DİSKALKULİ: MATEMATİK ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ

Tanımı, Özellikleri, Yaygınlığı, Nedenleri ve Tanılanması

Editörler: Doç. Dr. Yılmaz MUTLU
Prof. Dr. Sinan OLKUN
Doç. Dr. Levent AKGÜN
Doç. Dr. Mehmet Hayri SARI

PEGEM AKADEMİ

Editörler: Doç. Dr. Yılmaz MUTLU – Prof. Dr. Sinan OLKUN
Doç. Dr. Levent AKGÜN – Doç. Dr. Mehmet Hayri SARI

DİSKALKULİ:
MATEMATİK ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ
Tanımı, Özellikleri, Yaygınlığı, Nedenleri ve Tanılanması

ISBN 978-625-7228-66-4
DOI 10.14527/9786257228664

Kitap içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

© 2020, PEGEM AKADEMİ

Bu kitabın basım, yayım ve satış hakları Pegem Akademi Yay. Eğt. Dan. Hizm. Tic. AŞ'ye aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri, kapak tasarımı; mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik, kayıt ya da başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır. Okuyucularımızın bandrolü olmayan kitaplar hakkında yayınevimize bilgi vermesini ve bandrolsüz yayınları satın almamasını diliyoruz.

Pegem Akademi Yayıncılık, 1998 yılından bugüne uluslararası düzeyde düzenli faaliyet yürüten **uluslararası akademik bir yayınevi**dir. Yayımladığı kitaplar; Yükseköğretim Kurulunca tanınan yükseköğretim kurumlarının kataloglarında yer almaktadır. Dünyadaki en büyük çevrimiçi kamu erişim kataloğu olan **WorldCat** ve ayrıca Türkiye'de kurulan **Turcademy.com** tarafından yayınları taranmaktadır, indekslenmektedir. Aynı alanda farklı yazarlara ait 1000'in üzerinde yayını bulunmaktadır. Pegem Akademi Yayınları ile ilgili detaylı bilgilere **http://pegem.net** adresinden ulaşılabilmektedir

1. Baskı: Aralık 2020, Ankara

Yayın-Proje: Şehriban Türlüdür
Dizgi-Grafik Tasarım: Müge Çetin
Kapak Tasarım: Pegem Akademi

Baskı: Vadi Grup Basım A.Ş.
İvedik Organize Sanayi 28. Cadde 2284 Sokak No: 105
Yenimahalle/ANKARA
Tel: (0312) 394 55 91

Yayıncı Sertifika No: 36306
Matbaa Sertifika No: 49180

İletişim

Karanfil 2 Sokak No: 45 Kızılay / ANKARA
Yayınevi: 0312 430 67 50 - 430 67 51
Dağıtım: 0312 434 54 24 - 434 54 08
Hazırlık Kursları: 0312 419 05 60
İnternet: www.pegem.net
E-ileti: pegem@pegem.net
WhatsApp Hattı: 0538 594 92 40

ÖN SÖZ

Her çocuk özeldir çünkü her çocuğun kendine özgü güçlü yönleri, becerileri ve gelişim alanları vardır. Çocuklar sahip oldukları özellikler açısından farklılıklar gösterirler. Söz konusu öğrenme olduğunda sergilenen farklılıklar, "öğrenme farklılıkları" olarak nitelenebilir. Öğrenme farklılıkları, gelişimin normal bir yansıması olarak ele alınabilir. Çocuklarda öğrenme farklılıkları az olduğunda homojen gruplar oluşur. Bu da normal sınıflarda ortak bir program üzerinden öğrenmenin gerçekleşebileceği anlamına gelir. Ancak çocuklar arasında veya bir çocuğun diğer çocuklara oranla farklılıkları fazla ise bireysel öğrenme programına ihtiyaç duyulması kaçınılmaz olacaktır.

Az sayıda çocukta, öğrenme farklılıkları, öğrenmenin bir yönüne engel oluşturmaktadır. Genellikle çocuklar, okula düzenli olarak devam ettiklerinde, uygun öğrenme ortamları ile buluştuklarında ve evde yeterli bir desteğe sahip olduklarında, matematik becerilerini kolayca geliştirebilirler. Ancak, bazı öğrenciler için matematik becerileri beklenenden daha yavaş veya daha büyük zorluklarla gelişebilmektedir. Böyle durumlarda da bireysel eğitim müdahaleleri gerekli olabilir.

Matematik öğrenme güçlüğü yaşayan çocuklar, erken yaşlardan itibaren yaşıtlarının gerisinde kalmakta ve zaman ilerledikçe aralarındaki fark giderek artmaktadır. Bu nedenle güçlük çekilen matematiksel kavram ve konu sayısındaki artış ile birlikte diskalkulik çocukların akranlarıyla aralarında oluşabilecek farkın önünün erken tanı ve doğru eğitsel müdahale ile alınması oldukça büyük önem kazanmaktadır.

Matematik öğrenme güçlüğü/diskalkuli ülkemizde henüz yeterince bilinmemekte konu bağlamında yapılan çalışmalar ise okuma güçlüğü/disleksiye oranla tüm dünyada olduğu gibi oldukça sınırlı sayıda kalmaktadır. Bu konularda duyulan kaynak ihtiyacını gidermek amacıyla yazılan bu iki ciltlik kitabın birinci cildinde tanılama yöntemlerine, ikinci cildinde eğitsel müdahalenin nasıl yapılması gerektiği konularına değinilmiştir. Bu kapsamlı çalışmanın ülkemizde matematik öğrenme güçlüğü alanında yaşanan kaynak ihtiyacını karşılamaya yönelik iyi bir başlangıç olmasını diliyoruz.

Editörler

Aralık 2020- Ankara

Bölümler ve Yazarları

Editörler: *Doç. Dr. Yılmaz MUTLU – Prof. Dr. Sinan OLKUN*
Doç.Dr. Levent AKGÜN – Doç. Dr. Mehmet Hayri SARI

1. Bölüm: Gelişimsel Diskalkuli Nedir?
Doç. Dr. Yılmaz MUTLU
Muş Alparslan Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–4265–856X

2. Bölüm: Gelişimsel Diskalkulinin Nedenleri
Dr. Derya CAN
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
ORCID No: 0000–0003–1257–8793

3. Bölüm: Matematik Öğrenme Güçlüğünün (Diskalkulinin) Beyinsel ve Kalıtımsal Temelleri
Dr. Fırat SOYLU
Alabama Üniversitesi
ORCID No: 0000–0003–0743–818X

4. Bölüm: Diskalkuliye Sahip Bireylerin Homojen ve Heterojen Özellikleri
Doç. Dr. Mihriban HACISALİHOĞLU KARADENİZ
Giresun Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–7836–6868

5. Bölüm: Bilişsel Perspektiften Diskalkuli
Dr. Zekeriya ÇAM
Muş Alparslan Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–2965–2390

6. Bölüm: Diskalkulik Bireylerde Matematik Kaygısı
Dr. Ali Fuad YASUL
Muş Alparslan Üniversitesi
ORCID No: 0000–0001–7537–4291

7. Bölüm: Diskalkuliye Sahip Bireyleri Tanılama Yöntemleri –Tutarsızlık Modeli
Dr. Burcu DURMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–2788–434X

8. Bölüm: Bilgisayar Destekli Araçlar – Diskalkuli Tarama Aracı
Prof. Dr. Sinan OLKUN
Uluslararası Final Üniversitesi
ORCID No: 0000–0003–3764–2528
Doç. Dr. Mehmet Hayri SARI
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–7159–2635

9. Bölüm: Müdahaleye Yanıt Yöntemi
Dr. Kübra POLAT
Cumhuriyet Üniversitesi
ORCID No: 0000– 0001–8060–0732
Dr. Sümeyra AKKAYA
İnönü Üniversitesi
ORCID No: 0000–0002–9942–9848

10. Bölüm: Diskalkulik Bireylerin Belirlenmesinde Çoklu Araçlar
Dr. Neşe UYGUN
Hasan Kalyoncu Üniversitesi
ORCID No: 0000–0003–0961–5303

İÇİNDEKİLER

Ön Söz iii
Bölümler ve Yazarları v

1. BÖLÜM

GELİŞİMSEL DİSKALKULİ NEDİR?

Giriş 1
Dünden Bugüne Gelişimsel Diskalkuli 1
Terminoloji Farklılığı 5
Gelişimsel Diskalkulinin Görülme Sıklığı 7
Sonuç 8
Kaynakça 9

2. BÖLÜM

GELİŞİMSEL DİSKALKULİNİN NEDENLERİ

Giriş 11
Bireylerde Diskalkuli Neden Görülür? 11
Alan Geneli Eksiklikler Hipotezi 13
Alana Özgü Eksiklikler Hipotezi 17
Alana Özgü Eksiklikler Hipotezine Dayalı Modeller 19
- Sayı hissi yetersizliği 22
- Çokluk kodlama yetersizliği 22
- Erişim bozukluğu (yetersizliği) 22

Alana Özgüve Alan Geneli Eksikliklerin Etkileşimine Dayalı Modeller 23
Gelişimsel Diskalkuli ve Diğer Gelişim Bozukluklarıyla İlişkisi 25
Eş zamanlılık Modeli 27
- Disleksi ve gelişimsel diskalkulinin eş zamanlılığı 28
- Dispraksi ve gelişimsel diskalkulinin eş zamanlılığı 30

Sonuç 31
Kaynakça 32

3. BÖLÜM

MATEMATİK ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜNÜN (DİSKALKULİNİN) BEYİNSEL VE KALITIMSAL TEMELLERİ

Giriş 37
Gelişimsel Diskalkuli 38

Gelişimsel Diskalkulinin Sinir Sistemi ve Beyinle İlişkisi 39
Diskalkuli ve Beynin Yapısal Özellikleri 39
Voksel Bazlı Morfometri 39
Difüzyon Tensör Görüntüleme 42
Diskalkuli ve Beynin Fonksiyonel Özellikleri 43
Diskalkulinin Kalıtımsal ve Genetik Temelleri 47
Sonuç 50
Kaynakça 51

4. BÖLÜM

DİSKALKULİYE SAHİP BİREYLERİN HOMOJEN VE HETEROJEN ÖZELLİKLERİ

Diskalkuliye Sahip Bireylerin Homojen Özellikleri 57
Sayıları Kavrama/Anlamada Güçlük Yaşama 59
Sayıları Sıralamada Güçlük Yaşama 60
Sembolleri Anlamada Güçlük Yaşama 60
Diskalkuliye Sahip Bireylerin Heterojen Özellikleri 67
Sonuç 71
Kaynakça 72

5. BÖLÜM

BİLİŞSEL PERSPEKTİFTEN DİSKALKULİ

Giriş 75
Gelişimsel Diskalkuli ve İşleyen Bellek 77
İşleyen Belleğin Değerlendirilmesi 81
İşleyen Bellek Performansı Geliştirme Eğitimi 83
Sonuç 85
Kaynakça 86

6. BÖLÜM

DİSKALKULİK BİREYLERDE MATEMATİK KAYGISI

Giriş 89
Matematik Kaygısı Nedir? 90
Matematik Kaygısı Neden Önemlidir? 92
Matematik Kaygısı Ne Zaman Ortaya Çıkar? 94
Matematik Kaygısının Nedenleri Nelerdir? 95

Matematik Kaygısı Ölçüm Araçları 97
Matematik Kaygısı Nasıl Giderilir? 99
Sonuç 101
Kaynakça 102

7. BÖLÜM

DİSKALKULİYE SAHİP BİREYLERİ TANILAMA YÖNTEMLERİ – TUTARSIZLIK MODELİ

Giriş 105
Diskalkuli Tanılama Süreci 105
Diskalkuli Tanılama Yöntemleri ve Araçları 109
Doğrudan Gözleme Dayalı Kontrol Listeleri 109
Akademik Bozukluk Modeli: Müdahaleye Yanıt Modeli (Response to Intervention) 110
Üç Bileşenli Kombine Model (The Three Component Combined Model) 110
Güçlü ve Zayıf Yönlerin Örüntüsü Modeli (Patterns of Strengths and Weaknesses) 111
Bilgisayar Tabanlı Tanılama Araçları 112
Çoklu Araçlar 112
Tutarsızlık Modeli (Aptitude Achievement Discrepancy Model) 112
Tutarsızlık Formülleri 113
Basit Standart Puan Tutarsızlığı 114
Tutarsızlık Regresyon Modelleri 115
Tutarsızlık Modeline Yönelik Eleştiriler 115
Sonuç 119
Kaynakça 121

8. BÖLÜM

BİLGİSAYAR DESTEKLİ ARAÇLAR – DİSKALKULİ TARAMA ARACI

Giriş 125
İnsan Bilişinin Yapısı 125
Sayı Alt Sistemi ve Matematik Başarısı İle İlişkisi 126
Yaklaşık Sayı Sistemi ve Ölçümü 128
Tam Sayı Sistemi ve Ölçümü 130
Sembole Erişim Sistemi ve Ölçümü 131
Süre ve Doğruluğun Önemi 132

TSİTAPP-Temel Sayı İşleme Testi Uygulaması 133
Kaynakça..... 137

9. BÖLÜM

MÜDAHALEYE YANIT YÖNTEMİ

Giriş 139
Öğrenme Güçlüğü ve Tanılanması..... 139
Müdahaleye Yanıt Yönteminin Tarihsel Bağlamı..... 141
Müdahaleye Yanıt Yönteminin Tanımı, Özellikleri ve Süreci..... 142
Müdahaleye Yanıt Yönteminin Amacı 144
Müdahaleye Yanıt Yönteminin Aşamaları 146
Matematik Eğitiminde MYY Uygulamaları..... 152
Sonuç 158
Kaynakça 160

10. BÖLÜM

DİSKALKULİK BİREYLERİN BELİRLENMESİNDE ÇOKLU ARAÇLAR

Giriş 163
Diskalkuliyi Tanılama ve Değerlendirme..... 163
Formel Tanılama ve Değerlendirmede Kullanılan Çoklu Araçlar..... 165
Programa dayalı değerlendirme 166
Wechsler Çocuklar için Zekâ Ölçeği (WISC-R; Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised) 167
Raven Standart Progresif Matrisler Testi (RSPM) 168
Öğrenme Güçlükleri Belirti Tarama Testi..... 169
Matematik Başarı Testleri (MBT)..... 170
Hesaplama Performans Testi..... 171
Özgül Öğrenme Güçlüğü Bataryası 171
İnformel Tanılama ve Değerlendirmede Kullanılan Çoklu Araçlar 177
Gözlem..... 178
Görüşme 179
Ölçüt bağımlı değerlendirme..... 180
Hata analizi..... 180
Günlük 181
Sonuç 181
Kaynakça 183

3. BÖLÜM

MATEMATİK ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜNÜN (DİSKALKULİNİN) BEYİNSEL VE KALITIMSAL TEMELLERİ

Dr. Fırat SOYLU
Alabama Üniversitesi
ORCID No: 0000–0003–0743–818X

Giriş

Matematiksel yetiler sadece akademik başarı için değil hem günlük hayatta hem de birçok mesleki alanda başarı için gereklidir. Matematiksel yetilerin düşük olması bireylerin sosyal ve ekonomik durumlarını, fiziksel ve zihinsel sağlıklarını etkileyen etkenler arasındadır (Geary, 2011). Dünya çapında nüfusun önemli bir kısmı matematiksel öğrenme konusunda güçlüklere sahiptir ve bu güçlüklerin kişiler üzerindeki olumsuz etkilerinin ötesinde, ülkelerin ekonomileri üzerinde de olumsuz etkileri vardır. Yapılan farklı çalışmalar matematiksel öğrenme güçlüklerinin nüfusun yaklaşık yüzde 5 ila 7'sini (Butterworth, 2010; Kaufmann ve Aster, 2012) etkilediğini göstermiştir.

Matematik öğrenme güçlükleri, diğer adıyla diskalkuli, temel olarak iki çeşide ayrılır: 1) Beyindeki lezyonlar ya da diğer nörofizyolojik rahatsızlıklar neticesinde matematiksel yetiler için gerekli sistemlerin zarar görmesi sonucunda ortaya çıkan, *sonradan edinilen diskalkuli*, ve 2) genetik ve çevresel etkenlerin neticesinde erken çocukluktan itibaren matematiksel kavramları öğrenme güçlüğü olarak ortaya çıkan *gelişimsel diskalkuli*. Birinci kategorideki diskalkulinin sebepleri görece daha kolaylıkla anlaşılabilirken, gelişimsel diskalkuli tek bir sebepten ötürü değil, birçok faktörün bir araya gelmesiyle ortaya çıkar ve sebepleri henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Diskalkulinin teşhis kriterleri ne olmalıdır konusunda ortak bir görüş yoktur. Genel olarak matematik başarı testlerinde en düşük yüzde 10'lük kesiminde bulunanlarda matematik öğrenme güçlükleri olduğu varsayılır (Geary, Hoard, Byrd-Craven, Nugent, ve Numtee, 2007).

Diskalkulinin sebeplerini anlama ve diskalkulik çocukların matematiksel yetilerini iyileştirmek için atılması gereken adımlardan biri diskalkulinin biyolojik temellerini ve çevresel ve kültürel unsurların biyolojik, özellikle nörofizyolojik,

mekanizmalarla nasıl etkileştiğini anlamaktır. Son 30 yılda sinirbilim ve beyin görüntüleme metotlarında meydana gelen gelişmeler, hem matematiksel öğrenme ve bilişin tipik gelişimi, hem de matematik öğrenme güçlüklerinin nörofizyolojik ve genetik temelleri üzerine birçok yeni bulguya ulaşılmasını sağlamıştır. Matematik eğitimi gibi ilgili alanlarda çalışan araştırmacılara ve eğitmenlere bu bulguları özetleyen ve erişilebilir hâle getiren Türkçe kaynak ihtiyacını gidermek için, bu bölümde diskalkuli üzerine yapılmış yapısal ve fonksiyonel beyin görüntüleme çalışmalarını sentezleyeceğiz. Aynı zamanda matematiksel yetilerin ve diskalkulinin kalıtsallığı ve genetik faktörlerin etkisi üzerine, görece az sayıdaki, temel bulguları tartışacağız.

Gelişimsel Diskalkuli

Gelişimsel diskalkuli (bundan sonra sadece diskalkuli olarak adlandırılacak) üzerine yapılan sinirbilim çalışmaları önce sayısal büyüklüklerin temsili ile ilgili sistemlerdeki aksaklıklara yoğunlaşmışken, yakın geçmişte yapılan çalışmalar diskalkulinin birden fazla sistemi etkilediği ve bu bozukluğun çok yönlü yapısal, fonksiyonel, ve genetik temelleri olduğunu ortaya koymuştur (Fias, Menon, ve Szucs, 2013). Diskalkulinin kız ve erkek çocuklarındaki yaygınlığı üzerinde çelişkili veriler vardır. Bazı çalışmalarda diskalkulinin erkek çocukları arasında daha yaygın olduğu bulunmuşken (Reigosa-Crespo vd., 2012), diğer çalışmalarda kız ve erkek çocuklar arasında diskalkulinin yaygınlığı açısından bir fark bulunmamıştır (Devine, Soltész, Nobes, Goswami, ve Szucs, 2013). Çocuklukta gözlemlenen diskalkulinin tutarlı şekilde yetişkinlikte de devam ettiği gözlemlenmiştir (Shalev, Manor, ve Gross-Tsur, 2005). Genetik çalışmalar temel sayısal yetilerin ancak yüzde 32 oranında kalıtımsal olduğunu ve geri kalan varyasyonun çevresel faktörlerle açıklandığını ortaya koymuştur (Tosto vd., 2014). Diskalkuliye sebep olan faktörler doğrudan matematiksel bilişsel süreçleri etkileyenler (matematiğe özgü ya da sayısal) ve genel olarak bilişsel sistemleri etkileyenler (genel bilişsel) olarak ikiye ayrılabilir (Geary, 2004). Sayısal yetiler büyüklük işleme, sayma, sayılar, sözcükler ve çokluklar arasında geçiş, aritmetik ve işlemsel bilgiler gibi yetilerdir. Genel bilişsel yetiler ise, hem matematik hem de diğer bilişsel yetiler için gerekli, kalıcı hafıza, işleyen belleği (özellikle görsel), genel dil yetileri, sembolleri tanıma ve işleme gibi temel yetilerdir.

Diskalkuli sayısal ya da genel bilişsel sistemlerdeki bir ya da birden fazlasındaki sorunlardan kaynaklanabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda diskalkuliye neden olan temel sorunlardan birinin sayısal büyüklükleri işlemedeki güçlükler olduğu ortaya konmuştur (Butterworth, Varma, ve Laurillard, 2011). Ancak bir başka çalışmada diskalkulik çocukların rakamları karşılaştırırken güçlük çekti-

ği, ancak sembolik olmayan sayısal büyüklükleri (mesela birbirinden farklı sayıda noktalar içeren iki grubu) karşılaştırırken güçlük çekmedikleri bulunmuştur (Rousselle ve Noel, 2007). Bu bulgu diskalkulinin, sayısal büyüklükleri işlemede sorun olmasa bile, rakamları sayısal büyüklüklerle eşleştirmeyle ilgili sorunlardan da kaynaklanabileceği anlamına gelir. Sayısal yetilerin dışında genel bilişsel yetilerdeki bozuklukların da, mesela görsel işleyen bellek, diskalkuli ve eş zamanlı (co-morbid) olarak disleksi gibi bozukluklara neden olabileceği ortaya konmuştur (Landerl ve Moll, 2010).

Genel olarak matematiksel kabiliyetler sayısal ve genel bilişsel yetilerin üzerine kurulur. Diskalkulik çocuklar bu yetilerin değişik kombinasyonları ile ilgili sorunlarla tanımlanabilecek profillere sahiplerdir. Dolayısıyla diskalkuli tanısı için kullanılan ölçütlerin daha önce bahsedilen sayısal ve genel bilişsel yetilerin davranışsal ölçütlere eke olarak, biyolojik temellerini de ölçen nitelikte olması gerekir.

Gelişimsel Diskalkulinin Sinir Sistemi ve Beyinle İlişkisi

Gelişimsel diskalkuli üzerine yapılan sinirbilim ve beyin görüntüleme çalışmaları diskalkuliyle ilişkilendirilen farklı biyolojik yapı ve süreçlere yoğunlaşır. Bu metotların en yaygın olanları beyinde kanın oksijenlenmesi (BOLD sinyali) üzerinden hangi beyin bölgeleri ve ağlarının belli bilişsel fonksiyonlarda kullandığını gösteren fMRG (Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme), beyindeki hücre toplulukları (gri madde) ve hücreler arasındaki bağlantı (beyaz madde) dokularını ve bunların bilişsel yetilerle ilişkisini gösteren yapısal MR, ve kafatasındaki elektriksel değişimler üzerinden beyin fonksiyonlarının çalışılmasını sağlayan elektroensefalografıdır (EEG). Bunların dışında, özellikle çocuklarla yapılan çalışmalarda, kızılötesi ışınlar yardımıyla özellikle korteks (beynin gri madde yoğunluğu yüksek üst tabakası) üzerindeki kanın oksijenlenmesini ve dolayısıyla hangi bölgelerin bilişsel işlemler için kullandığını gösteren fNIRS (işlevsel kızılötesine yakın spektroskopi) metodu kullanılır. Önümüzdeki başlıklarda bu metotlar kullanılarak matematiksel öğrenme ve düşünce üzerine yapılan çalışmalardan edinilen bulgulara ve bu bulguların bize diskalkuli ile ilgili sorulara nasıl cevaplar verdiğine yoğunlaşacağız.

Diskalkuli ve Beynin Yapısal Özellikleri

Voksel Bazlı Morfometri

Yapısal MR veri analiz metotlarında en yaygın olarak kullanılanı voksel bazlı morfometridir (VBM). Bu teknikte beynin MR cihazı ile çekilmiş anatomik resmi

segmentasyon teknikleri kullanılarak beyaz madde (beyin hücrelerini birbirlerine bağlayan sinir demetleri), gri madde (çoğunlukla beyin hücre çekirdeklerinden oluşan dokular), ve beyin-omurilik sıvısı olmak üzere üç kısma ayrılır. Gri madde yoğun şekilde bir araya gelmiş sinir hücre gruplarını gösterir. Sinir hücre grupları bilginin işlenmesi için hücreler arasında gönderilen sinyallerin işlendiği yerlerdir.

Segmentasyondan sonra her deneğin yapısal verileri görüntü işleme metotları kullanılarak standart bir beyin şablonuna uydurulur ve bu sayede birçok denekten toplanan yapısal görüntü verilerinin, mesela, davranışsal ölçütlerle ilişkisine bakılabilir, ya da birçok denekten oluşan iki grup arasında beyaz ve gri madde dokularının beynin değişik bölgelerindeki kalınlığı, alanı, ya da hacmi üzerine karşılaştırılmalar yapılabilir ve bu hacimlerin çeşitli davranışsal ölçütlerle bağlantıları saptanabilir. Örneğin, bu teknik kullanılarak diskalkulik ve tipik (kontrol) grupları arasında hangi bölgelerde gri madde hacminin farklı olduğu ve hangi bölgelerde bu farkın matematiksel performansla ilişkili olduğu saptanabilir.

Matematiksel yetiler üzerine VBM kullanılarak yapılan daha önceki çalışmalarda tipik gelişim gösteren çocukların aritmetik performansının parietal bölgelerdeki, özellikle sol intraparietal sulkus (İPS) ve angular girusdaki (AG), gri madde hacmiyle (GMH) orantılı olduğu saptanmıştır (Li, Hu, Wang, Weng, ve Chen, 2013; Price, Wilkey, Yeo, ve Cutting, 2016) [Şekil 1]. fMRG tekniği ile yapılmış daha önceki birçok çalışma İPS'in hem fiziksel hem de sayısal büyüklükleri işlemede, AG'un ise aritmetik ezber belleğinde önemli rolleri olduğunu göstermiştir (Menon, 2014). Örnek olarak, "24 + 17" gibi bir işlemde, iki basamaklı iki sayının toplamını hesaplarken çocuklar hesaplama stratejileri kullanırlar (mesela ayrıştırma: 24 + 17 = 20 + 10 + 7 + 4 = 30 + 11 = 41). Bu tip işlemlerde sayıların büyüklüklerinin temsili gerekir ve beyin görüntüleme çalışmalarında İPS'in kullanıldığı görülür. Ancak, "4 x 5" gibi bir işlemi yapan bir beşinci sınıf öğrencisi bu işlemin sonucunu hali hazırda ezberden bildiği için hatırlaması yeterlidir ve bu hatırlama işlemi sayıların büyüklüklerinin temsilini ayni oranda gerektirmez. Dolayısıyla hafızadan yapılan aritmetik işlemleri İPS'ten çok AG gibi dil bazlı hafıza bölgelerini kullanır ve matematiksel transformasyonlara ihtiyaç duymaz.

Matematik öğrenme güçlüğü yaşayan çocuklar üzerine yapılan yapısal görüntüleme çalışmaları, beklendiği üzere, özellikle sol İPS bölgesinde gri madde hacminin tipik gelişim gösteren çocuklardan daha düşük olduğunu ortaya koymuştur (Isaacs, Edmonds, Lucas, ve Gadian, 2001). Yapılan bir diğer çalışmada diskalkulik dokuz yaşındaki çocuklarda sağ İPS, ön sinulum, sol alt frontal girus, ve iki taraflı orta frontal gyri bölgelerinde gri madde yoğunluğunun daha az olduğu saptanmıştır (Rotzer vd., 2008). Aynı çalışma diskalkulik çocuklarda beyaz madde yoğunluğunun bazı frontal ve parahipokampal bölgelerde daha az olduğu-

nu göstermiştir. Bu bulgular diskalkulinin tek bir sistemi etkilemediğini ve beyinde sayısal büyüklüklerin temsili, sözlü hafıza, görsel-uzamsal işleme gibi farklı ve her biri ayrı fonksiyonlar yerine getiren sistemleri etkilediğini göstermiştir. Hem gri hem de beyaz madde hacmindeki farklılıklar ise diskalkuliyi karakterize eden yapısal özelliklerin hem beynin belli bölgelerindeki fonksiyonları hem de bölgeler arasındaki bağlantıları etkileyecek şekilde olduğunu gösterir.

Sekiz ila 14 yaş aralığındaki çocuklarla yapılan ve diskalkulik ve tipik gelişim gösteren çocukları karşılaştıran bir çalışmada, diskalkulik çocuklarda sayısal işlemler için önemli olan parietal bölgelerde, ve öğrenme ve hafıza işlemleri için kullanılan sağ parahipokampal girus ve frontal bölgelerde daha düşük gri madde hacmi bulunmuştur (Ranpura vd., 2013). Bunun ötesinde aynı çalışmada iki grup arasında gelişimsel farklılıklar da gözlemlenmiştir. Diskalkulik çocuklarla tipik gelişim gösteren çocuklar karşılaştırıldığında, yaşla beraber beyaz madde hacmindeki artışın, özellikle sol frontal kortekste ve alt parietal bölgede (angular ve supramarjinal girusların bulunduğu) çok daha az olduğu saptanmıştır. Matematiksel düşünme üzerine yapılan beyin görüntüleme çalışmalarında tutarlı şekilde fronto-parietal bir ağ gözlemlenir [Şekil 1]. Bu ağı oluşturan frontal ve parietal bölgeleri birbirine bağlayan sinir demetleri (boyuna fasikülüs), bu ağı kullanan matematiksel düşünme ve öğrenme gibi yetiler için büyük önem taşır. Diskalkulik çocuklarda frontal ve parietal bölgelerdeki beyaz madde hacminin beklenen şekilde artmaması, bu bölgeleri birbirine bağlayan sinir demetlerinin tipik gelişim gösteren çocuklardaki gibi gelişmediğini gösterir. Yani diskalkuli sadece belli bölgelerdeki gri madde ile ilgili abnormalilerle değil, aynı zamanda bölgeler arasında bağlantıları sağlayan dokuların beklenenden az gelişmesi ile de karakterize olur.

Diskalkulide gözlemlenen yapısal farklılıklar her zaman kontrol grubundan daha az gri ya da beyaz madde hacmi şeklinde gözlemlenmez. Çocukların gelişimi sırasında beynin birçok bölgesinde bir sinaptik budama süreci gerçekleşir (Paus, 2005). Bu süreçte beynin yapısal özellikleri beyin fonksiyonlarını daha iyi desteklemek üzere yeniden organize edilir. Bu yeniden organizasyon sürecinde bazı bölgelerde gri ve beyaz madde artışı gözlemlenirken, diğer bölgelerde azalmalar gözlemlenir. Ranpura ve arkadaşlarının (2013) yaptığı çalışmada da, yukarıda bahsedildiği üzere, kontrol grubunda frontal ve parietal bölgelerde beyaz madde hacminde daha fazla artış gözlemlenmişken, beynin iki lobunu birbirine bağlayan, korpus kallozum adı verilen, sinir demetlerinde yaşla beraber bir azalma gözlemlenmiştir. Diskalkulik çocuklarda ise, tipik gelişim gösteren çocukların aksine, korpus kallozumda yaşla beraber beyaz madde hacmi çok daha az azalmıştır. Yaşla beraber bilişsel işlevler için kullanılan ağlar odaklanır (yani ağlar özelleşir ve kortekste daha az dağınık hle gelirler) ve dolayısıyla korpus kallozum üzerinden

bilgi akışına olan ihtiyaç da azalır. Korpus kallozumun beyaz madde hacmindeki azalma genel olarak, sinaptık budama adı verilen, gelişimsel süreçte kullanılmayan bağlantıların ortadan kalkması olarak açıklanabilecek bir süreçle ilgili olabilir. Diskalkulik çocuklarda parietal bölgedeki korpus kallozumun hacminin daha yüksek olması, yaşla beraber beklenen odaklanmanın olması ve sinaptik budama sürecindeki bir aksaklıktan kaynaklanmış olabilir.

Yapısal MR ile beyaz ve gri madde hacminin dışında, kortikal kalınlık ve alan gibi ölçütler de çalışılır. Bilişsel yetiler bu üç ölçütle de bağlantılıdır. Esasen, hacim ölçüsü geometrik olarak kalınlık ve alanın bir fonksiyonudur, yani hacim kalınlık ve alan kullanılarak hesaplanabilir ve dolayısıyla her ikisiyle de bağlantılıdır. Ancak kalınlık ve alan ölçüleri birbirleriyle güçlü bir şekilde bağlantılı değildir ve genetik temelleri de birbirlerinden farklıdır (Winkler vd., 2010). Son iki milyon yılda gerçekleşmiş ve erken homininilerle (insanın yakın akrabası hominidleri içeren primatlar; mesela *australopithecus*, *homo habilis* ve *homo erectus*) başlayıp insanın ortaya çıkışıyla sonuçlanmış evrimsel süreçte, insan beyninin yapısal özelliklerinde gözlemlenen en önemli değişikliklerden biri kortikal kalınlıktan ziyade kortikal alandaki artıştır. Bilişsel sinirbilim çalışmalarında da kortikal alan bilişsel yetilerle kalınlık ve hacim ölçütlerinden daha çok bağlantı gösterir. Ancak, kortikal alan, isminden de anlaşılacağı üzere, sadece kortikal bölgelerle (yani beynin dış yüzeyi ile) ilgili veri sunduğu için, beynin tamamını kapsayan hacim ölçüsü yapılan çalışmalarda daha yaygın kullanılır (hacim beynin bütün bölgelerini kapsar ve beyaz madde bu ölçüyle çalışılabilir). Genel olarak kortikal hacim kortikal kalınlık ve alan ölçütlerinin doğrusal olmayan bir birleşimidir. Genetik çalışmalar kalınlık ve alan ölçütlerinin büyük oranda farklı genetik temelleri olduğunu ortaya koymuştur (Winkler vd., 2010). Ranpura ve arkadaşları (2013) gri madde hacmi dışında kortikal kalınlık ve alan ölçülerinde de diskalkulik ve tipik gelişim gösteren gruplar arasında, özellikle frontal ve temporal bölgelerde farklar bulmuştur.

Difüzyon Tensör Görüntüleme

Beyaz madde hacmi beynin farklı bölgelerini birbirine bağlayan sinir demetlerinin hacim ve yoğunluğunun çalışılmasına izin verse de, bu sinir demetlerinin hangi bölgeleri birbirlerine bağladığının çalışılmasına izin vermez. Mesela önceki paragrafta bahsedilen diskalkulik çocuklarda para hipokampal bölgedeki beyaz madde hacminin daha az olduğu bulgusu bize parahipokampal bölge ile beynin diğer hangi bölgelerinin bağlantılarının daha zayıf olduğuna ilişkin bir bilgi vermez. Beyindeki sinir demetlerinin özellikle hangi bölgeleri birbirine bağladığı ve bu bağlantıların ne kadar güçlü olduğunu bir başka MR beyin görüntüleme tekniği olan Difüzyon Tensor Görüntüleme (DTG) gösterir (Le Bihan vd., 2001). DTG

VBM'den daha yeni bir teknik olduğu için, diskalkuli ve genel olarak matematiksel biliş ve öğrenme üzerine bu teknik kullanarak yapılan çalışmalar yapısal MR tekniği ile yapılan çalışmalardan görece olarak azdır.

Yedi ila dokuz yaşları arasındaki diskalkulik ve tipik gelişim gösteren çocukların karşılaştırıldığı bir MR ve DTG çalışmasında, daha önce bahsedilen çalışmalara benzer şekilde, VBM sonuçları diskalkulik çocukların matematikle ilgili parietal bölgelerde ve öğrenme ile ilgili, parahipokampal ve temporal, bölgelerin daha az gri made hacmine sahip olduğu gösterilmiştir (Rykhlevskaia, Uddin, Kondos, ve Menon, 2009). Aynı çalışmada sağ temporal ve parietal bölgelerde düşük beyaz madde hacmi gözlemlenmiştir. DTG verileri diskalkulik çocuklarda beynin frontal ve parietal bölgelerini birbirine bağlayan alt boyuna fasikülüs, ve frontal ve görsel bölgeleri bağlayan alt fronto-oksipital fasikülüs sinir liflerinde aksaklıklar göstermiştir. Bunların ötesinde traktörafı verileri sayısal sembollerin (Arap rakamları) işlenmesinde önemli bir bölge olan sağ fusiform girus ve temporal-parietal bölgeler arasındaki sinir liflerinde de aksaklıklar olduğunu göstermiştir.

Diskalkulik ve tipik gelişim gösteren, 8 – 11 yaş aralığındaki, çocukların karşılaştırıldığı bir başka DTG çalışmasında beynin frontal (ön) bölgelerini, beynin arkasındaki parietal ve temporal bölgelere bağlayan üst boyuna fasikülüs adı verilen sinir bağlantı demetlerinde daha düşük seviyede fraksiyonel anizotropi (bağlantının gücünü belirten bir ölçüt) tespit edilmiştir (Kucian vd., 2014). Bu bulgunun dışında özel olarak, matematiksel büyüklüklerin beynin temsilinde önemli bir rol oynayan, intraparietal sulkus (İPS) bölgesinde iki grup arasında oldukça büyük fraksiyonel anizotropi farklılıkları bulunmuştur. Bu sonuçlar diskalkuliye neden olan önemli faktörlerden birinin frontal, parietal ve temporal bölgeleri birbirine bağlayan sinir demetlerindeki aksaklıklar olduğunu ortaya koymuştur.

Genel olarak yapısal beyin görüntüleme bulguları diskalkulik çocuklarda hem yerel/bölgesel işleme kapasitesiyle ilgili, hem de matematiksel düşünce için önemli temel merkezleri birbirine bağlayan sınıf liflerinin yapısında aksaklıklar göstermiştir. Dolayısıyla, daha önce de değinildiği gibi, sonuçlar diskalkulinin beyinde tek bir sistemdeki bir aksaklıktan değil, beynin matematiksel düşünce ile ilgili birçok bölgesini ve bunlar arasındaki bağlantıları etkileyen genetik ve yapısal temelleri olan farklı aksaklıklardan kaynaklandığını ortaya koyar niteliktedir.

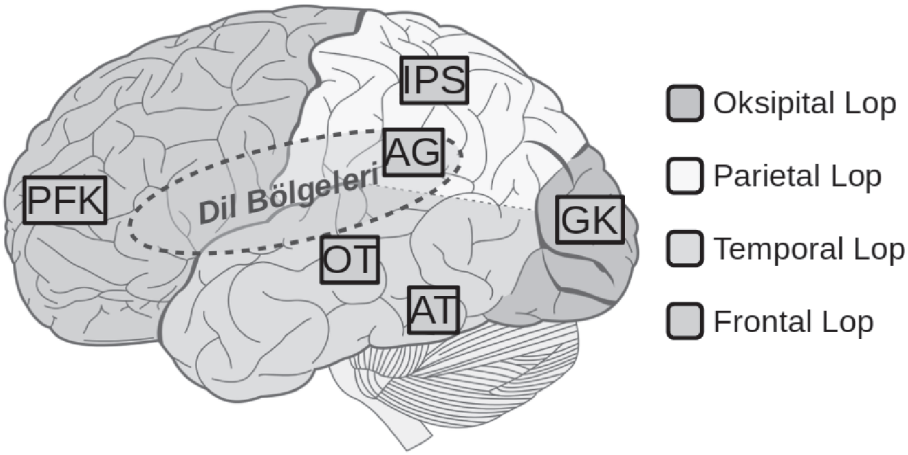
Diskalkuli ve Beynin Fonksiyonel Özellikleri

Yapısal MR çalışmaları beynin gri ve beyaz madde yoğunluğu ya da sinir demetlerinin yapısal özellikleri gibi ölçüler ve bu ölçülerin bilişsel yetiler ile ilgisi üzerine bilgiler verirken, fonksiyonel çalışmalar denekler belli işlemleri yaparken

(mesela matematik, okuma, ya da hafıza) beyinde meydana gelen fizyolojik değişimlere yoğunlaşır. Bu fizyolojik değişimler deneysel işlemler yapılırken beynin hangi bölgelerinin kullanıldığına dair bilgi verir. Bu metotlardan en yaygını fMRG'dir (Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme). fMRG beynin belli işlemler sırasında hangi bölgelerinin kullanıldığını anlamak için kan oksijen seviyesine bağlı olarak manyetik alanda meydana gelen değişmeler kullanır. Beynin işleyişi sırasında sinir hücrelerinin ateşlenmesi, hücrelerin işlevleri için oksijene ihtiyaç duyulduğu için, yakındaki kılcal damarlarda önce oksijen azalmasına neden olur. Bu oksijen azalmasından sonraki birkaç saniye içinde bu bölgeye oksijenli kan hücum eder ve yaklaşık altı saniye sonra bu bölgedeki kanda oksijen yoğunluğu en yüksek noktasına ulaşır ve birkaç saniye sonra da oksijen seviyesi normal seviyesine ulaşır. Beynin belli bir bölgesindeki sinir hücrelerinin çalışmaları neticesinde yerel olarak kanda meydana gelen oksijen bazlı bu değişikliklere hemodinamik yanıt verilir. Oksijen taşıyan ve taşımayan hemoglobin moleküllerinin manyetik özelliklerinin farklı olmasından dolayı, kandaki bu oksijen değişiklikleri belli bir mekansal ve zamansal çözünürlükle fMRG tekniği ile ölçülebilir. fMRG verilerinin analizi bize hemodinomik yanıttan yola çıkarak beynin hangi bölgelerinin belli işlemler sırasında etkinleştirildiğini gösterir. Her bir bireyin beyni farklı yapısal özellikler gösterir, dolayısıyla farklı deneklerden toplanan verilerin toplu şekilde analizi için öncelikle her bir deneğin yapısal ve fonksiyonel beyin görüntüleri ortak bir beyin şablona uydurulur. Daha sonra bir grup deneğin belli bir bilişsel işlemi yaparkenki ortalama beyin aktivasyonları bu şablon beyin resmi üzerinde gösterilir. Bu resimde beynin etkinleşen bölgeleri kırmızı ve sarı tonlarda gösterilir. Farklı beyin görüntüleme çalışmalarında aynı beyin şablonlarının (mesela MNI ya da Talariach) kullanılması, bu farklı çalışmalardan ortaya çıkan bulguların karşılaştırılmasına imkan verir. (fMRG üzerine ayrıntılı bilgi için, Penny, Friston, Ashburner, Kiebel, ve Nichols, 2011).

Bugüne kadar yapılan fonksiyonel görüntüleme çalışmaları genel olarak frontal-temporal-parietal bir ağın matematiksel düşünce ve öğrenme için önemli olduğunu ortaya koymuştur (Arsalidou, Pawliw-Levac, Sadeghi, ve Pascual-Leone, 2018; Arsalidou ve Taylor, 2011) [Şekil 1] . Burada ağ belli bir bilişsel fonksiyonu yerine getirmek için beraber etkinleşen ve birbirlerine nedensel bir ilişki ile bağlı birden fazla bölgeleri temsil eder. Bu ağın parçası olan alt temporal bölgeler matematiksel rakam ve sembollerin işlenmesinde kullanılırken, orta temporal bölgeler aritmetik bellek ve öğrenmede kullanılır. Alt frontal, alt parietal (özellikle angular ve süpramarjinal giruslar), ve üst temporal bölgeler matematiksel işlemler sırasında dil ile ilgili bilişsel işlemler için (örneğin aritmetik gerçeklerin hatırlanması) kullanılır. Bunların dışında intraparietal sulkus (İPS) bölgesinin sayısal büyüklük-

lerin temsili ve işlenmesinde önemli bir rol oynadığı saptanmıştır. Matematiksel bilişe özgü işlemlerin dışında prefrontal bölgedeki yürütücü işlevlerle ilgili (dikkat, işleyen bellek, engelleme ve işlem anahtarlaması/değiştirmesi) bölgelerde matematiksel biliş üzerine görüntüleme sonuçlarında gözlemlenir.



Şekil 1. Beyinde matematiksel düşünmeden sorumlu temel bölgeler.

Görsel korteks (GK) ve alt temporal (AT) bölgeler matematiksel sembollerin (Arap rakamları vs.) işlenmesinde, orta temporal (OT) bölge aritmetik bellek ve öğrenmede, angular girusun da dahil olduğu, alt parietal, üst temporal ve alt frontal -perisylvian- bölgeler, matematiksel işlemleri destekleyen sözel fonksiyonlar tarafından, intraparietal sulkus (IPS) sayısal büyüklüklerin temsili ve işlenmesinde, prefrontal korteks (PFK) ise yürütücü işlemler için (dikkat, işleyen bellek vs.) kullanılır.

Diskalkulik çocuklar üzerine yapılan fonksiyonel görüntüleme çalışmalarında yukarıda bahsi geçen ağın bütün bölgelerinde etkinleşme farklılıkları gözlemlenmiştir. Diskalkulik gruplarda matematiksel işlemler sırasında İPS'te tipik gruplarda gözlemlenen seviyelerde etkinleşme görülmemesi ilk olarak Price ve arkadaşları (2007) tarafından tespit edilmiştir. Birçok fMRG çalışmasından bulguları bir araya getiren bir meta-analiz çalışmasında diskalkulik ve tipik gelişim gösteren çocukların beyinde birbirlerinden farklı matematiksel biliş ağlarına sahip olduğu görülmüştür (Kaufmann, Wood, Rubinsten, ve Henik, 2011). Matematiksel işlemler sırasında tipik gelişim gösteren çocuklarda (kontrol grubu) diskalkulik gruba kıyasla sol İPS bölgesinde daha fazla aktivasyon görülmüştür. Diskalkulik grupta ise sağ supramarjinal girus ve precentral girusta daha fazla etkinleşme gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda sol İPS'in etkinleşmesi görülürken, diskalkulik grupta

İPS'ten daha yukarıda yer alan precentral bölgenin etkinleşmesi, diskalkulik çocukların sayısal büyüklükleri işlemede daha baskın şekilde parmaklarını kullanma ihtiyacı hissetmeleri üzerinden açıklanmıştır. Parmakların sayma ve aritmetik için kullanımı ve matematiksel gelişim üzerine yapılan çalışmalar da matematik öğrenme güçlüğü çeken çocukların aritmetik işlemler için parmak saymaya tipik gelişim gösteren çocuklardan daha uzun süre bağlı kaldıklarını ortaya koyuyor (Soylu, Lester, ve Newman, 2018; Mutlu ve Soylu, 2018). Ek olarak, matematiksel gelişimde gözlemlenen tipik bir şablon da matematik için kullanılan ağın iki taraflı (sağ ve sol) bir dağılımdan, yaşla sol tarafa doğru kaymasıdır. Diskalkulik grupta daha baskın olarak görülen sağ parietal bölgedeki etkinleşmeler, tipik sol yanallaşma sürecinin beklenen şekilde gerçekleşmediğini gösterir.

Yapısal görüntüleme sonuçlarına benzer biçimde fonksiyonel görüntüleme sonuçları da diskalkulinin tek bir bölge ile ilgili bir aksaklıktan kaynaklanmadığını ve matematiksel biliş ile ilgili birden fazla bölgede fonksiyonel farklılıklar olduğunu gösterir (Fias vd., 2013). Bu diskalkulinin izole tek bir sistemdeki sorunlardan değil (örneğin İPS ve sayısal büyüklükleri işleme), genel olarak matematiksel biliş için gerekli çeşitli sistemlerdeki sorunlardan dolayı ortaya çıktığı düşüncesini destekler.

Beyin görüntüleme çalışmaları diskalkulinin matematiksel bilişe özgü sistemlerdeki aksaklıklarla ilişkisinin ötesinde, işleyen bellek sistemlerindeki aksaklıklarla da ilgili olduğuna dair bulgular sunmuştur. İşleyen bellek bilginin işlenmesi sırasında kullanılan bellek tipi olarak tanımlanır ve hem çocukların matematiksel öğrenme süreçleri hem de yetişkinlerin matematiksel yetenekleri için önemlidir (Menon 2016). Gelişim döneminde çocuklar henüz gelişmiş problem çözme yeteneklerine sahip olmadıkları için sayısal problemleri daha basit parçalara bölme ihtiyacı duyarlar. Bu işleyen belleğe duyulan ihtiyacı arttırır. Mesela çocuklar aritmetik soruları çözerken, ezberden hatırlama yerine, sayma stratejilerine daha çok başvururlar. Bu kısa süreli saklama gibi işleyen bellek bileşenlerine ihtiyacı arttırır. Dolayısıyla işleyen bellekteki aksaklıklar diskalkulide gözlemlenen matematiksel öğrenme güçlüklerine neden olabilir (Menon, 2016).

Diskalkuli için öne sürülen beş farklı faktörün (sayısal büyüklüklerin temsili, işleyen bellek, baskılama, dikkat ve görsel işlem yetenekleri) karşılaştırıldığı 9-10 yaşlarındaki çocuklarla yapılan geniş çaplı bir davranışsal çalışma, gelişimsel diskalkuliye neden olan temel unsurların görsel işleyen bellek ve yapılan işlemlerle ilgisiz bilgiyi baskılama (inhibisyon) ile ilgili zayıflıklar olduğunu ortaya koymuştur (Szucs, Devine, Soltesz, Nobes, ve Gabriel, 2013). Diskalkuliye neden olan temel unsurun sayısal büyüklüklerin işlenmesindeki problemler olduğu iddiasının (Price vd., 2007) aksine, bu çalışma diskalkulinin esas kaynağının yürütücü işlevlerin

(çalışan bellek ve inhibisyon) fonksiyonlarındaki bozukluklar olduğuna dair kanıtlar sunmuştur.

Rotzer ve diğerlerinin (2009) 8-10 yaş aralığındaki çocuklarla yaptıkları bir fMRI çalışması, diskalkulik çocukların bir görsel hafıza testi sırasında sağ İPS'te, sağ ınsulada ve sağ alt frontal lobda tipik gelişim gösteren çocuklara kıyasla daha az etkinleşme gösterdiğini belirtir. Aynı çalışmadaki davranışsal sonuçlar da, Szucs ve arkadaşlarının (2013) sonuçlarına benzer şekilde, diskalkulik çocukların çalışan bellek yetilerinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Çalışmanın yazarları bu sonuçların görsel çalışan bellek ile ilgili yetersizliklerin diskalkulik çocukların görsel-sayısal temsilleri geliştirmesini güçleştirdiği ve bunun da genel olarak matematiksel yetileri etkilediği sonucuna varmışlardır.

Diskalkulik çocuklar üzerine yapılan çalışmaların geneline bakıldığında diskalkulinin izole tek bir sistemdeki aksaklıklardan kaynaklanan bir problem olmadığı ve her bir bireyde farklı şekilde ifade bulmuş, genetik, çevresel ve sinirsel unsurlar barındıran, farklı sistemlerdeki aksaklıklardan kaynakladığı sonucuna varılabilir (Geary, 2013). Diskalkulinin çoğunlukla disleksi, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu (DEHB), otizm spektrum bozukluğu gibi, diğer bilişsel aksaklıklarla eş zamanlı bir şekilde gözlenmesi de diskalkuliye neden olan yapısal ve fonksiyonel sorunların diğer bilişsel sistemleri de etkilediğini gösterir (Landerl ve Moll, 2010). Bu noktaya kadar diskalkulinin beyindeki yapısal ve fonksiyonel nedenleri üzerinde durduk. Ancak diskalkulinin biyolojik temellerini anlamak beynin yapısı ve fonksiyonuna ilaveten, matematiksel düşünceye temel teşkil eden genetik faktörleri anlamayı da gerektirir.

Diskalkulinin Kalıtımsal ve Genetik Temelleri

Okuma ve matematik gibi bilişsel yetiler her ne kadar son on bin yılda gerçekleşmiş kültürel evrimin sonuçları olsalar da, bu yetileri mümkün kılan biyolojik sistemler çok önceden başka ihtiyaçlara cevaben evrimleşmişlerdir (Anderson, 2010). Örneğin insanlar ve diğer hayvanlar üzerine yapılan çalışmalar, birçok türün insanlardakine benzer, sayısal ve fiziksel büyüklükleri karşılaştırma yetilerine sahip olduğunu ortaya koymuştur (Geary, Berch, ve Koepke, 2014). Sinirbilim çalışmaları insanlar ve diğer primatlarda sayısal karşılaştırma işlemlerin homolog beyin sistemlerinde işlendiğini ortaya koymuştur (Nieder ve Miller, 2004). Bu yetilerin hayvanların yemek bulma, çiftleşme için eş seçme ve avcılardan korunma gibi yaşam mücadelesinde avantajlar sağladığı düşünülür. İnsanın matematiksel yetilerini açıklayan evrimsel yaklaşımlara göre, sahip olduğumuz sayısal yetilerin temelinde, diğer memelilerde ve hatta bazı kuş ve sürüngenlerde de var olan, sa-

yısal ve fiziksel büyüklükleri soyut şekilde temsil etme ve ayırt etmeye yaran sistemler yatar (Geary, Berch, ve Koepke, 2014). Bu yetiler kalıtsaldır ve kapasiteleri insanların matematiksel yetilerini belli bir oranda belirleyebilir.

İnsanların sahip oldukları matematiksel yetiler, sayı sayma ve sayıları sesler ve sembollerle temsil etmeyle başlayarak, son on bin yılda meydana gelmiş kültürel evrimin sonucudur. Dolayısıyla, her ne kadar matematiksel yetileri mümkün kılan uzun süreli biyolojik evrimsel sürecin sonucunda ortaya çıkan görsel, duyusal ve bilişsel vs. gibi sistemler olsa da, matematiksel gelişim çok daha kısa sürede meydana gelmiş kültürel evrimin neticesinde ortaya çıkmış matematiksel sembolleri, kavram ve kavramsal ilişkileri eğitimsel süreç içinde öğrenmeyi gerektirir. Dolayısıyla, her ne kadar matematik öğrenmek matematik öğrenme kapasitesine sahip beyin sistemleri gerektirse de, matematiksel yetileri belirleyen unsurların büyük oranda çevresel ve kültürel olması beklenir.

Matematiksel yetiler üzerine yapılan genetik çalışmalar önceki paragrafta belirtilen öngörüyü doğrular niteliktedir. 16 yaşındaki 837 çift monozigotik ve 1422 çift dizigotik ikizle yapılan bir çalışma sayı hissi (kişilerin sayıları ve sayısal ilişkileri algılama yetisi) varyasyonun % 32 dolayında genetik olduğunu, geri kalan (% 68) varyasyonun çevresel farklılıklarla açıklandığını ortaya koymuştur (Tosto vd., 2014). Aynı çalışmada cinsiyet farklılıklarının sayı hissindeki varyasyona katkıda bulunmadığı bulunmuştur. Birbiriyle akrabalık ilişkisi bulunmayan 1118 kişinin DNA'sı kullanılarak yapılan genom geneli karmaşık özellik analizinde ise sayı duygusunun kalıtımsal olmadığı sonucu çıkmıştır. Sonuçlar genel olarak sayı hissinin büyük oranda kalıtımsal olmadığı ve cinsiyetler arasında hem kalıtımsallık hem de sayı hissi seviyesi açısından bir fark olmadığını göstermiştir. Çalışmanın yazarları genel olarak üzerinde güçlü seçilim baskısı olan özelliklerde kalıtımsal varyasyonun az olduğunu ve matematik için gerekli ve esasen başka işlevleri yerine getirmek için evrilmiş duyusal, görsel ve yürütücü sistemler için de benzer bir seçilimin kalıtımsal varyasyonu azaltmış olabileceğini iddia etmişlerdir.

İkizlerle yapılan bir başka geniş çaplı çalışmada düşük matematiksel yetiler gösteren çocuklarda farklı matematiksel yetiler için % 69 ve % 75 arasında kalıtımsallık oranları bulunmuştur (Haworth, Kovas, Petrill, ve Plomin, 2007). Bu sonuçlar Tosto ve arkadaşları (2014) tarafından sunulan sonuçlarla karşılaştırıldığında matematiksel yetilerin kalıtsallığının diskalkulik gruplarda daha yüksek olduğu sonucu çıkabilir, ancak bu kesin bir yargıdan ziyade henüz görgül doğrulaması yapılmamış bir spekülasyon olarak düşünülmelidir.

Diskalkulik 39 çocukla yapılan bir çalışmada, çalışmaya katılan çocukların % 66'sının annesinde, % 40'ının babasında, % 53'ünün kardeşlerinde ve % 44'ünün

ikinci-derece akrabalarında diskalkuliye rastlanmıştır (Shalev vd., 2001). Yine aileler arasında yapılan bir başka çalışmada saf diskalkulik (diskalkuli dışında bir bilişsel aksaklığı olmayan) çocukların ailelerinde % 22 oranında saf diskalkuliye, % 30 oranında diskalkuli ile eş zamanlı bir şekilde disleksiye, ve % 15 oranında saf disleksiye rastlanmıştır (Desoete, Praet, Titeca, ve Ceulemans, 2013). Bu sonuçlar disleksi ve diskalkulinin ortak bazı genetik temelleri olduğunu ve aynı zamanda her iki aksaklıkla ilgili spesifik ve ayrı genetik faktörler de olduğunu ortaya koymuştur.

Matematiksel yetilerin kalıtsallığının ötesinde bazı çalışmalar matematiksel işlemler sırasında gözlemlenen fonksiyonel şablonların (beyinde matematik işlemleri sırasında kullanılan bölgeler ve ağlar) kalıtımsallığını araştırmıştır. Mesela Pinel ve Dehaene (2013) matematiksel işlemler sırasında beyinde etkinleşen bölgelerin kalıtsallığının farklı bölgeler için % 52 ila 66 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Bahsedilen bölgelerden biri bir önceki bölümde bahsedilen, sayısal büyüklüklerin temsili ve işlenmesinden sorumlu olduğu düşünülen İPS bölgesidir.

Matematiksel gelişim büyük oranda sosyal, kültürel, ekonomik, ve dilsel unsurların etkisiyle şekillenir (Saxe, 2015). Mesela düşük sosyo-ekonomik sınıflar diskalkuli açısından daha yüksek risk gruplarını teşkil ederler (Gross-Tsur, Manor, ve Shalev, 1996). Değişik ülkelerde yapılan çalışmalar matematiksel yetilerin kalıtımsallığı üzerine farklı sonuçlar göstermiştir. Eğitime erişimde sosyo-ekonomik uçurumlar bulunmayan, Finlandiya gibi, ülkelerde kalıtımsallık oranı daha yüksekken, toplumun farklı sınıfları arasında sosyo-ekonomik ve eğitime erişim açısından büyük farklar bulunan, Brezilya gibi, ülkelerde kalıtımsallık oranının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Carvalho ve Haase, 2019). Bu olgu zekânın kalıtımsallığı ve sosyo-ekonomik seviyeler arasındaki ilişki ile ilgili bulgularla uyumludur; IQ testi sonuçları düşük sosyo-ekonomik seviyedeki gruplar içinde neredeyse hiç kalıtsallık göstermezken, yüksek sosyo-ekonomik seviyedeki gruplarda varyasyonun neredeyse yarısı kalıtsaldır (Turkheimer, Haley, Waldron, D'Onofrio, ve Gottesman, 2003). Eğer belli bir nüfus içinde sosyal ve kültürel unsurlar fazla varyasyon göstermiyorsa, geri kalan varyasyonun daha yüksek oranda kalıtımsal farklılıklar üzerinden açıklanması temel istatistiki prensipler üzerinden açıklanabilir. Halk arasında matematik yetilerinin doğuştan olduğu genel kanısının aksine, bu sonuçlar hem toplumun kültürel değerleri ve pratikleri, hem de eğitime eşit erişimin ve eğitim ortamlarının kalitesi gibi unsurların da matematiksel gelişim için ne kadar önemli olduğunu gösterir.

Matematiksel yetilerin kalıtımsallığını araştıran çalışmaların dışında, özellikle hangi genlerin matematiksel yetileri etkilediği üzerine de az miktarda çalışma bulunmaktadır. Genom geneli karmaşık özellik analiz metodunu kullanan bu

çalışmalar şu ana kadar hangi genlerin ya da gen ağlarının matematiksel yetileri etkilediği üzerine ortak ve tutarlı sonuçlar bildirmemişlerdir (Fritz, Haase, ve Räsänen, 2019). Bunun sebepleri kullanılan ölçütlerin ve teşhis metotlarının farklılıkları ve üzerinde çalışılan grupların heterojenlikleri olabilir. İleride yapılacak ve hem genetik hem de sinirbilim metotlarını birlikte kullanan çalışmalar, genetik ve sinirsel mekanizmaların matematiksel yetileri nasıl etkilediği ve diskalkuliyi karakterize eden temel özelliklerin neler olduğuna dair bulgular sunabilir.

Sonuç

Gelişimsel diskalkuli matematiksel öğrenme güçlüğü olarak tanımlanan ve toplumun önemli bir bölümü etkileyen bir durumdur. Diskalkuli yekpare ve tek bir nedene bağlı bir nöro-bilişsel bozukluğu tanımlamaktan ziyade çeşitli kalıtsal, çevresel ve beyin ile ilgili temelleri olan ve genellikle disleksi, dikkat eksikliği hiperaktivite bozukluğu ve otizm spektrum bozukluğu gibi, diğer bilişsel bozukluklarla eş zamanlı bir şekilde birlikte gözlemlenen bir bozukluktur. Diskalkulinin biyolojik temelleri üzerine bugüne dek yapılmış çalışmalar diskalkulik çocukların ve yetişkinlerin yapısal beyin özellikleri ve matematiksel düşünce sırasında kullanılan fonksiyonel beyin bölgeleri ve ağlarına yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar diskalkulik çocuklarda hem sinir hücre çekirdeklerinden oluşan gri madde hem de beynin farklı bölgelerini birbirine bağlayan sinir demetlerinden oluşan beyaz madde dokularında farklılıklar göstermiştir. Fonksiyonel beyin görüntüleme çalışmaları ise diskalkulik çocuklarda matematiksel düşünce için önemli ağların dağılımında ve etkinleşmesinde farklılıklar saptamıştır. Bunların ötesinde matematiksel yetilerin kalıtımı ve genetik temelleri üzerine yapılan çalışmalar genel olarak matematiksel yetilerin hem kalıtımsal hem de çevresel unsurlardan etkilendiğini göstermiş, özellikle diskalkulik çocuklarla yapılan çalışmalar ise kalıtımsal unsurların tipik gelişim gösteren çocuklarla gözlemlendiğinden daha baskın olduğuna dair, kesin olmamakla birlikte, bazı kanıtlar sunmuştur.

Diskalkulinin biyolojik temellerinin anlaşılması ileride yeni tanı koyma ve müdahale metotlarının geliştirmesine yardımcı olabilir. Birkaç çalışma hariç, şu ana kadar diskalkulinin kalıtımsal ve genetik temelleri üzerinde yapılan çalışmalar, diskalkulik beynin yapısal ve fonksiyonel özellikleri ile ilişkilendirilmemiştir. İleride yapılacak birleşik genetik ve beyin görüntüleme çalışmaları, matematiksel yetiler ve güçlükler üzerinde kalıtımsal özellikler, çevresel ve kişisel faktörler, ve beyin yapısı ve fonksiyonun etkileri üzerine daha kapsamlı açıklamalar yapmamıza olanak verebilir.

Kaynakça

Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: a fundamental organizational principle of the brain. *The Behavioral and Brain Sciences*, *33*(4), 245–266; discussion 266-313. https://doi.org/10.1017/S0140525X10000853

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*(January), 239–250. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2017.08.002

Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Does 2+ 2= 4? Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations. *Neuroimage*, *54*, 2382–2393.

Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(12), 534–541. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.007

Butterworth, B., Varma, S., & Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: From Brain to Education. *Science*, *332*(6033), 1049–1053. https://doi.org/10.1126/science.1201536

Carvalho, M. R. S., & Haase, V. G. (2019). Genetics of dyscalculia 1: In search of genes. In *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3_21

Desoete, A., Praet, M., Titeca, D., & Ceulemans, A. (2013). Cognitive phenotype of mathematical learning disabilities: What can we learn from siblings? *Research in Developmental Disabilities*, *34*(1), 404–412. https://doi.org/10.1016/j.ridd.2012.08.022

Devine, A., Soltész, F., Nobes, A., Goswami, U., & Szucs, D. (2013). Gender differences in developmental dyscalculia depend on diagnostic criteria. *Learning and Instruction*, *27*, 31–39. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.02.004

Fias, W., Menon, V., & Szucs, D. (2013). Multiple components of developmental dyscalculia. *Trends in Neuroscience and Education*, *2*(2), 43–47. https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.006

Fritz, A., Haase, V. G., & Räsänen, P. (2019). *International handbook of mathematical learning difficulties: From the laboratory to the classroom. International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97148-3

Geary, D. C. (2004). Mathematics and Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *37*, 4–15. https://doi.org/10.1177/00222194040370010201

Geary, D. C. (2011). Consequences, Characteristics, and Causes of Mathematical Learning Disabilities and Persistent Low Achievement in Mathematics. *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, *32*(3), 250–263. https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e318209edef

Geary, D. C. (2013). Early Foundations for Mathematics Learning and Their Relations to Learning Disabilities. *Current Directions in Psychological Science*, *22*(1), 23–27. https://doi.org/10.1177/0963721412469398

Geary, D. C., Berch, D. B., & Koepke, K. (Eds.). (2014). *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing*. Academic Press.

Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., Nugent, L., & Numtee, C. (2007). Cognitive mechanisms underlying achievement deficits in children with mathematical learning disability. *Child Development*, *78*(4), 1343–1359. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01069.x

Gross-Tsur, V., Manor, O., & Shalev, R. S. (1996). Developmental dyscalculia: prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *38*(1), 25–33. https://doi.org/10.1007/s007870070009

Haworth, C. M. A., Kovas, Y., Petrill, S. A., & Plomin, R. (2007). Developmental origins of low mathematics performance and normal variation in twins from 7 to 9 years. *Twin Research and Human Genetics*, *10*(1), 106–117. https://doi.org/10.1375/twin.10.1.106

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

Kaufmann, L., & Aster, M. von. (2012). The Diagnosis and Management of Dyscalculia. *Deutsches Aerzteblatt Online*, *109*(45), 767–778. https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0767

Kaufmann, L., Wood, G., Rubinsten, O., & Henik, A. (2011). Meta-analyses of developmental fMRI studies investigating typical and atypical trajectories of number processing and calculation. *Developmental Neuropsychology*, *36*(6), 763–787. https://doi.org/10.1080/87565641.2010.549884

Kucian, K., Ashkenazi, S. S. chwize., Hänggi, J., Rotzer, S., Jäncke, L., Martin, E., & von Aster, M. (2014). Developmental dyscalculia: a dysconnection syndrome? *Brain Structure & Function*, *219*(5), 1721–1733. https://doi.org/10.1007/s00429-013-0597-4

Landerl, K., & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: Prevalence and familial transmission. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *51*(3), 287–294. https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x

Le Bihan, D., Mangin, J. F., Poupon, C., Clark, C. A., Pappata, S., Molko, N., & Chabriat, H. (2001). Diffusion tensor imaging: Concepts and applications. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *13*(4), 534–546. https://doi.org/10.1002/jmri.1076

Li, Y., Hu, Y., Wang, Y., Weng, J., & Chen, F. (2013). Individual structural differences in left inferior parietal area are associated with schoolchildrens' arithmetic scores. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*(DEC), 1–9. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00844

Menon, V. (2014). *Arithmetic in the Child and Adult Brain*. (R. Cohen Kadosh & A. Dowker, Eds.), *The Oxford Handbook of Mathematical Cognition* (Vol. 1). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199642342.013.041

Menon, V. (2016). Working memory in children's math learning and its disruption in dyscalculia. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *10*, 125–132. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2016.05.014

Mutlu, Y. ve Soylu, F. (2018) *Eğitsel sinirbilim ve bedenlenmiş biliş perspektifinden matematik öğrenme güçlüğü yaşayan öğrencilerde parmakla sayma*. Bilim, Eğitim ve Sanat Araştırmaları – Fen Bilimleri ve Matematik. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Nieder, A., & Miller, E. K. (2004). A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *101*(19), 7457–7462. https://doi.org/10.1073/pnas.0402239101

Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(2), 60–68. https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.12.008

Penny, W. D., Friston, K. J., Ashburner, J. T., Kiebel, S. J., & Nichols, T. E. (2011). *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images*. *Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images*. Elsevier.

Pinel, P., & Dehaene, S. (2013). Genetic and environmental contributions to brain activation during calculation. *NeuroImage*, *81*, 306–316. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.04.118

Price, G. R., Holloway, I., Räsänen, P., Vesterinen, M., & Ansari, D. (2007). Impaired parietal magnitude processing in developmental dyscalculia. *Current Biology*, *17*(24), R1042–R1043. https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.10.013

Price, G. R., Wilkey, E. D., Yeo, D. J., & Cutting, L. E. (2016). The relation between 1st grade grey matter volume and 2nd grade math competence. *NeuroImage*, *124*, 232–237. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.046

Ranpura, A., Isaacs, E., Edmonds, C., Rogers, M., Lanigan, J., Singhal, A., … Butterworth, B. (2013). Developmental trajectories of grey and white matter in dyscalculia. *Trends in Neuroscience and Education*, *2*(2), 56–64. https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.007

Reigosa-Crespo, V., Valdés-Sosa, M., Butterworth, B., Estévez, N., Rodríguez, M., Santos, E., … Lage, A. (2012). Basic numerical capacities and prevalence of developmental dyscalculia: The Havana Survey. *Developmental Psychology*, *48*(1), 123–135. https://doi.org/10.1037/a0025356

Rotzer, S., Kucian, K., Martin, E., Aster, M. von, Klaver, P., & Loenneker, T. (2008). Optimized voxel-based morphometry in children with developmental dyscalculia. *NeuroImage*, *39*(1), 417–422. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.08.045

Rotzer, S., Loenneker, T., Kucian, K., Martin, E., Klaver, P., & von Aster, M. (2009). Dysfunctional neural network of spatial working memory contributes to developmental dyscalculia. *Neuropsychologia*, *47*(13), 2859–2865. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.009

Rousselle, L., & Noel, M.-P. (2007). Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: a comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude processing. *Cognition*, *102*(3), 361–395. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.01.005

Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L., & Menon, V. (2009). Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: Combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in Human Neuroscience*, *3*(NOV), 1–13. https://doi.org/10.3389/neuro.09.051.2009

Saxe, G. B. (2015). *Culture and Cognitive Development: Studies in Mathematical Understanding*. Psychology Press. https://doi.org/10.4324/9781315788968

Shalev, R. S., Manor, O., & Gross-Tsur, V. (2005). Developmental dyscalculia: A prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine and Child Neurology*, *47*(2), 121–125. https://doi.org/10.1017/S0012162205000216

Shalev, R. S., Manor, O., Kerem, B., Ayali, M., Badichi, N., Friedlander, Y., & Gross-Tsur, V. (2001). Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disabilities*, *34*(1), 59–65. https://doi.org/10.1177/002221940103400105

Soylu, F., Lester, F., & Newman, S. (2018). You can count on your fingers: The role of fingers in early mathematical development. *Journal of Numerical Cognition*, *4*(1), 107–135. https://doi.org/10.5964/jnc.v4i1.85

Szucs, D., Devine, A., Soltesz, F., Nobes, A., & Gabriel, F. (2013). Developmental dyscalculia is related to visuo-spatial memory and inhibition impairment. *Cortex*, *49*(10), 2674–2688. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.06.007

Tosto, M. G., Petrill, S. A., Halberda, J., Trzaskowski, M., Tikhomirova, T. N., Bogdanova, O. Y., … Kovas, Y. (2014). Why do we differ in number sense? Evidence from a genetically sensitive investigation. *Intelligence*, *43*(1), 35–46. https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.12.007

Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B., & Gottesman, I. I. (2003). Socioeconomic status modifies heritability of IQ in young children. *Psychological Science*, *14*(6), 623–628. https://doi.org/10.1046/j.0956-7976.2003.psci_1475.x

Winkler, A. M., Kochunov, P., Blangero, J., Almasy, L., Zilles, K., Fox, P. T., … Glahn, D. C. (2010). Cortical thickness or grey matter volume? The importance of selecting the phenotype for imaging genetics studies. *NeuroImage*, *53*(3), 1135–1146. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.12.028