bir görev (işitsel kafiye yargısı) sırasında fonksiyonel bağlantısının kontrol grubunda sağ alt oksipital girusun disleksi grubuna göre daha fazla bağlantılı olduğu bulunmuştur (Wang vd., 2019). Bu da konuşulan dil işleme sırasında otomatik ortografik katılımın kontrollerde disleksiye göre daha belirgin olduğunu göstermiştir (Wang vd., 2019). Ön singulat korteks ve insuladan oluşan belirginlik ağının anlatıyı anlamada önemli bir yeri olduğu belirtilmektedir (Uddin, 2013). Twait ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada belirginlik ağına odaklanılmıştır. Okunan hikâyeyi anlama görevinde disleksili çocuklarda belirginlik ağının işlevsel bağlantısında azalma bulunmuştur (Twait vd., 2018). Ailesel olarak disleksi riski taşıyan bebekler ile yapılan fMRG çalışmasının sonucunda, sol fusiform girusta atipik fonksiyonel bağlantı bulunmuştur. Okuma edinimi sırasında, kelime formunun tanınması için önemli olan bölgelerin atipik fonksiyonel bağlantısının erken başlangıç ile ilişkili olduğu şeklinde belirtilmektedir (Yu vd., 2022). Bununla birlikte disleksili çocuklarda yaşla birlikte ne gibi değişiklikler olduğunu araştıran boylamsal bir çalışmada, okuma yazma eğitimi almadan önce ve ilkökul ikinci sınıfa kadar gelişimleri takip edilen çocuklara psikometrik testler, fonksiyonel (dinlenim) ve yapısal MR incelemesi gerçekleştirilmiştir (Kuhl vd., 2020). Bu boylamsal çalışmanın sonucunda disleksili çocukların, fonolojik işleme becerilerinin azalması ve sol işitsel korteksin artan girifikasyonu açısından tipik olarak gelişen bireylerden farklı olduğu yönünde kanıtlar bulunmuştur (Kuhl vd., 2020). İşitsel korteks, planum temporale, premotor korteks ve arkuat fasikül dahil olmak üzere sol hemisferik bir ağda değiştirilmiş fonksiyonel ve yapısal bağlantının olduğu bulunmuştur (Kuhl vd., 2020). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada görsel dikkatle ilgili beyin alanlarının bağlantılarının değerlendirildiği, normal okuyan (kontrol) ve disleksi grubu ile okuma görevi gerçekleştirilmiştir. Kontrol grubunun, dikkat ağlarından ventral ve dorsal ağdaki yürütücü işlev ile bağlantılı olan bölgelerde disleksi grubuna göre fonksiyonel bağlantılarının arttığı şeklinde bildirilmektedir (Taran vd., 2022).

Ayrıca dil ağının önemli bir bölgesi olduğu şeklinde belirtilen, sol angular girus bölgesi ile dorsal dikkat ağında normal okuyan çocuklarda artan işlevsel bağlantı bulunmuştur. Dislekside görsel dikkat süreçlerinin birleşiminde ve yürütücü işlevlerde eksiklik olduğu şeklinde varsayımında bulunmuşlardır (Taran vd., 2022). Disleksili çocukların kontrol grubuyla karşılaştırıldığı ve yazı yazma görevi gerçekleştirdikleri yakın zamanda yapılan bir çalışmada disleksi de serabellar bölgelerde periferik yazma süreçlerinde bir işlev bozukluğunun olduğu belirtilmektedir (Gosse vd., 2022). Disleksili çocukların yazma güçlüğü, merkezi yazma süreçleriyle yani heceleme ile sınırlı olmadığı ek olarak çevresel yazma süreçlerine yani el yazısına kadar dayandığı belirtilmektedir (Gosse vd., 2022). Gelişimsel disleksinin yazı dilleri arasında ki benzerlik ve farklılığını araştıran bir çalışmanın sonucunda, farklı yazı sistemleri altında sol alt frontal kortekste ve ön singulat kortekste hipoaktivasyon ile evrensel bir dikkatle ilgili işlev bozukluğuna sahip olduğu belirtilmektedir (Li ve Bi, 2022). Yakın zamanda yapılan disleksi ve kontrol grubunun dinlenim durumunda karşılaştırıldığı bir çalışmada elde edilen sonuçta, disleksi grubunda sol alt frontal girusta artmış fonksiyonel bağlantı olduğu belirtilmektedir (Li vd., 2022).

Disleksi ile yapılan çalışmalarda sıklıkla ortaya çıkan sol oksipito-temporal (OTC) bölgesinin önemini vurgulandığı derleme çalışmasında disleksinin patofizyolojisinde oksipitotemporal korteksin daha merkezi bir rolü olduğu şeklinde belirtilmektedir (Kronbichler & Kronbichler, 2018). Ortografik derinlikten bağımsız olarak tipik okuyan çocuk ve yetişkin okuyucularda en tutarlı bölgelerden biri şeklinde tanımlanmaktadır. Ek olarak bu durum alfabetik olmayan yazı sistemlerinin fMRI değerlendirmelerinde de gösterilir. Disleksili okuyucular ise OTC bölgesinde azalmış nöral tepki göstermektedir ve bir okuma materyaline yönelik spesifik olmayan aktivasyon göstermektedir. Oksipitotemporal bölgesinin, okuma, heceleme ve hızlı nesne adlandırma gibi okuma ile ilgili becerilerdeki merkezi önemi, disleksinin okuryazarlık bozuklukları için bir açıklama olabileceği şeklinde belirtilmektedir (Kronbichler ve Kronbichler, 2018). Oksipito-temporal bölgeye odaklanan başka bir çalışmada ise disleksili çocuklara sözde eş sesli kelimelerin sunulduğu fonolojik karar verme görevi gerçekleştirilmiştir. Görsel kelime form alanı (VWFA) (Cohen vd., 2000) ve sol oksipito-temporal bölgelerdeki fonksiyonel bağlanabilirlik incelenmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular VWFA'nın, kontrol çocuklarında sol ön ve parietal dil alanları ile işlevsel olarak bağlantılı olduğu bulunmuştur. Disleksili çocuklarda ise VWFA ile sol alt frontal ve sol alt parietal dil alanları arasında fonksiyonel bağlantıda önemli bir bozulma bulunmuştur (van der Mark vd., 2011). Bu işlevsel kopukluğun disleksili çocuklarda erken okuma kazanımı sırasında ortaya çıktığı şeklinde belirtilmektedir (van der Mark vd., 2011).

Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin beraber araştırıldığı çalışmalarda bulunmaktadır. Her iki öğrenme güçlüğü, birbirleri ile benzer bilişsel özellikler gösterip göstermediğini anlamak için okuma ve hecelemenin nasıl olduğu ve bu iki öğrenme sürecinin nerelerde birbirinden ayrıldığını görmek adına, okuma ve yazma görevlerinin tek bir oturumda gerçekleştirildiği fonksiyonel MR ile yapılan çalışmada yazı işleminin supramarjinal girus, fusiform girus, superior parietal lob, alt frontal girus, orta/üst frontal girus dahil olmak üzere ağırlıklı olarak sol yarımküre ağını etkinleştirdiği bulunmuştur (Purcell vd., 2011). Lateral alt temporal girusta yazımla ilgili aktivasyonun okumadan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Fakat VWFA ile tipik olarak ilişkili orta bölümde yazma ile okumanın arasında fark bulunamamıştır. Buradan çıkarılan sonuçta heceleme ve okumada sözcüksel olarak ortak temsiller vardır. Fakat bu bölgenin yan kısmı için göreve bağlı temsiller olabilmektedir şeklinde belirtilir (Purcell vd., 2011). Bir başka çalışmada ise yine benzer sonuçlara varılmıştır. Okuma ve yazmanın ortak ortografik temsillerinin olduğu şeklinde belirtilen çalışmada, sol IFG (inferior frontal girus) ve görsel kelime form alanının (VWFA) katılımcılar aynı kelimeyi okurken veya hecelerken çağrılan ortografik nöronal temsilleri içerdiğini göstermiştir (Purcell vd., 2017).

İki öğrenme güçlüğü değerlendiren derleme çalışmasında, yazmanın okumadan daha karışık bir süreç olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin ayrı ayrı ortaya çıkabileceği gibi birlikte de var olabileceği bildirilmektedir (Döhla & Heim, 2016). Fonolojik farkındalığın her iki öğrenme güçlüğü içinde önemli olduğu ancak derinlemesine bakıldığında birbirlerinden ayrıldığı görülmektedir. Fonolojik farkındalığın okumadaki rolünün, sesbirimlerin sentezlendiği, yazmada ise sözcüklerin sesbirimlere ayrılmasının olduğu şeklinde belirtilmektedir (Döhla & Heim, 2016). Bununla birlikte disgrafinin bilişsel profillerinin araştırıldığı bir çalışmanın sonucunda disgrafili çocuklardan bir grup, işitsel ve fonolojik işleme (fonolojik farkındalık ve fonolojik çalışma belleği) eksikliği olan ve diğer grup ise görsel büyük hücreli işlevlerde ve fonolojik çalışma belleğinde bozulma şeklinde olan iki profile ayrılabilirdiği şeklinde bildirilmektedir (Döhla vd., 2018). Ek olarak disgrafi ve disleksinin benzer olduğu ancak homolog olmadığı sonucuna varmışlardır (Döhla vd., 2018). Disleksili ve disgrafili çocukların okuma sırasında göz hareketleri başka bir çalışmada incelenmiştir. fMRI bulgularında üzerinde durulan sol oksipito-temporal bölgesi ile sol inferior frontal girus bölgeleri tohum olarak seçilip aralarında ki korelasyonlara ve göz hareketleri ile ilişkisine bakılmıştır. Çalışmanın sonucunda kontrol grubunda iki tohum bölgesinde anlamlı ilişkiler gözlenmiştir ve göz hareketleri ile de anlamlı korelasyonlar bulunmuştur. Disgrafi grubunda fMRI bağlantısında ve göz hareketlerinde önemli korelasyon gözlenmemiştir. Disleksi grubunda ise sadece fMRI bağlantısında anlamlı ilişki bulunmuştur (Yagle vd., 2017).

İki öğrenme güçlüğünün birlikte değerlendirildiği DTI çalışmasında beyaz cevher farklılığı araştırılmıştır. Disleksi grubunda bilateral ILF (inferior longitudinal fasikül) sağ SLF (superior longitudinal fasikül) ve cingulumda kontrol grubundan daha yüksek fraksiyonel anizotropi (FA) bulunmuştur (Banfi vd., 2019). Disgrafi grubu ise sol arkuat fasikülde kontrol grubundan daha düşük fraksiyonel anizotropi göstermiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular sonucunda her iki hastalık grubunun yapısal olarak farklılık gösterdiği ve farklı sinirsel imzalarla ilişkili olduğu belirtilmektedir (Banfi vd., 2019). Yazma üzerine yapılan çalışmalardan birinde, disleksi ve disgrafili çocukların yazım sırasında yapısal ve fonksiyonel aktiviteleri incelenmiştir. DTI ve fMRI analizleri sonucunda disgrafili çocuklar, sol precuneus bölgesinde disleksili çocuklara göre artan aktivasyon göstermişlerdir. Disleksi grubu ise sol oksipital-temporal ve sol supramarjinal girus bölgelerinde disgrafi grubuna göre artan aktivasyon göstermiştir. DTI bulgularında ise kontrol grubu her iki hastalık grubuna göre daha fazla yapısal beyaz madde bütünlüğü göstermiştir. Kontrol grubu fonksiyonel bağlantı sonuçlarında diğer gruplara göre daha az bağlantı göstermiştir. Disleksi ve disgrafi gruplarında fonksiyonel bağlantının fazla olmasının nedeninin nöral bir yetersizlik olduğu şeklinde bildirilmektedir (Richards vd., 2015).

Ek olarak üç farklı ortografik görevin sunulduğu bir başka çalışmada disgrafili çocukların disleksili çocuklara göre farklı beyin aktivasyonları bulunmuştur. Disgrafi olan çocuklarda sağ supramarjinal girus (SMG) ve superior parietal lob (SPL) bölgelerinde hiperaktivasyon bulunmuştur (Gebauer vd., 2012). Sağ arka bölgenin disgrafi grubunda aktivasyonun artmasının başlangıçta olan okuma bozukluklarını bir şekilde çaba göstererek telafi etmeye çalıştıkları şeklinde bildirilmektedir (Gebauer vd., 2012). Yapılan DTI analizi sonucunda ise kontrol grubunda disleksi grubuna göre daha güçlü frontal beyaz cevher bütünlüğü bulunmuştur. Fakat disgrafi grubu ile herhangi bir yapısal farklılık bulunmamıştır (Gebauer vd., 2012). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada ise, görsel kelime işleme disleksili ve disgrafili olan çocuklarda arka üst temporal kortekste azalan aktivasyon bulunmuştur (Dębska vd., 2021). Okuma ve heceleme bozukluklarının kelime işleme etkisinin iki yönlü olduğu belirtilmiştir. Sol ventral oksipito-temporal (vOT) bölgesinin okuma eksikliği ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Bununla birlikte zayıf okuma ve zayıf heceleme ile ilgili olan bölge ise arka üst temporal kortekste alt sözlüksel yolun yeterince belirtilmemiş organizasyonu olduğu şeklinde bildirilmektedir (Dębska vd., 2021).

Disleksi ve disgrafi hastalıklarının her ikisinin kontrol grubuyla birlikte çalışıldığı fMRI çalışmasının literatürdeki azlığı sebebiyle elde edilen bulguların çoğu literatürde yeterince desteklenememiştir. Verilen çalışmaların ortak kısıtları belirli beyin bölgesine odaklanarak yapılan çalışmalar olması, fonolojik karar verme görevi üzerine daha yoğun çalışılmış olması hem disleksi hem de disgrafi hastalığını içeren sesli okuma görevi esnasında tüm beyin analizinden yola çıkarak tohum bölgelerinin bulunup incelendiği çalışmaların azlığı dikkat çekici olmuştur. Ayrıca literatürde seçilen tohum bölgelerinin çoğu beynin sol yarımküresinden seçilmiş bölgelerdir. Bu çalışmada beynin sağ ve sol bölgelerinden tohumların seçilmesi, çocukların sesli okuma yaparak fMRI çekimi gerçekleştirilmiş olan veri setinin olmasından dolayı diğer çalışmalardan farklıdır. Ek olarak son yıllarda bu iki hastalık grubunun birlikte değerlendirildiği çalışma sayısı oldukça azdır ve disleksi ve disgrafinin birlikte daha geniş bir fonksiyonel değerlendirmeye ihtiyacının olduğu açıktır.

Bu çalışmanın amacı ise okuma ve yazma bozukluğu olan disleksi grubu, yazma bozukluğu olan disgrafi grubu ve normal okuyan kontrol grubu ile iki farklı sesli okuma görevi sırasındaki, beyinde oluşan fonksiyonel aktiviteleri karşılaştırmaktır. Okuma ve yazmanın birbiri ile tamamen aynı bilişsel süreçler olmadığı göz önüne alındığında disleksili ve disgrafili çocukların her iki görev ile okuma yaparlarken beyinlerinde oluşan fonksiyonel aktivasyonlardaki benzerlik ve farklılıkların görevler arası karşılaştırması yapılmıştır. Veriler OpenfMRI'dan elde edilmiştir (Banfi vd., 2021). Ayrıca görevler sırasında ilgili tohum bölgeleri ile psikofizyolojik etkileşim analizi (Friston vd., 1997) yapılarak gruplarda ve gruplar arasında fonksiyonel bağlantı farklılıkları analiz edilmiştir. Okumada işlevsel olarak önemli bölgeler meta analizlerde belirtilmiştir (Martin vd., 2016; Paulesu vd., 2014; Richlan vd., 2011) Bu bölgelerden bilateral fusiform girus, bilateral inferior frontal girus, bilateral precentral girus ve merkezi bir bölge olduğu için precuneus (Sporns, 2013) tohum /ROI olarak seçilmiştir. Psikofizyolojik etkileşim analizine, disleksi çalışmalarında oldukça az karşılaşılmıştır. Bununla birlikte disleksi ve disgrafinin birlikte değerlendirildiği çalışmalarda ise bu sayı daha düşüktür. Bundan dolayı bu çalışmada yapılan psikofizyolojik etkileşim analizinin sonuçları literatüre oldukça önemli katkılar sağlayacaktır.

### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmada kullanılan veriler halka erişimi açık olan OpenfMRI'dan elde edildi (Banfi vd., 2021). Veri seti 58 katılımcıdan oluşmaktadır. Yaşları 9 ve 11 aralığındadır. Disleksi grubu 20 çocuk (8 kız -12 erkek), yazım kusurlu grubu (disgrafi) 16 çocuk (6 kız-10 erkek), kontrol grubu 22 çocuk (10 kız-12 erkek) oluşmaktadır. Okuryazarlık ve bilişsel ölçümler 3 grupta cinsiyete göre farklılık göstermemiştir. Katılımcıların ilk dilleri Almancadır. Sözel olmayan IQ testinde tüm katılımcılar 85 ve üzeri puan almışlardır. İşitme ve görme bozuklukları yoktur ve klinik DEHB (dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğu) tanısı yoktur (Banfi vd., 2021).

### 3.1. Deneysel Uyarılar ve Prosedür (Experimental Stimuli and Procedure)

Uyarılar, 60 kelime ve en az 3 en fazla 8 harften oluşan 60 tane pseudohomofondan (sözde eş sesli kelime) oluşmaktadır. Görev tasarımı olayla ilgilidir ve her uyarı 3 saniye süreyle siyah arka plan üzerinde beyaz olarak sunulmuştur. Uyarının ardından, bir işaret olan sabitleme çaprazı, 4 s boyunca görüntülenmiştir. Kelimeler ve sözde eş sesli kelimeler, rastgele bir şekilde gösterilmiştir. Ekranda beliren uyarıları, çocukların yüksek sesle okumaları yönünde talimat verilmiştir. Uyarıların listesi aşağıda verilmiştir. Görevler, çocukların yorulmalarını engellemek için üç ardışık oturumda gerçekleştirilmiştir. Her bir oturumların arasında 3-5 dakikalık kısa aralar vardır. Her oturumda 20 kelime ve 20 sözde eş sesli kelime uyarı olarak sunulmuştur. Bu çalışmada ise sadece ilk oturum seçilmiştir ve tek bir oturumun analizleri yapılmıştır.

**Tablo 1.** Deneysel uyarılar (experimental stimuli)

Kelime	arm	Tür	Zoo	Arzt	Bild	Brot	Film	froh	Füße
Sözde eş sesli	arhm	Tühr	Zoh	Artzt	Billd	Broht	Vilm	fro	füse
Kelime	Glas	Gras	Hals	Hand	Hose	Jahr	Kind	Lutf	Mund
Sözde eş sesli	Glaas	Graas	Halls	Hant	Hofse	Jaar	Kint	Lufft	Munt
Kelime	Obst	Rund							
Sözde eş sesli	Opst	Runt							

### 3.2. FMRI Veri Toplama (FMRI Data Collection)

Görüntüleme, 3.0 T Skyra tarayıcıda 20 kanallı bir kafa bobini kullanılarak (Siemens Healthineers, Erlangen, Almanya) yapılmıştır. Anatomik görüntüler, 3D-T1 MPRAGE yüksek çözünürlüklü taramaları ((Repeat time= TR = 1600 ms), (Echo Time= TE = 1,81 ms), FOV = 224 mm, çevirme açısı = 8 derece, 176 dilim, voksel çözünürlüğü 1 × 1 × 1 mm<sup>3</sup>) ve BOLD duyarlı T2\* ağırlıklı fonksiyonel görüntüler, tek atış gradyan-yankı EPI darbe dizisi kullanılarak elde edilmiştir (TR = 2340 ms, TE = 33 ms; FOV = 192 mm, çevirme açısı = 90 derece, 0.3 mm boşluklu 34 dilim, voksel çözünürlüğü 3 × 3 × 3 mm<sup>3</sup>, azalan edinme sırası). Baş hareketini engellemek için, başı çevreleyen sıkı bir dolgu kullanılmıştır. Katılımcılar görevleri yaparken, sözlü olarak yanıtları MR uyumlu bir mikrofon (FOMRI-III, OptoacousticsLtd., Moshav Mazor, İsrail) ile kaydedilmiştir. Uyarıların sunumu, Yazılım Sunumu (Neurobehavioral Systems, Albany, CA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Banfi vd., 2021).

### 3.3. İstatistiksel Analiz (Statistical Analysis)

fMRI verileri, FMRIB'nin FSL 6.0 FEAT kullanılarak analiz edildi (Smith vd., 2004). Veri ön işleme adımları şu şekildedir: FSL'nin MCFLIRT aracını kullanarak, her bir fonksiyonel çalıştırma ve fonksiyonel hacmi merkez hacme hizalayarak hareket düzeltmesi (Jenkinson vd., 2002), fMRI verilerindeki her zaman serisini TR periyodunun ortasına göre bir TR'nin uygun bir fraksiyonu ile kaydırmak için (Hanning-pencereli) sinc enterpolasyonu kullanılarak, dilim zamanlama düzeltmesi, FSL'nin BET aracını kullanarak, beyin dışı yapıların çıkarılması (Smith, 2002), fMRI verilerinin her bir hacminde ayrı ayrı gerçekleştirilen ve geçerli aktivasyonu azaltmadan gürültüyü azaltmak için FWHM 5.0 mm'lik bir Gauss çekirdeği kullanılarak uzamsal yumuşatma, 4B veri setinin tamamının tek bir çarpımsal faktörle yapılan genel ortalama yoğunluk normalizasyonu ve frekansı düşük olan artefaktların verilerden ayıklanması için yüksek-geçiren filtreleme (100 s) kullanılmıştır. Fonksiyonel veriler yüksek çözünürlüklü olan anatomik görüntülere kayıt edilmiştir ve FSL'de bulunan, FLIRT, doğrusal kayıt aracında 12 DOF ile yapılmıştır (Jenkinson vd., 2002; ,Jenkinson & Smith, 2001). Yapısal görüntülerin 2-mm MNI standart uzay şablonuna kaydı, doğrusal olmayan kayıt aracı FNIRT kullanılarak yapıldı (Andersson, 2007; Andersson, 2007).

Her bir katılımcının zaman serileri, FSL'de Genel Doğrusal Modelleme (GLM) kullanılarak analiz edildi (Woolrich vd., 2001). Her deneğin kelime ve sözde eş sesli kelime uyarıları için başlangıç süreleri, açıklayıcı değişkenler (EV'ler) olarak eklendi ve bir gama hemodinamik yanıt işlevi kullanılarak kıvrıldı. Kontrastlar (kelime> sabitleme çaprazı, sözde eş sesli kelime>sabitleme çaprazı, sözde eş sesli kelime>kelime) şeklinde oluşturuldu. Birinci seviye analizde oluşturulan karşıtlıkların grup düzeyinde analizi FSL'nin FLAME 1 karma efektler yaklaşımı kullanılarak yapıldı. (FMRIB's Local Analysis of Mixed Effects FLAME) (Beckmann vd., 2003; Woolrich vd., 2004). Z-istatistik görüntüleri, küme oluşturma eşiği Z=2.3 ve küme olasılığı eşiği p<0.05 olan Gauss Rastgele Alanlar teorisine dayalı çoklu karşılaştırmalar için küme tabanlı düzeltmelerle eşiklendi (Worsley, 2001).

gPPI (genelleştirilmiş psikofizyolojik etkileşim) analizinin literatürde yaygın olarak yapılan ROI analizinden farkı görevler sırasında ilgili tohum bölgesinin diğer beyin bölgeleri ile olan bağlantısallığı incelenmektedir. ROI analizinde ise sadece seçilen ROI bölgesinin gruplarda oluşturduğu ortalama aktivasyon incelenir (Sağır ve İcer,

2022). Bununla birlikte gPPI analizi için bilateral fusiform girus, bilateral inferior frontal girus (IFG) orbitalis kısmı, precuneus ve bilateral precentral girus için anatomik ROI'ler, FSL'de bulunan Harvard-Oxford Cortical olasılık atlasından elde edildi. Katılımcıların her birinde, oluşturulan EV'ler şöyledir: Gama HRF ile kıvrımlı, her bir görev koşulunun başlangıcını ve süresini modelleyen psikolojik regresörler; ROI'lerin her bir katılımcının ön işlemleri fonksiyonel görüntülerinden çıkarılan zaman serileri ile oluşan fizyolojik regresörlerdir. Bu oluşturulan regresörler arasında her görev koşulu için bir genelleştirilmiş psikofizyolojik etkileşim (gPPI) analizi FEAT kullanılarak gerçekleştirildi (McLaren vd., 2012). PPI için bireysel parametre tahminleri daha sonra FSL'in karma etkili yaklaşımı olan FLAME 1'i kullanarak ( $Z=2.3$ ,  $p<0.05$ ) grup karşılaştırması yapıldı.

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

##### 4.1. Tüm Beyin Analizi (Whole Brain Analysis)

Kişilerin görevleri yaparken beyinlerinde oluşan tüm fonksiyonel değişikliklerin gruplar arası değerlendirilmesi tüm beyin analizi veya keşif analizi olarak ifade edilmektedir. Tüm beyin analizinin sonucunda normal kelimeleri okumaları sırasında disleksi ve kontrol grubunda aktivasyon gösteren bölgeler bilateral inferior oksipital girus, sağ oksipital fusiform girus, sol precentral girus, bilateral lingual girus bölgeleridir. Disgrafi grubunun ortalamasında ise anlamlı sonuç bulunamamıştır. Ek olarak disleksi ve disgrafi gruplarının karşılaştırılmasında sağ precuneus, sağ orta temporal girus, bilateral talamus bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. (Ayrıntılar tablo 2 ve şekil 1'de gösterilmektedir.)

Sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında disgrafi grubunda sol insula, bilateral precentral ve postcentral bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. Disleksi grubunda ilk görevden farklı olarak çıkan yerler bilateral talamus, sol insula, bilateral singulat girus, sol orta frontal girus, sol üst temporal girus ve sağ precentral girus bölgeleridir. Disleksi ve disgrafi grup karşılaştırılmasında çıkan yerler sağ orta temporal girus, sağ precuneus, sağ precentral girus, bilateral lingual girus, singulat girus, orta frontal girus, sağ talamus, sol parahipokampal girus, sağ üst parietal lob, sol fusiform girus bölgeleridir. (Ayrıntılar tablo 3 ve şekil 2'de gösterilmektedir.)

İki görevin karşılaştırılmasında disleksi de ve kontrol grubundan farklı olarak sol paracentral lob, bilateral singulat girus, bilateral talamus, sol orta temporal girus, sol üst temporal girus, sol supramarjinal girus, sol üst parietal lob, sol alt parietal lob bölgelerinde artan aktivasyon görülmüştür. (Ayrıntılar tablo 4 ve şekil 3'te gösterilmektedir.) Şekil 1,2,3'te gösterim standardizasyonu için aynı beyin aksiyel kesit bölgesi kullanılmıştır.

**Tablo 2.** Normal kelime okuma görevi analiz sonuçları (Normal word reading task analysis results)

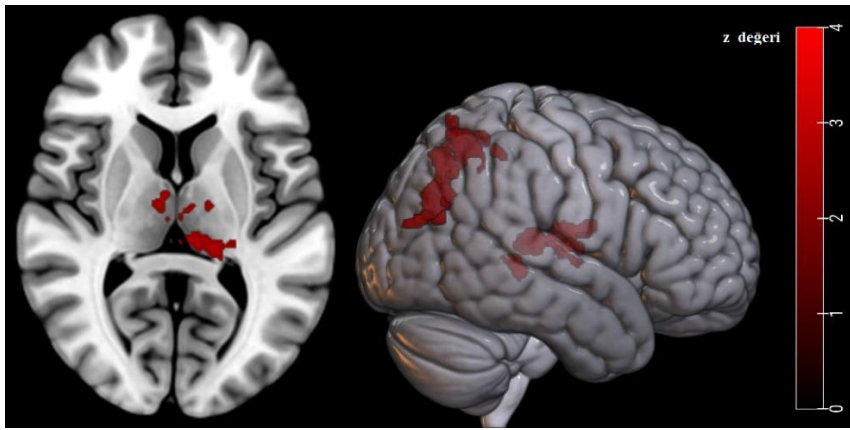
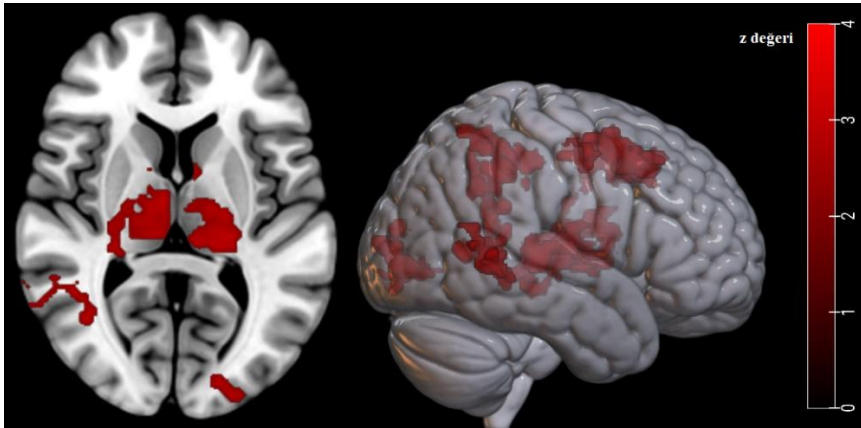
Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Disgrafi					
	Precuneus	R	16 -70 50	3.55	652
	Middle Temporal Girus	R	44 -76 22	3.17	
	Talamus	L	-14 -30 10	3.12	465
	Talamus	R	6 -8 8	2.73	

**Tablo 3.** Sözde eş sesli kelime okuma görevi analiz sonuçları (Pseudo-homophones word reading task analysis results)

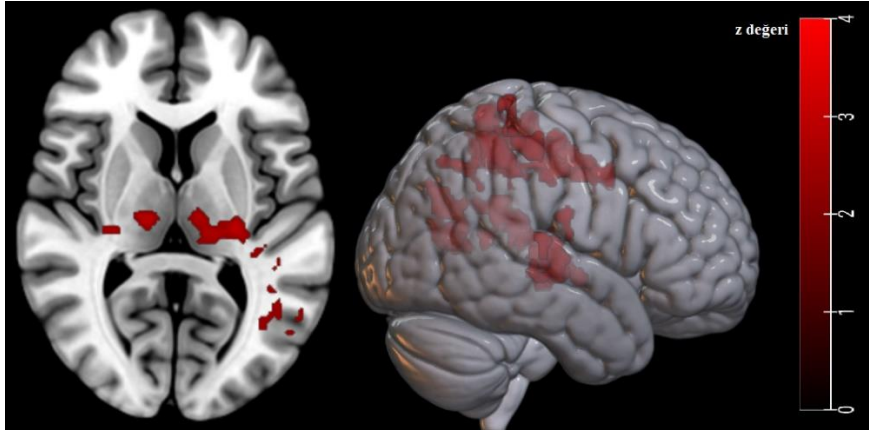
Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Disgrafi					
	Parahipokampal Girus	L	-16 -34 -2	3.26	2604
	Talamus	R	6 -22 2	3.23	
	Singulat Girus	L	-4 20 40	3.13	
	Precuneus	R	6 -38 50	3.32	910
	Singulat Girus	R	14 -44 42	3.25	
	Posterior Singulat	L	-6 -48 20	3.11	
	Superior Parietal Lob	R	18 -60 60	3.06	
	Middle Frontal Girus	R	22 10 50	3.31	637
	Precentral Girus	R	34 -4 56	3.15	
	Lingual Girus	L	-18 -88 0	3.4	452
	Middle Oksipital Girus	L	-24 -98 10	3.05	
	Oksipital Fusiform Girus	L	-22 -90 -10	2.96	
	Middle Temporal Girus	R	54 -48 2	4.02	439

**Tablo 4.** Görevlerin karşılaştırılması (sözde eş sesli kelime>normal kelime) analizi sonuçları (Comparison of tasks pseudo-homophone>normal word)

Grup	Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu
Disleksi>Kontrol					
	Paracentral Lob	L	-6 -14 48	3.43	1196
	Singulat Girus	R	8 -44 46	3.38	
	Singulat Girus	L	-6 -14 44	3.3	
	Precuneus	R	6 -44 54	3.11	
	Talamus	L	-10 -18 -2	3.36	1000
	Talamus	R	12 -16 4	3.28	
	Superior Parietal Lob	L	-14 -50 66	3.43	948
	Precuneus	L	-6 -46 58	3.02	
	Insula	L	-50 -34 20	3.44	854
	İnferior Parietal Lob	L	-52 -44 26	3.23	
	Middle Temporal Girus	L	-52 -62 12	3.22	
	Superior Temporal Girus	L	-48 -44 22	3.16	
	Supramarjinal Girus	L	-56 -50 26	3.12	

**Şekil 1.** Normal kelime okuma sırasında disleksi>disgrafi grupları arasında fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups during normal word reading)**Şekil 2.** Sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi>disgrafi grupları arasında fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups during pseudo-homophones reading)





**Şekil 3.** Görevlerin karşılaştırılmasında disleksi>kontrol grupları arasındaki fark (Difference between dyslexia>dysgraphia groups in comparison tasks)

#### 4.2. gPPI Analizi Sonucu (gPPI Analysis Result)

Tüm beyin analizi sonuçları ve literatür bilgileri ışığında bilateral inferior frontal girus, fusiform girus, precentral girus ve precuneus bölgeleri tohum olarak seçilmiştir. (Grup farklılıklarının ayrıntıları tablo 5'te verilmiştir.)

Şekil 4 de görüldüğü üzere, sol inferior frontal girus tohumunda fonksiyonel bağlantısallık analizi sonucunda sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus, bilateral paracentral lob bölgelerinde artan aktivasyon gözlenmiştir. Sağ inferior frontal girus tohumunda iki görevin karşılaştırılması sonucunda disleksi grubunda sağ precentral girus ve orta frontal girus bölgelerinde disgrafi grubunda ise sağ precentral girus, postcentral girus ve orta frontal girus bölgelerinde kontrol grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir.

Sol fusiform tohumunda Şekil 5 de görüldüğü gibi, sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında kontrol grubunda sağ üst parietal lob, sol oksipital lob cuneus ve sol precuneus bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan fonksiyonel bağlantı gözlenmiştir. Görevlerin karşılaştırılmasının sonucunda ise sağ frontal lob sub-gyral bölgesinde artan aktivasyon gözlenmiştir.

Sağ fusiform ile normal kelime okuma görevi sırasında oluşan fonksiyonel bağlantı analizinde kontrol grubunda sağ alt ve üst parietal lob bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Sözde eş sesli kelime görevinde ise sol precuneus, sol singulat girus, sol medial frontal girus ve bilateral superior frontal girusta artan aktivasyon gözlenmiştir. Görev karşılaştırmasında ise sağ frontal lob sub-gyral, singulat girus, precentral girus, sol sub-lobar extra-nuclear ve sol precuneus bölgesinde artan aktivasyon gözlenmiştir.

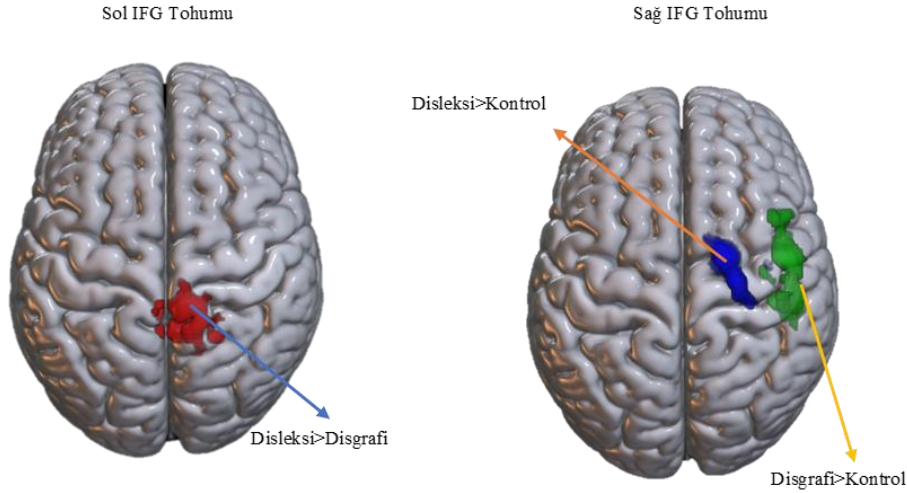
Şekil 6'da görüldüğü üzere, sol precentral tohumunda normal kelime okuma görevinde kontrol grubunda sağ postcentral girus bölgesinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Görevlerin karşılaştırılmasında ise disgrafi grubunda bilateral precuneus, angular girus, parietal lob sub-gyral, inferior parietal lob, sağ oksipital lob cuneus, sağ üst temporal girus bölgelerinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. Sağ precentral tohumunda normal kelime okuma görevinde sol orta frontal girus bölgesinde disgrafi grubunda disleksi grubuna göre artan aktivasyon gözlenmiştir. Kontrol grubunda sağ orta frontal girus, sağ frontal lob sub-gyral ve sağ paracentral bölgesinde disleksi grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir. İki görevin karşılaştırılmasında ise disleksi grubunda bilateral postcentral ve sağ paracentral bölgesinde kontrol grubundan farklı olarak artan aktivasyon gözlenmiştir.

**Tablo 5.** Psikofizyolojik etkileşim (gPPI) analizi sonucu (Psychophysiological interaction (gPPI) analysis result)

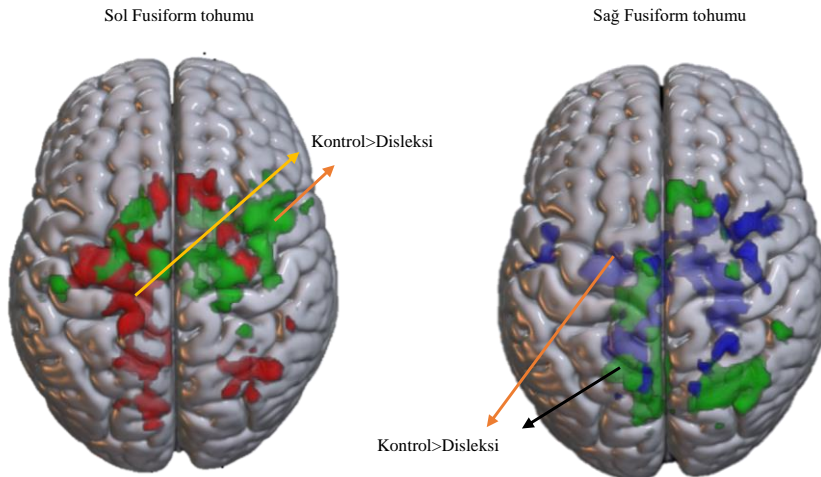
Bölge adı/Görev adı/Gruplar Aktivasyon Gösteren Bölge	Sol/Sağ (L/R)	MNI Koordinatı x y z	Z değeri	Küme Boyutu	Pozitif/Negatif Etkileşim (↑/↓)
<b>SOL INFERIOR FRONTAL GİRUS TOHUMU</b>					
Sözde Eş Sesli Kelime Disleksi>Disgrafi					
Precuneus	R	2 -48 58 22 -52 62	3.29 2.81	695	↑
Parietal Lob Sub-Gyral	R	14 -42 68	3.26		↑
Paracentral Lob	R	10 -36 64	3.22		↑

Paracentral Lob	L	-2 -38 68	2.65		↑
SAĞ INFERIOR FRONTAL GİRUS TOHUMU Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disleksi>Kontrol					
Precentral Girus	R	28 -22 64	3.21	746	↑
Middle Frontal Girus	R	14 -8 66	2.86		↑
Disgrafi>Kontrol					
Precentral Girus	R	48 -4 44	4.12	969	↑
Middle Frontal Girus	R	46 12 46	2.97		↑
Tablo 5. (Devamı)					
SOL FUSİFORM TOHUMU Sözde Eş Sesli Kelime Kontrol>Disleksi					
Superior Parietal Lob	R	42 -64 54	3.48	1351	↑
Oksipital Lob Cuneus	L	-8 -88 44	3.57	598	↑
Precuneus	L	-16 -58 46	3.26		↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Kontrol>Disleksi					
Frontal Lob Sub-Gyral	R	20 -14 50	3.5	9853	↑
SAĞ FUSİFORM TOHUMU Normal Kelime Kontrol>Disleksi					
İnferior Parietal Lob	R	42 -58 46	3.19	529	↑
Superior Parietal Lob	R	32 -64 54	2.64		↑
Sözde Eş Sesli Kelime Kontrol>Disleksi					
Precuneus	L	0 -58 40	3.71	1879	↑
Singulat Girus	L	-10 -36 28	3.06		↑
Superior Frontal Girus	L	-4 10 70	3.23	1367	↑
Superior Frontal Girus	R	4 18 64	3.22		↑
Middle Frontal Girus	L	-8 -22 58	3.21		↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Kontrol>Disleksi					
Frontal lob Sub-Gyral	R	24 -36 36	3.75	2230	↑
Singulat Girus	L	0 -20 30	3.68		↑
	R	14 -18 26	3.26		
Sub Lobar Extra Nuclear	L	-10 -36 26 -16 -14 20	3.59 3.3		↑
Precuneus	L	-12 -52 34	3.37		↑
Precentral Girus	R	38 -12 64	3.17	2091	↑
Precentral Girus	L	-48 0 44 -50 -10 44	2.95 2.92	572	↑
SOL PRECENTRAL TOHUMU Normal Kelime Kontrol>Disleksi					
Postcenral Girus	R	26 -30 72	3.34	518	↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disgrafi>Disleksi					
Precuneus	R	16 -60 40	3.49	1228	↑
Oksipital Lob Cuneus	R	26 -72 36	3.24		↑
Tablo 5. (Devamı)					
Parietal Lob Sub-Gyral	R	34 -72 34	3.18		↑
Angular Girus	R	50 -62 36	3.15		↑
Superior Temporal Girus	R	56 -56 26	3.06		↑
İnferior Parietal Lob	R	54 -28 26	3.06		↑
Parietal Lob Sub-Gyral	L	-36 -40 40	3.25	1046	↑
Precuneus	L	-22 -64 40	3.23		↑
Angular Girus	L	-38 -66 36	3.14		↑
İnferior Parietal Lob	L	-40 -40 46	3.14		↑
SAĞ PRECENTRAL TOHUMU Normal Kelime Disgrafi>Disleksi					

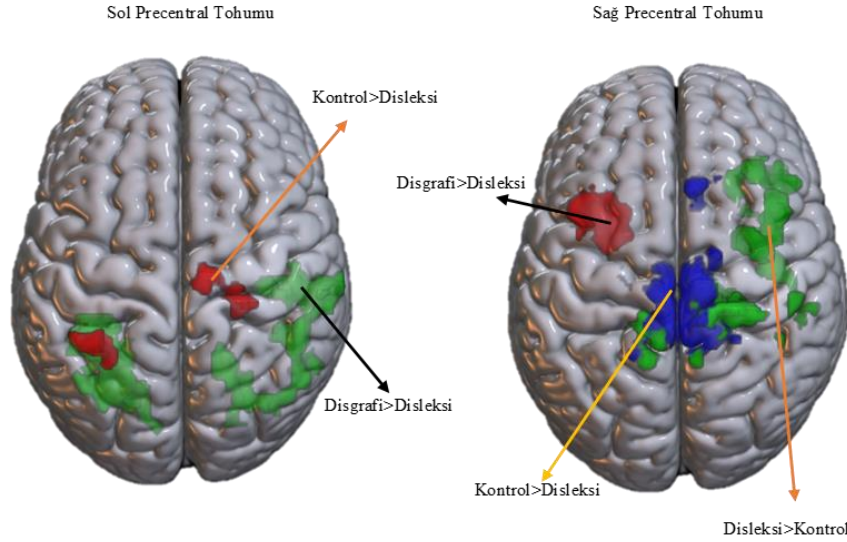
Middle Frontal Girus	L	-26 4 50	3.36	594	↑
Kontrol>Disleksi					
Frontal Lob Sub-Gyral	R	20 -28 52	3.68	3313	↑
Paracentral Lob	R	18 -36 60	3.28		↑
Middle Frontal Girus	R	32 0 46	3.56	1124	↑
Sözde eş sesli kelime>normal kelime Disleksi>Kontrol					
Postcentral Girus	R	14 -40 70	3.61	3353	↑
Paracentral Lob	R	6 -40 68	3.59		↑
Postcentral Girus	L	-4 -36 72	3.5		↑



**Şekil 4.** Sol/sağ IFG tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right IFG seed gPPI analysis)



**Şekil 5.** Sol/sağ fusiform girus tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right fusiform gyrus seed gPPI analysis)



**Şekil 6.** Sol/sağ precentral tohumu gPPI analizi sonucu gruplar arasında fark çıkan bölgeler (Regions showing difference between groups as a result of left/right precentral seed gPPI analysis)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada disleksi, disgrafi ve kontrol gruplarının normal kelime ve sözde eş sesli kelimelerin sesli bir şekilde okunması sırasında fonksiyonel aktiviteleri fMRI ile incelenmiştir.

### 5.1. Tüm Beyin Analizi Sonucu (Whole Brain Analysis Result)

Görev tabanlı yapılan fMRI çalışmalarında, görevler gerçekleştirilirken, herhangi bir tohum veya ROI seçilmeden, katılımcıların beyinlerinde oluşan aktivasyonun ölçümüne tüm beyin analizi veya keşif analizi denir. Elde ettiğimiz veri setinde katılımcılar, fMRI çekimi sırasında okuma ile ilgili iki görev gerçekleştirmişlerdir. Bunlardan biri olan, normal kelime okuma görevi sırasında, disleksi ve kontrol grupları arasında aktivasyon gösteren bölgelerde benzerlikler gözlenmiştir. Her iki grupta da bilateral inferior oksipital girus, bilateral lingual girus, sol precentral, sağ oksipital fusiform girus bölgelerinde aktivasyon bulunmuştur. Aktivasyon gösteren yerler ventral oksipital temporal (vOT) bölgesinin olduğu yerleri kapsamaktadır. Bu bölgenin nöral düzeyde, verimli okuma ve heceleme, otomatik ortografik ortak aktivasyonlarda yer aldığı bildirilmektedir (Debska vd., 2019). Bununla birlikte, Görsel Kelime Form Alanının (VWFA) klasik lokalizasyonu olan orta vOT bölgesindeki aktivasyonun, imla ve tam kelime temsillerine erişme olarak belirtilir (Ludersdorfer vd., 2016). Ventral oksipital temporal bölgesinin aktivasyonu ile ilgili literatürdeki çok sayıda çalışma, disleksi grubu için bu bölgenin hipoaktivasyon sergilediğini bildirmektedir ((Borghesani vd., 2021; Olulade vd., 2015; Wimmer vd., 2010). Ek olarak okuma bozukluğunun şiddetine göre hipoaktivasyonun arttığı belirtilmektedir (Brem vd., 2020). Fakat bazı çalışmalarda, bizim çalışmamızla tutarlı bir şekilde vOT bölgesinde disleksi grubunda hipoaktivasyon gözlenmemiştir (Finn vd., 2014). Disleksi grubunda kelime okuma sırasında kontrol grubuna göre anlamlı bir farklılık gözlenmemesinin sebebi olarak, bu öğrenme gücünün heterojenliğinin sonucu olabileceği yani veri setindeki disleksili çocukların fonolojik farkındalıklarında bir eksiklik olmadığı, okuma bozukluğu şiddetinin az olduğu (Zoubinetzky vd., 2014) ve Almanca dilinin şeffaf bir dil olmasından dolayı disleksili çocukların okumayı doğru yapmaları ancak okuma hızının yavaş olmasının sonucu olabileceği varsayılmaktadır (Finn vd., 2014). Ek olarak disgrafi grubunda ise normal kelime okuma görevi sırasında herhangi bir bölgede anlamlı bir aktivasyon gözlenmemiştir. Disgrafili çocuklarda sözlük-ortografik işleme için ventral akımda bozulmuş fonksiyonel aktivite hipotezini desteklemektedir (Debska vd., 2021). Normal kelime okuma görevinde son olarak elde ettiğimiz bir diğer bulgu disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus, sağ orta temporal girus ve bilateral talamus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir. İyi okuyucular, normal kelimeleri doğru ve akıcı okurken, sağ precuneus bölgesinin düşük aktivasyon gösterdiği bildirilmektedir (Richards vd., 2009). Disleksi grubunda disgrafi grubuna göre sağ precuneus bölgesinin artan aktivasyonu, bu hastalık grubunun okumayı akıcı yapamadıklarının göstergesi olabilir.

Bununla birlikte katılımcıların gerçekleştirdiği bir diğer görev olan, sözde eş sesli kelime okuma sırasında, disleksi grubunda ilk görevden farklı olarak talamus, singulat girus, sol orta frontal girus, sol üst temporal girus bölgelerinde aktivasyon gözlenmiştir. Bu görev sırasında, normal kelime okumaya göre daha fazla aktivasyon göstermesi çeşitli nöral sistemlerle ilişkili stratejiler geliştirebileceklerini ve telafi edici beyin mekanizmaları olduğu varsayılmaktadır (Richlan vd., 2010). Kontrol grubunda ise her iki görevde de aktivasyon gösteren bölgeler aynıdır. Disgrafi grubunda, bilateral precentral girus, bilateral postcentral girus ve sol insula bölgesinde

aktivasyon gözlenmiştir. Precentral ve postcentral bölgelerinde hiperaktivasyon diğer çalışmalarda da bildirilmektedir ve bu bölgelerin her iki hastalık grubu için okumaya gösterdikleri bir çaba ve telafi süreci olduğu belirtilmektedir (Brem vd., 2020; Cao vd., 2018). Ek olarak bu bölgelerde kontrol grubunda da aktivasyon gözlenmiştir. Sığ ve derin yazımlar ile ilgili yapılan meta analiz sonucunda bu hiperaktivasyonun özellikle Almanca gibi sığ yazımlarda belirgin olduğu gösterilmiştir (Martin vd., 2016). Başka bir çalışmada, normal okuyucularda görülen aktivasyonun, kolay ve otomatik olarak okunan kısa sözcüklerin görevde kullanılması sonucu belirginleşmiş olabileceği varsayılmaktadır (Brem vd., 2020). Ek olarak sol dorsal precentral girus bölgesinin sözde eş sesli görev sırasında daha fazla aktivasyon göstermesinin sonucu olarak, sublexical (alt sözlük yolu) fonolojik kod çözme yolunun bir parçası olduğu belirtilmektedir (Taylor vd., 2013). Sol insula bölgesi, sözde eş sesli kelime okuma sırasında grupların her birinde aktivasyon göstermiştir. Bununla birlikte kontrol grubunda normal kelime okuma sırasında da sol insula bölgesinde aktivasyon gözlenmiştir ve bu bölgenin ön kısmının dil işleme görevleri ile fonolojik işlemede yer almasının bir sonucu olabileceği bildirilmektedir (Bamiou vd., 2003).

Son olarak disleksi grubunda disgrafi grubundan farklı olarak bilateral singulat girus, sol parahipokampal girus, sağ talamus, sağ precuneus, sağ üst parietal lob, sağ orta temporal girus, sol lingual girus ve sol oksipital fusiform girus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi disleksi grubu disgrafi grubuna göre sağ yarım küreyi ve beynin çekirdek bölgelerini, sözde eş sesli okuma görevi yaparken daha çok kullanmış olup disleksili grubun eksikliklerini telafi etmek için daha fazla çaba gösterdikleri anlaşılmaktadır (Brem vd., 2020). Genel olarak sözde eş sesli kelime okuma görevinde gruplarda aktivasyon gösteren bölgeler daha fazladır. Bu durumun açıklaması olarak yanlış yazılmış kelimeler veya sözde eş sesli kelimelerde fonolojik kodların hesaplanmasının, normal kelimeleri okurken kullanılan ağdan daha büyük bir sinir ağı gerektirdiği şeklinde belirtilmektedir (Xu vd., 2001).

Bunlara ek olarak, bu çalışmada iki görevin karşılaştırılmasının analizi de gerçekleştirilmiştir. Kontrast olarak, sözde eş sesli kelime okurken, normal kelime okumaya kıyasla hangi bölgelerde aktivasyon farklılığı olduğunun gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Görev karşılaştırmasında elde ettiğimiz bulgulardan biri, sağ precuneus, sol inferior frontal girus, orta frontal girus bölgelerinde grupların her birinde aktivasyon gözlenmiştir. Sol inferior frontal girusun gerçek kelimelere kıyasla sözde eş sesli kelimelerde aktivasyonun arttığı diğer çalışmalarda, elde ettiğimiz bulgu ile tutarlı bir şekilde belirtilmiştir (Olulade vd., 2013, 2015). Ek olarak disgrafi grubunda sol supramarjinal girus bölgesinde aktivasyon gözlenmiştir. Bu alanın sözel kısa süreli bellekle ilişkili olduğu ve fonolojik bir prova mekanizması denilen süreçle yakından bağlantılı olduğu bildirilmektedir (Crottaz-Herbette vd., 2004). Çalışmamızdaki sonuca göre bu bölgenin aktivasyon göstermesi, disgrafi grubunda bir fonolojik prova mekanizmasının kullanıldığını göstermektedir. Bununla birlikte görevlerin karşılaştırıldığı analiz sonucunda disleksi grubunda kontrol grubundan farklı olarak bilateral singulat girus, bilateral talamus, sol paracentral lob, sol orta temporal girus ve sol supramarjinal girus bölgelerinde aktivasyon gözlemlenmiştir.

İki görevin karşılaştırılması sonucunda gruplarda dorsal ağı kapsayan bölgelerde aktivasyon gözlenmiştir. Okuma ağlarından biri olan dorsal okuma ağı, fonolojik analizde, ses ve anlam arasındaki haritalamada aktif olduğu düşünülmektedir (Pugh vd., 2000). Bu ağda, angular girus, supramarjinal girus ve superior temporal girusun arka kısımları bulunur (Pugh vd., 2000). Yaptığımız analiz sonucunda disgrafi grubunda (sözde eş sesli kelime>normal kelime) angular girus, supramarjinal girus bölgelerinde diğer gruplardan farklı olarak aktivasyon gözlenmiştir. Bunun sonucunda disgrafi grubunun sözde eş sesli kelime okurken, fonolojik analiz, ses ve anlam haritalama süreçleri için disleksi ve kontrol grubuna göre daha fazla çaba gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tüm beyin analizi sonucunda son olarak, sağ yarım kürenin disleksi ve disgrafi grupları için aktivasyon farklılıklarının araştırılması amaçlanmıştır. Sağ yarımküre, normal okuyan, başlangıç okuyucuları tarafından okuma sırasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Waldie & Mosley, 2000). Zamanla okuryazarlık geliştikçe de bu bölgenin kullanımı azalmaktadır (B. A. Shaywitz vd., 2007). Disleksi ve disgrafi için sağ yarımkürenin fazla aktivasyon göstermesinin telafi edici olarak kullanıldığı literatürde yapılan önceki çalışmalarda bildirilmektedir (Finn vd., 2014; Gebauer vd., 2012). Yaptığımız çalışmanın sonucunda her iki hastalık grubunda sağ yarımkürenin fazla aktivasyon gösterdiği gözlenmemiştir. Elde ettiğimiz bu bulgu disleksi için yapılan bir meta analizle uyumludur (Richlan vd., 2009).

Analizler sonucunda elde ettiğimiz bulgularda, aktivasyon gösteren beyin bölgeleri ventral okuma ağını kapsayan bölgeleri içermektedir. Bu ağ okumanın gelişimi ile ortaya çıkan ağdır (Pugh vd., 2000) Bizim çalışmamızda veri setinde bulunan çocuklar 3. Sınıfın sonu ve 4. Sınıfın başında oldukları için okuma yaparlarken daha çok ventral okuma ağının aktivasyon göstermesi diğer çalışmalar ile tutarlıdır. Bununla birlikte dorsal okuma ağının ise sublexical sözcüklerde aktivasyon göstermesi yaptığımız analizler sonucunda gözlenmiştir.

## 5.2. Psikofizyolojik Etkileşim Analizi (gPPI) Fonksiyonel Bağlantı Sonuçları (Psychophysiological Interaction Analysis (PPI) Functional Connectivity Results)

Bu çalışmada bilateral inferior frontal girus, bilateral fusiform girus, precuneus ve bilateral precentral girus tohum bölgeleri olarak seçilmiştir.

Sol inferior frontal girus (IFG) bölgesi tohum alınarak yapılan bağlantısallık analizinde Cao ve ark. sol orta oksipital girus (LMOG) ile azalan bağlantı bulmuşlardır (Cao vd., 2018). Bir başka çalışmada Schurtz ve ark. disleksili grubun sol posterior temporal alanlar ile IFG arasında ve ek olarak sol oksipito-temporal alanlar ile sol IFG arasında azalmış bağlantı bulmuşlardır (Schurz vd., 2015). Bizim çalışmamızda hem sol IFG hemde sağ IFG tohumunda LMOG ile grupların hiçbirinde herhangi bir bağlantı gözlenmemiştir. Çalışmamızda ise gruplar arası fark sözde eş sesli kelime okurken disleksi grubunda disgrafiye göre sağ precuneus bölgesinin içinde olduğu kümede aktivasyon artışı bulunmuştur. Sonuçlardaki farklılığın nedeni olarak katılımcıların yaşları ve görevlerin farklılığından kaynaklandığı varsayılabilir. Richard ve ark. yaptıkları çalışmada, sol inferior frontal girus tohumunun bağlantısallık analizinde, disgrafi grubu diğer beyin bölgeleri ile daha fazla bağlantı kurmuştur (Berninger vd., 2015). Disleksi grubu biraz daha az ve kontrol grubu ise en az bağlantı göstermiştir. Aynı şekilde sol oksipital temporal tohumu sol precuneus ve sol supramarjinal girus tohumunun bağlantısallık analizinde de benzer sonuçlar almışlardır (Berninger vd., 2015). Bizim çalışmamızda ise sol inferior frontal girus tohumu için görevler arası karşılaştırmada disgrafi grubunun fazla aktivasyon göstermesi sonucu belirtilen literatür ile uyumlu olmuştur.

Disleksi grubunda sol IFG ve sağ IFG tohumlarının bağlantısallık analizi sonucunda her iki görevde de sağ superior frontal girus bölgesi ile azalan bağlantı gözlemlenmiştir. Sözde eş sesli kelime okuma sırasında disleksi grubunda disgrafi grubuna göre bilateral paracentral lob, sağ precuneus ve sağ parietal lob sub-gyral bölgelerinde artan aktivasyon gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada kontrol grubu ventral dikkat ağı ve fronto-parietal ağ arasında artan işlevsel bağlantı göstermiştir ve disleksi grubu bu bağlantıyı göstermemiştir (Taran vd., 2022). Bizim çalışmamızda ise superior frontal girus ve parietal lobda disleksi ve disgrafi gruplarında azalan bağlantı gözlenmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda iki hastalık grubu da yürütücü, görsel dikkat ve okuma ile ilgili ağlarda senkronize aktiviteyi başaramadıklarını ortaya koyan bir fonksiyonel bağlantı modeli olduğunu göstermektedir (Taran vd., 2022). Kontrol grubunda, sol IFG tohumu ile görevler sırasında herhangi bir bölgede bağlantı gözlemlenmemiştir. Sağ IFG tohumunda, görevlerin karşılaştırılmasında disleksi grubunda kontrol grubundan farklı olarak, sağ precentral girus, sağ orta frontal girus bölgelerinde artan bağlantı gözlenmiştir. Disgrafi grubunda ise kontrol grubundan farklı olarak sağ orta frontal girus, sağ precentral girus ve sağ postcentral girus bölgelerinde artan bağlantı gözlenmiştir. Her iki hastalık grubunun da kontrol grubundan farklı olarak görevlerin karşılaştırılmasının bağlantısallık analizinde, artan bağlantı gösteren bölgeler benzerdir. Orta frontal girusun, çeşitli yürütücü işlevlerde yer alan üst düzey bilişsel kontrol ağının bir parçası olduğu belirtilmektedir (Niendam vd., 2012) Sağ precentral ve postcentral girusun artan bağlantısı, bu hastalık gruplarında okuma sırasında dil artikülasyonuna (sesiletim) artan güven sebebiyle nöral bir telafinin olabileceği belirtilmektedir (Richlan vd., 2009). Elde ettiğimiz bulgular sonucunda her iki hastalık grubu, IFG bölgesi tohum olarak seçildiğinde sağ yarımkürede fonksiyonel bağlantı sırasında, diğer bölgelerle hem azalan hem de artan bir şekilde etkileşim göstermiştir. Bu durum daha önce sunduğumuz gibi ilk tüm beyin keşif analizinde sağ yarımkürenin aşırı aktivasyon göstermemesine karşılık yapılan tohuma dayalı bağlantısallık analizinde sağ yarımküreyi fazla kullanmaları dikkat çeken bir bulgu olup, bu durum hastalık gruplarının, okuma bozukluklarını telafi etmek için çaba gösterdiklerinin göstergesi olarak değerlendirilebilir (Finn vd., 2014).

Sol fusiform girus tohumu ile yapılan bağlantısallık analizi sonucunda disleksi grubu herhangi bir bölge ile bağlantı kurmamıştır. Disgrafi grubu sol fusiform tohumunda iki görev sırasında da sol sublobar Extra-Nuclear bölgesi ile artan bağlantı göstermiştir. Kontrol grubunda disleksi grubundan farklı olarak sol fusiform tohumu ile sözde eş sesli kelime okuma görevi sırasında sağ superior parietal lob, sağ oksipital lob cuneus ve sol precuneus ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Bir başka çalışmada sol precuneus bölgesinin disleksi grubunda bizim çalışmamız ile tutarlı bir şekilde azalan aktivasyonu bildirmektedir ve bu sonuç disleksi grubunun, görsel ve ortografik açığının olduğunu gösteren bir bulgu olarak değerlendirilmiştir (Cao vd., 2018). Sağ fusiform tohumu ile yapılan bağlantısallık analizinde disgrafi grubunun herhangi bir bölge ile bağlantısı gözlemlenmemiştir. Sağ fusiform tohumu ile normal kelime okuma sırasında kontrol grubunda disleksi grubundan farklı olarak sağ inferior parietal lob, sağ superior parietal lob ve sağ precuneus bölgelerinde artan bağlantı gözlemlenmiştir. Kontrol grubu her iki tohumda da superior parietal bölgeler ile daha fazla bağlantı göstermiştir ve bunun sonucunda, dikkat ve çalışma belleğini kontrol grubunun daha çok kullandığı sonucunu destekleyen çalışmalar ile benzer görüşe varılabilir (Dębska vd., 2021). Genel olarak, disgrafi ve kontrol gruplarında sol ve sağ fusiform girus tohumlarında sol yarım küre ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Disleksi grubunda ise elde ettiğimiz bulgular sonucunda, literatürde disleksi için sıklıkla belirtilen sol vOT bölgesinin disfonksiyonu (Borghesani vd., 2021; Olulade vd., 2015; Wimmer vd., 2010) literatürle tutarlı olarak çalışmamızın bağlantısallık analizi sonucunda da gözlenmiştir.



Precuneus tohumu ile yapılan bağlantısallık analizinde gruplar arası aktivasyon farklılığı gözlemlenmemiş olup sadece normal kelime okuma görevinde kontrol grubunda sol orta frontal girusta artan ve sözde eş sesli okuma görevinde disgrafi grubunda sol üst parietal lobda azalan aktivasyon elde edilmiştir. Cao ve ark yaptıkları çalışmada bizim sonucumuzla uyumlu olarak sol precuneus tohumunda grup etkileşimi bulamamışlardır (Cao vd., 2018). Ek olarak disleksi grubunda sağ precentral tohumu ile ön singulat bölgesi arasında bağlantı bulmuşlardır. Bizim çalışmamızda ise disleksi grubunda sağ precentral tohumu ile arka singulat bölgesinde etkileşim gözlenmiştir.

Precentral bölgesini çalışmamızda tohum olarak seçmemizin nedeni tüm beyin analizinde grupların hepsinde aktivasyon göstermesinden dolayıdır. Sol precentral tohumu ile normal kelime okuma sırasında kontrol grubu disleksi grubundan farklı olarak sağ postcentral girus bölgesi ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. İki görevin karşılaştırılmasında ise disgrafi grubu disleksi grubundan farklı olarak bilateral precuneus, bilateral angular girus, bilateral inferior parietal lob, sağ üst temporal girus ve sağ oksipital lob cuneus bölgeleri ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. İnférieur parietal lobun, okuma süreçleriyle etkileşim halinde olabilecek genel dikkat mekanizmalarına bağlı olduğu bildirilmektedir (S. E. Shaywitz & Shaywitz, 2008). Angular girus anlamsal işlemede yer alan okumayla ilgili önemli bir bölge olduğundan, (Buchweitz vd., 2014) disgrafi grubunun okuma sırasında disleksi grubuna göre artan bağlantı göstermesi, okuduğunu anlama işlevini yerine getirebilmesi çalışmamızın destekleyen bulgusu olarak gösterilebilir. Sağ precentral tohumu ile yapılan bağlantısallık analizi sonucunda normal kelime okuma sırasında disgrafi grubunda disleksi grubundan farklı olarak sol orta frontal girus bölgesi ile artan bağlantı gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda ise disleksi grubundan farklı olarak sağ paracentral girus ve sağ orta frontal girus bölgesinde artan bağlantı gözlemlenmiştir. Orta frontal girus bölgesinin üst düzey bilişsel kontrol ağının bir parçası olduğu daha önce belirtilmiş olup (Niendam vd., 2012) kontrol ve disgrafi gruplarında disleksiye göre artan bağlantı göstermesi bunun sonucu olabilir. Precentral tohumu bağlantısallık analizi sonucunda disgrafi grubunda oluşan bağlantı sayısı disleksiye göre fazladır. Kontrol grubu ise en az bağlantı gösteren grup olmuştur.

Çalışmamızın literatürle tartışılarak sunduğumuz sonuçlarına göre tüm beyin analizinde her iki hastalık grubu hem kendi aralarında hemde kontrol grubuyla farklı aktivasyon bölgeleri gösterirken yapılan bağlantısallık analizi sonucunda disleksi grubu diğer iki gruba göre farklı aktivasyon bölgeleri göstermiş, disgrafi ise kontrol ile benzeyen aktivasyon bölgeleri göstermiştir.

Bu çalışmanın amacı okuma ve yazma bozukluğu olan disleksi grubu, yazma bozukluğu olan disgrafi grubu ve normal okuyan kontrol grubu ile iki farklı sesli okuma görevi sırasındaki, beyinde oluşan fonksiyonel aktiviteleri karşılaştırmaktır. Okuma ve yazmanın birbiri ile tamamen aynı bilişsel süreçler olmadığı göz önüne alındığında disleksili ve disgrafili çocukların her iki görev ile okuma yaparlarken beyinlerinde oluşan fonksiyonel aktivasyonlardaki benzerlik ve farklılıkların görevler arası karşılaştırması yapılmıştır. Ayrıca görevler sırasında ilgili tohum bölgeleri ile psikofizyolojik etkileşim analizi yapılarak gruplarda ve gruplar arasında fonksiyonel bağlantı farklılıkları analiz edilmiştir. Elde ettiğimiz bulgularda disleksi ve disgrafi grupları tüm beyin analizinde farklı beyin bölgelerinde aktivasyon göstermiştir. Fonksiyonel bağlantı analizinde ise her iki hastalık grubunda bağlantı gösteren bölgelerde benzerlikler ve farklılıklar elde edilmiştir. Disleksi ve disgrafi grubunun her ikisinin birlikte yer aldığı çalışma sayısının az olmasından dolayı çalışmamız ve elde ettiğimiz sonuçlar literatür için değerli bilgiler içermektedir. Psikofizyolojik etkileşim analizinde her bir tohum bölgesi bilateral alınarak hem sağ hem de sol bölgelerde görülen aktivasyon farkları birlikte değerlendirilmesi açısından da sonuçların değeri yüksektir.

### Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

### Kaynaklar (References)

- Bamiou, D.-E., Musiek, F. E., & Luxon, L. M., 2003. The insula (Island of Reil) and its role in auditory processing: Literature review. *Brain Research Reviews*, 42(2), 143-154.
- Banfi, C., Koschutnig, K., Moll, K., Schulte-Körne, G., Fink, A., & Landerl, K., 2019. White matter alterations and tract lateralization in children with dyslexia and isolated spelling deficits. *Human Brain Mapping*, 40(3), 765-776.
- Banfi, C., Koschutnig, K., Moll, K., Schulte-Körne, G., Fink, A., & Landerl, K., 2021. Reading-related functional activity in children with isolated spelling deficits and dyslexia. *Language, Cognition and Neuroscience*, 36(5), 543-561.
- Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M., 2003. General multilevel linear modeling for group analysis in FMRI. *NeuroImage*, 20(2), 1052-1063.
- Berninger, V. W., Richards, T. L., & Abbott, R. D., 2015. Differential diagnosis of dysgraphia, dyslexia, and OWL LD: Behavioral and neuroimaging evidence. *Reading and Writing*, 28(8), 1119-1153.
- Borghesani, V., Wang, C., Watson, C., Bouhali, F., Caverzasi, E., Battistella, G., Bogley, R., Yabut, N. A., Deleon, J., Miller, Z. A., Hoeft,

- F., Mandelli, M. L., & Gorno-Tempini, M. L., 2021. Functional and morphological correlates of developmental dyslexia: A multimodal investigation of the ventral occipitotemporal cortex. *Journal of Neuroimaging*, 31(5), 962-972.
- Brem, S., Maurer, U., Kronbichler, M., Schurz, M., Richlan, F., Blau, V., Reithler, J., van der Mark, S., Schulz, E., Bucher, K., Moll, K., Landerl, K., Martin, E., Goebel, R., Schulte-Körne, G., Blomert, L., Wimmer, H., & Brandeis, D., 2020. Visual word form processing deficits driven by severity of reading impairments in children with developmental dyslexia. *Scientific Reports*, 10(1), Art. 1.
- Buchweitz, A., Mason, R. A., Meschyan, G., Keller, T. A., & Just, M. A., 2014. Modulation of cortical activity during comprehension of familiar and unfamiliar text topics in speed reading and speed listening. *Brain and Language*, 139, 49-57.
- Cao, F., Yan, X., Spray, G. J., Liu, Y., & Deng, Y., 2018. Brain Mechanisms Underlying Visuo-Orthographic Deficits in Children With Developmental Dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12.
- Cao, F., Yan, X., Wang, Z., Liu, Y., Wang, J., Spray, G. J., & Deng, Y., 2017. Neural signatures of phonological deficits in Chinese developmental dyslexia. *NeuroImage*, 146, 301-311.
- Chung, P. J., Patel, D. R., & Nizami, I., 2020. Disorder of written expression and dysgraphia: Definition, diagnosis, and management. *Translational Pediatrics*, 9(Suppl 1), S46-S54.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S., Henaff, M.-A., & Michel, F. (t.y.). The visual word form area. 17.
- Crottaz-Herbette, S., Anagnoson, R. T., & Menon, V., 2004. Modality effects in verbal working memory: Differential prefrontal and parietal responses to auditory and visual stimuli. *NeuroImage*, 21(1), 340-351.
- Dębska, A., Banfi, C., Chyl, K., Dzięgiel-Fivet, G., Kacprzak, A., Łuniewska, M., Plewko, J., Grabowska, A., Landerl, K., & Jednoróg, K., 2021. Neural patterns of word processing differ in children with dyslexia and isolated spelling deficit. *Brain Structure and Function*, 226(5), 1467-1478.
- Dębska, A., Chyl, K., Dzięgiel, G., Kacprzak, A., Łuniewska, M., Plewko, J., Marchewka, A., Grabowska, A., & Jednoróg, K., 2019. Reading and spelling skills are differentially related to phonological processing: Behavioral and fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 39, 100683.
- Döhla, D., & Heim, S., 2016. Developmental Dyslexia and Dysgraphia: What can We Learn from the One About the Other? *Frontiers in Psychology*, 6.
- Döhla, D., Willmes, K., & Heim, S., 2018. Cognitive Profiles of Developmental Dysgraphia. *Frontiers in Psychology*, 9.
- Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., & Zeffiro, T. A., 1996. The Visual Deficit Theory of Developmental Dyslexia. *NeuroImage*, 4(3), S108-S117.
- Finn, E. S., Shen, X., Holahan, J. M., Scheinost, D., Lacadie, C., Papademetris, X., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., & Constable, R. T., 2014. Disruption of Functional Networks in Dyslexia: A Whole-Brain, Data-Driven Analysis of Connectivity. *Biological Psychiatry*, 76(5), 397-404.
- Friston, K. J., Buechel, C., Fink, G. R., Morris, J., Rolls, E., & Dolan, R. J., 1997. Psychophysiological and Modulatory Interactions in Neuroimaging. *NeuroImage*, 6(3), 218-229.
- Gebauer, D., Enzinger, C., Kronbichler, M., Schurz, M., Reishofer, G., Koschutnig, K., Kargl, R., Purgstaller, C., Fazekas, F., & Fink, A., 2012. Distinct patterns of brain function in children with isolated spelling impairment: New insights. *Neuropsychologia*, 50(7), 1353-1361.
- Gosse, C., Dricot, L., & Van Reybroeck, M., 2022. Evidence of graphomotor dysfunction in children with dyslexia: A combined behavioural and fMRI experiment. *Cortex*, 148, 68-88.
- Heim, S., Wehnelt, A., Grande, M., Huber, W., & Amunts, K., 2013. Effects of lexicality and word frequency on brain activation in dyslexic readers. *Brain and Language*, 125(2), 194-202.
- Jenkinson, M., Bannister, P., Brady, M., & Smith, S., 2002. Improved Optimization for the Robust and Accurate Linear Registration and Motion Correction of Brain Images. *NeuroImage*, 17(2), 825-841.
- Jenkinson, M., & Smith, S., 2001. A global optimisation method for robust affine registration of brain images. *Medical Image Analysis*, 5(2), 143-156.
- Kovelman, I., Norton, E. S., Christodoulou, J. A., Gaab, N., Lieberman, D. A., Triantafyllou, C., Wolf, M., Whitfield-Gabrieli, S., & Gabrieli, J. D. E., 2012. Brain Basis of Phonological Awareness for Spoken Language in Children and Its Disruption in Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 22(4), 754-764. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr094>
- Kronbichler, L., & Kronbichler, M., 2018. The Importance of the Left Occipitotemporal Cortex in Developmental Dyslexia. *Current Developmental Disorders Reports*, 5(1), 1-8.
- Kuhl, U., Neef, N. E., Kraft, I., Schaadt, G., Dörr, L., Brauer, J., Czepezauer, I., Müller, B., Wilcke, A., Kirsten, H., Emmrich, F., Boltze, J., Friederici, A. D., & Skeide, M. A., 2020. The emergence of dyslexia in the developing brain. *NeuroImage*, 211, 116633.
- Lachmann, T., Berti, S., Kujala, T., & Schröger, E., 2005. Diagnostic subgroups of developmental dyslexia have different deficits in neural processing of tones and phonemes. *International Journal of Psychophysiology*, 56(2), 105-120.
- Li, Y., & Bi, H.-Y., 2022. Comparative research on neural dysfunction in children with dyslexia under different writing systems: A meta-analysis study. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 137.
- Li, Y., Li, J., Yang, Y., & Bi, H.-Y., 2022. Disruption of dynamic functional connectivity in children with developmental dyslexia. *Language, Cognition and Neuroscience*, 38(5), 621-635.
- Ludersdorfer, P., Wimmer, H., Richlan, F., Schurz, M., Hutzler, F., & Kronbichler, M., 2016. Left ventral occipitotemporal activation during orthographic and semantic processing of auditory words. *NeuroImage*, 124, 834-842.
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14.
- Martin, A., Kronbichler, M., & Richlan, F. (2016). Dyslexic brain activation abnormalities in deep and shallow orthographies: A meta-analysis of 28 functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 37(7), 2676-2699.
- McLaren, D. G., Ries, M. L., Xu, G., & Johnson, S. C., 2012. A generalized form of context-dependent psychophysiological interactions (gPPI): A comparison to standard approaches. *NeuroImage*, 61(4), 1277-1286.
- Moll, K., & Landerl, K., 2009. Double Dissociation Between Reading and Spelling Deficits. *Scientific Studies of Reading*, 13(5), 359-382.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P., 2001. Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24(9), 508-511.



- Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., & Carter, C. S., 2012. Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241-268.
- Olulade, O. A., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2013. Developmental differences for word processing in the ventral stream. *Brain and Language*, 125(2), 134-145.
- Olulade, O. A., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2015. Dyslexic children lack word selectivity gradients in occipito-temporal and inferior frontal cortex. *NeuroImage: Clinical*, 7, 742-754.
- Paulesu, E., Danelli, L., & Berlinger, M., 2014. Reading the dyslexic brain: Multiple dysfunctional routes revealed by a new meta-analysis of PET and fMRI activation studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.
- PII: S0166-2236(00)01896-8 | Elsevier Enhanced Reader. (t.y.). [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01896-8](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01896-8)
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2000. Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207-213.
- Purcell, J. J., Jiang, X., & Eden, G. F., 2017. Shared orthographic neuronal representations for spelling and reading. *NeuroImage*, 147, 554-567.
- Purcell, J. J., Napoliello, E. M., & Eden, G. F., 2011. A combined fMRI study of typed spelling and reading. *NeuroImage*, 55(2), 750-762.
- Ramus, F., 2003. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841-865.
- Ramus, F., 2004. Neurobiology of dyslexia: A reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, 27(12), 720-726.
- Richards, T. L., Berninger, V. W., & Fayol, M., 2009. fMRI activation differences between 11-year-old good and poor spellers' access in working memory to temporary and long-term orthographic representations. *Journal of Neurolinguistics*, 22(4), 327-353.
- Richards, T. L., Grabowski, T. J., Boord, P., Yagle, K., Askren, M., Mestre, Z., Robinson, P., Welker, O., Gulliford, D., Nagy, W., & Berninger, V., 2015. Contrasting brain patterns of writing-related DTI parameters, fMRI connectivity, and DTI-fMRI connectivity correlations in children with and without dysgraphia or dyslexia. *NeuroImage: Clinical*, 8, 408-421.
- Richlan, F., 2020. The Functional Neuroanatomy of Developmental Dyslexia Across Languages and Writing Systems. *Frontiers in Psychology*, 11.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H., 2009. Functional abnormalities in the dyslexic brain: A quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 30(10), 3299-3308.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H., 2011. Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *NeuroImage*, 56(3), 1735-1742.
- Richlan, F., Sturm, D., Schurz, M., Kronbichler, M., Ladurner, G., & Wimmer, H., 2010. A Common Left Occipito-Temporal Dysfunction in Developmental Dyslexia and Acquired Letter-By-Letter Reading? *PLOS ONE*, 5(8), e12073.
- Saliency Network-Based Classification and Prediction of Symptom Severity in Children With Autism | Autism Spectrum Disorders | JAMA Psychiatry | JAMA Network. (t.y.).
- Sağır, G. R., & İçer, S., 2022, October. Investigation of Brain Activities During Reading of Children with Dyslexia and Dysgraphia by using Region of Interest Analysis. In 2022 Medical Technologies Congress (TIPTEKNO) (pp. 1-4). IEEE.
- Schurz, M., Wimmer, H., Richlan, F., Ludersdorfer, P., Klackl, J., & Kronbichler, M., 2015. Resting-State and Task-Based Functional Brain Connectivity in Developmental Dyslexia. *Cerebral Cortex*, 25(10), 3502-3514.
- Share, D. L., 1995. Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition*, 55(2), 151-218.
- Shaywitz, B. A., Skudlarski, P., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Constable, R. T., Fulbright, R. K., Zelterman, D., Lacadie, C., & Shaywitz, S. E., 2007. Age-related changes in reading systems of dyslexic children. *Annals of Neurology*, 61(4), 363-370.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2005. Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11), 1301-1309.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A., 2008. Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1329-1349.
- Smith, S. M., 2002. Fast robust automated brain extraction. *Human Brain Mapping*, 17(3), 143-155.
- Smith, S. M., Jenkinson, M., Woolrich, M. W., Beckmann, C. F., Behrens, T. E. J., Johansen-Berg, H., Bannister, P. R., De Luca, M., Drobnjak, I., Flitney, D. E., Niazy, R. K., Saunders, J., Vickers, J., Zhang, Y., De Stefano, N., Brady, J. M., & Matthews, P. M., 2004. Advances in functional and structural MR image analysis and implementation as FSL. *NeuroImage*, 23, S208-S219.
- Sporns, O., 2013. The human connectome: Origins and challenges. *NeuroImage*, 80, 53-61.
- Stein, J., & Walsh, V., 1997. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147-152.
- Tallal, P., 1980. Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children. *Brain and Language*, 9(2), 182-198.
- Taran, N., Farah, R., DiFrancesco, M., Altaye, M., Vannest, J., Holland, S., Rosch, K., Schlaggar, B. L., & Horowitz-Kraus, T., 2022. The role of visual attention in dyslexia: Behavioral and neurobiological evidence. *Human Brain Mapping*, 43(5), 1720-1737.
- Taylor, J. S. H., Rastle, K., & Davis, M. H., 2013. Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 139, 766-791.
- Twait, E., Farah, R., & Horowitz-Kraus, T., 2018. Decreased functional connectivity of the salience network during narrative comprehension in children with reading difficulties: An fMRI study. *NeuroImage: Clinical*, 20, 987-992.
- U, F., 1980. Unexpected spelling problems. *Cognitive Processes in Spelling*, 495-515.
- Van der Mark, S., Klaver, P., Bucher, K., Maurer, U., Schulz, E., Brem, S., Martin, E., & Brandeis, D., 2011. The left occipitotemporal system in reading: Disruption of focal fMRI connectivity to left inferior frontal and inferior parietal language areas in children with dyslexia. *NeuroImage*, 54(3), 2426-2436.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M., 2004. Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(1), 2-40.
- Waldie, K. E., & Mosley, J. L., 2000. Hemispheric Specialization for Reading. *Brain and Language*, 75(1), 108-122.
- Wang, Z., Yan, X., Liu, Y., Spray, G. J., Deng, Y., & Cao, F., 2019. Structural and functional abnormality of the putamen in children

- with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 26-37.
- Wimmer, H., Schurz, M., Sturm, D., Richlan, F., Klackl, J., Kronbichler, M., & Ladurner, G., 2010. A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: An fMRI study. *Cortex*, 46(10), 1284-1298.
- Woolrich, M. W., Behrens, T. E. J., Beckmann, C. F., Jenkinson, M., & Smith, S. M., 2004. Multilevel linear modelling for FMRI group analysis using Bayesian inference. *NeuroImage*, 21(4), 1732-1747.
- Woolrich, M. W., Ripley, B. D., Brady, M., & Smith, S. M., 2001. Temporal Autocorrelation in Univariate Linear Modeling of FMRI Data. *NeuroImage*, 14(6), 1370-1386.
- Worsley, K. J., 2001. Statistical analysis of activation images, *Functional MRI: An introduction to methods*, 14 (1), 251-70.
- Xu, B., Grafman, J., Gaillard, W. D., Ishii, K., Vega-Bermudez, F., Pietrini, P., Reeves-Tyer, P., DiCamillo, P., & Theodore, W., 2001. Conjoint and Extended Neural Networks for the Computation of Speech Codes: The Neural Basis of Selective Impairment in Reading Words and Pseudowords. *Cerebral Cortex*, 11(3), 267-277.
- Yagle, K., Richards, T., Askren, K., Mestre, Z., Beers, S., Abbott, R., Nagy, W., Boord, P., & Berninger, V., 2017. Relationships between Eye Movements during Sentence Reading Comprehension, Word Spelling and Reading, and DTI and fmri Connectivity In Students with and without Dysgraphia or Dyslexia. *Journal of systems and integrative neuroscience*, 3(1), 10.15761/JIN.1000150.
- Yu, X., Ferradal, S., Dunstan, J., Carruthers, C., Sanfilippo, J., Zuk, J., Zöllei, L., Gagoski, B., Ou, Y., Grant, P. E., & Gaab, N. 2022. Atypical functional connectivity of the left fusiform gyrus in infants at familial risk for developmental dyslexia. *MedRxiv*
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S., 2014. New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLOS ONE*, 9(6), e99337.