

EĞİTSEL SİNİRBİLİM VE BEDENLENMİŞ BİLİŞ PERSPEKTİFİNDEN MATEMATİK ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ YAŞAYAN ÖĞRENCİLERDE PARMAKLA SAYMA

Yılmaz Mutlu
Muş Alparslan Üniversitesi

Fırat Soylu
Alabama Üniversitesi

*‘Her ne zaman bir sayma tekniğinden bahsedilecek olursa,
parmakla sayma ya ondan önce gelir ya da ona eşlik eder’*

Tobias Dantzig

GİRİŞ

Gelişimsel diskalkuli / Matematik Öğrenme Güçlüğü

Gelişimsel diskalkuli (GD), nüfusun yaklaşık yüzde 3 - 6’sını etkileyen (Butterworth, 2005) matematiğe özgü bir öğrenme güçlüğüdür. GD’ye sahip çocuklar matematik öğrenmede zorlanırken, matematik dışında herhangi bir alanda mükemmel olabilirler. Akranları kadar zeki olan bu çocuklar genel olarak sayı kavrama sezgisinden yoksundurlar. Son dönemlerde özellikle beyin görüntüleme teknolojisinin gelişimi ile beraber diskalkulinin, beyin fonksiyonlarındaki bir farklılıktan kaynaklandığı hipotezi güç kazanmaktadır (von Aster & Shalev, 2007; Piazza et al., 2010). Matematik öğrenme güçlüğüne sahip birey verilen standart bir testte, matematiksel başarısı yaş, zekâ ve eğitim düzeyi göz önünde bulundurulduğunda beklenilenin oldukça gerisindedir (Amerikan Psikoloji Birliği, 2005). Veya diğer bir ifadeyle yaşitlarını yaklaşık olarak iki yıl geriden takip etmektedir.

GD’ye sahip bireyler tahmin yapmada, zamanı ifade etmede ve belirlemede, para kullanımında, ileriye ve geriye doğru saymada, yön belirleme gibi birçok alan-

da güçlük yaşayabilmektedirler (Shalev et al., 2001; Ansari & Karmiloff-Smith, 2002; Geary, 2004; Sharma, 2015). Sayılan alanlardaki yetersizlikler GD'ye sahip bireylerin akademik gelişimlerinin yanı sıra günlük hayatlarını sürdürmelerinde de birçok güçlük yaşamalarına yol açmaktadır. Bununla birlikte, matematik öğrenme güçlüğü yaşayan bireylere müdahale etmek veya iyileştirmek için özel bir öğretim yöntemi seçilmelidir. Zira kaynaştırma öğrencisi olarak normal sınıflarda eğitim gören bu bireylere rastgele veya kulaktan duyma bilgilerle veya kişisel inançlarla eğitim verilmesi öğrencilerin matematik performansları kadar matematiğe dair tutum ve kaygılarını da olumsuz yönde etkileyecektir. Bunun yerine, GD'ye sahip bireylerin farklı ihtiyaçlarını karşılamak için kullanacak yöntemle ilişkin kararlar, sağlam araştırma bulgularına dayanmalıdır (Stegemann ve Grünke, 2014).

Diskalkuliye sahip öğrencilerin akranlarının çoktan terk ettiği yaşlarda hala ısrarlı bir şekilde parmakla sayma ve hesaplama çabaları (Geary, 1990; Crollen et al., 2011; Bender & Beller, 2012) 1990'larla beraber parmak sayımına olan ilgiyi yeniden ortaya çıkarmıştır (Moeller ve ark., 2011). Bu bağlamda parmakla sayma özellikle eğitsel nöroloji ve psikoloji sahasında birçok araştırmanın konusu haline gelmiştir. Takip eden bölümlerde parmakla sayma, parmakla saymaya dair yapılan araştırma sonuçları detaylı bir şekilde ele alınmaktadır.

Parmakla sayma

El tüm çağların ilk sayma ve hesaplama makinasıdır (Ifrah, 1985). Ayrıca en doğal araç olan el istisnasız bütün milletlerde küçük yaştaki çocuklar tarafından bir sayma aracı olarak halen kullanılmaktadır. Neredeyse her birey tarafından ulaşılır olması ve saymada etkin bir araç olarak kullanılabilmesi parmakla sayma stratejisinin önemini artırmaktadır.

Sayıları öğrenmede en erken temsillerden biri olan parmaklar, çocuklara sayının niceliksel anlamı ile sözel temsilini ilişkilendirmelerinde kullanılan ilk stratejilerden biridir (Butterworth, 1999, Beller ve Bender 2011). Çocukların çoğu zamanla sayma ve hesaplama parmaklarını kullanmayı bıraksa da, bu sistemin izleri hala yetişkinlikte görülebilir (Jonas & Ward, 2014).

Araştırmalar, parmak temelli temsillerin, bir çocuğun sembolik Arap rakamlarının kullanımı ve sayısal, aritmetik, yetkinliklerin geliştirilmesi üzerinde güçlü bir etki oluşturduğunu göstermektedir (Moeller ve diğ., 2011). Parmak sayma ile miktar, sıra sayıları, kardinal sayılar ve 1-1 sayma gibi temel sayma prensipleri gösterilebilir (Wasner et al., 2015).

Parmakla sayma, gelişimin belirli bir aşamasında aritmetik kavramların edinilmesinde işlevsel bir rol oynamaktadır. (Jordan, Hanich, & Uberty, 2003). Gerçekten de, birçok ilkökul öğretmeni, küçük çocukların sayma ve hesaplama için neredeyse içgüdüsel olarak parmaklarını kullandıklarını doğrulayacaklardır (Stegemann ve Grünke, 2014). Genellikle çocuklar 3 yaşında parmaklarıyla

saymaya başlar ve ikinci sınıfa kadar devam ederler (Lecointre ve ark., 2005 akt. Costa et al., 2011). Ancak MÖG yaşayan öğrenciler için parmakla sayma bir ömür boyu vazgeçilemeyen bir stratejisidir. MÖG yaşayan çocuklar, sayısal nicelikleri temsil etmede ya da işleme özgü uygulamaları daha kolay gerçekleştirmek için akranlarına kıyasla parmaklarını daha çok kullanma eğilimindedirler (Alibali and DiRusso, 1999; Geary, 2005).

Matematik Öğrenme Güçlüğü yaşayan öğrencilerde parmakla sayma eğilimi

Matematik kaygısı mı matematik güçlüğüne neden olur ya da matematik güçlüğü mü matematik kaygısına neden olur? Bu sorunun cevabı her ne kadar açık olmasa da, matematik kaygısının matematik performansını ve özellikle de işleyen bellek kullanımı gerektiren matematiksel görevleri yerine getirmede engel oluşturduğunu gösteren önemli kanıtlar vardır (Dowker ve ark., 2016). Matematik kaygısı, işleyen bellek kaynaklarını bozarak matematiksel performansı olumsuz yönde etkiler (Ashcraft & Kirk, 2001; Beilock & Carr, 2005; Young et al., 2012). Yüksek matematik kaygısına sahip MÖG yaşayan bireyler (Mutlu, 2018a) aynı zamanda işleyen bellek yetersizliklerine de sahiptirler (Geary, Hoard, Byrd-Craven, ve DeSoto, 2004; Wilson ve Swanson, 2001). MÖG yaşayan öğrencilerin işleyen bellek kapasitesi açısından akranlarından bir yıl geride kaldıkları belirtilmektedir (Geary, Hoard, Byrd-Craven ve DeSoto, 2004). Bu nedenle MÖG yaşayan öğrencilerin parmak sayma stratejilerini, çalışma belleğinin iş yükünü azalttığı için sürekli olarak kullandıkları ve bu durumun performansları üzerinde olumlu etkileri olduğu ifade edilmektedir (Geary, 1990; Crollen et al., 2011; Bender & Beller, 2012). Yukarıda ifade edilen çalışma bulguları ışığında MÖG yaşayan bireylerin parmakla sayma eğilimleri Şekil 1 de gösterildiği gibi modellenenebilir.



Şekil 1. Diskalkuliye sahip bireylerin parmakla sayma eğilimlerinin modellenmesi

Model eğitsel sinirbilim ve psikoloji bulguları özetlenerek daha açık bir dille açıklanabilir. MÖG yaşayan öğrenciler çok temel matematiksel kavram ve işlemlerde güçlükler yaşamaktadır. Bu durum onların matematiğe karşı olumsuz tutum geliştirmelerine ve matematik kaygılarının artmasına neden olmaktadır. Sahip olunan matematik kaygısı MÖG yaşayan bireylerde işleyen bellek yetersizliğine yol açmaktadır. İşleyen bellek yetersizliği ise MÖG yaşayan bireylerin parmakla sayma gibi somut materyal kullanma eğilimlerini arttırmaktadır. Dolayısıyla MÖG yaşayan bireylere matematik öğretiminde model akışının tersine bir öğretim ortamı oluşturulduğunda yani matematiksel kavram analizi ile beraber küçük adımlar ilkesi çerçevesinde parmakla sayma gibi somut materyallerin kullanılması işleyen belleğin iş yükünün azalmasına, öğretimsel kolaylıkla beraber matematiksel kaygının azalmasına ve sonuç olarak matematik performansının iyileşmesi sağlanabilir.

Parmak hissi (gnosis) ile sayısal beceriler arasındaki ilişki

Parmak ve matematik ilişkisinde parmakla saymayla birlikte parmak hissinin de önemli bir faktör olabileceğine dair birçok bulgu vardır. Parmak hissi parmakları duyuşsal olarak birbirinden ayırabilme yetisi olarak tanımlanır. Parmak hissi testi parmakları birbirinden ayırt etmenin ötesinde bedensel temsilleri zihinsel olarak canlandırma yeteneğini de ölçer. Parmak hissi testi sırasında denek ellerini düz bir yüzeyin üzerine koyar (ör. masa). Deneğin elleri ve gözleri arasında, ellerin denek tarafından görülmesini engelleyecek şekilde bir obje (ör. kutu) konur. Daha sonra deneğin parmaklarına ayrı ayrı dokunulur ve dokunulan parmağın diğer eldeki eşinin hareket ettirilmesi istenir, alternatif olarak dokunulan parmağın adlandırılması da istenebilir. Test sırasında parmaklarla ilgili duyuşsal sistemlerle birlikte geçici bellek ve mekânsal işleme ile ilgili sistemler de önemli roller oynarlar. Fiziksel nesnelerin içsel temsillerini üretme yeteneği genel olarak önemli bir bilişsel süreçtir. Fakat vücudun bir parçası olarak parmaklar özeldir. Duyusal ve motor kortekslerde parmakların doğrudan bir haritası vardır (örneğin, başparmağa dokunmak, duyuşsal korteksin belirli bir kısmında aktivasyona neden olur).

Parmak hissi ve sayısal yetenekler arasında bir ilişki olduğunu gösteren bulgular mevcuttur. Örneğin, parmak hissinin sayı temsili için temel olup olmadığını inceleyen bir çalışmada, Noël (2005) birinci sınıf öğrencilerini incelemiş ve birinci sınıfta yapılan parmak hissi testindeki performansın, çocuklar ikinci sınıfa gittiklerindeki dönemde rakamlar ve bunların büyüklüklerini değerlendirme yeteneği ile ilişkili olduğunu bulmuştur. Bunun dışında parmak hissinin sayı bilgisi ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Newman, 2016; Noël, 2005; Penner-Wilger ve Anderson, 2013). Ancak parmak hissi yetisi ve parmakla sayma arasında nasıl bir ilişkili olduğu açıkça anlaşılmamıştır. Bir olasılık parmak hissinin parmakla saymayı desteklemesidir. Alternatif olarak, parmak hissinin

kendisi sayma gibi aktivitelerle gelişiyor olabilir. Reeve ve Humberstone (2011) 5 ila 7 yaş arasındaki çocuklarda parmak hissi yeteneğinin aritmetik parmak saymayla beraber geliştiğini ortaya koymuştur. Bunun ötesinde parmak hissi yetişinin kullanılan parmakla sayma stratejilerini de belirlediği görülmüştür. Yüksek parmak hissine sahip çocukların daha yüksek sayısal kabiliyetlere sahip olduğu ve parmakla saymayı daha sık kullandıkları ortaya konmuştur. Bu sonuç parmak hissi, parmakla sayma ve hesaplama yeteneklerinin birlikte geliştiğini göstermektedir. Parmak hissi, sayma ve aritmetik becerilerin birlikte gelişmesi, 5-8 yaş arası çocuklarda parmak hissi ve aritmetik beceriler arasındaki ilişkiye dair birbiriyle çelişen bulguları açıklayabilir; Benzer yaş grupları üzerinde yapılan bazı çalışmalar arada güçlü bir ilişkinin olduğunu ortaya koyarken (Fayol ve diğerleri, 1998; Noël, 2005), bazı diğer çalışmalar bir ilişki göstermemiştir (Long ve diğerleri, 2016; Newman, 2016; Soylu, Raymond, Gutierrez ve Newman, 2017). Newman (2016) 5 ila 8 yaş arasındaki çocukların toplama performansı ile parmak gnosis arasında bir ilişki göstermediğini, 9 ila 12 yaş arasındaki çocukların ise böyle bir ilişki gösterdiğini göstermiştir. İki yaş grubu arasında, parmak hissi ve toplama performansı üzerine bulunan çelişkili sonuçlar genç grupta hem toplama hem de parmak hissi sistemlerinin henüz yeterince gelişmemiş olması üzerinden açıklanabilir. Daha yaşlı (9-12 yaş) grupta bu iki sistemde daha gelişmiş ve bu süreçte birbirleriyle daha ilişkilendirilmiş olduğundan, bu iki faktör arasındaki ilişki daha belirgin hale gelmiş olabilir. Soylu ve diğ. (2018) 7 ve 8 yaşındaki çocuklarda parmak hissi ve aritmetik (tek basamaklı toplama ve çıkarma) performansı arasında davranışsal bir ilişki bulunmadığında bile, sayı işleme ile ilgili belirli görsel beyin alanlarındaki aktivasyonların (özellikle sol fusiform ve lingual gyri ve bilateral precuneus) parmak hissi testi skorlarıyla korelasyon gösterdiğini ortaya koymuştur. Ek olarak parmak hissi skorları ve sol alt parietal bölgedeki aktivasyon arasında sadece toplama için bir korelasyon bulunmuştur. Bu sonuçlardan yola çıkarak aritmetik ve parmak hissi arasındaki ilişkinin daha genç yaş gruplarında davranışsal düzeyde gözlemlenemediği durumlarda bile iki sistem arasında sinirsel seviyede bir ilişkinin olduğu ileri sürülmüştür. Ek olarak bu ilişkinin toplama ve çıkarma işlemleri için farklılıklar gösterdiği ve bu farklılıkların bu iki işlem için kullanılan parmak sayma sıklığı ve stratejilerinin ayrışmasından kaynaklandığı iddia edilmiştir.

Parmak hissinin geliştirilmesi, küçük çocuklarda parmak sayımını iki farklı ve alternatif yoldan olumlu yönde etkileyebilir. İlk olası yol motorik işlemdir. Örneğin, spekülatif olarak, daha iyi parmak hissi hem parmak sayımı hem de küçük nesnelerin sayılması için gerekli olabilecek ince motor becerileri ile ilişkilidir. Okul öncesi çocuklarda ince motor becerileri, parmak sayma becerileri ve kavramsal sayma bilgisi arasındaki ilişkiyi gösteren yakın tarihli bir çalışma bu yönde bazı ön kanıtlar sunmaktadır (Fischer, Suggate, Schmirl ve Stoeğer, 2017). Parmakların zengin biçimli kullanımına imkân veren duyu-motor aktiviteler parmak hissinin geliştirip daha iyi parmak sayımına yol açabilir. İkinci ola-

sılık, parmak duyuşsal sistemlerinin sayısal nicelikleri birbirlerinden ayırt etmeyi doğrudan etkilemesi ve dolayısıyla parmak hissindeki geliştirmelerin matematik kabiliyetleri olumlu anlamda etkilemesidir.

Parmakla Sayma ve eğitsel sinirbilim

Parmaklar ve matematik ilişkisini açıklayan teoriler genel olarak üçe ayrılabilir; bölgesel, gelişimsel ve evrimsel (Penner-Wilger & Anderson, 2013). Bölgesel teoriye göre parmaklar ve matematik ilişkisi bu iki sistemin insan beyinde birbirine çok yakın kaynakları kullanmasından kaynaklanmaktadır ve bir nedensellik taşımamaktadır. Mesela Gerstmann sendromunda (Gerstmann, 1940) gözlemlenen ortak semptomların (parmak hissinde kayıp ve temel matematik işlemleri yapma güçlüğü) sebebinin sendroma neden olan lezyonun (çoğunlukla sol angular girus ve supramarginal girus bölgelerinde) iki sistem tarafından kullanılan ve birbirine çok yakın alt bölgeleri etkilemesi olduğu düşünülür.

Evrimsel açıklamaya göre, parmak duyuşsal-motor sistemi, “beyinsel yeniden kullanım” olarak adlandırılan genel evrimsel bir fenomen nedeniyle matematiksel işlemler sırasında kullanılır (Anderson, 2010). İnsan beyinin, sözel dil ve matematik gibi yeni bilişsel becerileri mümkün kılabilmek için önemli bir evrimsel değişimden geçirmediği düşünüldüğünde, beyinsel yeniden kullanım kuramı yeni bilişsel becerilerin, başlangıçta başka bedensel işlevleri gerçekleştirmek için evrimleşen sistemlerin (örneğin parmaklar, görsel olarak yönlendirilmiş ince motor hareketleri) daha yakın zamanda kazanılmış bilişsel becerileri desteklemek için kullanıldığını öne sürer. Sayı işleme durumunda, parmakların bağımsız çok modlu gösterimini sağlayan parmak duyuşsal-motor devreleri, sayısal miktarları temsil etmek ve işlemek için yeniden kullanılmıştır (Penner-Wilger ve Anderson, 2013). Burada önemli bir nokta evrimsel ve gelişimsel teorilerin birbirlerine karşıt olmaktan ziyade birbirlerini tamamlayıcı olmalarıdır. Beyinsel yeniden kullanım teorisi evrimsel süreçte bedensel sistemlerin bilişsel işlevler için nasıl kullanıldığını açıklarken, gelişimsel yaklaşım çevresel faktörlerin etkilerini hedef alır. Diğer bir deyişle, Parmak ve matematik ilişkisi bazı genetik temellere sahip olsa da, sayı işleme ağının geliştirilmesi ve ince ayarlanması gelişim sırasında bazı bedensel deneyimleri (örneğin parmakla sayma) gerektirir.

Beyindeki sayı işleme ağı birçok alana dağılmıştır. Üçlü Kod Modeli’ne (Triple Code Model; TCM) göre –sayı işlemenin sinirsel korelasyonları üzerinde yaygın kullanılan bir model– beyinde sayısal temsil için önemli ve her biri farklı bir sayısal temsil formu için kullanılan, üç parietal alan vardır (Dehaene ve Cohen 1997; Dehaene ve diğ., 2003). İlk olarak, iki taraflı olarak intraparietal sulkus (İPS) içinde yer alan bir büyüklük temsil sistemi sayısal büyüklüklerin

(örneğin sayılar arasındaki boyut ve uzaklık ilişkileri) işlenmesinde rol oynar. İkincisi, bir görsel sayı gösterim sistemi Arap rakamlarının tanınmasını ve kodlanmasını destekler ve bilateral arka üst parietal alanlarda bulunur. Son olarak, esas olarak sol angular girusta (AG) yer alan üçüncü bir sözel sunum sistemi sözel sayısal bilgilerin işlenmesinde (örneğin toplama ezberlerinin fonolojik bellekten alınması) görev alır. Daha sonraki bir çalışmada, sol alt frontal girus (IFG) ve iki taraflı ek motor alanlarının matematiksel işlemlerde (örneğin, aritmetikte olduğu gibi) büyük sayılarla işleme ve kural tabanlı stratejilerin uygulanması için destekleyici rolleri için TCM'ye dahil edilmesi önerilmiştir (Klein ve diğ., 2016).

Sayı işleme için önemli olan bu parietal bölgeler aynı zamanda parmaklarla ilgili fonksiyonları yerine getirmek için de kullanılır. Bu ilişki ilk olarak yaklaşık bir asır önce ortaya konmuştur. 1924'te Josef Gerstmann, kendi parmaklarını zihinsel olarak birbirlerinden ayıramayan veya istek üzerine onlara işaret edemeyen yetişkin bir hasta teşhis etti. Bu hasta üzerinde yapılan testler ayrıca hastanın sağ ve sol eli arasında ya da başka bir kişinin sağ ve sol elleri arasında ayırım yapmakta zorlandığını ortaya çıkardı. Ayrıca, bu hasta sayısal işlem değerlendirilmelerinde zayıf bir performans sergiledi ve yazı yazma güçlükleri gösterdi. Semptomların kaynağı sol AG'de bulunan bir lezyondur (Gerstmann, 1940). İlk olarak 1920'lerde Gerstmann tarafından yapılan bu ve benzeri çalışmalar ilk kez parmakları sinirsel düzeyde sayı işlemeyle ilişkilendirdi. O zamandan beri birçok çalışma Gerstmann'ın bulgularını parietal lezyonları olan başka hastalarla da göstermiştir (Mayer ve ark., 1999). Ek olarak, sağlıklı yetişkinlerle yapılan iki manyetik uyarılma çalışması, hasta çalışmalarından elde edilen bulgulara paralellik arz ederek, angular girus uyarılmasının hem sayı işleme hem de parmak hissinde bozulmaya yol açtığını göstermektedir (Roux, Boetto, Sacko, Chollet, & Tremoulet, 2003; Rusconi ve ark., 2005).

Lokalizasyonist yaklaşımın iddia ettiğinin aksine, parmak ve sayı gösterimleri arasında fonksiyonel bir ilişki olduğu gösteren birçok kanıt vardır. Sayısal parite (sayıların tek ya da çift olma durumu) deneyi sırasında el kaslarındaki elektriksel uyarılma şiddetinin ölçüldüğü bir çalışmada, sağ el kaslarında uyarılma bulunmuşken sol el kaslarında bulunmamıştır. Bu tesir 1 ile 4 arasındaki sayılar için daha güçlüdür (Şato ve ark., 2007). Başka bir çalışmada ekrandaki noktaların sayısının belirlenmesi sırasında el kaslarının kortikospinal uyarılabilirliğini arttırdığı bulunmuştur (Andres, Seron ve Olivier, 2007). Etki hem sayı hem de harf ile numaralandırma için bulunduğundan, yazarlar bir dizi öğenin sıralı bir dizinin öğeleriyle eşleşmesi gerektiğinde beyindeki parmak devrelerinin kullanıldığını öne sürmüşlerdir. Aritmetik işlemler yaparken aynı zamanda parmak veya ayak hareketleri yapıldığında Michaux ve diğ. (2013) parmak hareketlerinin ayak hareketleriyle karşılaştırıldığında aritmetik performansı daha fazla etkilediğini bulmuşlardır. Çift işlem deneylerinde iki işlem aynı anda yapıldığında işlemlerden birinde meydana gelen performans düşüklüğü iki işlem arasında beyindeki ortak kullanılan bölgelerin yaygınlığını gösteren bir göstergedir. Aynı deneyde

parmak hareketlerinin toplama ve çıkarma işlemlerini çarpmadan daha fazla etkilediği de görülmüştür. Michaux ve diğ. çocuklukta toplama ve çıkarma için kullanılan, ancak çarpma için kullanılmayan, parmak sayma temelli stratejilerin toplama ve çıkarma sırasında kullanılan beyin bölgelerinin parmak bölgeleriyle örtüşme göstermesine neden olduğunu ve ortaya çıkan performans düşüklüğünün ortak bölgelerde meydana gelen yüklenmeden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Soylu ve Newman (2016) ikili görevli bir fMRI çalışmasında aritmetik zorluk ve parmak hareketlerinin karmaşıklığı arasındaki etkileşimi incelediler. Çift basamaklı toplama ile karşılaştırıldığında, tek basamaklı toplamanın parmak hareketlerinden daha fazla etkilendiğini rapor etmişler ve bu etkiyi sol angular girustaki aktivitenin modülasyonu ile ilişkilendirmişlerdir (Lezyon olması durumunda Gerstmann sendromuna neden olan bölge). Ayrıca, Berteletti ve Booth (2015) tek basamaklı çıkarma ve çarpma işlemleri sırasında parmak duyusal ve motor alanlarının aktivasyonunu (8 ila 13 yaş arası) araştırmışlardır. Çıkarma işlemi sırasında parmak motor bölgelerinde, parmak sayma stratejilerinin çocukluk sırasında kullanılmasından kaynakladığı düşünülen, aktivasyonlar görülmüştür. Bu durum çarpma işlemi için gözlenmemiştir. Bunun parmak sayma metodunun çocuklukta çarpma için kullanılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, parmak duyusal-motor bölgelerinde daha büyük işlenenler ile çıkarma problemleri için daha fazla aktivasyon bildirmişlerdir; bu da büyük işlenenler için parmak temsillerine daha fazla bağımlılık olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalar, parmaklar ve sayı işleme arasında, muhtemelen çocukluk dönemi sırasındaki parmak sayma deneyimlerine kadar uzanan bir gelişimsel ve işlevsel ilişki olduğu kanısını desteklemektedir.

Parmakla sayma ve bedenlenmiş biliş

Sayı işleme çoğu zaman soyut olarak düşünülürken, beyinde sayı işlemeyi destekleyen sistemler görünüşte sıradan bedensel işlevleri yerine getirmemize olanak sağlayan sistemler üzerine kuruludur. Evrimsel bir bakış açısı, matematiksel yeteneklerin bedensel sistemler tarafından neden ve nasıl desteklendiğini anlamamıza yardımcı olabilir. Matematik göreceli olarak yeni bir kültürel icat olduğu için, evrimsel bağlamda matematiksel kavrayışı doğrudan destekleyen beyin sistemlerinin evrimsel olarak ortaya çıkması söz konusu değildir. Matematik yetisi, sözel iletişim ve yazı yazma gibi sonradan ortaya çıkan diğer yetilerde olduğu gibi, esasen bedensel yetileri desteklemek için ortaya çıkmış, mevcut sistemlerin yeniden kullanılması sayesinde ortaya çıkmıştır. Elin evrimi ve el yetenekleri (örneğin alet kullanma, işaret dili) insanın evriminde özel bir rol oynar. Alet yapmak, çevremizi manipüle etmek ve iletişim kurmak için ellerimizi kullanırız. Eller beynin hem duyusal hem de birincil motor bölgelerinde diğer uzuv ve duyu organlarına göre çok daha büyük bir temsili sahiptir. Ellerin işleyişini destekleyen duyusal-motor sistemler, esas olarak duyusal (dokunsal),

motor ve görsel modaliteleri içerir. Bu üç modalite, nesnelerin manipülasyonundan (Maravita ve İriki, 2004) işaret tabanlı iletişime (Arbib, 2005) kadar, ellerin görsel olarak yönlendirilmiş hareketlerinin çok çeşitli görevlerde kullanılmasını koordine eder. Ayrıca, motor ve görsel modaliteleri de içeren dokunsal deneyimlerimiz, nesnelerin ve etrafımızdaki diğer canlıların farklı özellikleri hakkında zengin bilgiler (ör. sıcaklık, doku, sertlik) sağlar.

Çocuklar sayı saymayı çoğunlukla parmaklarını hareket ettirerek kolayca öğrenebilmekte ve geleneksel öğretim ortamlarında bu deneyim sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bedenlenmiş biliş kuramı bunun da ötesine geçerek insanın bedeniyle olan ilişkisini salt bir eğitim tekniği olarak değil anlamının ve öğrenmenin felsefî temeli olarak ele almaktadır (Yalvaç, Soylu, Arıkan, 2011). Bedenlenmiş biliş, tek ve birleşik bir biliş kuramı değil, bilişin bedensel sistemlere dayandığı ortak düşüncesinin altında toplanan çok sayıda iddia ve teoriye sahip bir araştırma programıdır (Clark, 1999; Gallese & Lakoff, 2005; Smith & Gasser, 2005; Soylu, 2016). Bedenlenmiş biliş teorilerine göre matematiksel yetiler bedensel etkileşimlerin soyut temsillerin ve mantıksal ilkelerin gelişmesine yardımcı olmasının ötesinde duyuusal-motor sistemlerin sayı işleme için anlamsal içerik sağlayacak şekilde yapılandırılması sayesinde mümkündür (de Freitas & Sinclair, 2013). Gallese & Lakoff, 2005; Núñez, 2012; Sfard, 1994). Sembolik temsillerin (örneğin, Arap rakamları, cebirsel notasyonlar) kullanımı, bilişsel işlemenin giderek tamamen soyut ve sembolik bir işlem formu aldığı anlamına gelmez. Bunun yerine, simgesel işlemenin kendisi duyuusal-motor sistemleri kullanır. Örneğin Barsalou (1999) duyuusal deneyimler sırasında, beyin içindeki ilişkilendirme alanlarının (farklı modalitelerden alınan bilgilerin birleştirilip anlamsal içerik haline gelmesini sağlayan sistemler) aşağıdan yukarı duyuusal-motor bilgi akışını toplayıp birleştirdiğini ortaya koymuştur. Soyut sembollerin kullanımı sırasında ilişkilendirme alanları aynı duyuusal-motor alanlarını sembollerin anlamını işlemek için harekete geçirir. Bu soyut sembollerin ilgili duyuusal-motor sistemleri tetikleyebileceği anlamına gelir. Bu açıdan sembollerin (semantik) anlamı, ilgili sistemlerin duyuusal-motor simülasyonundan ortaya çıkar. Gelişim sırasında edinilen parmak-temelli etkileşimler ve parmak sayma deneyimleri sadece çocuklukta sayısal gelişime yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda sayı işleme sisteminin gelişmesini sağlar ve bu durum yetişkinlerin sayıları nasıl işlediğini açıklamakta da kullanılabilir (bkz. Berteletti & Booth, 2016; Soylu, Lester & Newman, 2018). Bedenlenmiş biliş perspektifine göre, sayı işleme ve vücut sistemleri zamanla bağımsız hale gelmez. (Lakoff & Nunez, 2000; Soylu, 2011) Sayı işleme sistemi gelişim süresince bedensel etkinlik ve matematiksel tecrübeler neticesinde şekillenmeye devam etmekte ve bu gelişim duyuusal-motor sistemler üzerine kurulmaktadır. Diğer bir deyişle, duyuusal-motor sistem sadece bir öncü olmak veya sayı işleme ağı için bir başlangıç teşkil etmek yerine, sayı işleme ağının temel bir parçasıdır.

Parmakla sayma üzerine tartışmalar: Nörologlar ve Matematik Eğitimcileri

Parmak ve matematik ilişkisi esas olarak bilişsel sinirbilim ve matematik eğitimi alanlarının konuları olarak çalışılmaktadır (Soylu, Lester & Newman, 2018). Bilişsel sinirbilim çalışmaları, parmak duyuşsal-motor sistemlerinin sayı işlemeyi nasıl desteklediği konusundaki soruları cevaplar; parmaklarla ilgili davranışsal göstergeler (örn. parmak hissi (gnosis), parmak sayma alışkanlıkları) ve sayısal göstergelerin (örn. sayı tahmini, sayı sayma, büyüklük işleme, aritmetik) arasındaki ilişkiler ve bunların beyindeki etkileşimleri ana araştırma konularıdır. Sayı becerileri ile parmakların ilişkisi üzerine bilişsel sinirbilim çalışmalarının çoğu kuramsal olarak bedenleşmiş bilişsel yaklaşımlar tarafından çerçevelenir ve beyinde matematiksel fonksiyonların bir parçası olarak parmak duyuşsal-motor sisteminin katılımı göz önünde bulundurulur (Moeller et al., 2012; Wasner, Moeller, Fischer, & Nuerk, 2015).

Matematik eğitimi alanındaysa bedensel etkileşimler ile matematiksel gelişim arasındaki ilişki yapılandırmacı bir bakış açısıyla yorumlanır. Bu yaklaşıma göre, doğumdan sonra meydana gelen fiziksel dünyayla ilk etkileşimler sayı kavramlarını anlamak için temel oluşturur ve gelişim sürecinde sayı becerileri giderek daha önce kullanılan fiziksel etkileşimlerden ve temsillerden bağımsız hale gelir ve nihayet yerlerini daha soyut ve biçimsel temsillere bırakır. Bu araştırma alanı bize daha sonradan ortaya çıkacak karmaşık sayısal yetenekler için temel oluşturan ön-sözel yeteneklerin (sözel yeteneklerin gelişmesi öncesi) sıradan bedensel etkileşimler yoluyla nasıl geliştiğini anlamamızı sağlar. Ayrıca, çocukların tecrübelerini klinik gözlemler yoluyla ele alarak sayı kavramlarının birinci şahıs perspektifinden (kişisel tecrübeler) nasıl oluşturulduğuna da ışık tutar.

Aynı konuyu farklı şekillerde ele alan bu iki araştırma alanı (bilişsel sinirbilim ve matematik eğitimi) kullanılan metodolojiler, paradigmlar ve analiz seviyeleri bakımından farklıdır. Ayrıca, bu iki alan bedensel etkileşimlerin, özellikle parmaklarla, niçin ve nasıl sayısal gelişmeyle ilgili olduğuna farklı açılardan yaklaşır. Von Glasersfeld, Steffe ve diğerlerinin (von Glasersfeld, 1981; Steffe ve diğerleri, 1988, 1983; Steffe & von Glasersfeld, 1985) çalışmalarıyla örneklenen yapılandırmacı araştırmalar, beden etkileşimler sonucunda sayı kavramlarının nasıl ortaya çıktığını ve bu kavramların gelişimsel süreç içerisinde bedenselden soyut temsillere doğru değişimler geçirdiğini gösterir. El ve parmaklarımızla olan etkileşimler sayma sırasında sayılar ve nesneler arasındaki bire bir eşleşme ilişkilerinin ve sayısal nicelik kavramlarının anlaşılması için temel oluşturur. Parmaklar ayrıca nicelik kavramları için fiziksel temsiller olarak kullanılır ve hem sayı jestleri hem de parmak sayımı için kullanılır. Matematik eğitimi ayrıca, zamanla aritmetik için parmak sayma stratejilerinin zamanla nasıl değiştiğini

ve nihayetinde parmakla sayma stratejilerinin yerini bellek ve kural tabanlı zihinsel hesaplama stratejilerine bıraktığını göstermektedir (Jordan ve diğerleri, 2008). Matematik eğitimi alanı sayı işleme ve parmaklar için kullanılan beyin sistemlerinin gelişimsel süreç boyunca nasıl değiştiğini ve birbirleriyle nasıl ilişkilendiklerini açıklamaz. Ayrıca, parmakların (ve genel olarak beden) ve matematiğin, daha soyut temsiller ve hesaplamaların gelişmesinden sonra, yetişkinlik döneminde ilişkili olmadığı varsayıldığından, parmaklarla ilgili yetilerin ve sistemlerin (parmakla sayma, parmak hissi) yetişkinlerin sayı işleme performansıyla ilgisini araştırmaz.

Parmak ve matematik ilişkisini inceleyen geniş bir yelpazeye yayılmış birçok çalışmayı bilişsel sinirbilim ve matematik eğitimi başlıkları altında sınıflandırmak aslında indirgemeci bir yaklaşımdır. Ancak bu indirgemeci sınıflandırma bize bu konuda yapılan ve farklı metodolojiler ve teorik yaklaşımlara dayanan çalışmaları karşılaştırma imkânı verir. Bu karşılaştırma bu iki ana alan altında toplanan çalışmaların parmak ve matematik ilişkisine farklı açılardan nasıl yaklaştıklarını ve bu farklı yaklaşımların sinerjik bir biçimde bir arada ele alındıklarında parmakların sayısal işlemleri nasıl desteklediğini daha iyi ortaya koyabilir.

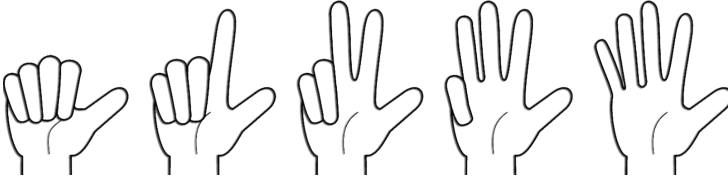
Kısacası bilişsel sinirbilim ve matematik eğitimi araştırmaları, çocukların parmak temelli sayısal temsillerden yararlandığını kabul etseler de, bu tür sayısal temsillere güvenmenin sonuçları noktasında farklı görüşlere sahipler. Bir yandan matematik eğitim araştırmaları zihinsel sayı temsillerini güçlendirmeleri için ilkökul birinci sınıfın sonunda ya da ikinci sınıfın başında çocukların parmakla saymayı terk etmeleri konusunda ikna edilmelerini, parmakla sayma stratejilerinin dış gösterimlere olan bağımlılığı, yalnızca sayıların zihinsel temsiline geçişte bir yardım olarak önerirlerken (Moeller et al. 2011), diğer taraftan , bilişsel sinirbilim literatürü, parmakla sayma dahil olmak üzere, somutlaştırılmış sayısal temsillerin, genel olarak sayısal kavramada önemli olduğunu öne sürmektedir (Domahs et al., 2010).

Parmakla Sayma Stratejileri

Dünya genelinde 27 çeşit parmakla sayma yönteminin mevcut olduğu aktarılmaktadır. Örneğin, Antik Roma’da, insanlar sol küçük parmağını bükerek “biri” sayardılar. Parmakları kullanarak sayma yöntemi bölgeye, etnik kökene ve tarihi döneme göre değişiklik göstermektedir (Nishiyama, 2013). Bu bölümde üç farklı parmakla sayma yönteminden bahsedilecektir. İlk her bir parmağın bir değerinde olduğu ve iki elde yer alan on parmak üzerinden kullanılagelen klasik parmakla sayma yöntemi, ikinci olarak 24’e kadar saymada kullanılan **parmak boğumlarıyla sayma** (Pabsay) yöntemi ve son olarak Kore yöntemi olarak anıla gelen Chisenbop yöntemi üzerinde durulacaktır.

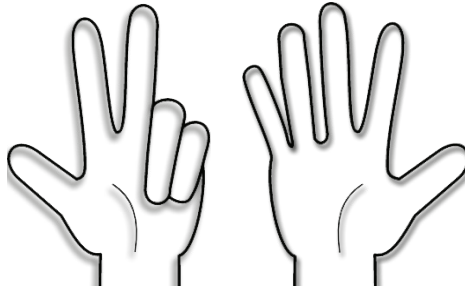
Klasik parmakla sayma yöntemi

Klasik parmakla sayma yöntemi genel olarak birçok çocuğun sayma ve hesaplamada içgüdüsel olarak doğrudan başvurduğu yöntemdir. Bu yöntemde büyüklük ve küçüklüğüne, sağ ve sol elde olmasına bakılmaksızın parmakların her biri bir (1) değerindedir. Parmakla saymaya sağ veya sol elin baş veya serçe parmağından başlanabilir. Başlangıç noktası olarak alınan parmak, kişiden kişiye toplumdan topluma farklılık gösterebilir. Birden ona (1-10) kadar olan sayılar parmak temsilleri üzerinden öğretilir.



Şekil 2: 1-5 parmak temsilleri (www.kisscc0.com sitesinden alınmıştır.)

Toplamı en fazla 10 olan sayıları doğrudan parmakları sayarak veya toplamı en fazla 20 eden sayılarla toplama işlemi yaparken büyük sayıyı hatırla tutup küçük olan diğer sayıyı parmakları sayarak üzerine ekleyerek (örneğin 7+9 işlemi için 9 aklında parmaklara dokunarak üzerine ekleme yapılarak 10,11...16) toplama işlemleri yapılabilir. Ancak MÖG yaşayan öğrenciler hatırla tuttukları ilk sayıyı unutabilirler bu nedenle Pabsay yöntemini kullanmaları işlem yapmalarını kolaylaştırabilir. Toplama işleminde olduğu gibi parmaklar kullanılarak benzer şekilde basit çıkarma işlemi etkinlikleri yapılabilir.

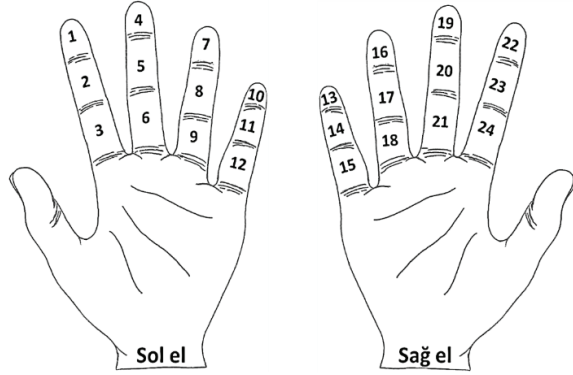


Şekil 3: 3+5 toplamının parmaklarla temsilleri

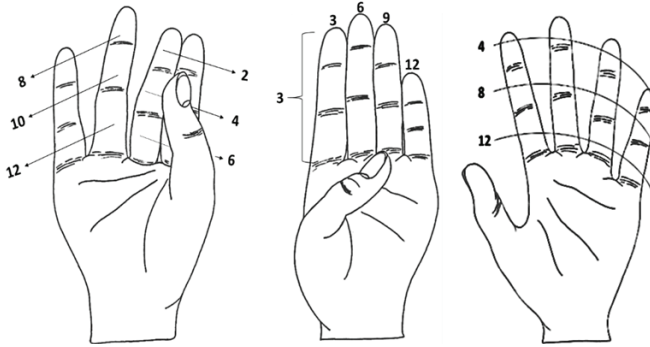
Parmak Boğumlarıyla Sayma (Pabsay)

Parmaklarla sayma stratejisi, ondan (10) daha büyük sayılara ulaşmak için bazı kültürler tarafından genişletildi. Örneğin, Çin ve Hindistan'da kullanılan bir yöntem, bir kişinin her elin parmak eklemlerini-boğumlarını kullanarak 28'e kadar

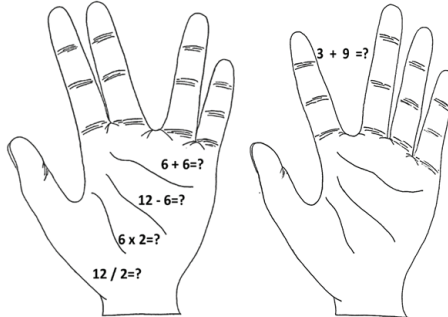
saymasını sağladı (Box ve Scott, 2004). Parmak boğumlarıyla sayma yöntemi Pabsay kısaltmasıyla Mutlu (2018b) tarafından başparmakların bir sayaç olarak kullanılması ile 24'e kadar (özellikle 24'ün birçok sayı kombinasyonunu içermesi 3x8, 4x6, 2x12 vs.) sayma, ikişerli, üçerli ve dörderli ritmik sayma etkinlikleri ve dört işleme yönelik etkinlikler yapabilme yönüyle zenginleştirilerek geliştirildi. Aşağıda yer alan görsellerde Pabsay ile etkinlik örneklerine yer verilmektedir.



Şekil 4: Pabsay ile 1-24 birerli sayma



Şekil 5: Pabsay ile 2'şerli, 3'erli ve 4'erli sayma

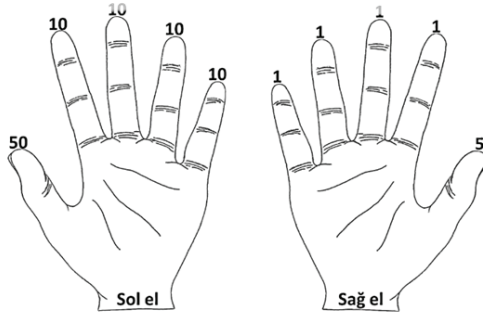


Şekil 6: Pabsay ile dört işlem etkinlik örnekleri

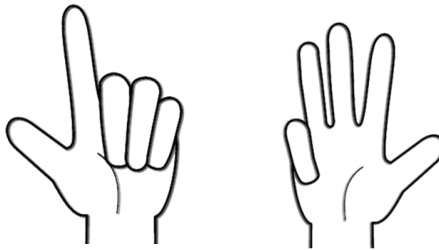
Guha (2006) tarafından yapılan bir çalışmada öğretmen görüşleri üzerinden parmak eklemleriyle sayma stratejisinin saymada ve hesaplamada etkili bir araç olduğu Hindistan’da okul öncesi dönemde aktif olarak kullanılmaya devam edildiği aktarılmaktadır. MÖG yaşayan öğrenciler Pabsay yöntemi ile daha büyük sayılarla sayma ve dört işlem etkinliklerini gerçekleştirebilirler.

Chisenbop Yöntemi

Chisenbop parmakla sayma tekniği 1940’larda Kore’de geliştirilen bir yaklaşımdır. Chisanbop ismi Korece “chi” (“parmak”) ve “sanbeop” (“hesaplama” için) sözcüklerinden oluşur. Bu sistemde, parmakların her birine sayı değerleri atanır. Eller masanın üzerinde rahat bir duruşta bırakılır (avuç içi). Sağ elin her parmağı, beş değerini temsil eden başparmak hariç, birlik olarak sayılır; sol elin başparmağı elli değerinde, diğer parmakların her biri ise on (10) değerini temsil eder (Şekil 7 ve 8) (Stegemann ve Grünke, 2014).



Şekil 7: Chisenbop yöntemi



Şekil 8: Chisenbop yöntemi ile 68’in gösterimi

SONUÇ

Hemen hemen her kültürde ve erken yaşta çocukların büyük çoğunluğunun saymada ilk olarak parmaklarını kullanması bu yöntemi zorunlu bir süreç gibi algılanmasına bazen neden olmaktadır. Ancak sayma ve sayıları temsil etmek

için parmaklarını kullanmayan çocuklar, atipik veya gecikmeli sayısal gelişim göstermezler. Bu yönüyle parmakla saymanın sayısal gelişim için gerekli bir adım olmadığı söylenebilir (Crollen et al. 2011). Bunlarla beraber parmakla sayma, matematiksel becerilerin gelişmesi sırasında istenmeyen ve ebeveynlerin, öğretmenlerin bastırması gereken bir fenomenden ziyade karmaşık problem çözme yetenekleri geliştirilmesi yolunda normal ve sağlıklı bir ara adımdır (Stegemann, Grünke 2014). Birinin parmaklarını sayısal görevler için kullanması, iç süreçlerin hala harici destek gerektirdiğini ve yeterli bir şekilde uzmanlaşmamış olduğunu gösterebilir, ancak bu durum parmakla sayma stratejilerinin destek almaya değmez olduğunu göstermez (Bender ve Beller, 2011).

Daha önce değindiğimiz çalışmalara dayanarak matematik gelişimi için parmakları sadece sınırlı bir gelişim penceresi içinde kullanılan fiziksel objeler olarak tanımlamak yerine, sayısal yetilerimizi ve sayısal işlemlerin beyinde nasıl gerçekleştiğini anlamak için bedensel, ve özellikle parmaklarla ilgili olan, sistemlerin anahtar olduğunu göz önüne almamız gerektiği söylenebilir. Bilhassa MÖG yaşayan bireylerin bilişsel ve psikolojik nedenlerden kaynaklanan gerekçelerle parmakla sayma stratejilerini kullanmalarının onlar için nedeni önemli olduğu bir model üzerinden aktarılmaktadır. Tüm bunlarla beraber bedensel etkileşimler beyinde el ve parmaklar için görsel-uzamsal, dokunsal ve motor modaliteleri bağlayan ağların ortaya çıkmasına yardımcı olur ve daha sonra parmak sayma stratejileri aracılığıyla niceliklerin temsil edilmesi ve işlenmesi için parmakların kullanılmasını mümkün kılar. Kısacası, parmak becerileri, matematiksel yetkinlik için bir temel teşkil etmektedir. Sayısal gelişimin parmak becerileri üzerine bağımlılığı ve parmak duyusal-motor sisteminin matematiksel kavramada yetişkinliğe kadar uzanan devamlı desteği, parmak ve matematik ilişkisini anlama konusunda, genel olarak varsayılanın aksine, bize farklı bir tablo gösterir. Birlikte ele alındığında, matematik eğitimi ve bilişsel sinirbilim araştırmaları, parmak ve matematik arasındaki derin ilişkiyi anlamamıza yardımcı olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alibali, M. W., and DiRusso, A. (1999). The function of gesture in learning to count: more than keeping track. *Cogn. Dev.* 14, 37–56. doi: 10.1016/S08852014(99)80017-3
- Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: a fundamental organizational principle of the brain. *The Behavioral and Brain Sciences*, 33(4), 245-66; discussion 266-313. <https://doi.org/10.1017/S0140525X10000853>
- Andres, M., Seron, X., & Olivier, E. (2007). Contribution of hand motor circuits to counting. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 563–576.
- Amerikan Psikoloji Birliği, A. (2005). *DSM-IV-TR Tanı Ölçütleri Başvuru Elkitabı*. 2. baskı. Çev: Köroğlu E. Ankara: Hekimler Yayın Birliği.

- Ansari, D., & Karmiloff-Smith, A. (2002). Atypical trajectories of number development: A neuroconstructivist perspective. *Trends in cognitive sciences*, 6(12), 511-516.
- Arbib, M. (2005). From monkey-like action recognition to human language: An evolutionary framework for neurolinguistics. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(02), 105-124.
- Ashcraft, M. H., & Kirk, E. P. (2001). The relationships among working memory, math anxiety, and performance. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2), 224-237. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.130.2.224>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(04), 577-660.
- Beilock, S. L. & Carr, T. H. (2005). When high-powered people fail *working memory* and “Choking Under Pressure” in *math*. *Psychological Science*, 16 (2), 101 - 105. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00789.x>
- Bender, A. & Beller, S. (2011). Fingers as a tool for counting - naturally fixed or culturally flexible? *In Frontiers in psychology*, 2, 256. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00256.
- Bender, A. & Beller, S. (2012). Nature and culture of finger counting: Diversity and representational effects of an embodied cognitive tool. *Cognition*, 124 (2), 156-182. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.05.005>
- Berteletti, I., & Booth, J. R. (2015). Perceiving fingers in single-digit arithmetic problems. *Frontiers in Psychology*, 6(MAR), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00226>
- Box, K. ve Scott, P. (2004). Early concepts of number and counting. *Australian Mathematics Teacher*, 60 (4), 2-6.
- Butterworth, B. (1999). What Counts: How the Brain is Hardwired for Math. New York, NY: The Free Press
- Butterworth, B. (2005). Developmental dyscalculia. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of Mathematical Cognition*. (pp.455-468). New York: Psychology Press.
- Clark, A. (1999). An embodied cognitive science? *Trends In Cognitive Sciences*, 3(9), 345-351.
- Costa, A. J., Silva, J. B. L., Chagas, P. P., Krinzinger, H., Lonneman, J., Willmes, K., & Haase, V. G. (2011). A hand full of numbers: A role for offloading in arithmetics learning? *Frontiers in Psychology*, 2, 368. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00368>
- Crollen, V., Mahe, R., Collignon, O., & Seron, X. (2011). The role of vision in the development of finger-number interactions: Finger-counting and finger-montring in blind children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109(4), 525-539. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.03.011>
- Dantzig, T. (2005). *Number The Language of Science*. Edited by Joseph Mazur. Pi Press. New York.
- Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics Anxiety: What Have We Learned in 60 Years? *Frontiers in Psychology*, 7, 508. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00508>

- Domahs, F., Moeller, K., Huber, S., Willmes, K., & Nuerk, H.-C. C. (2010). Embodied numerosity: Implicit hand-based representations influence symbolic number processing across cultures. *Cognition*, 116(2), 251–266. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2010.05.007>
- Fayol, M., Barrouillet, P., & Marinthe, C. (1998). Predicting arithmetical achievement from neuro-psychological performance: A longitudinal study. *Cognition*, 68(2), B63–B70.
- Fischer, U., Suggate, S. P., Schmir, J., & Stoeger, H. (2017). Counting on fine motor skills: Links between preschool finger dexterity and numerical skills. *Developmental Science*. <https://doi.org/10.1111/desc.12623>
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: the role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 455–479. <https://doi.org/10.1080/02643290442000310>
- Geary, D. C. (1990). A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of experimental child psychology*, 49(3), 363–383.
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and learning disabilities. *Journal of learning disabilities*, 37(1), 4–15.
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Byrd-Craven, J., ve DeSoto, M. C. (2004). Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of experimental child psychology*, 88(2), 121–151.
- Geary, D. C. (2005). *The Origin of Mind: Evolution of Brain, Cognition, and General Intelligence*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Gerstmann, J. (1940). Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 44, 398–408.
- Glasersfeld, E. von. (1981). An attentional model for the conceptual construction of units and number. *Journal for Research in Mathematics Education*, 12(2), 83–94.
- Guha, S. (2006). Using mathematics strategies in early childhood education as a basis for culturally responsive teaching in India. *International Journal of Early Years Education*, 14(1), 15–34, DOI: 10.1080/09669760500446374
- Holt, J. (1994). Classroom attributes and achievement test scores for deaf and hard of hearing students. *American Annals of the Deaf*, 139, 430–437. <https://doi.org/10.1353/aad.2012.0274>
- Ifrah, G. (2012). *Rakamların evrensel tarihi*. K.Dinçer (çev), İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Jonas, C. N. & Ward, J. (2014) Number-space associations in synaesthesia are not influenced by finger-counting habits. *Journal of Cognitive Psychology*, 26 (2), 232–240. ISSN 2044-5911
- Jordan, N., Hanich, L. B., & Uberti, H. Z. (2003). Mathematical thinking and learning difficulties. In A. J. Baroody & A. Dowker (eds.), *Development of arithmetic concepts and skills* (pp. 361–384). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum
- Jordan, N. C., Hanich, L. B., & Kaplan, D. (2003). Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of experimental child psychology*, 85(2), 103–119.

- Jordan, N. C., Kaplan, D., Ramineni, C., & Locuniak, M. N. (2008). Development of number combination skill in the early school years: When do fingers help? *Developmental Science*, 11, 662–668. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00715.x>
- Long, I., Malone, S. A., Tolan, A., Burgoyne, K., Heron-Delaney, M., Witteveen, K., & Hulme, C. (2016). The cognitive foundations of early arithmetic skills: It is counting and number judgment, but not finger gnosis, that count. *Journal of Experimental Child Psychology*, 152, 327–334. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.005>
- Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.12.008>
- Mayer, E., Martory, M. D., Pegna, A. J., Landis, T., Delavelle, J., & Annoni, J. M. (1999). A pure case of Gerstmann syndrome with a subangular lesion. *Brain*, 122(6), 1107. <https://doi.org/10.1093/brain/122.6.1107>
- Michaux, N., Masson, N., Pesenti, M., & Andres, M. (2013). Selective interference of finger movements on basic addition and subtraction problem solving. *Experimental Psychology*, 60(3), 197–205. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000188>
- Moeller, K., Martignon, L., Wessolowski, S., Engel, J., & Nuerk, H. C. (2011). Effects of finger counting on numerical development the opposing views of neurocognition and mathematics education. *Frontiers in Psychology*, 2(November), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00328>
- Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive Processing*, 13, 271–274. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0457-9>
- Mutlu, Y. (2018a). Math Anxiety in Students with and without Math Learning Difficulties. Paper presented at the International Conference on Education in Mathematics, Science & Technology (ICEMST), Marmaris, Turkey.
- Mutlu, Y. (2018b). Matematik Öğrenme Güçlüğü Bağlamında Parmakla Sayma. Paper presented at the 1st International Congress on New Horizons in Education and Social Sciences (ICES-2018), İstanbul, Turkey.
- Newman, S. (2016). Does finger sense predict addition performance? *Cognitive Processing*, 17, 139–146. <https://doi.org/10.1007/s10339-016-0756-7>
- Nishiyama, Y. (2013). Counting with the fingers. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 85 (5), 859-868.
- Noel, M. P. (2005). Finger gnosis: a predictor of numerical abilities in children? *Child Neuropsychology*, 11, 413–430.
- Piazza, M., Facoetti, A., Trussardi, A. N., Berteletti, I., Conte, S., Lucangeli, D., Zorzi, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, 116(1), 33-41.
- Penner-Wilger, M., & Anderson, M. L. (2013). The relation between finger gnosis and mathematical ability: why redeployment of neural circuits best explains the finding. *Frontiers in Psychology*, 4(December), 877. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00877>
- Reeve, R., & Humberstone, J. (2011). Five-to 7-year-olds' finger gnosis and calculation abilities. *Frontiers in Psychology*, 2.

- Roux, F. E., Boetto, S., Sacko, O., Chollet, F., & Tremoulet, M. (2003). Writing, calculating, and finger recognition in the region of the angular gyrus: a cortical stimulation study of Gerstmann syndrome. *Journal of Neurosurgery*, 99(4), 716–727.
- Rusconi, E., Walsh, V., & Butterworth, B. (2005). Dexterity with numbers: rTMS over left angular gyrus disrupts finger gnosis and number processing. *Neuropsychologia*, 43, 1609–1624.
- Sato, M., Cattaneo, L., Rizzolatti, G., & Gallese, V. (2007). Numbers within our hands: Modulation of corticospinal excitability of hand muscles during numerical judgment. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 684–693.
- 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.
- Sharma, M. C. (2015). A window into dyscalculia and other mathematics difficulties. *The Routledge International Handbook of Dyscalculia and Mathematical Learning Difficulties*, 277.
- Smith, L., & Gasser, M. (2005). The development of embodied cognition: Six lessons from babies. *Artificial Life*, 11(1–2), 13–29. <https://doi.org/10.1162/1064546053278973>
- Soylu, F. (2011). Mathematical cognition as embodied simulation. In *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Soylu, F. (2016). An embodied approach to understanding: Making sense of the world through simulated bodily activity. *Frontiers in Psychology*, 7(December), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01914>
- 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>
- Soylu, F., & Newman, S. (2016). Anatomically ordered tapping interferes more with one-digit addition than two-digit addition: a dual-task fMRI study. *Cognitive Processing*, 17(1), 67–77. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0737-2>
- Soylu, F., Raymond, D., Gutierrez, A., & Newman, S. (2018). The differential relationship between finger gnosis, and addition and subtraction: An fMRI study. *Journal of Numerical Cognition*, 3(3), 694–715. <https://doi.org/10.5964/jnc.v3i3.102>
- Yalvaç, B., Soylu, F., & Arıkan, A. (2011). Bedenlenmiş biliş ve eğitim. *Ethos: Felsefe ve Toplumsal Bilimlerde Diyaloglar*, 5, 4(1), 1–20.
- Steffe, L., Cobb, P., & Glasersfeld, E. von. (1988). *Construction of arithmetical meanings and strategies. Recent research in psychology*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3844-7>
- Steffe, L., & Glasersfeld, E. von. (1985). Helping children to conceive of number. *Recherches En Didactique Des Mathématiques*, 6, 269–303.
- Steffe, L., Glasersfeld, E. von, Richards, J., & Cobb, P. (1983). *Children's counting types: Theory, philosophy, and application*. New York: Praeger Scientific.

- Stegemann, K.C. & Grünke, M. (2014). Revisiting an old methodology for teaching counting, computation, and place value: the effectiveness of the finger calculation method for at-risk children. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 12(2), 191-213.
- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100, 2860-2865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0030098100>
- Treiman, R., & Zukowski, A. (1991). Levels of phonological awareness. In S. S. Brady & D. P. Shankweiler (Eds.), *Phonological Processes in Literacy* (pp. 67-83).
- von Aster, M. G., ve Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine ve Child Neurology*, 49, 868-873.
- Wasner M., Moeller K., Fischer M., Nuerk H.-C. (2014b). Related but not the same: ordinality, cardinality and 1-to-1 correspondence in finger-based numerical representations. *J. Cogn. Psychol.* 1-16 10.1080/20445911.2014.964719
- Wilson, K. M., ve Swanson, H. L. (2001). Are mathematics disabilities due to a domain-general or a domain-specific working memory deficit? *Journal of learning disabilities*, 34(3), 237-248.
- Young, C. B., Wu, S. S., & Menon, V. (2012). The neurodevelopmental basis of math anxiety. *Psychological Science*, 23(5), 492-501. <https://doi.org/10.1177/0956797611429134>