EĞİTİMSEL SİNİRBİLİM

Editör
Esra Keleş

nobel

Bölüm 3

Eğitimsel Sinirbilim Araştırma Yöntemleri

Fırat Soylu

1. Giriş

Eğitimsel sinirbilim, adından da anlaşılacağı üzere, sinirbilim ve eğitim alanlarının kesişiminde, disiplinlerarası bir araştırma alanıdır. Eğitimsel sinirbilim öncelikle hafıza, okuma, dil, bilişsel ve davranışsal bozukluklar gibi konular üzerine sinirbilim çalışmalarının ortaya koyduğu bulguların, eğitimciler ve eğitim araştırmacıları için anlaşılabilirliğini ve eğitimde yeni uygulamalar için yorumlanmasını hedefler. Eğitimsel sinirbilim hem eğitim teorileri hem de eğitim metotları konularında yeni çözümler ve görüşlerin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Örneğin matematiksel düşünme, okuma ve disleksi, otizm spektrum bozukluğu gibi konular üzerine yapılmış sinirbilim çalışmalarının ilgili alanlardaki eğitim teorisi ve tasarım yaklaşımları üzerinde önemli etkileri olmuştur (Thomas, Ansari ve Knowland, 2019). Genel olarak eğitimsel sinirbilim, eğitimde halihazırda var olan, sosyo-kültürel, davranışsal ve bilişsel gibi, farklı düzeylerdeki teoriler ve modellerle beraber, biyolojik düzeydeki açıklama ve bulguların da eğitim araştırmaları ve uygulamalarında kullanılmalarını amaçlar (Han, Soylu ve Anchan, 2019).

Eğitimsel sinirbilimin bir diğer amacı sinirbilim, özellikle bilişsel sinirbilim, araştırma metotlarının eğitim araştırmalarında kullanımıdır. Bilişsel sinirbilim (bölümün geri kalanında yalnızca "sinirbilim" olarak adlandırılacak) alanında birçok farklı beyin görüntüleme ve elektrofizyoloji metotları kullanılmaktadır. Bu metotların bazıları beyin hücrelerinin faaliyetleri sırasında meydana gelen fizyolojik süreçler hakkında, diğerleri beynin yapısal özellikleri hakkında bilgi verir.

Bunların dışında *sistem ve hücresel sinirbilim, moleküler biyoloji ve genetik* metotları hücre düzeyindeki fizyolojik faaliyetler ve kalıtımsallık gibi konuların çalışılmasına olanak sağlar. Sinirbilimin farklı alt alanları arasında, şu ana kadar, en çok bilişsel sinirbilimin eğitimle ilgisine yoğunlaşılmıştır.

Eğitimciler ve eğitim araştırmacıları her ne kadar eğitimsel sinirbilim konusuna ve genel olarak sinirbilime karşı bir ilgi duysalar da, kullanılan metotların (manyetik rezonans beyin görüntüleme, elektroensefalograf vs.) karmaşıklığı ve bulguların yorumlanması için gerekli teknik ve alana özgü bilgi eksikliği, eğitimciler için sinirbilim çalışmalarında ortaya konan bulguları anlamayı güçleştirir. Bu zorluklar, sinirbilim bulgularının eğitim ve öğrenme konuları için yorumlanmasında da yanlış anlaşılmalara neden olur. Bu yanlış yorumlamalara genel olarak nöromit adı verilir (Thomas vd., 2019). Beyinde sol lobun rasyonel düşünceyi, sağ lobunsa yaratıcı ve sanatsal düşünceyi desteklediği ya da insanların beyin kapasitelerinin yalnızca sınırlı bir yüzdesini kullandıkları gibi düşünceler nöromitler için yaygın örnekler arasındadır. Nöromitlerin ötesinde, sinirbilim metotlarının sınırlarının ve zayıflıklarının iyi anlaşılamaması sinirbilim bulgularının hangisinin daha güvenilir olduğu konusunda eleştirel bir bakış açısını geliştirmeyi de zorlaştırır. Sinirbilim çalışmaları son 30 yılda bize beyin ve vücuttaki biliş, öğrenme, duygu ve karar verme üzerine birçok yeni bulgu ve teori kazandırmış olsa da, sinirbilimin farklı alanlarında cevaplanmamış sayısız soru bulunmakta ve sinirbilim metotları hızla değişmektedir. Sinirbilim diğer bütün görece genç yeni araştırma alanları gibi, hızla değişmektedir. Dolayısıyla sinirbilim çalışmalarının eğitim teorileri ve uygulamaları için yorumlanması sırasında eleştirel bir bakış açısına ihtiyaç vardır. Bu kitap bölümünün amaçlarından biri bahsedilen eleştirel bakış açısının gelişmesi için kullanılan metotların temelleri, güçlü ve zayıf tarafları, hangi araştırma soruları için hangi metotun kullanılması gerektiği gibi temel düzeyde bilgileri derlemek ve sinirbilim alanında çalışmayan araştırmacılara ve eğitimcilere sunmaktır. İkinci bir amaç ise sinirbilim metodlarının ve genel olarak biyolojik düzeyde yapılan çalışmaların, eğitim bilimlerinde halihazırda kullanılan metotlar ve teorilerle nasıl sinerjik bir biçimde etkileşebileceği ile ilgili bazı temel tezleri özetlemektir.

2. Beyin Görüntüleme Yöntemleri

Beyin görüntüleme yöntemleri temel olarak yapısal ve işlevsel (fonksiyonel) olarak ikiye ayrılır. Yapısal yöntemler beyindeki, hücre gruplarından oluşan gri madde ve hücreler arasındaki bağlardan oluşan beyaz madde gibi, yapıların ve bu yapıların bilişsel ve duygusal işlevlerle ilişkisinin incelenmesini sağlar. İşlevsel

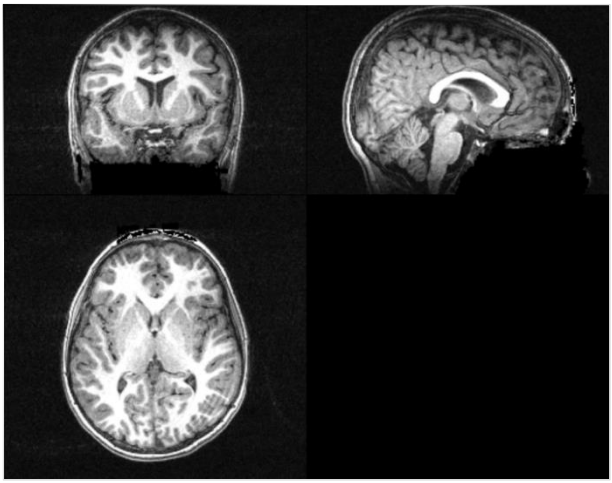
yöntemler ise beynin belli görevler sırasındaki işlevinin, yani beyin hücrelerinin çalışmasıyla meydana gelen fizyolojik değişikliklerin (ör. yerel damarlardaki oksijenlenme, postsinaptik potansiyellerin neden olduğu elektriksel değişiklikler) ve dolaylı olarak beyinde hangi hücre gruplarının belirli bilişsel süreçleri desteklediğinin, çalışılmasına olanak tanır. Her bir beyin görüntüleme yöntemi farklı deney tasarımları gerektirir. Toplanan verilerin analizi ise yine her yönteme özgü sinyal işleme metotları kullanılarak yapılır. Beyin görüntüleme verilerinin analizi için birçok açık kaynak kodlu ve ücretsiz yazılım mevcuttur (ör. SPM12; https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/, AFNI; https://afni.nimh.nih.gov/, FSL; https://www.fmrib.ox.ac.uk/fsl, EEGLAB; https://sccn.ucsd.edu/eeglab/; ERPLAB; https://erpinfo.org/erplab).

Eğitimsel ve bilişsel sinirbilim çalışmalarında en yaygın olarak kullanılan beyin görüntüleme metotları; beyinde kanın oksijenlenmesi (BOLD sinyali) üzerinden, hangi beyin bölgeleri ve ağlarının belli bilişsel işlevlerde kullanıldığının çalışılmasını sağlayan fMRI (Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme), beyindeki hücre toplulukları (gri madde) ve hücreler arasındaki bağlantı (beyaz madde) dokuları gibi yapısal özellikler ve bunların bilişsel yetilerle ilişkisinin çalışılmasında kullanılan yapısal MR ve kafatasındaki elektriksel değişimler üzerinden beyinsel işlevlerin çalışılmasını sağlayan elektroensefalografidir (EEG). Bunların dışında, özellikle çocuklarla yapılan çalışmalarda, kızılötesi ışınlar yardımıyla kortekste kanın oksijenlenmesini gösteren ve bilişsel işlevlerin çalışılmasına izin veren işlevsel kızılötesine yakın spektroskopi (functional near-infrared spectroscopy; fNIRS) yöntemi kullanılır.

2.1. Yapısal MR Yöntemleri

2.1.1. Voksel Bazlı Morfometri (Voxel-Based Morphometry; VBM)

VBM yapısal MR veri analiz metotlarından en yaygın olarak kullanılanıdır. Bu yöntemde beynin MR cihazı ile çekilmiş anatomik resmi (Şekil 1), segmentasyon ismi verilen bir teknik kullanılarak, beyaz madde, gri madde ve beyin-omurilik sıvısı olmak üzere üç kısma ayrılır (Ashburner ve Friston, 2009). Bu işlem sırasında beynin üç boyutlu anatomik görüntüsü, voksel adı verilen üç boyutlu küplere ayrılır ve her küp daha önce bahsedilen üç yapısal kategoriden biriyle etiketlenir. Gri madde çoğunlukla beyin hücre çekirdeklerinden oluşan dokulardır. Beyaz madde ise beyin hücrelerini birbirlerine bağlayan sinir demetlerinden oluşur. Sinir liflerini (aksonları) saran ve elektiriksel iletimi kolaylaştıran miyelin kılıf bu dokulara beyaz rengini verir.



Şekil 1. Örnek yapısal MR görüntüsü

Segmentasyondan sonra her bir deneğin yapısal görüntüsü eğilerek standart bir beyin şablonuna uydurulur. Farklı deneklerden toplanmış ve aynı şablona uydurulmuş beyin görüntüleri birbirleriyle karşılaştırılabilir ve yapısal görüntü verilerinin, örneğin, davranışsal ölçütlerle ilişkisine bakılabilir ya da iki denek grubu arasında, beyaz ve gri madde dokularının beynin değişik bölgelerindeki kalınlığı, alanı ya da hacmi üzerine karşılaştırmalar yapılabilir. Örneğin, Soylu ve diğerleri (2019) VBM metodunu kullanarak çocuklarda parmak hissi ile ilişkili gri madde bölgeleri ve bu bağıntıda cinsiyet farklılıkları ile ilgili bulgular ortaya koymuştur. Suárez-Pellicioni ve diğerleri (2021) ise VBM metodunu kullanarak beyinde gri madde hacminin matematiksel gelişim ile ilgisini incelemişlerdir.

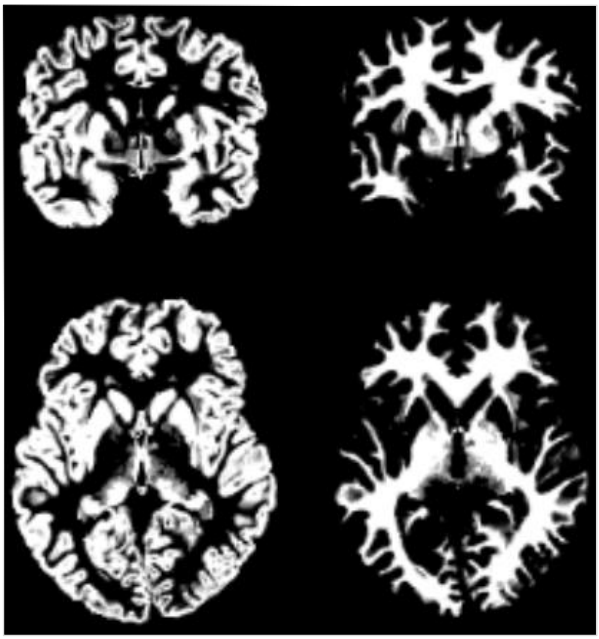
Beynin yapısal özellikleri gelişimsel olarak da çalışılır. Çocukların gelişimi sırasında beynin birçok bölgesinde bir sinaptik budama süreci gerçekleşir (Paus, 2005). Bu süreçte beynin yapısal özellikleri, beynin işlevlerini daha iyi desteklemek üzere yeniden organize olur. Genel olarak çocuklukta gri/beyaz madde oranı yüksekken (görece olarak daha çok gri ve daha az beyaz madde), gelişimsel süreç neticesinde yetişkinlerde gri/beyaz madde oranı daha düşüktür (görece olarak daha az gri ve daha çok beyaz madde). Bunun sebeplerinden biri sinaptik budama sürecinde gri maddenin azalması, ancak aynı zamanda nöronlar arasındaki bağlantıların ve bu bağlantıları teşkil eden beyaz maddenin artmasıdır.

Yapısal MR ile bilişsel yetilerle beyaz ve gri madde hacminin dışında, kortikal kalınlık ve kortikal alan gibi ölçütlerin de ilişkileri çalışılır. Kortikal hacim geometrik olarak kalınlık ve alanın bir fonksiyonudur. Ancak kalınlık ve alan ölçütleri birbirlerinden büyük ölçüde bağımsızdır ve genetik temelleri farklıdır (Winkler vd.,

2010). Son iki milyon yılda gerçekleşmiş ve büyük insansı primatlarla (örneğin australopithecus, homo habilis ve homo erectus) başlayıp beynin üç kat büyümesi ve insanın ortaya çıkışıyla sonuçlanmış evrimsel süreçte, beyninin yapısal özelliklerinde gözlemlenen değişikliklerden biri kortikal alandaki artıştır (Schoenemann, 2006). Bilişsel sinirbilim çalışmalarında kortikal alan, kalınlık ve hacim ölçütlerinden daha çok, bilişsel yetilerle bağlantı gösterir. Ancak, kortikal alan beynin sadece dış yüzeyi ve sadece gri madde ile ilgili bilgi verdiği için, beynin tamamını kapsayan ve hem gri hem de beyaz madde dokuları ile ilgili bilgi veren, hacim ölçüsü yapılan çalışmalarda daha yaygın kullanılır.

2.1.2. **Yüzey Bazlı Morfometri** (Surface-Based Morphometry; SBM)

SBM tekniği, VBM tekniğine benzer biçimde, beynin yapısal görüntülerini segmentasyon tekniklerini kullanarak beyaz madde, gri madde ve beyin-omurilik sıvısı olmak üzere üçe ayırır (Şekil 2). Ancak, VBM'den farklı olarak, SBM'de segmente olmuş veri kullanılarak beyaz madde ve gri madde arasındaki sınır bölgeleri beyaz madde yüzeyi olarak ve gri madde beyin-omurilik sıvısı sınır bölgeleri ise pial yüzeyi olarak birbirlerinden ayrılır (Clarkson vd., 2011). Hesaplanan yüzeyler üçgen örgülerden oluşur. VBM tekniğinde beyin dokuları üç farklı yapısal kategoriye ayrılmış vokseller üzerinden analiz edilirken, SBM tekniğinde analiz vokseller üzerinden değil, değişik doku tiplerini birbirinden ayıran yüzeyler üzerinden yapılır. Hem SBM hem de VBM, gri ve beyaz madde hacmi ve kortikal kalınlık gibi ölçütlerin çalışılmasına izin verir. Araştırma sorularına göre SBM ya da VBM tercih edilebilir. VBM ve SBM tekniklerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, SBM'in anatomik yapıları VBM'den daha doğru bir şekilde izole edebildiği ve beyinde meydana gelen uzun süreli değişimleri daha iyi saptadığı bulunmuştur (Clarkson vd., 2011).



Şekil 2. Segmente edilmiş yapısal MR görüntü: Gri madde (solda) ve beyaz madde (sağda)

2.1.3. Difüzyon Tensör Görüntüleme (Diffusion Tensor Imaging; DTI)

VBM tekniği ile beyaz maddenin (sinir demetlerinin) hacim ve yoğunluğu çalışılabilse de, bu sinir demetlerinin beynin hangi bölgelerini birbirlerine bağladığı çalışılamaz. Beyindeki sinir demetlerinin hangi bölgeleri birbirine bağladıkları ve bu bağlantıların gücü DTI yöntemiyle çalışılır (Le Bihan vd., 2001). Örneğin, yedi ila dokuz yaşları arasındaki diskalkulik (matematik öğrenme güçlüğü çeken) ve tipik gelişim gösteren çocukların karşılaştırıldığı bir DTI çalışması, iki grup arasında beynin frontal (ön) ve parietal bölgelerini birbirine bağlayan sinir demetlerinde farklar göstermiştir (Rykhlevskaia vd., 2009). Beynin yapısal bağlantılarıyla ilgili bulgular sunan bu tarz çalışmalar, beyinde farklı gruplar (ör. tipik ve otizm) arasındaki işlevsel (yani beynin hangi bölgelerinin belli görevler için kullanıldığı ile ilgili) farklılıkların yorumlanması için de yardımcıdır.

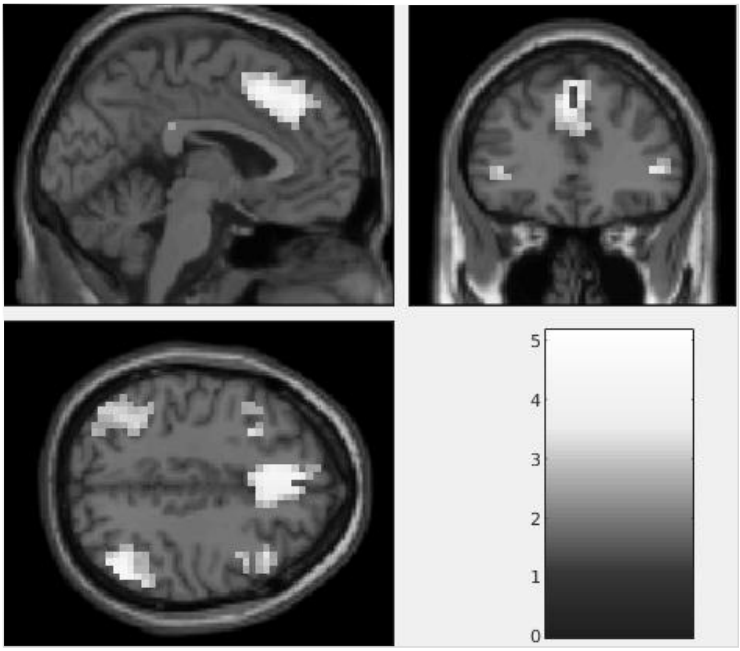
2.2. İşlevsel (Fonksiyonel) Beyin Görüntüleme Yöntemleri

2.2.1. Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (Functional Magnetic Resonance Imaging; fMRI)

İşlevsel (fonksiyonel) MR çalışmaları bilişsel süreçler (ör. matematik, hafıza) sırasında meydana gelen fizyolojik değişimlere yoğunlaşır. Bu fizyolojik değişimler, bilişsel süreçler sırasında beyinde hangi bölgelerin ve ağların kullanıldığına dair bilgi verir. Bu yöntemlerden en yaygını fMRI'dır. fMRI yönteminde beyinde kan oksijen seviyesine bağlı olarak manyetik alanda meydana gelen değişimler izlenir ve buradan hangi bölgelerin kullanıldığı üzerine çıkarımlarda bulunulur (Logothetis, 2008). Beyin hücrelerinin faaliyetleri sırasında oksijene ihtiyaç duyulduğu için, hücrelere yakın kılcal damarlarda oksijen yoğunluğu azalır. Bu azalmadan birkaç saniye sonra bu bölgeye oksijenli kan hücum eder ve yaklaşık altı saniye sonra bu bölgedeki kanda oksijen yoğunluğu en yüksek noktasına ulaşır. Daha sonra da oksijen seviyesi normal seviyesine ulaşır. Sinir hücrelerinin faaliyeti sonucunda yerel olarak kanda meydana gelen oksijen bazlı bu değişikliklere *hemodinamik yanıt* adı verilir. Oksijenli ve oksijensiz hemoglobin moleküllerinin manyetik özelliklerinin farklı olması, kandaki oksijen değişikliklerinin belli bir uzamsal ve zamansal çözünürlükle fMRI tekniği ile ölçülebilmesine izin verir. fMRI elektrofizyolojik metotlara nazaran daha yüksek uzamsal çözünürlüğe ve daha düşük zamansal çözünürlüğe sahiptir.

fMRI veri analizi bize hemodinamik yanıt kullanılarak belli bilişsel işlemler sırasında beynin hangi bölgelerinin etkinleştiğini gösterir. Her bir birey farklı beyin yapısına sahip olduğu için, farklı deneklerden toplanan beyin görüntüleri önce ortak

bir beyin şablonuna uydurulur. Bir grup deneğin belli bir bilişsel işlemi yaparkenki ortalama beyin faaliyetleri (aktivasyon) bu şablon beyin resmi üzerinde gösterilir. Bu resimde, istatistiksel olarak önemli aktivasyonlar faaliyetin yoğunluğuna göre sarı-kırmızı ton aralığında gösterilir (Şekil 3). Standart bir beyin şablonunun kullanılması, farklı beyin görüntüleme çalışmalarından elde edilen bulguların karşılaştırılmasına imkan verir (Penny vd., 2011).



Şekil 3. Örnek fonksiyonel MR görüntüsü

fMRI verisinin toplanması sırasında denekler MR makinesinin içinde yatay olarak uzanırlar. Deneklerden, verilerde gürültü oluşmaması için, uzanmaları ve görevlere cevap vermek için yapılan el hareketleri hariç (ör. sağ ya da sol tuşa basma), hareket etmemeleri istenir. MR makinesi güçlü bir mıknatıs içerdiği için, deneyin yapıldığı ortama demir gibi magnetik maddeler içeren objelerin girmesine bir güvenlik önlemi olarak izin verilmez. MR makinesinin bulunduğu ortam oldukça gürültülü olduğu için deneklerden genellikle kulak tıkacı takmaları istenir. Deneysel görsel uyarıcılar bir projektör vasıtasıyla MR makinesinin içinde, deneklerin rahatça görebileceği şekilde, bir aynaya yansıtılır. Genel olarak MR makinesinin içindeki ortam oldukça yapaydır ve özgün ortamlardaki sosyal ve fiziksel etkileşimlerin MR makinesinin içinde yer alması güçtür. Dolayısıyla bebek ve çocuklarla yapılan MR çalışmaları bazı zorluklar içerir.

2.2.2. **İşlevsel Yakın Kızılötesi Spektroskopi** (Functional Near-Infrared Spectroscopy; fNIRS)

fNIRS, fMRI gibi hemodinamik yanıtı kullanarak beynin işlevsel faliyetlerinin çalışılması için kullanılan bir yöntemdir. fMRI'dan farklı olarak hemoglobindeki oksijenlenmenin manyetik etkileri üzerinden değil, oksijenlenmeyle beraber kanın yakın kızılötesi ışığı yansıtmasındaki farklılıkları ölçer. Kafatasındaki deri, doku ve kemikler kızılötesi ışığa karşı çoğunlukla saydamdır. Deneklerin başlarına geçirdikleri bir başlık üzerinde bulunan ışık yayıcı modüllerden gelen kızılötesi ışık kandan yansıyarak dedektör modüllere ulaşır. Dedektörlere ulaşan ışığın dalga boyundan kandaki oksijenlenme ve kan hacmindeki değişiklikler ölçülür (Almajidy vd., 2020).

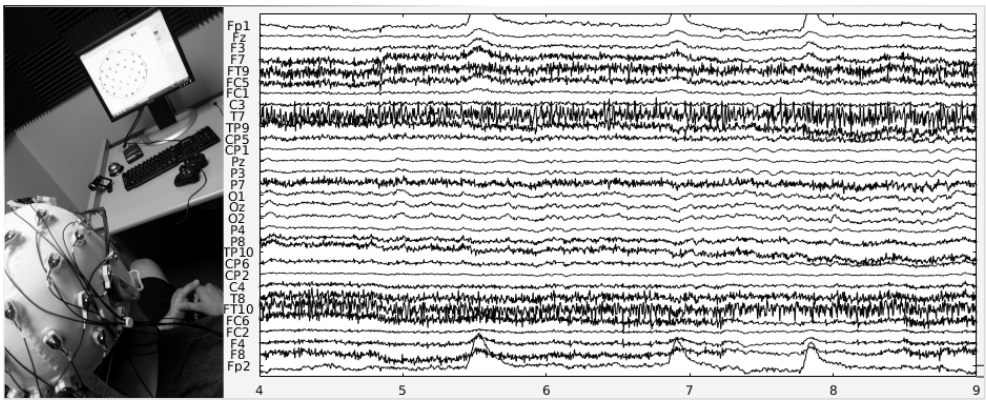
fMRI'a kıyasla, fNIRS'da deneklerin vücut hareketleri verilerde daha az gürültüye neden olur. Dolayısıyla fNIRS'ın bebekler, çocuklar ve klinik deneklerle kullanımı fMRI'dan çok daha kolaydır. Üstelik denekler bir ekran karşısında oturarak ya da bir başka denek ya da araştırmacıyla sosyal olarak etkileşerek deneylere katılabilirler. Bu özellikleri fNIRS'ın özgün testler ve görevler içeren eğitimsel çalışmalarda kullanımını kolaylaştırır. Ancak, fNIRS yalnızca kortikal bölgelerdeki işlevin ölçülmesine izin verdiği için kullanımı fMRI'a göre kısıtlıdır.

2.2.3. **Elektroensefalogram** (EEG) **ve Olayla İlişkili Potansiyeller** (Event Related Potentials; ERP)

Bir beyin hücresinin (nöronun) bağlantılı olduğu diğer beyin hücrelerinden, nörotransmiterler vasıtasıyla, aldığı girdiler uyarıcı (depolorizasyona neden olan) ya da engelleyici (hiperpolarizasyona neden olan) etkilere neden olabilir. Burada depolarizasyon ve hiperpolarizasyon hücre içi ve dışı arasındaki iyonik potansiyel farkı karakterize eder. Eğer diğer hücrelerden gelen nörotransmiterlerin neden olduğu iyonik değişimler toplamı hücre içinde belli bir polarizasyon eşiğini aşarsa hücrede aksiyon potansiyeli oluşur, yani hücre ateşlenmiş olur (bağlı olduğu diğer hücrelere sinyal gönderir). Bir hücrenin içinde aksiyon potansiyelinin oluşmasından önce diğer hücrelerden aldığı girdiler neticesinde meydana gelen potansiyel farkına (hücre içi ve dışı fark) ise postsinaptik potansiyel fark adı verilir.

EEG ve ERP teknikleri, beynin işlevsel özelliklerinin çalışılması için, birçok beyin hücresinin senkronize çalışması sırasında ortaya çıkan postsinaptik potansiyellerin toplamıyla meydana gelen elektriksel değişimleri inceler. Bu elektriksel değişimler kafatasının üzerine yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla ölçülür. Toplanan veriler zaman serileri (zaman üzerine yayılmış veri noktaları) üzerinde her bir

elektrot için, belirli bir referans elektrota kıyasla, ölçülen voltaj değerlerini gösterir (Şekil 4). Kas hareketleri neticesinde ortaya çıkan gürültünün azaltılması ve sinyal-gürültü oranının mümkün olduğunca yüksek tutulması için EEG ve ERP deneyleri sırasında deneklerden mümkün mertebe hareket etmemeleri istenir.



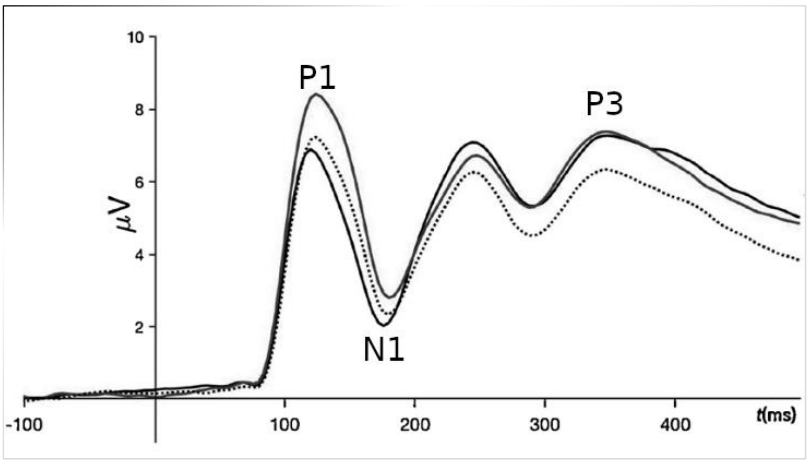
Şekil 4. Örnek EEG deney düzeneği ve EEG verisi

Beyindeki nöron grupları belirli işlevleri yerine getirirken belli frekanslarda titreşim salınımları gösterirler. EEG verileri üzerinde uygulanan sinyal işleme teknikleri (ör. Fourier dönüşümü) bu titreşim salınımlarının frekanslarını ve büyüklüklerini gösterir (Cohen, 2014). Dolayısıyla EEG verilerinin işlenmesiyle denekler belli görevleri yerine getirirken ya da iki görev birbiriyle karşılaştırıldığında beyinde hangi frekanslardaki osilasyonların büyüklüğünün artıp azaldığı saptanabilir. Bu, beynin bilişsel işleviyle ilgili sorulara yanıtlar bulmada kullanılır. Örneğin, bilişsel işlemler yapıldığında alpha frekans aralığında (8-12 Hz) azalma görülür ve bu genel bilişsel çabanın bir ölçütü olarak kabul edilir (Kayser ve Tenke, 2006). EEG klinik (ör. Epilepsi) çalışmalarda da yaygın olarak kullanılır.

Manyetoensefalografi (MEG), EEG gibi nöron gruplarının postsinaptik potansiyellerinin eklenmesiyle meydana gelen elektriksel değişimleri ölçer. Ancak, MEG, EEG'den farklı olarak, kafatasına yerleştirilen elektrotlar vasıtasıyla elektriksel potansiyel farklılıklarını değil, manyetik sensörler kullanarak potansiyel farklılıklar neticesinde kafatasının etrafındaki manyetik alanda meydana gelen değişiklikleri ölçer. EEG'ye kıyasla, MEG korteks altı yapıların işlevlerinin çalışılması için daha uygundur. Ancak, MEG cihazı EEG'ye kıyasla daha masraflıdır ve bilişsel ve eğitimsel sinirbilim çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaz.

ERP beynin belli uyaranlara tepkisini ölçmek için kullanılan bir metottur. ERP analizi için EEG verisiyle ilişkili zaman serisi üzerinde her bir uyaran (ör. sesler ve

ekrana yansıtılmış sözcükler ya da sayılar) işaretlenir. Daha sonra EEG verisi, her bir uyaranın sunulmasından önceki ve sonraki belli bir süreyi (ör. bilişsel işlem başlamadan önceki 200 ms kadar bir süre ve uyarandan sonraki 1000 ms kadar bir süre) içerecek şekilde, parçalara ayrılır. Her bir parçaya *epok* adı verilir. Belli bir bilişsel görevle ilgili (ör. tek hâneli sayılarla toplama) epoklardaki voltaj değerlerinin ortalaması alınır ve o bilişsel görevi temsil eden ortalama bir ERP hesaplanır (Luck, 2014). Bu işlem her bir denekte tekrarlanır. Grupları temsil eden ERP'lerin hesaplanması da yine her bir denekten elde edilen ERP'lerin ortalamalarının alınmasıyla olur (Şekil 5). Deneyde her bir görev için oturum (ör. kaç tane tek hâneli toplama sorusunun sorulduğu) ve denek sayısı arttıkça sinyal-gürültü oranı artar. Sinyal-gürültü oranındaki artış veri kalitesini yükseltir, deneysel farklılıkların bulunmasını kolaylaştırır ve hatalı sonuçların bulunması olasılığını azaltır. Analizin neticesinde çıkan ERP, X ekseni zamanı (milisaniye olarak) ve Y ekseni potansiyel farkını (mikrovolt olarak) temsil eden bir grafik üzerinde gösterilir. ERP dalgasının üzerindeki pozitif ve negatif tepelere; zamanlamasına ya da sıfır noktasına kıyasla, sırasına göre N1, P1, P300 ya da N400 gibi isimler verilir (ör. N1 birinci negatif tepeyi, N400 ise 400 ms civarı maksimize olan negatif tepeyi gösterir). Görev bağlamına göre belli bir algısal/duyusal ya da bilişsel işlemi temsil eden tepelere ERP bileşeni ("ERP component") adı verilir (ayrıntılı bilgi için Luck, 2014). ERP bilişsel ve eğitimsel sinirbilim çalışmalarında yaygın olarak kullanılır. Örneğin, N400 bileşeni beyinde öngörülmeyen bir uyarıcının işlenmesi sırasında gözlemlenir. Okuma ve matematik gibi yetiler üzerine çalışmalarda N400 bileşeni beyinde anlamsal (semantik) işleme ile ilgili soruları cevaplandırmak için kullanılır (Kutas ve Federmeier, 2011).



Şekil 5. Örnek ERP dalgası

3. Eğitimsel Sinirbilimde Çoklu Analiz Düzeyleri

Eğitimsel sinirbilim iki farklı alanın, sinirbilim ve eğitimin, etkileşime girdiği disiplinler arası bir düzlem görevi görmektedir. Alanı karakterize eden ana tema, eğitim araştırmaları ve uygulamaları için sinirbilim bulgularının yorumlanması ve nöromitlerin olumsuz etkilerini azaltmak için eğitimciler arasında sinirbilim okuryazarlığının arttırılmasıdır. Ancak, gelişen disiplinler arası bir alan olarak, eğitimsel sinirbilim temel araştırma sorularını, metodolojilerini ve teorik yaklaşımlarını tanımlama sürecindedir. Eğitimsel sinirbilimin karşılaştığı güçlüklerden biri; eğitim, bilişsel bilimler, öğrenme bilimleri, psikoloji, sinirbilim ve diğer ilgili alanlardaki araştırma metodolojilerini ve paradigmaları eğitimsel sinirbilimin amaçlarına yönelik, tutarlı bir şekilde harmanlamaktır. Bu, farklı açıklama düzeylerinde (davranışsal, bilişsel, biyolojik vs.) işleyen ve farklı teorik yönelimlerden gelen araştırma metodolojilerini birbiriyle ilişkilendirmeyi gerektirir.

Han, Soylu ve Anchan (2019) eğitimsel sinirbilim ile ilgili alanlardan gelen araştırma metodolojilerini ve açıklama düzeylerini bir araya getirmenin, eğitimsel sinirbilim için önemli bir aşama olduğunu iddia etmişlerdir. Ortaya koydukları modele göre eğitimsel sinirbilim; sosyo-kültürel, kişisel, bilişsel ve davranışsal, sinirsel ve fizyolojik, genetik ve evrimsel açıklama düzeylerinin tümünü kapsar. Burada açıklama düzeyi ile kastedilen o düzeye ilişkin araştırma metotları, teorik yaklaşımlar ve paradigmaların tümüdür. Eğitim alanlarındaki araştırmacılar ve uygulayıcılar sosyo-kültürel, kişisel, bilişsel ve davranışsal düzeylerdeki teoriler ve metotlara aşina iken, sinirsel, fizyolojik, genetik ve evrimsel teoriler ve metotlara genel olarak aşina değillerdir. Eğitimsel sinirbilimin getirdiği yeniliklerden biri, bu düzeylerdeki metotların ve teorilerin eğitim ve öğrenmeyle ilgili soruların cevaplanması için uygulanmasıdır. Bu kısımda, bahsi geçen açıklama düzeyleri özetlendikten sonra, eğitimde pek yaygın kullanılmayan, ancak bahsi geçen açıklama düzeylerini kapsayan, bazı araştırma yöntem ve yaklaşımlarından bahsedilecektir.

3.1. Sosyo-Kültürel Düzey

Sosyokültürel düzeyde öğrenme, sosyo-kültürel bağlamda yer alan bir faaliyet olarak tanımlanır (Brown vd., 1989). Bu düzeyde sorulan araştırma soruları, sosyo-kültürel bağlamın öğrenme süreciyle nasıl etkileşime girdiğiyle ilgilidir. Bu düzeyde çeşitli nitel ve tasarım tabanlı araştırma yöntemleri kullanılmaktadır.

3.2. Kişisel (Birinci Şahıs) Düzey

Bu düzeydeki araştırmalar, öğrencilerin kendileri tarafından bildirilen, doğrudan kişisel deneyimleriyle ilgilidir. Bu düzeydeki teoriler, felsefedeki fenomenolojik gelenekle yakından ilgilidir (ör. Merleau-Ponty, 1962). Eğitim araştırmalarında öğrencilerin kişisel deneyimleri sıklıkla çalışılsa da bilişsel psikoloji ve sinirbilim alanlarında deneklerin kişisel algı ve tecrübeleri genellikle göz ardı edilir. Röportajlar, sesli düşünme etkinlikleri, günlükler, kişisel deneyimleri çalışmak için yaygın olarak kullanılan yöntemlerden bazılarıdır. Sinirbilimde bu düzeydeki veriler genellikle kullanılmaz. Ancak, kişisel deneyimlerle ilgili toplanan verilerin, beyin ve sinir sistemi üzerine yapılan çalışmalara nasıl rehberlik edebileceğini araştıran bazı yaklaşımlar vardır (ör. Nörofenomenoloji; Thompson vd., 2005; Varela, 1996).

3.3. Bilişsel ve Davranışsal Düzeyler

Bilişsel ve davranışsal düzeyler yakinen ilişkilidirler; zira bilişsel modeller, davranışsal veriler üzerine kurulurlar. Davranış düzeyinde bilişsel süreçler, gözlemlenebilir davranışsal göstergelere (örneğin, tepki süresi, doğruluk) dayalı olarak incelenir. Bilişsel modeller ise, davranışsal veriler kullanılarak, bilişsel süreçleri etkilediği varsayılan değişkenler arasındaki matematiksel ilişkileri ortaya koyar. Bir bilişsel modelin geçerliliği insan davranışını doğru olarak öngörme kapasitesine göre değerlendirilir. Davranışsal veriler ayrıca bilişsel sinirbilim çalışmalarında nörogörüntüleme verilerinin analizine rehberlik eder. Bilişsel düzey, zihinsel süreçlerin (örneğin, hafıza, dikkat, algılama) çalışılmasını ve bu süreçlerle ilgili matematiksel modeller geliştirilmesini kapsar. 1950'lerden sonra ortaya çıkan geleneksel bilişsel bilim modellerinde (ör. Shiffrin ve Schneider, 1977), insan bilişinin, bilgisayar gibi, bir çeşit bilgi işleme mekanizması olduğu varsayımıyla biliş, girdiler (algı) ve çıktılar (eylem) arasındaki süreçler olarak tanımlanır. Ancak algı ve bilişe ekolojik ve bedenlenmiş yaklaşımlar, geleneksel bilişselci modeli reddetmiş ve bilişi, sinir sistemi, vücut ve çevrenin karmaşık etkileşimleri neticesinde ortaya çıkan bir tema olarak karakterize etmişlerdir (Soylu, 2016; Yalvac vd., 2011). Geleneksel bilişselci bakış, biliş ve biyolojik sistemler arasındaki ilişkiye yoğunlaşmamıştır. Tarihsel olarak bilişsel sinirbilimin ortaya çıkmasıyla birlikte, bilişsel bilimdeki mevcut modeller, bilişin sinirsel temelleri üzerine araştırmalarda kullanıldı. Ancak bilişsel modeller biyolojik mekanizmaları göz önüne alarak geliştirilmedikleri için, beyin mekanizmalarını anlamakta yetersiz kaldılar. Bilişsel sinirbilimde güncel çabalar, biyolojik mekanizmalarla uyumlu bilişsel modeller geliştirmeye yoğunlaşmıştır (Anderson, 2014; Poldrack, 2010; Price ve Friston, 2005).

3.4. Sinirsel ve Fizyolojik Düzeyler

Eğitimsel sinirbilim hakkındaki tartışmalarda en çok vurgulanan düzey sinirsel düzeydir. 1990'lardan beri beyin görüntüleme teknolojilerindeki hızlı gelişmelerle, sinirsel düzeydeki araştırmalar psikoloji ve beyin bilimlerine öncülük etmektedir (Dolan, 2008). Çok çeşitli metotlar mevcuttur. Bunların başlıcaları, Fonksiyonel Manyetik Rezonans Görüntüleme (fMRI), Elektroensefalografi (EEG), Olayla İlişkili Potansiyeller (ERP), Manyetoensefalografi (MEG) ve işlevsel yakın kızılötesi spektroskopidir (fNIRS). Önceki başlıklarda bu metotlar hakkında daha ayrıntılı bilgi verilmişti.

Her ne kadar sinirbilim araştırma metotları daha önce cevaplanmamış birçok soruya cevaplar bulmamıza yardımcı olsa da, bu metotların zayıf yönleri de vardır. İnsan davranışları ve bu davranışların biyolojik temellerinin laboratuvar ortamlarında çalışılması, yapılan çalışmaların ekolojik geçerliliğin az olmasına neden olmaktadır. Ekolojik geçerlilik (*ecological validity)* çalışma sonuçlarının insanların özgün ortamlardaki (örneğin sınıfta) davranışlarını ne kadar açıkladığının bir ölçütüdür. Laboratuvar ortamları, özgün ortamlardaki sosyal ve fiziksel etkileşimlerden yoksundur. Üstelik deneysel çalışmaların tasarımları, deneklerin yaptıkları bilişsel işlemlerin özgün ortamlarda yaptıklarından farklı olmalarını gerektirir. Mesela, deneysel bir çalışma sırasında bir deneğin ekrana yansıtılmış bir soruya cevap vermesi için gerekli bilişsel ve sinirsel süreçler, bir öğrencinin sınıfta öğretmenin sorduğu bir aritmetik sorusuna cevap vermesi için gerekli bilişsel ve sinirsel süreçlerden farklıdır.

Ekolojik geçerliliğin azlığı, çoğu beyin görüntüleme ve elektrofizyolojik çalışma için bir zayıflıktır. Çünkü, metotsal kısıtlamalar nedeniyle, bilişsel sinirbilim çalışmaları çoğu zaman özgün görevleri kullanamaz veya özgün bağlamlarda (koşullarda) yer alamaz. Örneğin, fMRI paradigmalarındaki görev tasarımları, her bir alt süreç için ilişkili BOLD (kan-oksijen düzeyine bağlı) sinyalini yakalayacak ve modelleyecek şekilde yapılandırılmalıdır. Mesela, cümle anlama üzerine bir fMRI çalışmasında kelimelerin herbiri, tek bir sözcüğün işlenmesiyle ilgili süreçlerin çalışılabilmesi için, ayrı ayrı sunulabilir, ancak bu süreç insanların özgün ortamlardaki okuma alışkanlıklarından farklıdır. Ayrıca, bir fMRI tarayıcısının içindeki bağlam, sınıflar gibi, özgün bağlamlardan sosyal ve fiziksel etkileşimler açısından oldukça yoksundur. Deneysel görevlerin ve bağlamların doğal olmaması, beyin görüntüleme çalışmalarından elde edilen bulguların sınıflar için uygulanabilirliğini şüpheli hâle getirebilir. Bu kaygıları gidermek için, ekolojik olarak geçerli ve doğal ortamları kapsayan sinirbilim çalışmaları yapmaya izin verecek yöntemler üzerine bazı çalışmalar vardır (Kivikangas vd., 2011; Ninaus vd., 2014).

Fizyolojik düzey, merkezi sinir sisteminin doğrudan bir parçası olarak kabul edilmeyen biyolojik süreçleri kapsar. Bunlar, kalp atış hızı, kortizol seviyesi ve elektrodermal yanıt (galvanik cilt yanıtı) gibi ölçütleri içerir. Sinirbilim çalışmalarında bunlar, katılımcıların zihinsel ve duygusal durumlarının dolaylı ölçütleri olarak kullanılabilirler. Bazı örnekler, kortizol seviyesinin stres, kalp atış hızı ve elektrodermal yanıtın ise uyarılma seviyesini ölçmek için kullanılmasıdır.

3.5. Genetik Düzey

Genetik çalışmaları; bilişsel yeteneklerin ve performansın, beyinde fonksiyonel ve yapısal göstergelerin ve sinir sistemini düzenleyen fizyolojik süreçlerin, kalıtsallığını ve çevre ile etkileşimlerini (*epigenetik*) inceler. Bu düzeydeki araştırmalar, temel olarak bilişsel ve davranışsal bozuklukları anlamaya, kalıtsal eğilimlerin öğrenmeyi nasıl etkilediğine ve önleyici veya telafi edici müdahalelerin nasıl geliştirilebileceğine odaklanır (Schulte-Körne vd., 2007). Genetik çalışmalarında ikizler ve diğer aile bireyleri arası karşılaştırmalar yaygın olarak kullanılır (Fritz vd., 2019; Tosto vd., 2014). Bu tip karşılaştırma çalışmaları bireyler arası gözlemlenen farklılıkların ne derece genetik, ne derece çevresel olduğuna dair bilgi verir.

3.6. Evrimsel Düzey

İnsan bilişsel yeteneklerinin evrimi üzerine teoriler ve bulgular; bilişsel yetenekler, genotipler ve fenotipler ve çevresel özellikler arasında başka türlü kurulması zor olan bağlantılar kurmaya yardımcı olur (Geary ve Berch, 2016). İnsan bilişsel yeteneklerinin çoğu (örneğin, okuma ve matematik) yakın zamanda meydana gelmiş kültürel evrim nedeniyle mevcut biçimini almış ve bu becerileri destekleyen biyolojik sistemler daha öncesinde diğer işlevleri desteklemek için evrimleşmiştir (Anderson, 2010). Bu nedenle, beyin görüntüleme bulgularını yorumlamak ve bilişsel süreçlerin sinirsel temellerini diğer bilişsel olmayan sistemlerle ilişkilendirmek evrimsel bir yaklaşım gerektirir (Anderson, 2014). Örneğin, parmak temelli etkileşimlerin (parmakla sayma gibi) matematiksel gelişimde önemli bir rol oynadığını ve matematiksel bilişin sinirsel ilişkilerinin parmaklara özgü duyusal ve motor sistemlerle kısmen örtüştüğünü gösteren kanıtlar vardır (Mutlu ve Soylu, 2018; Soylu, Lester vd., 2018). Dolayısıyla, matematiksel yetileri destekleyen sinirsel sistemlerin anlaşılabilmesi için sadece matematiğe özgü olmayan ve evrimsel süreçte başka işlevler için ortaya çıkmış sistemler de göz önüne alınmalıdır (Soylu, 2020). Bu bağlamda, insan olmayan hayvanlarla, özellikle primatlarla, yapılan karşılaştırmalı çalışmalar insan bilişsel becerilerini destekleyen sistemlerin biyolojik evrimi hakkında anahtar bilgiler sağlar (Arbib, 2011).

4. Eğitimsel Sinirbilim İçin Alternatif Modeller

Han, Soylu ve Anchan'ın (2019) eğitimsel sinirbilim modeline benzer olarak Horvath ve Lodge (2016) da öğrenme bilimleri için organizasyon düzeylerini açıklayan bir model ortaya koymuştur. Bu modeldeki düzeyler; hücresel sinirbilim, sistem sinirbilimi, bilişsel ve davranışsal sinirbilim, bilişsel ve davranışsal psikoloji ve eğitim (uygulama) olarak sıralanır. Burada bahsi geçen iki model birbirlerinden yapısal ve içerik olarak farklıdır. Han, Soylu ve Anchan'ın modeli analiz düzeyleri ile ilgiliyken, Horvath ve Lodge'ın modeli organizasyon düzeyleri ile ilgilidir. Geleneksel olarak biyolojideki organizasyon düzeyleri (hücre -> doku -> organ -> sistem vs.) mikrodan makroya gittikçe hem artan karmaşıklık, hem de her düzeye özgü yeni yapı ve süreçlerle karakterize edilir. Bu, Han, Soylu ve Anchan'ın (2019) modeli için geçerli değildir. Bahsi geçen farklı analiz düzeyleri yapısal karmaşıklık ve sınıflandırma hiyerarşilerine göre değil, her bir düzeyde kullanılan araştırma yöntemleri, felsefik varsayımlar ve yaklaşımlar ve cevaplanmaya çalışılan soruların farklılıklarına göre birbirinden ayrılır. Bu düzeyler birbirleriyle oldukça ilişkilidirler ve kesişebilirler. Örneğin, eğitimsel sinirbilim bağlamında, evrimsel düzey diğer tüm düzeylerdeki fenomenlerin açıklanmasında kullanılır.

5. Ekolojik Geçerlilik ve Özgün Ortamlarda Araştırmalar

Daha önce de bahsedildiği üzere metodolojik kısıtlamalardan ötürü laboratuvar çalışmaları gerçekçi ortamlarda yer almadıkları ve doğal görevler kullanmadıkları için, bu çalışmalardan elde eden bulguların, insanların özgün ortamdaki davranışlarını ve bilişsel süreçlerini açıklama gücü, yâni *ekolojik geçerliliği*, sınırlıdır (Chaytor ve Schmitter-Edgecombe, 2003). Ekolojik geçerlilik eğitimsel sinirbilim çalışmaları için özellikle önemlidir, çünkü eğitimsel sinirbilimin temel amacı, sınıflar gibi gerçek yaşam bağlamlarında öğrenci davranış ve bilişsel süreçlerini açıklamak ve öğrenme performansını arttırmaktır. Dolayısıyla, ekolojik geçerliliği hem kullanılan deneysel görevler hem de deney ortamları bağlamlarında ele almak gerekir.

5.1. Deneysel Görevler

Öğrencilerin sınıfta ve diğer ortamlarda meşgul oldukları bilişsel görevler genellikle deneysel araştırmalarda kullanılan görevlerden oldukça farklıdır. Beyin görüntüleme deneylerinde, uyarıcı tasarımı, çalışılan görevle ilişkili farklı süreçleri izole etmek ve modellemek üzere tasarlanır. Örneğin, aritmetik yetisi üzerine fMRI çalışmalarında, her bir soru, sabit sürelerle kısıtlandırılmış, bir soru sunumu (ör. "4 + 3 =") ve doğrulama (ör. "7") kısmı içerir (ör. Soylu, Raymond vd., 2018). Buradaki

amaç, aritmetik hafıza ile ilişkili süreçleri diğer, araştırma soruları ile ilgili olmayan süreçlerden ayırmaktır. Bu tür bir tasarım, aritmetik hafıza ile ilgili hemodinamik tepkinin modellenmesine izin verir, ancak sorunun soruluş ve cevaplanması sırasındaki etkileşimler ve bilişsel süreçler, özgün bağlamlardakinden oldukça farklıdır (ör. MR makinesinin içinde uzanarak ekrana bakma ve cevap vermek için bir düğmeye basmaya karşı sınıfta öğretmenin sorduğu bir soruya cevap verme). Benzer şekilde, okuma yetileri üzerine bir ERP çalışmasında, bir cümlenin her bir kelimesi ayrı ayrı, sabit sürelerle, sunulabilir, böylece ERP'ler her kelime için ayrı ayrı kaydedilebilir. Tüm cümlenin aynı anda sunulduğu daha özgün bir form, her bir kelimeyi okumak için harcanan zamanda daha fazla farklılığa ve verilerde göz hareketleri nedeniyle daha fazla gürültüye (göz kaslarının kullanılması dolayısıyla) yol açacaktır, dolayısıyla kullanılan özgün olmayan form metodolojik kısıtlamalar nedeniyle gereklidir.

Deneysel araştırmalarda veri analizi, birçok denemede toplanan verilerin (hem davranışsal hem de sinirsel) ortalamalarının alınmasını gerektirir. Mesela fMRI çalışmalarında belli bir görevi (ör. tek hâneli sayılarla toplama) karakterize eden hemodinamik tepki o göreve ait birçok soru sırasında kaydedilen hemodinamik tepkinin ortalamasının alınmasıyla hesaplanır. Birden çok görevin çalışıldığı bir çalışmada (tek ve iki hâneli sayıların toplamı) farklı görevlere ait sorular ya kontrollü bir biçimde karışık şekilde, ya da her bir göreve ait sorular ayrı ayrı bloklar halinde sunulur. Özgün görevlerdeyse bu kısıtlamalar (ör. soruların, sırası, dağılımı, süreleri vs.) geçerli değildir. Dolayısıyla, deneysel çalışmalarda kullanılan görevlerin ekolojik geçerliliği görece düşüktür.

5.2. Deneysel Bağlamlar

Özgün bağlamlarda öğrenme, sınıf gibi dinamik, öngörülemeyen ve karmaşık ortamlarda gerçekleşir. Bu karmaşıklığın bir yönü, zengin sosyal etkileşimlerdir (ör. öğrenciler arasında ya da öğretmen ve öğrenci arasında). İkincisi, fiziksel ortamla ilgilidir; laboratuvar ortamında, özgün ortamlarda olağan olan fiziksel etkileşimler (ör. el, kol, kafa ve göz hareketleri, sosyal etkileşim için konuşma, kalem ve silgi gibi fiziksel objelerle etkileşimler), toplanan verilerdeki gürültü miktarını azaltmak amacıyla kısıtlanır. Dolayısıyla beyin görüntüleme ve elektrofizyolojik araştırma yöntemlerinin sınıflar gibi özgün ortamlarda kullanımı zordur. Buna rağmen, bu zorlukların üstesinden gelmek ve normalde laboratuvar ortamlarında kullanılan yöntemlerin özgün ortamlarda kullanımı üzerine bazı denemeler mevcuttur. Örneğin, EEG (Poulsen vd., 2017) ve fNIRS (Obersteiner vd., 2010) yöntemlerinin kullanıldığı eğitimsel sinirbilim çalışmaları sınıf bağlamlarında yürütülmüştür.

5.3. Ekolojik Geçerliliği İyileştirmek İçin Araştırma Tasarımları

Eğitim ve sinirbilim arasında bir köprü kurmayı amaçlayan çabalar, şimdilik daha çok sinirbilim metotlarını eğitimle alâkalı soruları cevaplamak için kullanmaya eğilimlidir. Örneğin, disleksi üzerine beyin görüntüleme çalışmaları, disleksinin altında yatan sinirsel mekanizmalar hakkında yeni bulgular sunmuş ve bu bulgular erken fonolojik işleme bozukluklarını gidermeye yönelik tedavi yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır (Gabrieli, 2009). Ancak bu tarz örnekler, eğitimsel sinirbilimin yukarıda bahsedilen analiz düzeylerini sentezleyen disiplinlerarası bir araştırma alanı hâline geldiği anlamına gelmez. Zira, hâla ekolojik geçerliliğin arttırılması ve öğrenmenin sosyo-kültürel ve kişisel yönlerini, eğitimsel sinirbilim araştırmalarına dahil etmek için atılması gereken adımlar vardır. Aşağıda, eğitim ve sinirbilimden teorileri, paradigmaları ve araştırma yöntemlerini sentezleyen, birden çok analiz düzeyini kapsayan ve ekolojik geçerliliği arttırma kapasitesine sahip çeşitli araştırma tasarım yaklaşımları örneklendirilmiştir. Bu metodolojiler, iki alan arasında farklı düzeylerde entegrasyonu temsil eder. Herhangi bir çalışma, aşağıda listelenen metodolojik yaklaşımların birden fazlasını kullanabilir.

5.3.1. Ön Test, Müdahale, Son Test

Bu tasarımın amacı, bir eğitim müdahalesinin etkinliği ile ilgili hipotezleri test etmektir. Bu tasarım biçimi, ön ve son test aşamalarında kullanılan geleneksel davranışsal ve beyin görüntüleme görevleriyle beraber, müdahale aşamasında özgün görevlerin kullanılmasına izin verir. Örneğin Newman ve diğerleri (2020) tarafından yapılmış oyun küpleriyle oynamanın görsel-uzamsal ve aritmetik yetiler üzerine etkileri ile ilgili bir fMRI çalışmasında, ön ve son test aşamalarında MR makinesinin içinde geleneksel deneysel aritmetik görevler kullanılmışken, müdahale aşamasında deneye katılan çocuklar sosyal bir ortamda fiziksel oyun küpleri oynamışlardır. Bu sayede, özgün bir ortamda küplerle oynamanın görsel-uzamsal ve aritmetik yetiler ve sinirsel işlev üzerine etkileri araştırılabilmiştir.

Bu tasarım biçimi, birden çok düzeye yayılmış veri toplama fırsatları sunar. Ön ve son test aşamalarında geleneksel davranışsal ve beyin görüntüleme verileri toplanabilirken, müdahale aşaması özgün görevler içerebilir. Müdahale aşamasında toplanan veriler, öğrenme sürecinin sosyo-kültürel ve birinci şahıs özelliklerinin, davranışsal ve sinirsel düzeylerle ilişkisinin çalışılabilmesine izin verir.

5.3.2. Sınıf Çalışmaları

Sınıf çalışmaları, tipik olarak laboratuvarda kullanılan metodolojileri (ör. EEG, fNIRS ve göz izleme) özgün sınıf ve okul ortamlarında kullanarak ekolojik geçerliliği yüksek verilerin toplanmasına izin verir (ör., Obersteiner vd., 2010; Poulsen vd., 2017). Bu tür çalışmalar hem özgün görevleri hem de özgün bağlamları içerir. Sınıflarda yapılan çalışmalarda kontrol dışı sosyal ve fiziksel etkileşimler, toplanan verilerde laboratuvardakinden çok daha fazla gürültüye neden olabilir.

5.3.3. Özgün Görevlerle Laboratuvar Çalışmaları

Özgün bir bilişsel görev, olayların sıralanmasının önceden belirlenmediği ve etkileşimlerin klasik deneysel tasarımlara özgü kısıtlamalarla (ör. denemeler arası aralıklar) kesintiye uğramadan sürekli bir deneyim sağladığı doğal etkileşim yolları ile karakterize edilir. Bu tür araştırma tasarımlarında birincil amaç, laboratuvar ortamında özgün görevler kullanarak ekolojik geçerliliği arttırmaktır.

Beyin görüntüleme çalışmalarında, yöntemlere özgü kısıtlamalardan dolayı genellikle gerçekçi görevler kullanılmaz. Bunun bir istisnası, video oyunları üzerine beyin görüntüleme araştırmalarıdır (Ninaus vd., 2014). Video oyunları üzerine yapılan çalışmalar bilişsel iş yükü, katılım, uyarılma, dikkat, görsel-uzamsal işlem, motivasyon gibi (Allison ve Polich, 2008) çeşitli olgulara odaklanmıştır. Bu tip araştırmalar için geliştirilen deney tasarımları, gerçekçi görevler kullanılan başka araştırmalarda uygulanabilir.

5.3.4. Bireysel Farklılıklar

Eğitim çalışmaları için, bireysel farklılıkların öğrenme deneyimini ve performansını nasıl etkilediğini anlamak birincil derecede önemlidir. Eğitim araştırmalarında bireysel farklılıklara olan yüksek ilgi, eğitim araştırmalarını beyin ve bilişsel bilim araştırmalarından ayıran niteliklerden biridir (De Smedt vd., 2011). Beyin ve bilişsel bilimlerde birincil amaç, genellikle nüfusu temsil eden bir katılımcı grubundaki genel davranış ve bilişsel süreç şablonlarını tespit etmektir ve bireysel farklılıklar genellikle ikincil öneme sahiptir.

5.4. Analiz Düzeyleri Arasındaki İlişkiler

Eğitimsel sinirbilim çalışmalarında ideal olan, hem ekolojik olarak geçerliliği yüksek hem de deneysel olarak tutarlı ve tüm analiz düzeylerini kapsayan öğrenme teorileri geliştirmektir. Ancak daha önce bahsettiğimiz zorluklardan dolayı tek bir

çalışmada bütün analiz düzeylerini (ör. sosyo-kültürel, davranışsal, sinirsel, genetik) kapsayacak nitelikte çalışmalar yapmak mümkün olmayabilir. Yine de çalışma tasarımları ve geliştirilen öğrenme teorileri, bu düzeylerin en azından geniş bir alt kümesini içermelidir. Günümüzde yapılan eğitimsel sinirbilim çalışmaları Han, Soylu ve Anchan'ın (2019) ortaya koyduğu analiz düzeylerinin tamamını ve özellikle sosyo-kültürel ve kişisel düzeyleri kapsamakta yetersizdir. Bunun bir nedeni, tüm bu düzeyleri ilişkilendiren bir teori geliştirmek için her düzeyde veri toplama ve analiz etmenin metodolojik zorluğudur. Örneğin, bir ERP araştırması, bir manipülasyonun belirli bir bileşen üzerindeki etkisini güvenilir bir şekilde incelemek için aynı koşul için birçok verinin toplanmasını gerektirir. Ek olarak, EEG metodu veri toplanması sırasında deneklerin nispeten hareketsiz olmasını ve hatta göz kırpma veya kafa hareketleri gibi en doğal eylemlerin bile sınırlanmasını gerektirir. Bu kısıtlamalar, ekolojik geçerliliği arttıracak özgün görevler tasarlamayı zorlaştırır. Laboratuvar ortamı yapaydır ve gerçek bir sosyo-kültürel bağlam sağlamaz. Daha önce de belirtildiği gibi, sınıflar gibi özgün ortamlarda, özgün görevler kullanarak veri toplamak için mobil beyin görüntüleme cihazları kullanmak gibi girişimleri vardır (Allison ve Polich, 2008). Davranışsal ve sinirsel verileri analiz ederken, katılımcıların bildirdiği kişisel deneyimleri kılavuz olarak kullanma konusunda da bazı çabalar vardır (Lutz ve Thompson, 2003). Bunlar, henüz olgunlaşmamış ve belki de gelecekte ana akım araştırma metodolojileri haline gelecek ümit verici çabalardır.

Geleneksel eğitim araştırmalarında hem sosyo-kültürel bağlamın özgünlüğüne hem de katılımcıların (deneklerin) kişisel deneyimlerine, bilişsel sinirbilime nazaran daha fazla önem verilir. Buna karışık bilişsel sinirbilimde deneysel araştırmaların tekrarlanabilirliği, güvenilirliği ve geçerliliği ve istatistiksel sonuçların geçerliliği gibi kavramlar önemlidir. Bu öncelikler, alanlar arasında farklı epistemolojik varsayımları ve metodolojik kısıtlamaları gösterir. Eğitimsel sinirbilim, bu farklılıklarla başa çıkabilecek yeni araştırma tasarımı yaklaşımlarına ihtiyaç duymaktadır.

Daha önce tartışılan analiz düzeylerini ilişkilendirmek için çeşitli zorluklarla başa çıkılması gerekmektedir. Her analiz düzeyi, temel teşkil eden alanlara özgü farklı epistemolojik ve metodolojik yaklaşımları beraberinde getirir. Bu düzeyleri birbirine bağlayabilecek teorik bir çerçeveye ihtiyaç vardır. Bu teorik yapı, öğrenmenin her düzeyde nasıl gerçekleştiğine ilişkin açıklamaları barındırabilmeli ve bunları öğrenme ve biliş için tutarlı, çok düzeyli tezleri ortaya koyabilmek için ilişkilendirebilmelidir. Dolayısıyla eğitimsel sinirbilim, öğrenme üzerine sinirsel açıklamalar ortaya koyan bir alandan ziyade, öğrenme fenomenini, sinirsel ve genetik gibi biyolojik düzeylerin ötesinde sosyo-kültürel ve kişisel düzeylerin de

dahil olduğu, farklı analiz düzeylerinden açıklayan bir alan olma yolundadır. Marr'ın, "*Algıyı sadece nöronlar üzerinde çalışarak anlamaya çalışmak, kuşların uçuşunu sadece tüyler üzerinde çalışarak anlamaya çalışmak gibidir: Bu yapılamaz*" (s. 17, Marr, 1982) sözleri, öğrenmeyi sadece sinirsel süreçler üzerinden anlamanın da yetersizliğini ortaya koymaktadır. Öğrenme, ancak farklı analiz düzeylerindeki yöntemlerin ve perspektiflerin ilişkilendirilmesi yoluyla anlaşılabilir.

6. Sonuç

Eğitimsel sinirbilim; eğitim, sinirbilim, bilişsel psikoloji gibi farklı alanların kesişiminde, eğitimsel sorulara, biyolojik düzey başta olmak üzere, farklı analiz düzeylerini kapsayacak şekilde cevaplar bulmayı hedefleyen disiplinlerarası bir araştırma alanıdır. Eğitimsel sinirbilime ilgi duyan eğitimciler ve araştırmacılar için en büyük zorluklar, sinirbilim metotlarının karmaşıklığı ve bu metotların eğitim ortamlarında uygulanması ile ilgili güçlüklerdir. Bu bölümde, beyin görüntüleme ve diğer sinirbilim metotları hakkında bazı özet bilgiler sunulduktan sonra, eğitimsel sinirbilim metotları ile ilgili belli başlı sorunlara ve bu sorunları gidermek için ortaya konan çalışmalara değinilmiştir. Özellikle, eğitim sinirbilimin eğitimle ilgili sorunların çözümüne katkı sunabilmek için, biyolojik teori ve metotların (ör. beyin görüntüleme, elektrofizyoloji, genetik), halihazırda eğitim araştırmalarında kullanılan teori ve metotlarla (ör. sosyo-kültürel, kişisel) ilişkilendirilmesinin önemi savunulmuştur. Ekolojik geçerliliğin, yapılan deneysel çalışmaların özgün ortamlardaki sorunları aydınlatmasındaki önemi vurgulanmıştır.

7. Kaynakça

Allison, B. Z., ve Polich, J. (2008). Workload assessment of computer gaming using a single-stimulus event-related potential paradigm. *Biological Psychology*, *77*(3), 277–283.

Almajidy, R. K., Mankodiya, K., Abtahi, M., ve Hofmann, U. G. (2020). A Newcomer's Guide to Functional Near Infrared Spectroscopy Experiments. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, *13*, 292–308.

Anderson, M. L. (2010). Neural reuse: a fundamental organizational principle of the brain. *The Behavioral and brain sciences*, *33*(4), 245–66.

Anderson, M. L. (2014). *After Phrenology: Neural Reuse and the Interactive Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

Arbib, M. (2011). From Mirror Neurons to Complex Imitation in the Evolution of Language and Tool Use. *Annual Review of Anthropology*, *40*(1), 257–273.

Ashburner, J., ve Friston, K. J. (2009). Voxel Based Morphometry. *Encyclopedia of Neuroscience* (C. 10, 471–477). Elsevier.

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

Brown, J. S., Collins, A., ve Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, *18*, 32–42.

Chaytor, N., ve Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The ecological validity of neuropsychological tests: A review of the literature on everyday cognitive skills. *Neuropsychology Review*, *13*(4), 181–197.

Clarkson, M. J., Cardoso, M. J., Ridgway, G. R., Modat, M., Leung, K. K., Rohrer, J. D., Fox, N. C., vd. (2011). A comparison of voxel and surface based cortical thickness estimation methods. *NeuroImage*, *57*(3), 856–865.

Cohen, M. X. (2014). *Analyzing Neural Time Series Data*. Cambridge, MA: MIT Press.

Dolan, R. J. (2008). Neuroimaging of Cognition: Past, Present, and Future. *Neuron, 60(3), 496–502.*

Fritz, A., Haase, V. G., & Räsänen, P. (2019). *International Handbook of Mathematical Learning Difficulties: From the Laboratory to the Classroom*. Springer.

Gabrieli, J. D. E. (2009). Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science (New York, N.Y.)*, *325*(5938), 280–3.

Geary, D., ve Berch, D. B. (Eds.). (2016). *Evolutionary Perspectives on Child Development and Education*. Springer.

Han, H., Soylu, F., ve Anchan, D. M. (2019). Connecting Levels of Analysis in Educational Neuroscience: A Review of Multi-level Structure of Educational Neuroscience with Concrete Examples. *Trends in Neuroscience and Education*, *17*(September 2018), s. 100113.

Horvath, J. C., ve Lodge, J. M. (2016). A framework for organizing and translating science of learning research. Içinde J. Horvath, J. Lodge, & J. Hattie (Ed.), *From the laboratory to the classroom: Translating science of learning for teachers.* (ss. 7–20). Abingdon: Routledge.

Kayser, J., ve Tenke, C. E. (2006). Principal components analysis of Laplacian waveforms as a generic method for identifying ERP generator patterns: II. Adequacy of low-density estimates. *Clinical Neurophysiology*, *117*(2), 369–380.

Kivikangas, J. M., Chanel, G., Cowley, B., Ekman, I., Salminen, M., Järvelä, S., ve Ravaja, N. (2011). A review of the use of psychophysiological methods in game research. *Journal of Gaming & Virtual Worlds*, *3*(3), 181–199.

Kutas, M., ve Federmeier, K. D. (2011). Thirty years and counting: finding meaning in the N400 component of the event-related brain potential (ERP). *Annual review of psychology*, *62*(August), 621–47.

Logothetis, N. K. (2008). What we can do and what we cannot do with fMRI. *Nature*, *453*(7197), 869–878.

Luck. (2014). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.

Lutz, A., ve Thompson, E. (2003). Neurophenomenology: Integrating Subjective Experience and Brain Dynamics in the Neuroscience of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, *10*(9/10), 31–52.

Marr, D. (1982). *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. San Francisco: Freeman.

Merleau-Ponty, M. (1962). Phenomenology of Perception (1945). *Trans. Colin Smith. London: Routledge*.

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*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Newman, S., Loughery, E., Ecklund, A., ve Soylu, F. (2020). Structured versus free block play: the impact on arithmetic processing. *Trends in Neuroscience and Education*, 100146.

Ninaus, M., Kober, S. E., Friedrich, E. V. C., Dunwell, I., Freitas, S. De, Arnab, S., Ott, M., vd. (2014). Neurophysiological methods for monitoring brain activity in serious games and virtual environments: a review. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, *6*(1), 78–103.

Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., ve Fallgatter, A. J. (2010). Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *Zdm*, *42*(6), 541–554.

Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, *9*(2), 60–68.

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

Poldrack, R. A. (2010). Mapping Mental Function to Brain Structure: How Can Cognitive Neuroimaging Succeed? *Perspectives on Psychological Science*, *5*(6), 753–761.

Poulsen, A. T., Kamronn, S., Dmochowski, J., Parra, L. C., ve Hansen, L. K. (2017). EEG in the classroom: Synchronised neural recordings during video presentation. *Scientific Reports*, *7*, 1–9.

Price, C. J., ve Friston, K. J. (2005). Functional ontologies for cognition: The systematic definition of structure and function. *Cognitive Neuropsychology*, *22*(3–4), 262–275.

Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L., ve Menon, V. (2009). Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: Combined evidence from morphometry and tractography. *Frontiers in Human Neuroscience*, *3*(NOV), 1–13.

Schulte-Körne, G., Ludwig, K. U., el Sharkawy, J., Nöthen, M. M., Müller-Myhsok, B., ve Hoffmann, P. (2007). Genetics and Neuroscience in Dyslexia: Perspectives for Education and Remediation. *Mind, Brain, and Education*, *1*(4), 162–172.

Shiffrin, R. M., ve Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review, 84(2), 127-190.*

De Smedt, B., Ansari, D., Grabner, R. H., Hannula-Sormunen, M., Schneider, M., ve Verschaffel, L. (2011). Cognitive neuroscience meets mathematics education: It takes two to Tango. *Educational Research Review*, *6*(3), 232–237.

Schoenemann, P. T. (2006). Evolution of the Size and Functional Areas of the Human Brain. Annual Review of Anthropology, 35(1), ss. 379–406.

Soylu, F. (2016). An embodied approach to understanding: Making sense of the world through simulated bodily activity. *Frontiers in Psychology*, *7*(December), 1–10.

Soylu, F. (2020). *Matematik Öğrenme Güçlüğünün (Diskalkulinin) Beyinsel ve Kalıtımsal Temelleri*. Içinde Y. Mutlu, S. Olkun, L. Akgün, & M. H. Sarı (Ed.), Diskalkuli: Matematik Öğrenme Güçlüğü (ss. 37–51). Ankara: Pegem Akademi.

Soylu, F., Lester, F. K., ve Newman, S. D. (2018). You can count on your fingers: The role of fingers in early mathematical development. *Journal of Numerical Cognition*, *4*(1), 107–135.

Soylu, F., Raymond, D., Gutierrez, A., ve Newman, S. (2018). The differential relationship between finger gnosis, and addition and subtraction: An fMRI study. *Journal of Numerical Cognition*, *3*(3), 694–715.

Soylu, F., Seo, R., Newman, M., ve Newman, S. D. (2019). Gray Matter Correlates of Finger Gnosis in Children: A VBM Study. *Neuroscience*, *404*, 82–90.

Suárez-Pellicioni, M., Soylu, F., ve Booth, J. R. (2021). Gray matter volume in left intraparietal sulcus predicts longitudinal gains in subtraction skill in elementary school. NeuroImage, 235(April), 118021.

Thomas, M. S. C., Ansari, D., ve Knowland, V. C. P. (2019). Annual Research Review: Educational neuroscience: progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, *60*(4), 477–492.

Thompson, E., Lutz, A., ve Cosmelli, D. (2005). Neurophenomenology: An Introduction for Neurophilosophers. Içinde A. Brook Akins, K. (Ed.), *Cognition and the Brain: The Philosophy and Neuroscience Movement*. New York and Cambridge: Cambridge University Press.

Tosto, M. G., Petrill, S. A., Halberda, J., Trzaskowski, M., Tikhomirova, T. N., Bogdanova, O. Y., Ly, R., vd. (2014). Why do we differ in number sense? Evidence from a genetically sensitive investigation. *Intelligence*, *43*(1), 35–46.

Varela, F. J. (1996). Neurophenomenology: A Methodological Remedy for the Hard Problem. *Journal of Consciousness Studies*, *3*, 330–349.

Yalvac, B., Soylu, F., ve Arikan, A. (2011). Bedenlenmiş Biliş ve Eğitim, *Social Sciences*, *4*(1).

Winkler, A. M., Kochunov, P., Blangero, J., Almasy, L., Zilles, K., Fox, P. T., Duggirala, R., vd. (2010). Cortical thickness or grey matter volume? The importance of selecting the phenotype for imaging genetics studies. *NeuroImage*, *53*(3), 1135–1146.