


## Nöromodülasyon: Eğitim ve Nörobilim Kavşağından Geleceğe Bakış\*

## Neuromodulation: A Glance to the Future From the Junction of Education and Neuroscience

Selma Dünder-Coecke

## Yazar Bilgileri

**Selma Dünder-Coecke**   
Dr., Centre for Educational Neuroscience & Department of Psychology and Human Development, UCL Institute of Education & QBA, United Kingdom,  
[selma.coecke@gmail.com](mailto:selma.coecke@gmail.com)

## ÖZ

Bilişsel süreçlerin biyolojik temellerini ele alan çalışmalara olan ilgide küresel bir artış görülmektedir. Disiplinler arası platformlarda eğitimci, psikolog ve nörologlar yaygın ve koordineli çabalarla insan bilişinin gizemini çözmek için bir araya gelmektedir. Bu küresel ilginin bir yansıması olarak eğitim nörobilimi uygulama alanı ortaya çıkmış ve nörobilim alanında gelişen bilgi birikiminin eğitime nasıl transfer edilebileceğine ilişkin bir tartışma platformuna öncülük etme misyonunu yüklenmiştir. Ülkemizde henüz beyin araştırmaları ile eğitimsel çabaları sistematik biçimde birleştiren bir alan uygulaması mevcut değildir. Bu çalışma, bu açığın boyutları hakkında fikir vermeyi hedeflemektedir. İki bölümden oluşan makale ilk etapta güncel eğitim nörobilimi araştırmalarını ve alandaki gelişmeleri okuyuculara aktarmayı hedeflemektedir. İkinci bölüm, geleceğe odaklanmış öncül nörobilim araştırmalarını analiz etmekte ve bunların eğitime olan potansiyel etkilerini nöromodülasyon teknolojileri bağlamında tartışmaktadır.

## Makale Bilgileri

**Anahtar Kelimeler**  
Eğitim  
Öğrenme  
Beyin  
Nörobilim  
Modülasyon  
Gelecek Perspektifleri

**Keywords**  
Education  
Learning  
Brain  
Neuroscience  
Modulation  
Future Prospects

## Makale Geçmişi

Geliş: 25.01.2021  
Düzeltilme: 22.03.2021  
Kabul: 16.04.2021

## ABSTRACT

Recent years have seen a major growth of global interest in the biological basis of cognitive processes. Leading psychologists and neuroscientists have begun to come together to unlock the mystery of human cognition via widespread and coordinated efforts. The field educational neuroscience reflected this global trend as a highly regarded discussion platform, driven by the fact that neuroscience knowledge can be translated into education via multiple routes. However, an evidence-based discussion platform does not currently exist in Turkey, neither a field of practice. The present study aims to provide a glimpse about the extent of this gap. Consisting of two main subsections, the present study first reviews the current projects aiming to translate neuroscience knowledge into education. Then, the second section outlines the future prospects and renders the ways in which current neuroscience knowledge is pertinent to education in the context of neuromodulation.

\*Bu çalışma UK Economic and Social Research Council (ESRC) tarafından ES/P000592 No'lu fonla desteklenmiştir.

## Makale Türü

Derleme

## Önerilen Atıf

Dünder-Coecke, S. (2021). Nöromodülasyon: Eğitim ve nörobilim kavşağından geleceğe bakış. *TEBD*, 19(1), 542-567. <https://doi.org/10.37217/tebd.868102>

## Giriş

Nöroloji ve eğitim bilimleri arasındaki ilişkiye duyulan ilgi yeni olmayıp Thorndike'in (1926) 'öğrenmenin nörobiyolojik temelleri' üzerine odaklanan eğitim psikolojisi alanındaki çalışmalarına kadar uzanır. Ancak uzmanların öğrenme ve ontolojik temellerine yeni bir soluk getiren bu ilişkiyi kabul etmesi seksen yıldan fazla bir süre gerektirmiştir (Mayer, 1998; Thomas, Ansari ve Knowland, 2019). Öğrenmenin nörolojik mekanizmalarını araştıran ve bu bulguları eğitim ve eğitim politikalarına aktarmayı hedefleyen disiplinler arası bir platform oluşmuş ve bu platform tüm dünyada nörobilimin eğitimle ilişkisini keşfetmeyi hedefleyen kurum ve laboratuvarların aktiviteleriyle hızlı ve dinamik değişimlerin gözlendiği bir dönemi tetiklemiştir. Londra'daki Eğitim Nörobilimi Merkezi (Centre for Educational Neuroscience), Bristol Üniversitesi Eğitim Fakültesindeki Nörobilim ve Eğitim yapılanması bunlardan bazılarıdır. Harvard Üniversitesinde Zihin, Beyin ve Eğitim (Mind, Brain, and Education) Programı ve aynı adlı uluslararası dergi, Uluslararası Zihin, Beyin ve Eğitim Topluluğu'nun (International Mind, Brain and Education Society - IMBES) bir aktivite alanıdır. Diğer bir yapılanma Avrupa Öğrenme ve Öğretim Araştırmaları Derneği (European Association for Research on Learning and Instruction - EARLI) bünyesinde yer alan Uluslararası Nörobilim ve Eğitim Özel İlgi Grubu'dur. Farklı ülkelerde konuya odaklanan laboratuvarlar 'nörobilim', 'nöro-eğitim', 'zihin, beyin ve eğitim' gibi çeşitli isimler kullanmakta fakat benzer hedeflere odaklanmaktadır. Bu hedefler üç genel başlık altında sınıflandırılmaktadır: (1) Nörobilim, çocuk gelişimi, psikoloji ve eğitim alanlarını kapsayan yeni bir bilimsel disiplin inşa etmek. (2) Bu disiplini geliştirecek yeni kuşak araştırmacılar yetiştirmek. (3) Öğrenme süreçleri ve ortamlarını geliştirmek için eğitmen ve araştırmacılar arasındaki iş birliği olanaklarını güçlendirmektir. Bu çalışmada eğitim nörobilimi kavramı educational neuroscience terimine karşılık gelerek tüm bu dallanmaları kapsayacak şekilde kullanılmaktadır.

Nöroloji araştırmalarının doğrudan eğitim bilim ve politikalarına aktarılması zorlu bir görevdir. Bu iki alan arasındaki felsefi, politik ve metodolojik farklılıklar başta araştırmacılar arasında olmak üzere çeşitli dil ve iletişim sorunlarına yol açmaktadır. Yüzeysel olarak bakıldığında nöroloji, beyin ve sinir sistemi ile ilgilidir. Eğitim ise öğrenme, öğretme, değerlendirme, eğitim politikaları ve sosyolojisi gibi alanlarla dallanıp budaklanır. Bu her iki bilim dalına özgü alt alan ve kavramlar oldukça karmaşık ve özgün teorilerle beslenirken artık günümüzde disiplinler arasına kalın sınırlar çizmek mümkün değildir. Özellikle öğrenme kavramı salt eğitim bilimleri temel alanının tekelinden çıkmış, bilgisayar bilimleri, robotik, yapay zekâ gibi eğitimle doğrudan ilişkili görünmeyen pek çok alanın ilgi kapsamına girmiştir. En karışık öğrenme mekanizmalarından birine sahip olan insanoğlunun öğrenme tarzları, bunların analizi, modellenmesi, yönetilmesi ve geliştirilmesi bu alanların öncelik verdiği konular olarak karşımıza çıkmaktadır.

Öte yandan, öğrenmenin karmaşık doğasını analiz etmek oldukça güç bir iştir. Zihin (mind) ve zekâ (intellect) arasındaki nitelik ve nicelik farklarına dair bilgilerimiz tam değildir. Bu eksikliğin nedeni, bu gibi kilit kavramların fiziksel ya da kanıtlanabilir bir yapıya sahip olmamasından gelir ki bunların fiziksel yollarla test edilme yöntemleri dahi günümüzde sorgu altındadır. Dahası, araştırmalar zihin ve beyin hakkındaki yanlış anlamaların öğretmenler ve eğitimciler arasında bile oldukça yaygın olduğunu gösteriyor. Bazı yazarlar çok sıkça karşılaşılan bu yanlış inançlara nöromit adını vermektedir (bkz. Dekker, Lee, Howard-Jones ve Jolles, 2012). Örneğin, Karakuş, Howard-Jones ve Jay'ın (2015) çalışması göstermektedir ki pek çok ülkede olduğu gibi Türkiye'de de öğretmenler, beyin ve sinir sisteminin eğitimsel fonksiyonları ile ilgili pek çok yanlış anlayışa sahiptirler. Her ne kadar son dönemde Türkiye'de eğitim nörobilimine olan ilgide artış görülse de (bkz. Demir vd., 2016; Koçak, 2020; Koyuncu, 2017), bu yanlış anlayışların toplumlarda yayılmasına çeşitli faktörler katkıda bulunmaktadır. Örneğin, nörobilimsel içeriğe sahip psikolojik açıklamaların insanların kulağına daha bilimsel geldiği gerçeği bir etken olarak belirlemektedir (Howard-Jones, 2014). Okulların ticari amaçla öğrenci ve ebeveynleri sözde nörobilimsel uygulamalar yoluyla ikna etme çalışmaları diğer bir faktördür. Beyin temelli algoritma/yöntemleri kullandığını iddia eden ticari web kanalları ya da popüler ürünler ulusal ve uluslararası arenada rağbet görmektedir (tartışmalar için bkz. Bard vd., 2018; Jwa, 2015). Bu kaygan zeminde öğretmen, ebeveyn, öğrenci ve diğer ilgili kesimlerin maruz kaldıkları bilgi türünü sorgulamaları ve piyasadaki bilgi kirliliğine dikkat etmeleri, gereksiz uygulama ve tedavilerle paralarını ve zamanlarını boşa harcama risklerini azaltır.

Peki nörobilim araştırmaları eğitim üzerinde umduğumuz kadar etkili midir? Gerçekten etkili, beyin temelli bir öğrenme yöntemi var mıdır? Genel kanı, formal öğrenmenin sınıfta gerçekleştiği yönündedir. Bu gerçekten böyle midir? Cevap evet ise öğretmenlerin öğrenmeyi yöneten sinirsel mekanizmaları bilmeleri gerçekten gerekiyor mu? Eğitimde bir paradigma değişikliğine ihtiyaç var mıdır? Bu ve buna benzer sorular, mevcut gelişmeler ve yeni kuşak teknoloji ve modelleri kullanan projeler yardımıyla cevaplanabilecek bazı pragmatik sorulardır. Bu çalışma iki ana başlık altında bu proje ve teknolojileri okuyucuya tanıtmayı hedeflemektedir. İlk bölümde nörobilimin neden eğitimle ilgili olduğu hususu güncel gelişmeler ışığında tartışılmakta, ikinci bölümde gelecek perspektiflerini yansıtan ve eğitimle ilgisi olan gelişme ve projeler analiz edilmektedir. Makale, bu gelişmelerin yansımalarını ele alan kısa bir tartışma ile sonlandırılmaktadır.

### **Nörobilim ve Eğitim Arasında Köprü Kuran Güncel Araştırmalar**

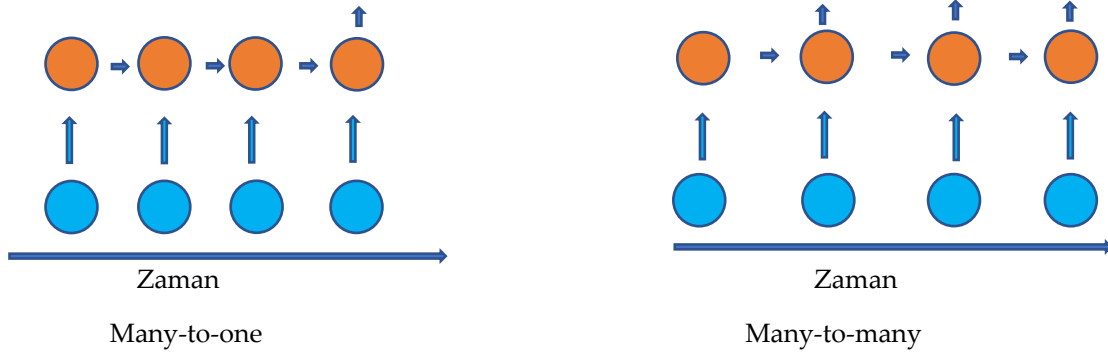
Nörobilimin eğitimle ilişkilendirilmesine yönelik görüşler büyük ölçüde kutuplaşmıştır. Kutubun negatif ucunda Bishop (2014), Bowers (2016), Bruer (1997, 2013) gibi uzmanlar nörobilim araştırmalarının sınıf ortamlarında uygulanamayacağına altını çizerek iki alan arasındaki teorik, pratik ve metodolojik farklılıklara dikkat çeker. Kutubun pozitif tarafında Dubinsky vd. (2019),

Goswami (2004), Thomas ve Ansari (2020) gibi uzmanlar, araştırmacıların birlikte çalışabilirliğinin değerini vurgulayarak eğitimci, oğretmen ve psikologlar arasındaki ilişkinin kalitesini iyileştirmeye yönelik bir platform sağlamasının önemine dikkat çeker. İki alan arasında kurulan bu ilişki türünün pozitif yönde nasıl ilerlediği aşağıda tartışılmaktadır.

#### *Beyin ve Sinir Sistemi Araştırmalarının Eğitimsel Değeri:*

Nöroloji bir yelpaze kavram olup nrofizyolojiden nropsikolojiye kadar uzanan çeşitli alt alanları kapsar. Her ne kadar bu alt alanlardaki araştırmalar beyin, omurilik ve sinir sistemi mekanizmalarının işleyiş ve fonksiyonlarını anlama yntemlerimizde köklü değişiklikler yaratsa da (Squire vd., 2013), bu makale öğrenme ve öğretme ile yakından ilgili araştırma sonuçları sunması nedeniyle gelişimsel ve bilişsel nöro bilim alanlarını temel almaktadır.

Gelişimsel ve eğitim nöro bilim alanlarındaki hâkim görüş, psikoloji biliminin eğitim ve nöro bilim arasındaki tek köprü bağlantısı olmadığı yönündedir. Psikoloji bilim dalı, eğitim ve nöro bilim bir kanaldan dolaylı olarak birbirine bağlarken bilişsel nöro bilim, öğrenme ve akıl yürütme süreçleriyle olan ilgisi nedeniyle eğitimle doğrudan ilişkilidir. Keza gelişimsel nöro bilim bu süreçlerin nasıl değiştiği/ilerlediğini mercek altına alır. Örneğin, uyku, beslenme, stres ve toksik evre koşulları gibi eğitim ve öğrenme süreçlerini yakından ilgilendiren fakat yakın bir zamana kadar ihmal edilmiş olan faktörler eğitim nöro bilim araştırma alanına girer (Thomas ve Ansari, 2020). Bilimsel akıl yürütme gibi kompleks beyin fonksiyonlarını ve eğitimsel uygulamalarını doğrudan ilgilendiren konularda eğitim nöro biliminin eğitimle olan bağı daha da güçlenmektedir (Tolmie ve Dündar-Coecke, 2020). Dahası, nöronların yapı ve işleyişlerini açıklayan tatmin edici bir eğitimsel ya da psikolojik teori henüz mevcut değildir. Örneğin, tipik bir insan beyni yüzlerce milyar nöron içerir, her bir nöron, uyarıcı değişkenine bağlı olarak saniyede 5 ile 50 arası ‘aksiyon potansiyeli’ denilen elektrokimyasal aktiviteler üretme yeteneğine sahiptir. Beyin hücreleri arasında trilyonlarca bağlantı kurulurken çok basit bir bilişsel görev için bile milyonlarca nöronun devreye girdiği kompleks bir ağdan bahsediyoruz. Eğitim nöro bilim, bu çok yönlü bağlantı yollarını (‘many-to-one’ ve ‘many-to-many relationships’; bkz. Şekil 1) belirli ya da çeşitli beyin bölgeleriyle ilişkilendirerek açıklayan kuramlar sunmaktadır. Bu ve buna benzer pek çok detay bu yıl içinde yayınlanmış olan bir eğitim nöro bilim kitabında geniş bir Şekilde ele alınmaktadır (bkz. Mareschal, Butterworth ve Tolmie, 2013; Thomas, Mareschal ve Dumontheil, 2020).

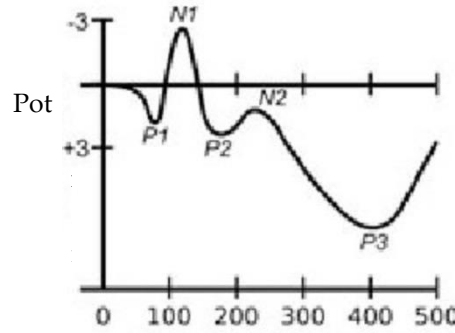


Şekil 1. Nöral Ağ Yapılarının Sembolik Gösterimi

Eğitim nörobiliminin eğitime getirdiği en önemli avantajlardan birisi metodolojiktir. Bu alandaki araştırmalar yeni araçlarla öğrenme ve öğretme çabalarına doğrudan katkıda bulunmayı hedefleyen hassas ölçüm ve analizleri işe koşturmaktadır (Blakemore ve Frith, 2005; Stern, 2005; Willingham, 2009). Her ne kadar tıpta yapısal ve fonksiyonel elementler bazen PET (pozitron emisyon tomografisi) gibi beyne müdahale eden (invasif) tekniklerle araştırılsa da eğitimde çoğunlukla beyne ve işleyişine müdahale etmeyen (noninvasive) teknolojiler kullanılmaktadır. Örneğin, OİP (olaya ilişkin potansiyel) ve MEG (manyetoensefalografi) elektrik sinyallerini çok hassas şekilde ölçebilen müdahalesiz araçlardır. Kafatası, beynin ak ve gri maddeleri gibi yapısal özelliklerini görselleştiren manyetik rezonans (MR) ve kan akışını temel alan fMR teknikleri de eğitim araştırmalarında sıklıkla kullanılan yöntemlerdir (Ward, 2015). Bu yöntemler (1) tipik ve atipik nörolojik gelişme evrelerinin güvenilir biçimde takip edilmesinde kilit görevi görür (Dick, Lloyd-Fox, Blasi, Elwell ve Mills, 2013); (2) beynin işleyiş ve fonksiyonlarına dair veriler sunar; (3) bu verileri belirli davranışlarla karşılaştırmamıza olanak verir ve dolayısıyla (4) insan davranışını anlamamıza katkıda bulunur. Adı geçen bu görüntüleme teknikleri beyindeki elektriksel aktivitelerin nasıl deneyime dönüştüğünü açıklayamaz ya da öğrenmenin beyinde nasıl gerçekleştiğine ilişkin doğrudan kanıtlar sunamaz. Bu bilinmezliği anlamak, eğitim nörobilimi araştırmalarının temel motivasyon kaynağıdır. Fakat belirli beyin aktivitelerinin hangi davranışlarla ilişkili olduğunu anlamak, okullardaki eğitim öğretim etkinliklerinin doğruluğunu değerlendirme açısından oldukça önemlidir. Bu teknolojiler öğrenme, eğitim ve öğrenme güçlüklerine odaklanan araştırmacı ve laboratuvarların hizmetine sunulmuştur. Özellikle İngiltere, Avrupa ve Amerika'daki önde gelen laboratuvarlar kendi araştırma programlarında okul ve müfredat alanını yakından ilgilendiren konulara öncelik vermektedir. Okuma, okuma güçlükleri, matematik becerileri ve beyin plastisitesi temalarında kuramsal ve teorik bilgiler üreten araştırmalar bunlardan bazılarıdır. Konumuzla yakından ilgili olması nedeniyle aşağıda okuma ve matematik becerileri konularında yürütülen eğitim nörobilimi araştırma örnekleri incelenmektedir.

Matematik becerileri ile nörobilişsel ilişkileri deşifre etmeyi hedefleyen araştırmalar sunan laboratuvarlardan bazıları Amerika, diğerleri Belçika ve Londra'dadır. Bu laboratuvarlardan çıkan çalışmalar göstermektedir ki matematik becerilerinin gelişimine dair bireysel farklılıkları açıklamada beynin yanal bölgesinde yer alan intraparyetal sulcus (IPS), üst temporal girus (ÜTG) ve alt frontal girus (AFG) aktivasyonları önemli bir işleve sahiptir. Rakamların, sembolik olarak taşıdıkları büyüklüklerin ve aritmetik problemlerin çözülmesinde bu bölge aktivasyonlarının belirleyici olduğu görülmektedir. Örneğin, matematiksel hesaplamalarda ileri derecede güçlük çeken çocukların IPS aktivasyonlarında artış, ÜTG ve AFG aktivasyonlarında anlamlı azalmalar görülmektedir (Ansari, 2008; Artemenko vd., 2019; Dehaene, Piazza, Pinel ve Cohen, 2003; Smedt, 2020). Bu çalışmaların verilerini takip eden ve erken müdahale eğitim yöntemleri geliştiren uzmanlar bir olasılığı test etmektedirler: Matematik öğrenimini modere eden spesifik bir faktör, bireylerin matematik becerilerinde farklılaşmalarına neden oluyor olabilir. Üstelik, bu faktör, zekâ ve sosyoekonomik etkilerden bağımsız ya da yarı bağımsız olarak işliyor olabilir (İleri okuma için bkz. Smedt, 2020).

Nörobilimin eğitimsel uygulamalara ilişkin değeri okuma ve disleksi gibi okuma güçlüklerini kapsayan alan araştırmaları sayesinde daha da belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Örneğin, OİP teknolojilerinin okuma becerisi ve okuma güçlüklerini haritalandırmada önemi büyüktür. OİP ölçümü kafatasına yerleştirilen elektrotlar aracılığı ile voltaj değişimlerini tetkik etmeye yöneliktir. Voltaj değişimleri, ilgili nöronların herhangi bir uyarıcıya karşı verdiği kolektif tepki/aktiviteler sayesinde oluşur. Bu teknik nöral aktivitelerin milisaniyelerine kadar analiz edilmesine olanak verdiğiinden nöronların herhangi bir sembol, kelime ya da dilsel bir uyarıcıya karşı aktivasyonları ve bunların zamansal (temporal) rotalarını izlemek/görselleştirmek mümkündür. OİPler uyarıcının başlama zamanına endekli olarak beyin aktivitelerini kesintisiz olarak kaydettikleri için temporal haritalamaya olanak sağlarlar; dilsel (ses) ya da sembolik (kelime) bir uyarıcının algılanmasında hangi aşamaların önemli olduğunu ortaya çıkarabilirler (bkz. Molfese, 2000). Bu haritalama çeşitli OİP bileşenlerinin (ERP components) tetkik edilmesi ile mümkündür. Örneğin öncül (N1/N170, P1) ve ileri OİP bileşenler (N400) dil ve okuma becerilerinin farklı boyutlarıyla ilişkilendirilmektedir. N1 gibi öncül bileşenler sembol ya da kelimelerin görsel olarak algılanması süreciyle ilişkilendirilirken N400 gibi uyarıcının sunumundan 400 milisaniye sonrasına tekabül eden sonraki bileşenlerin kelime ya da sembollerin anlam bilgisinin algılanması ve karar süreçleri ile ilişkili olduğu görülmektedir (Michel vd., 2004; Tong ve McBride, 2020).

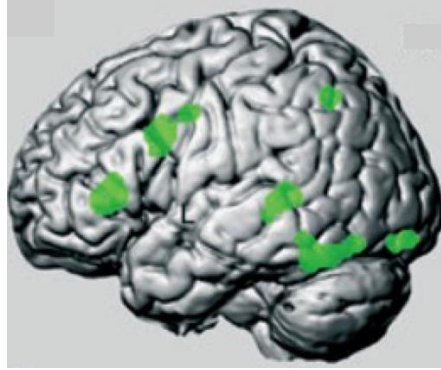


Şekil 2. Tipik OİP Bileşenleri

Not: Uyarılma sonrasındaki süre (milisaniye), Tipik OİP Bileşenleri: Pozitif (P) ve negatif (N) bileşenler milisaniyelerle görselleştirilmektedir. [https://en.wikipedia.org/wiki/Event-related\\_potential](https://en.wikipedia.org/wiki/Event-related_potential) adresinden alınmıştır.

Diğer değerli bir teknik Difüzyon Tensör Görüntüleme'dir (DTG). DTG, Gauss modeli yardımıyla beynin ak maddesini görüntüler. Fonksiyonel MRG gibi ileri tekniklerle birlikte kullanıldığında doku içerisindeki diffüzyon yollarını, ne ölçüde kısıtlandıklarını fiber traktografi algoritmalarıyla üç boyutlu olarak görselleştirebilir. Beynin gelişimi ve yapısal süreçlerin uzun vadeli ölçümünde tercih edilen tekniklerdir. fMR olarak kısaltılan fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme, eğitimde sıklıkla kullanılan diğer bir yöntem olup adından da anlaşılacağı üzere güçlü manyetik mekanizmalar yardımıyla beyindeki fonksiyonel süreçleri kan akışı ve kanın oksijenasyonu yoluyla görüntüler. fMR aslında BOLD (blood oxygenation level dependent) sinyallerini ölçer. Şöyle ki oksijenlenmiş kan akışı kısa bir süre içinde beynin belirli bir bölgesindeki nöral aktiviteyi artırır. Fakat BOLD sinyali nöral aktiviteyi doğrudan tanımlamaz, sadece kandaki oksijen seviyesini gösteren dolaylı bir ölçümdür. Sinyalin ilgili nöral aktivite ile ilişkili olup olmadığını tetkik etmek için ileri analizlere başvurulur. fMR, milimetrik düzeyde ilgili sinyalin hangi bölgeden alındığına dair lokasyon bilgisi sağlaması açısından çok değerlidir. Bu teknikle yalnızca korteks değil beyincik aktivasyonları da görselleştirilebilir (bkz. Ward, 2015). fMR tekniğini kullanarak okuma becerilerini analiz eden pek çok araştırma beynin sol temporoparietal, frontal ve oksipitotemporal bölgelerini kapsayan geniş çapta bir ağın dil ve okuma becerileri ile ilişkili olduğunda hemfikirdir. Oksipitotemporal korteksin harflerin ve kelimelerin görsel olarak algılanmasında (Houdé, Rossi, Lubin ve Joliot, 2010; Turkeltaub, Gareau, Flowers, Zeffiro ve Eden, 2003); temporoparietal korteksin yazı ve ses birimlerinin senkronize edilmesinde rol oynadığı düşünülmektedir (Pugh, 2006). Örneğin, her ne kadar disleksik bireylerin bu bölgelerdeki aktivasyonları disleksik olmayan bireylere göre biraz daha düşük olsa da her iki gruptaki okuyucuların beynin sol tarafındaki benzer şebekeleri kullandığı görülmektedir. Fakat disleksik çocukların/yetişkinlerin sağ beyin fonksiyonlarında atipik bir artış görülmektedir ki bu sağ beyin bölgesindeki aktivasyon artışı hemen hemen bütün disleksi türlerinde

rapor edilmektedir (bkz. Démonet, Taylor ve Chaix, 2004; Grigorenko, 2001; Joseph, Noble ve Eden, 2001; Vellutino, Fletcher, Snowling ve Scanlon, 2004)



Şekil 3. FMR Tekniği Kullanıldığında Beynin Sol Bölgesinde Okuma ve Dilsel Becerileri ile Sıklıkla İlişkili Görünen Bölgelere Örnek (Houdé vd., 2010)

Bu bulgular, başta dil ve okuma becerilerini anlama ve geliştirmeye yönelik projeler olmak üzere pek çok erken müdahale eğitim programlarının temelini oluşturmaktadır. Örneğin, Molfese'nin (2000) çalışmaları erken yaşta yapılan spesifik müdahalelerin önemini anlamada önemli kanıtlar sağlamaktadır. Son çalışmalarından birinde Molfese iki yüze yakın yeni doğmuş bebeğin doğum sonrasında beyin aktivitelerini OİP ile kaydetmiştir. Bebekler bu kayıtlar sırasında 'bi' ve 'di' gibi seslerle uyarılmıştır. Yaklaşık sekiz yıl sonra aynı çocukların beyin aktiviteleri aynı yöntemle ölçüldüğünde doğum sonrasında elde edilen OİP'lerin sekiz yıl sonra teşhis edilen özel öğrenme güçlüğüne eşlik eden okuma bozukluklarını çok yüksek oranlarda önceden belirleyebileceğini tespit etmiştir. Benzer bulgular farklı araştırma programları tarafından da tespit edilmiştir (bkz. Lyytinen, Eklund ve Lyytinen, 2005; Tong ve McBride, 2020).

Goswami'nin önderliğinde diğer bir laboratuvar çalışma sonuçları çocukların fonetik bilgisinin okuma öğretimindeki önemini ortaya çıkarmaktadır. Bu araştırma programı çocukların okumayı öğrenmeden önce fonetik hiyerarşilere (kelime-hece-ses/geniş ünitelerden tekil üniteye) hâkim olmalarının heceleme ve ses dizilimi süreçlerini nasıl etkilediğini ortaya koymaktadır (bkz. Goswami, 2015, 2020; Goswami ve Bryant, 1990). Bu ve benzeri boylamsal çalışmalar göstermektedir ki okuma ve okuma güçlükleri çok erken yaşlarda beyne ya da işleyişine herhangi bir etki etmeden güvenli metotlarla tespit edilebilir. Bu tespitler erken ve amaca dönük spesifik müdahale tekniklerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Beyin plastisitesinin en yüksek olduğu dönemler doğum sonrasında okul öncesi yıllara doğru olan süredir. Bu yıllarda yapılan erken müdahalelerin türü ve içeriği beyin araştırmaları ile desteklendiğinde bireylerin ve toplumların yaşam kalitesinde fark yaratacağı açıktır.

Burada adı geçen çalışmalar alandaki bazı araştırma türlerini temsil eden sınırlı sayıda örneklerdir. Oysa eğitim nörobilimi topluluğu genişlemekte, alandaki çalışmalar hızlı bir şekilde



bulgular üretmektedir. Güncel gelişmeler göz önüne alındığında eğitim nörobiliminin bilgi birikimimize katkıları en az dört hususta açıkça gözlenmektedir:

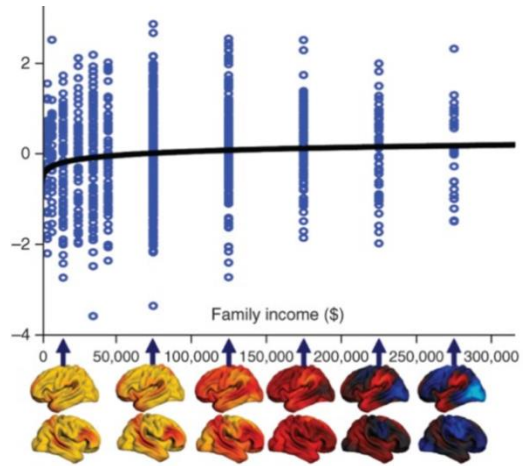
(1) *Eğitimde Dolaylı Kanıt Anlayışından Doğrudan Kanıt Anlayışına Geçiş:*

Nörobilim beynin işleyişi ve yapısına dair doğrudan kanıtlar sunmakta, eğitim ve psikoloji alanlarında geleneksel olarak kullanılan davranışa dayalı dolaylı kanıtlar sağlayan metotlara alternatif araç, teknik ve modeller sunmaktadır. Bu modeller erken müdahale eğitiminin genelden ziyade ihtiyaca yönelik organize edilmesinin önemini göstermektedir. Örneğin, geleneksel olarak dikkat ve hiperaktivite bozukluğu dikkat süreçleriyle ilişkilendirilir. Fakat Laffere, Dick, Holt ve Tierney'nin (2021) OİP Tekniği'ni kullandıkları çalışma analizleri göstermektedir ki dikkat bozukluğundan ziyade bazı spesifik verilerin hafızaya kaydedilmesi sürecinde sorunlar gözlenmektedir. Bu ve benzeri sonuçların sadece davranışçı metotlarla elde edilmesi mümkün değildir.

(2) *Epistemolojik Açılım:*

Eğitim nörobilimi bilginin doğası, türü ve öğrenme süreci tartışmalarına yönelik epistemolojik açılımlar sağlamaktadır. Örneğin, yakın bir zamana kadar çevresel koşulların beynin yapı ve işleyişini değiştirebileceğine dair kanıt sunan araştırmalar yok denecek kadar sınırlı idi. Noble vd.'nin 2015 yılında yayınladıkları 3 ile 20 yaş arası 1.099 katılımcının beyin görüntülerini içeren çalışması bu tartışmaları alevlendirmiştir.

Bu çalışmanın analizleri, çocukların beyin korteks yüzey ölçümleri ile ailelerinin ekonomik gelir seviyesi arasında logaritmik bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (bkz. Şekil 4). Logaritmik trendin en dik ucunda düşük sosyoekonomik çevreden gelen çocuklar yoğunlaşmaktadır ki bunun anlamı; gelir düzeyi yıllık elli bin doların altında olan ailelerin gelir seviyesindeki en küçük artış logaritmik olarak çocukların korteks yüzey alan genişliği ile ilişkilendirilmiştir. Gelir seviyesi yıllık yetmiş bin doların üstüne çıktığında trendin şekli doğrusallaşmaktadır. Benzer şekilde, epigenetik araştırmaları DNA yapısında herhangi bir değişim olmaksızın gen ekspresyonunun çevre koşullarına bağlı olarak nasıl



Şekil 4. Ailelerin Ekonomik Gelir Düzeyi ile Çocukların Beyin Korteks Yüzey Ölçümleri İlişkisi (Noble vd., 2015).

değişebileceğine dair kanıtlar sunmaktadır (geniş tartışma için bkz. Asbury ve Plomin, 2014).

(3) *Alandaki Bilgi Kirliliğine Müdahale:*

Beyin araştırmalarına ilgi hızla artarken alandaki uzmanlara ek sorumluluklar getirmektedir. Eğitim nörobilimi, geçerliliği kanıtlanmamış ticari ürünlerin ya da asılsız nöromitlerin yayılımına engel olmakta önemli bir yere sahiptir. Nöromit ve benzeri uygunsuz kavramların yayılım nedenlerini inceleyen pek çok araştırma, eğitimcileri hedef alan kapsamlı eğitim programlarının geliştirilmesinin önemine dikkat çekmektedir (ileri okuma için bkz. Macdonald, Germine, Anderson, Christodoulou ve McGrath, 2017).

(4) *Diyalog:*

Eğitim nörobilimi, öğretmen, eğitimci ve psikoloji uzmanları arasındaki ilişkinin kalitesini arttırmaya odaklanmakta bilgi alışverişinin iki yönlü olarak işlenmesini (eğitimcilerden uzmanlara, uzmanlardan eğitimcilere) garanti altına almayı amaçlamaktadır. Bu ilişkide bilgi bir otorite aracı değil, paylaşılması gereken bir üründür. Örneğin, yukarıda adı geçen eğitim nörobilimi merkezleri, araştırma ve tartışma platformlarını internet siteleri ve özel tartışma grupları aracılığıyla öğretmen ve ilgili kesimlere açık tutmaktadır.

**Gelecek Perspektifleri: Öncül Araştırmalar**

Beyin ve sinir sisteminin yapı ve işleyişine müdahale tekniklerinin artarak çeşitleneceğini söyleyebiliriz. Öğrenme ve düşünmeyi manipüle edici stratejiler, şimdiden bir dizi teknolojileri içerecek biçimde geniş bir yelpaze sunmaktadır. Nöromodülasyon metotları olarak adlandırılan bu teknolojiler çoğunlukla beynin biyokimyasını ve fonksiyonunu değiştirmeye yönelik olup örneğin, beyin stimülasyon yöntemlerini, beyin implantlarını ve farmakolojik müdahale tekniklerini içermektedir. Aşağıda bu teknolojilerin bazılarını kısa bir şekilde değinilmektedir.

*Beynin İşleyişine Müdahale Etmeyen Stimülasyon Yöntemleri:*

Bu grupta yer alan stimülasyon teknolojileri beyne invazif bir etki etmeyen araç ve metotları içerir. Bunlardan bazıları tMS (Transcranial Magnetic Stimulation), tDCS (transcranial direct current stimulation) TES (transcranial electrical stimulation), tDCS (transcranial direct current stimulation) gibi metotlardır. Örneğin, TMS (ya da rTMS), beyin hücrelerinin biyolojik yapısına müdahale etmeden manyetik alanları kullanarak hedeflenen bölgedeki hücreleri uyarmaya yöneliktir. Uygulama sırasında kişiler bir acı hissetmezler. Benzer şekilde tDCS kafatasına yerleştirilen elektrotlar aracılığıyla beynin hedeflenen bölgesine zayıflatılmış elektrik akımları gönderir; dil/iletişim, hareket ve algı güçlüklerine neden olan beyin travmaları sonrasında tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Fakat son zamanlarda tDCS teknolojisinin hafıza güçlendirme amaçlı kullanımı yaygınlaşmıştır. Örneğin, Ruf, Fallgatter ve Plewnia (2017), çalışmalarına dahil ettikleri 71 yetişkinin uzamsal ve sözel becerilerini

geliştirmeye yönelik bir eğitime eşlik eden tDCS stimülasyon uygulaması yoluyla hafıza performanslarını takip etmiştir. Eğitim sonrası katılımcıların öğrenme ve hafıza performanslarında anlamlı gelişmeler kaydedilmiş, üstelik bu iyileşmelerin uygulamaları takip eden dokuz ay boyunca sürdüğü rapor edilmiştir (ayrıca bkz. Coffman, Clark ve Parasuraman, 2014). Benzer şekilde Amerikan askerleri üzerinde yapılan deneyler sonrasında bu tekniğin askerlerin bilişsel yeteneklerini keskinleştirmede etkin bir strateji olarak kullanılabilceği rapor edilmiştir (The Royal Society, 2019). Hatta ev tipi kullanıma uygun tDCS araçları üreten firmalar öğrencilerin öğrenme ve hafıza fonksiyonlarını iyileştirme vaadinde bulunmaktadır (bkz. <https://flowneuroscience.com/>).

TES, benzer şekilde zayıf elektrik akımlarının kortekse gönderilmesi yoluyla ilgili bölgede fonksiyon değişikliğine neden olan bir tekniktir. Bu ve TRNS gibi stimülasyon tekniklerini kullanan araştırmacılar, katılımcıların matematik becerilerinin geliştiğine ilişkin olumlu bulgular rapor etmektedir. Matematik becerilerini geliştirmeye yönelik müdahale çalışmaları, korteksin alın ve yanıl bölgelerinin (sol dorsolateral ön korteks; sağ IPS -intraparietal sulcus) sayılar ve sayısal büyüklüklerin muhakemesiyle ilişkili olduğunu bulgulamaktadır (bkz. Ansari, Fugelsang, Dhital ve Venkatraman, 2006; Cohen-Kadosh vd., 2007; Looi vd., 2017; Nelson, McKinley, Golob, Warm ve Parasuraman, 2014). Bu bölgelerin TMS ve TRNS teknolojileri ile uyarılması sonrasında katılımcıların sayısal becerilerinde artış ve aritmetik işlemlerin öğrenme sürecinde hızlanma görülmektedir. Üstelik ölçümler uygulama sonucunda görülen performans değişikliklerinin 6 ay sonunda bile devam ettiğini kaydetmektedir (Snowball vd., 2013).

Her ne kadar bu grupta beynin yapı ve işleyişine müdahale etmeyen yöntemlere yer verilmiş olsa ve çalışmalar olumlu sonuçlar rapor etse de bu çalışmalar henüz örneklem doygunluğuna ulaşmamıştır. Bu bir sınırlılıktır ve bu sınırlılığın çok boyutlu nedenleri vardır. Öncelikle görüntüleme çalışmaları zorlu ve masraflı araştırmalardır. Katılımcı ve araştırmacıların lehine detaylı etik inceleme süreçlerinden geçmeleri gerekir. Özellikle normal gelişimine devam eden çocuk ya da ergenlerin bu tür çalışmalara katılımı çok nadirdir. Dolayısıyla bulguların genellenebilirliği henüz sorgu altındadır.

### ***Nöral Arayüz Sistemleri (Neural Interfaces) ve Implantlar:***

Beyin-bilgisayar arayüz sistemleri (brain-computer interfaces - BCIs, ya da brain-machine interfaces - BMIs) nöral aktivitelerin eş zamanlı şekilde özelleşmiş yazılım sistemlerini kullanan ilerlemiş araçlara aktarılmasına; bu iletişim sisteminin iki yönlü işlemesine (sinir sisteminden ileri teknoloji araçlara – ileri teknoloji araçlarından sinir sistemine) olanak verir (The Royal Society, 2012). Genel olarak nöral arayüz sistemleri beynin ilgili bölgesini doğrudan uyararak kullanıcısının fiziksel ve bilişsel kapasitelerini yükseltmeyi hedefler. Bu nedenle nöral arayüzlere periferik ve merkezi sinir sistemi ile iletişim kuran cihazlar gözüyle bakabiliriz. Bu cihazlar beynin yapı ve işleyişine müdahale eden (invasive) hücre dışı elektro fizyolojik uyarma teknikleridir, nörolojik ve tıbbi terapilerde

kullanılan yenilikçi teknolojilerdir. Örneğin, duyuları geliştirmeye yönelik implantların en çok bilinen örneği tıbbi bir çözüm aracı olarak kullanılan köklear implanttır; işitme kaybına sahip bireylerin dışarıdaki işitsel verileri periferik sistemlerine aktarılmasına olanak verir.

Daha ileri teknolojileri kullanan ürünler, hem periferik sistemi (bağışıklık sistemi, cinsel fonksiyonlar gibi) hem merkezi sinir sistemini doğrudan uyarmayı hedefler. Örneğin, derin beyin uyarımı (deep brain stimulation - DBS), depresyon, epilepsi gibi ilaçlara dirençli koşulları iyileştirmede kullanılan doğrudan merkezi sinir sistemini hedef alan bir yöntemdir. DBSler, milimetrik ölçüdeki elektrotların beynin derin bölgelerine yerleştirilmesi ile hem beyin aktivitelerinin uzaktan ölçülmesine hem de beynin hedeflenen bölgesini terapatik amaçlı uyarmaya yardımcı olur. Bu elektrotlar pille çalışan ve vücut içine nakledilebilir pals jeneratörlerine bağlıdır. Bu jeneratörler sinyalleri stimule etme ya da bloke etme yeteneğine sahiptir. Fakat yeni kuşak DBSler gerek ölçümün gerek cihazın boyutları ve pil ömrü gibi konularda çok daha gelişmiş teknolojiler sunmaktadır (bkz. Closed-loop DBS).

Yetişkinlerin örneklem alındığı araştırmalar gösteriyor ki DBS yoluyla medial temporal lop, talamus ve hipotalamus bölgelerine yapılan manipülasyonlar öğrenme ve hafıza becerilerinin gelişimine önemli etkilerde bulunmaktadır (Clark, Naritoku, Smith, Browning ve Jensen, 1999; Fell vd., 2012; Lacruz vd., 2010; Suthana vd., 2012; Suthana ve Fried, 2014). Bu cihazların yapay zekâ teknolojileriyle geliştirilmiş versiyonları öğrenmeyi hızlandırma, hatırlama, konsantrasyonu artırma ve çabuk/etkili karar verme gibi yeti ve davranışları geliştirme potansiyeli vaat etmektedir (The Royal Society, 2019). Her ne kadar gelişimlerinin henüz çok erken aşamasında olsalar da hatta eğitim ve sosyal alanlarda sağlıklı insanların zihinsel fonksiyonlarını artırma amaçlı kullanımları sorgulansa da bu ve ileri safha -cerrahi olmayan- nöro teknolojilerin askeri ve sivil amaçlı kullanımları bazı ülkelerin öncelikli araştırma alanlarıdır (örneğin bkz. Amerikan Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı - US Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA Stimdust proje raporları, 2016a, 2016b; Emondi, 2020).

Araştırmalar bunlarla sınırlı kalmayıp makineleri diğer bir beyin ile değiştirmek yoluyla beyinler arası iletişime olanak sağlamanın yollarını bulmaktadır (brain-to-brain interfacing - BTBI, bkz. Jiang vd., 2019). Örneğin, Pais-Vieira, Lebedev, Kunicki, Wang ve Nicolelis (2013) BTBI teknolojisini denek fareler üzerinde denedikleri çalışmalarında kodlayıcı kobay sensorimotor bir görevi yerine getirirken korteks aktivitesi yapay geri besleme sinyalleri sayesinde alıcı kobayın aynı korteks bölgelerine iletildi. Alıcı kobayın, kodlayıcı kobayın sağladığı bilgi aracılığıyla aynı görevi yerine getirirken benzer bir öğrenme sürecinden geçtiğini ve seçimlerinde benzer davranışlar sergilediği görüldü. Bu çalışma hayvan beyinleri arasında iletişim, bilgi alışverişi ve bilgi saklama yollarında nasıl genişlemeler sağlanabileceğine dair bir fikir vermektedir. Yoo, Kim, Filandrianos,

Taghados ve Park (2013) invazif olmayan OİP tabanlı BTBI sistemlerini kullanarak insan beyni ile bir kemirgen hayvan beyni arasında bağlantı kurmayı denedi. Bu deneyde kemirgen hayvan anestezi ile bayıldı ve sonrasında beyninin motor bölgesine insan beyninden sinyaller gönderildi. Gönderilen sinyaller anestezi altındaki hayvanın kuyruk bölgesinde kısa bir zaman içerisinde harekete neden oldu (video örneği için bkz. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Non-Invasive-Brain-to-Brain-Interface-\(BBI\)-Establishing-Functional-Links-between-Two-Brains-pone.0060410.s001.ogv](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Non-Invasive-Brain-to-Brain-Interface-(BBI)-Establishing-Functional-Links-between-Two-Brains-pone.0060410.s001.ogv)). Bu çalışma da biyolojik canlı türleri arasında arayüz teknolojileri sayesinde doğrudan iletişim kurularak algı ve öğrenmelerin aktarılabileceğine dair fikirler sunmaktadır.

Geleceğe yönelik diğer bir nörobilim çalışma alanı, insanoğlunun uzay çağının gerektirdiği bilgi işleme ve öğrenme hızını yakalamasına yöneliktir. Yeni bilgilerin hızlı şekilde az bir eforla öğrenilmesine ve kullanmasına olanak verecek teknolojilerin geliştirilmesi bu projelerin temel hedefidir. Hızlı internet taramalarına olanak veren ya da yoğun bir bilgi birikimini kısa bir sürede işlemeye yardımcı olan beyin implantları ve arayüz sistemleri geliştirmeye yönelik araştırmalar hızla devam etmektedir. Örneğin Elon Musk'ın finanse ettiği NeuroLink, geleceğin nöral mühendisliği misyonunu hedef alan bir araştırma şirkettir. Projelerden biri, Neural lace, kortekse dijital bir tabaka eklemenin etkili yollarına bakmaktadır. Musk'ın (2019) açıklamasına göre donanımların cerrahi bir müdahale olmadan şah damara enjekte edilmesi ve kan akışı yoluyla kortekste ilerlemesi mümkündür. Yine başka bir proje, Neurodust, mikro elektrotların sinir sistemi sinyallerini kaydetmeyi hedeflemektedir (Michael ve Michael, 2007; Seo vd., 2016). Bu çalışmalarda öğrenme türleri, öğrenme hızı, bilgi depolama ve bilgiyi kullanma becerileri kritik öneme sahip araştırma konuları olmaya devam etmektedir.

#### ***Farmakolojik Müdahaleler:***

Nöronların kimyasal işleyişine müdahale ederek bireylerin hafıza ve yürütme becerileri gibi bilişsel ve algısal süreçlerini değiştirmeye yönelik teknikler bu grupta toplanabilir (Farah vd., 2004). Aslında günümüzde pek çok insan omega olarak bilinen (fatty acids) ya da folik asit gibi bilişsel süreçlerle ilgili olduğu düşünülen yardımcı mekanizmaların kullanımına aşınadır. Kahve gibi gıda ürünlerini dikkat süresini arttırmada kullanan insan sayısı oldukça fazladır. Her ne kadar eğitim nörobiliminin doğrudan ilgilendiği bir alan olmamasına rağmen, farmakolojik yollarla performans artırma teknikleri tıp ve biyokimya alan araştırmalarının ötesine geçmektedir. Bu ultra-mega markette ilaç sanayileri ve diğer kurumlar nöronların biyokimyasal işleyişlerine etki ederek bilişsel ve algısal performansı arttıran farmakolojik ürünlere hatırı sayılır ölçüde fonlar ayırmaktadır.

Farmakolojik yollarla performans artırıcı ürünlere duyulan ilgi bunama, dikkat eksikliği ve hiperaktivite gibi alan araştırmaları sayesinde gündemdeki yerlerini korumaktadırlar (The Academy of Medical Sciences, 2007). Amfetamin, prestatam, metifenidat bu grupta sıklıkla karşılaşılan bazı

nootropiklerdir. Örneğin, metifenidat hiperaktivite ve dikkat eksikliğini azaltmada yaygın olarak reçete edilir ve pek çok araştırma bu ilacı kullanan bireylerin hafıza ve planlama kapasitelerinde artış rapor eder (Elliot vd., 1997; Mehta vd., 2000). Fakat araştırmalar tıbbi amaçlı olmayan nootropiklerin kullanımına olan ilgideki bu artışa dikkat çekmektedir. Her ne kadar tıbbi amaçlı olmayan nootropik kullanımının risk-fayda profilleri güvenilir biçimde analiz edilmemiş olsa da araştırmalar gerek öğrenci gerek bazı meslek grupları arasında farmakolojik çözümlere eğilimin arttığını göstermektedir.

Örneğin, Franke vd. (2011) kolej ve üniversite öğrencilerini örneklem aldıkları araştırmalarında artan sayıda öğrencilerin bilişsel yeteneklerini arttırmak için normalde reçete ile alınması ve tıbbi kontrollerle denetlenmesi gereken bu tür ilaçları kullanma eğilimlerinin altını çizmiştir (bkz. Liakoni, Schaub, Maier, Glauser ve Liechti, 2015). Aynı şekilde Amerikan kolej ve üniversitelerinde öğrenimine devam eden öğrenciler arasında bu tür ilaçlara olan talebin yüksek olduğu görülmektedir (Babcock ve Byrne, 2000; Greely vd., 2008; Hall, Irwin, Bowman, Frankenberger ve Jewett, 2005). Öğrencilerin bu tür uyarıcıların işlevleri ya da uzun süreli kullanım etkilerine dair yeterli bir bilgiye sahip olup olmadıklarını analiz eden bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Dahası, öğrencilerin bu uyarıcıları kullanma tercihleri detaylı olarak analiz edilmiş değildir. Bu tür bilişsel performansı arttırıcı tıbbi amaçlı olmayan ilaç kullanım eğilimi sadece öğrenci grupları değil, ekonomistler gibi bazı meslek mensupları arasında da artış göstermektedir (Dietz, Soyka ve Franke, 2016; Franke vd., 2011).

Genel olarak bakıldığında beyin fonksiyonlarını ve davranışları değiştiren bu tür nöro-teknojik uygulamaların yasal çerçevelerinin ulusal ve uluslararası kanunlar ile çizildiğini görüyoruz. Dünya Sağlık Örgütü, ulusların sağlık bakanlıkları, ilgili sağlık kuruluşları ve enstitüler (Institute for Neuroscience, Institute for Mental Health gibi) yasal, sosyal, etik ve bilimsel boyutları şekillendiren karar mercileri olarak görev yapar. Fakat nörobilim, çok dinamik ve projelerin baş döndürücü bir hızla ilerlediği bir alandır. Nöroetik gibi yeni gelişen disiplinler arası tartışma alanları bilimsel araştırma ve şirket faaliyetlerini mercek altına almada kilit rol oynar. Örneğin, nöroetik kapsamında güncel olarak tartışılan konular, araştırmalara gönüllü olan katılımcıların bilgi edinme ve süreçlere ilişkin tüm haklarının korunması, savunmasız kesimlerin pazarlama tekniklerine karşı korunması, araştırmaların hedef, metot, risk ve faydalarının anlaşılır ve detaylı şekilde açıklanması, araştırma sonuçlarının geçerlilik ve güvenilirliğinin nasıl elde edildiğinin detaylı olarak açıklanması, şirketlerin bu pazarda bilimsel verilere sadık pazarlama yöntemlerine yer vermesi gibi konularını kapsamaktadır (Murphy, Iles ve Reiner, 2008). Bunların dışında, alan uzmanlığına sahip olmayan toplum bireylerini bilinçlendirmeyi hedef alan yayın ve çalışmalarının önemi büyüktür. Eğitim nörobiliminin bu bağlamda önemli bir boşluğu dolduracağı açıktır. Henüz çok yeni olmakla birlikte 'eğitim nöroetiği' gibi bir tartışma alanı revaç görmekte (Knowland, 2020), fakat beyin fonksiyonlarını modüle eden bu

teknolojilerin eğitime nasıl etki edeceği, test ve sınavlarla yükselme süreçlerini nasıl manipüle edebileceği henüz tartışılmamaktadır.

### Tartışma

Eğitim ve nörobilim arasında güçlü bir bağlantı vardır ve iki alan arasında kurulan iş birliklerinin potansiyel değeri büyüktür. Bu değerın analizi, nörobilimin okul ya da sınıf uygulamalarına etkisi gibi dar bir çerçevenin ötesinde bir vizyon gerektirir. Çünkü nörobilim araştırmaları kendi disiplin sınırlarını çoktan aşmış, akıl yürütme, öğrenme ve bilişsel beceriler gibi eğitimin doğrudan uğraş alanı içerisinde yer alan konularda devrimci tartışmalar başlatmıştır. Bugün güncel eğitim nörobilimi araştırmalarına baktığımızda bunların çoğunlukla beynin işleyiş ve fonksiyonlarını haritalandırma, belirli bölge aktivasyonlarıyla davranış türleri arasındaki ilişkileri keşfetme yönünde bulgular sunduğunu görmekteyiz. Bu bağlamda eğitim nörobilimi, eğitim ile nörobilim arasında bir köprü görevi görmekte, bilgi transferine olanak vermekte ve böylece üretilen bilgilerin işlevselliğine katkılarda bulunmaktadır. Fakat alandaki son gelişmelere bakıldığında yakın bir tarihte haritalandırma ya da ilişkileri tanımlama aşamasının ötesinde hayatımıza daha müdahaleci yöntemlerin gireceğini söylemek mümkündür. Eğitim ve öğrenme süreçlerini proaktif müdahale teknikleriyle kökten etkileyebilecek tekniklerin kullanımı olasıdır (ileri okuma için bkz. Dündar-Coecke, 2021).

Alandaki araştırmaların niteliği ve niceliği temel alınarak eğitim ve nörobilim kavşağından geleceğe bakıldığında pek çok kestirimler yapmak mümkündür. Bunlardan en belirgin olanları şunlardır:

- **Okuldan bağımsız öğrenme:** Eğitim ve nörobilim araştırmalarının en önemli katkılarından biri *öğrenme hızının* ne kadar göreceli ve hassas bir kavram olduğunu göstermesidir. Bu süreçlerin kalitesine etki eden genetik ve çevresel koşullar vardır. Bu süreçler yüksek oranda sosyoekonomik ve diğer çevresel faktörlerle şekillenir. Üstelik öğrenmelerimizin hatırı sayılır bir kısmı okul dışında gerçekleşmektedir.
- **Okuldaki işleyişe müdahale:** Öğrenme, yüksek oranda bireyselleşmekte ve artık kalabalık sınıflarda kendi hâline bırakılmamakta, ekstra donanımlarla güçlendirilmektedir. Her sınıfa/kaliba uygun eğitim ve öğrenme modellerinden spesifik müdahale programlarına geçilmesine yönelik talepler artmakta, aynı sınıfta dahi her bir bireyin yeti ve yeteneklerini hedef alan özelleşmiş programlara doğru geçiş yapılmaktadır.
- **Metodolojik iş birliği ve diyalog - yeni bir disiplinler arası oluşum:** Eğitimle psikoloji arasındaki ilişki köklü bir geçmişe dayanır. Fakat bu bağlantı günümüz teknolojileri ve nörobilim alanında yaşanan gelişmeleri eğitime yansıtmakta yetersiz kalmaktadır. Aslında hem eğitim hem psikoloji, alanlarındaki güncel gelişmeleri yakalamakta hantal

kalmakta ve bu boşluk, eğitim nörobilimi gibi bir disiplinin yükselişe geçmesine zemin hazırlamaktadır. Tabii ki insan öğrenmesi, çoğunlukla klasik koşullanmaya dayalı hayvan öğrenmesinden oldukça farklıdır ve pedagoji gibi bir alan bu süreçleri analiz etme misyonunu üstlenmiştir. Fakat pedagoji gibi öğretim bilimini teorileştiren bir alan kendi baş malzemesi olan beyin ve sinir sistemini analiz etmeden kendi misyonunu nasıl gerçekleştirebilir ya da yeni nesil öğreticilere ne aktarabilir? Bu nedendir ki eğitimci ya da öğretme işini üstlenen bireyler artık beyin, sinir sistemi ve işleyişi ile ilgili hatırı sayılır oranda bilgiye sahip olmak durumundadırlar. Hatta bu kişilerin gelecekte, bilişsel süreçlerin gelişimi, geliştirilmesi, spesifik müdahale teknikleri, müdahale sonrası adaptasyon süreçleri gibi konularda gereken donanımlara sahip olarak yetiştirilmeleri gerekecektir.

- **Öğrenme, akıl yürütme ve hatırlama stratejilerine nöro-müdahale:** Alışageldiğimiz bir senaryo: Doğuştan gelen dezavantajlarla ya da bir kaza/travma sonrasında kaybedilmiş yetilerin bilişsel süreçlere olan olumsuz etkilerini onarmak tıp ve yan alanlarının uğraşısıdır diye düşünürüz. Bu hâlâ böyledir. Fakat laboratuvarlardan çıkma ürün ve metotların sağlıklı bireylerin eğitim ve öğrenim süreçlerinde kullanılmasına yönelik çabalar göreceli olarak yenidir. Bu çabalar yasal ve etik tartışmaları beraberinde getirmekle birlikte devrimci çözümler sunmaya devam etmektedirler. Görünen o ki bu teknolojilerden haberdar bireyler sahip oldukları biyolojik kodların güçlendirilmesi ve iyileştirilmesini vaat eden çözümlere sıcak bakabilmektedir. Yapay zekâ çalışmalarıyla güçlendirilmiş makine ve laboratuvar ürünleri yardımıyla öğrenme yetilerinin güçlendirilmesine yönelik uygulamalara olan talepte anlamlı bir artış görülmektedir. Artan talepler, toplumda 'ihtiyaca' dayalı müdahale teknolojilerinden 'istem' ve tercihe dayalı müdahale teknolojilerine doğru bir tercih eğilimine işaret etmektedir.
- **İnsanları ileri teknoloji makine/laboratuvar ürünleriyle eşleştirme:** Gelecekte toplumsal tabakalaşmaların bilgi ve teknoloji tabanlı olacağı bir süredir tartışılmekte idi (bkz. Bourdieu ve Passeron, 1990). Nöromodülasyon (müdahale) teknikleri alışlagelen katmanları sarsarak toplumların sosyoekonomik yapılarını şekillendiren yeni tabakalar yaratma potansiyeline sahiptir. Örneğin, şirketler çalışanlarının performanslarını çeşitli arayüz teknolojileriyle yakından izlemeye dönük teknolojiler tercih edebilir. Ya da insanların dikkat seviyelerinin doğrudan ölçüldüğü bir performans ve değerlendirme sistemi tercih edilebilir. Hatta müdahaleci tekniklerle dikkat, hafıza, öğrenme hızı gibi kritik beceriler dahili ve harici metot ve makinelerle manipüle edilebilir. Tüm bunlar göstermektedir ki insanın makine/laboratuvar ürünleriyle etkileşim yollarında ciddi



değişiklikler meydana gelecektir. Bu teknolojiler, sadece akıl yürütmelerin, öğrenme sürelerinin ya da stres seviyelerinin görselleştirildiği bir platform sunmakla kalmayıp görselleştirilen yetilerin geliştirilme olanaklarını da gündeme getirecektir. ‘Zekâ geliştiriciler’, ‘nöro-kozmetik’, ‘hafıza güçlendiriciler’, ‘genetik terapiler’ gibi kavramlar şimdiden hayatımıza girmiştir, bunlardan bazıları nöro-teknoloji yelpazesi altında ele alınmaktadır. Gelecekte ister farmakolojik ister elektromanyetik ya da cerrahi yöntemler kullanan insanoğlunun tek başına neler yapabileceği değil, harici ve dahili donanımlarıyla neler yapabildiği önemli olacaktır.

### Kaynaklar

- Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 278-291.
- Ansari, D., Fugelsang, J. A., Dhital, B., & Venkatraman, V. (2006). Dissociating response conflict from numerical magnitude processing in the brain: An event-related fMRI study. *Neuroimage*, 32(2), 799-805.
- Artemenko, C., Soltanlou, M., Bieck, S. M., Ehli, A. C., Dresler, T., & Nuerk, H. C. (2019). Individual differences in math ability determine neurocognitive processing of arithmetic complexity: A combined fNIRS-EEG study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 13, 227. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00227>
- Asbury, K., & Plomin, R. (2014). *G is for Genes: The impact of genetics on education and achievement*. UK: Wiley.
- Babcock, Q., & Byrne, T. (2000). Student perceptions of methylphenidate abuse at a public liberal arts college. *Journal of American College Health*, 49(3), 143-145.
- Bard, I., Gaskell, G., Allansdottir, A., da Cunha, R. V., Eduard, P., Hampel, J., Hildt, E., ..., & Zwart, H. (2018). Bottom-up ethics -neuroenhancement in education and employment. *Neuroethics*, 11(3), 309-322.
- Bishop, D. V. M. (2014). What is educational neuroscience? [https://figshare.com/articles/What\\_is\\_educational\\_neuroscience\\_/1030405](https://figshare.com/articles/What_is_educational_neuroscience_/1030405) sayfasından erişilmiştir.
- Blakemore, S. J., & Frith, U. (2005). *The learning brain: Lessons for education*. UK: Blackwell.
- Bourdieu, P., & Passeron, J. (1990). *Reproduction in education, society and culture*. UK: Sage.
- Bowers, J. (2016). The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*, 123(5), 600-612.
- Bruer J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational Researcher*, 26(8), 1-13.

- Bruer, J. T. (2013). Afterword. D. Mareschal, B. Butterworth, & A. Tolmie (Ed.), *Educational neuroscience* içinde (s. 349-363). UK: Wiley Blackwell.
- Clark, K. B., Naritoku, D. K., Smith, D. C., Browning, R. A., & Jensen, R. A. (1999). Enhanced recognition memory following vagus nerve stimulation in human subjects. *Nature Neuroscience*, 2(1), 94-98.
- Coffman, B. A., Clark, V. P., & Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *NeuroImage*, 85, 895-908.
- Cohen-Kadosh, R., Cohen-Kadosh, K., Schuhmann, T., Kaas, A., Goebel, R., Henik, A., & Sack, A. T. (2007). Virtual dyscalculia induced by parietal-lobe TMS impairs automatic magnitude processing. *Current Biology*, 17(8), 689-693.
- DARPA. (2016a). Boosting synaptic plasticity to accelerate learning. <https://www.darpa.mil/news-events/2016-03-16> sayfasından erişilmiştir.
- DARPA. (2016b). Implantable 'neural dust' enables precise wireless recording of nerve activity. <https://www.darpa.mil/news-events/2016-08-03> sayfasından erişilmiştir.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506.
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*, 3, 429. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429>
- Demir, M., Usta, M., Yayla, A., Taşkın, N., Hastunç, Y., & Alav, Ö. (2016). Çeşitli nöro-bilişsel ve nöro-pedagojik uygulama ve modalitelerin bilişsel becerilerin gelişimi üzerindeki etkisi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 17(2), 679-696.
- Démonet, J. F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *Lancet*, 363, 1451-1460.
- Dick, F., Lloyd-Fox, S., Blasi, A., Elwell, C., & Mills, D. (2013). Neuroimaging methods. D. Mareschal, B. Butterworth, & A. Tolmie (Ed.), *Educational neuroscience* içinde (s. 13-45). UK: Wiley Blackwell.
- Dietz, P., Soyka, M., & Franke, A. G. (2016). Pharmacological neuroenhancement in the field of economics - poll results from an online survey. *Frontiers in Psychology*, 7, 520. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00520>
- Dubinsky, J. M., Guzey, S. S., Schwartz, M. S., Roehrig, G., MacNabb, C., ..., & Cooper, J. L. (2019). Contributions of neuroscience knowledge to teachers and their practice. *The Neuroscientist*, 25(5), 394-407.

- Dündar-Coecke, S. (2021). Future avenues for education and neuroenhancement. *New Ideas in Psychology*, 63, 100875. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2021.100875>
- Elliott, R., Sahakian, B. J., Matthews, K., Bannerjea, A., Rimmer, J., & Robbins, T. W. (1997). Effects of methylphenidate on spatial working memory and planning in healthy young adults. *Psychopharmacology*, 131, 196–206.
- Emondi, A. (2020). Next-generation nonsurgical neurotechnology. <https://www.darpa.mil/program/next-generation-nonsurgical-neurotechnology> sayfasından erişilmiştir.
- Farah, M. J., Illes, J., Cook-Deegan, R., Gardner, H., Kandel, E., King, P., ..., & Wolpe, P. R. (2004). Neurocognitive enhancement: What can we do and what should we do? *Nature Reviews Neuroscience*, 5(5), 421-425.
- Fischer, K. W., Goswami, U., Geake, J., & The Task Force on the Future of Educational Neuroscience. (2010). The future of educational neuroscience. *Mind, Brain, and Education*, 4(2), 68–80.
- Fell, J., Staresina, B. P., Do Lam, A. T., Widman, G., Helmstaedter, C., Elger, C. E., & Axmacher, N. (2012). Memory modulation by weak synchronous deep brain stimulation: A pilot study. *Brain Stimulation*, 6(3), 270–273.
- Franke, A. G., Bonertz, C., Christmann, M., Huss, M., Fellgiebel, A., Hildt, E., & Lieb, K. (2011). Non-medical use of prescription stimulants and illicit use of stimulants for cognitive enhancement in pupils and students in Germany. *Pharmacopsychiatry*, 44(2), 60-66.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 1-14.
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: Three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 43-54.
- Goswami, U. (2020). Reading acquisition and developmental dyslexia: educational neuroscience and phonological skills. M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Ed.), *Educational neuroscience: Development across the life span* içinde (s. 144-168). London: Routledge.
- Goswami, U., & Bryant, P. E. (1990). *Phonological skills and learning to read*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Greely, H., Sahakian, B., Harris, J., Kessler, R. C., Gazzaniga, M., Campbell, P., & Farah, M. J. (2008). Towards responsible use of cognitive-enhancing drugs by the healthy. *Nature*, 456(7223), 702-705.
- Grigorenko, E. L. (2001). Developmental dyslexia: An update on genes, brains, and environments. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(1), 91–125.

- Hall, K. M., Irwin, M. M., Bowman, K. A., Frankenberger, W., & Jewett, D. C. (2005). Illicit use of prescribed stimulant medication among college students. *Journal of American College Health, 53*, 167–174.
- Houdé, O., Rossi, S., Lubin, A., & Joliot, M. (2010). Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: An fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Developmental Science, 13*, 876-885.
- Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Review Neuroscience, 14*(12), 817-824.
- Jiang, L., Stocco, A., Losey, D. M., Abernethy, J. A., Prat, C. S., & Rao, R. P. N. (2019). BrainNet: A multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains. *Scientific Reports, 9*(1), 6115. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41895-7>
- Joseph, J. E., Noble, K., & Eden, G. F. (2001). The neurobiological basis for reading. *Journal of Learning Disabilities, 34*, 566–579.
- Jwa, A. (2015). Early adopters of the magical thinking cap: a study on do-it-yourself (DIY) transcranial direct current stimulation (tDCS) user community. *Journal of Law and the Biosciences, 2*(2), 292–335.
- Karakuş, O., Howard-Jones, P. A., & Jay, T. (2015). Primary and secondary school teachers' knowledge and misconceptions about the brain in Turkey. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 174*, 1933-1940.
- Knowland, V. (2020). Educational neuroscience: ethical perspectives. M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Ed.), *Educational neuroscience: Development across the life span* içinde (s. 474-499). London: Routledge.
- Koçak, G. (2020). Beyin araştırmalarının eğitime yansımaları: Geleceğin eğitimi üzerine. *Yeditepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 9*(11), 1-16.
- Koyuncu, B. (2017). Eğitimsel sinirbilim neuroeducation: Eğitimciler neden sinirbilim verilerinden yararlanmalıdır? *Türk Akademik Yayınlar Dergisi, 1*(1), 22-34.
- Lacruz, M. E., Valentin, A., Seoane, J. J., Morris, R. G., Selway, R. P., & Alarcón, G. (2010). Single pulse electrical stimulation of the hippocampus is sufficient to impair human episodic memory. *Neuroscience, 170*(2), 623-632.
- Laffere, A., Dick, F., Holt, L. L., & Tierney, A. (2021). Attentional modulation of neural entrainment to sound streams in children with and without ADHD. *NeuroImage, 224*, 117396.

- Liakoni, E., Schaub, M. P., Maier, L. J., Glauser, G. V., & Liechti, M. E. (2015). The use of prescription drugs, recreational drugs, and "soft enhancers" for cognitive enhancement among Swiss secondary school students. *PLOS ONE*, 10(10), e0141289.
- Looi, C. Y., Lim, J., Sella, F., Lolliot, S., Duta, M., Avramenko, A. A., & Cohen-Kadosh, R. (2017). Transcranial random noise stimulation and cognitive training to improve learning and cognition of the atypically developing brain: A pilot study. *Scientific Reports*, 7(1), 4633.
- Lyytinen, P., Eklund, K., & Lyytinen, H. (2005). Language development and literacy skills in late talking toddlers with and without familial risk for dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 55, 166-192.
- Macdonald, K., Germine, L., Anderson, A., Christodoulou, J., & McGrath, L. M. (2017). Dispelling the myth: Training in education or neuroscience decreases but does not eliminate beliefs in neuromyths. *Frontiers in Psychology*, 8, 1314. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01314>
- Mareschal, D., Butterworth, B., & Tolmie, A. (2013). *Educational neuroscience*. Oxford, UK: Wiley Blackwell.
- Mayer, R. E. (1998). Does the brain have a place in educational psychology? *Educational Psychology Review*, 10, 389–396.
- Mehta, M. A., Owen, A. M., Sahakian, B. J., Mavaddat, N., Pickard, J. D., & Robbins, T. W. (2000). Methylphenidate enhances working memory by modulating discrete frontal and parietal lobe regions in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 20, 1-6.
- Michael, K., & Michael, M. G. (2007). Homo-electricus and the continued speciation of humans. M. Quigley (Ed.). *The encyclopaedia of information ethics and security* içinde (s. 312-318). USA: IGI Global.
- Michel, C. M., Murray, M. M., Lantz, G., Gonzalez, S., Spinelli, L., & Grave de Peralta, R. (2004). EEG source imaging. *Clinical Neurophysiology*, 115(10), 2195–2222.
- Molfese, D. L. (2000). Predicting dyslexia at 8 years of age using neonatal brain response. *Brain & Language*, 72(3), 238-245.
- Murphy, E., Iles, J., & Reiner, P. B. (2008). Neuroethics of neuromarketing. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4-5), 293-302.
- Musk, E. (2019). Neuralink: An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels. *Journal of Medical Internet Research*, 21(10), e16194.
- Nelson, J. T., McKinley, R. A., Golob, E. J., Warm, J. S., & Parasuraman, R. (2014). Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *NeuroImage*, 85, 911–919.

- Noble, K., Houston, S., Brito, N., Bartsch, H., Kan, E., ..., & Sowell, E. R. (2015) Family income, parental education and brain structure in children and adolescents. *Nature Neuroscience*, 18, 773–778.
- Pais-Vieira, M., Lebedev, M., Kunicki, C., Wang, J., & Nicolelis, M. A. L. (2013). A brain-to-brain interface for real-time sharing of sensorimotor information. *Scientific Reports*, 3, 1319.
- Pugh, K. (2006). A neurocognitive overview of reading acquisition and dyslexia across languages. *Developmental Science*, 9(5), 448-450.
- Ruf, S., Fallgatter, A. J., & Plewnia, C. (2017). Augmentation of working memory training by transcranial direct current stimulation (tDCS). *Scientific Reports*, 7, 876. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-01055-1>
- Seo, D., Neely, R. M., Shen, K., Singhal, U., Alon, E., Rabaey, J. M., ..., & Maharbiz, M. M. (2016). Wireless recording in the peripheral nervous system with ultrasonic neural dust. *Neuron*, 91(3), 529-539.
- Smedt, B. (2020). Sources of variability in mathematical development. M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Ed.), *Educational neuroscience: Development across the life span* içinde (s. 169-194). London: Routledge.
- Snowball, A., Tachtsidis, I., Popescu, T., Thompson, J., Delazer, M., Zamarian, L., ..., & Kadosh, R. C. (2013). Long-term enhancement of brain function and cognition using cognitive training and brain stimulation. *Current Biology*, 23, 987-992.
- Stern, E. (2005). Brain goes to school. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(12), 563-565.
- Squire, L. R., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2013). *Fundamental neuroscience* (4th ed.). Oxford, UK: Academic Press.
- Suthana, N., & Fried, I. (2014). Deep brain stimulation for enhancement of learning and memory. *NeuroImage*, 85, 996–1002.
- Suthana, N., Haneef, Z., Stern, J., Mukamel, R., Behnke, E., Knowlton, B., & Fried, I. (2012). Memory enhancement and deep-brain stimulation of the entorhinal area. *New England Journal of Medicine*, 366(6), 502–510.
- The Academy of Medical Sciences (2007). Drug's futures: public engagement on the future of brain science, addiction and drugs. <https://acmedsci.ac.uk/file-download/34265-524414fc8746a.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- The Royal Society (2012). *Brain waves module 3: Neuroscience, conflict and security*. London: The Royal Society.

- The Royal Society (2019). iHuman: Blurring lines between mind and machine. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/ihuman/report-neural-interfaces.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Thomas, M. S. C., & Ansari, D. (2020). Educational neuroscience: why is neuroscience relevant to education? M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Eds.), *Educational neuroscience: Development across the life span* içinde (s. 3-22). London: Routledge.
- Thomas, M. S. C., Ansari, D., & Knowland, V. C. P. (2019), Annual Research Review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60, 477-492.
- Thomas, M. S. C., Mareschal, D., & Dumontheil, I. (2020). *Educational neuroscience: Development across the life span*. London: Routledge.
- Thorndike, E. L. (1926). *Educational psychology. Volume 1: The original nature of man*. New York, USA: Teachers College.
- Tolmie, A., & Dündar-Coecke, S. (2020). Lifespan conceptual development in science: brain and behaviour. M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Ed.), *Educational neuroscience: development across the life span* içinde (s. 193-220). UK: Routledge.
- Tong, X., & McBride, C. (2020). Neuroscience in reading and reading difficulties. M. S. C. Thomas, D. Mareschal, & I. Dumontheil (Ed.), *Educational neuroscience: Development across the life span* içinde (s. 123-143). London: Routledge.
- Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A., & Eden, G. F. (2003). Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 6(7), 767-773.
- Vellutino F. R., Fletcher J. M., Snowling, M. J., & Scanlon, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): What have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45, 2-40.
- Ward, J. (2015). *The student's guide to cognitive neuroscience* (3rd ed.). New York: Psychology Press.
- Willingham, D. T. (2009). Three problems in the marriage of neuroscience and education. *Cortex*, 45(4), 544-545.
- Yoo, S. S., Kim, H., Filandrianos, E., Taghados, S. J., & Park, S. (2013). Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains. *PLOS ONE*, 8, e60410.

### Extended Summary

Interest in interdisciplinary research platforms that aim to translate neuroscience knowledge into education has gained momentum across the globe. This has triggered a period in which new groups and laboratories were established in different countries but with shared interests. The Centre for Educational Neuroscience in the UK; the Mind, Brain and Education society in the US, three

international journals; a Special Interest Group (SIG) called Neuroscience and Education under the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI) are some of these.

It has been granted that translating neuroscience knowledge into education and policy is a challenging task. The philosophical, political, and methodological differences between the two fields have already provoked various debates. In fact, from a superficial point of view, neuroscience is a field that examines the structure and function of the nervous system, whereas education encompasses learning, teaching, and social and organisational aspects of educational implementations.

Furthermore, opinions about the strength of the link between these fields diverge largely. For instance, Bishop (2014), Bowers (2016), Bruer (1997, 2013) intensely criticize the effort aiming to bridge neuroscience and education knowledge and highlight the theoretical, practical, and methodological differences between the two fields and the inapplicability of neuroscience knowledge in classroom settings. Others, such as Thomas, Ansari, and Knowland (2019), Thomas and Ansari (2020), Goswami (2004), Ansari, Fugelsang, Dhital, and Venkatraman (2017), Dubinsky et al. (2019), Fischer, Goswami, Geake, and The Task Force on the Future of Educational Neuroscience (2010) emphasize the value of the interoperability between the fields, pointing to the benefit of providing a platform to improve the quality of the dialog between psychologists, educators, and teachers; and empowering learning strategies through better understanding of cognition and brain function via bi-directional routes.

The question is that whether indeed is neuroscience research as informative as we hope it would have on education? Towards and answer, the present paper aims to review current developments and technologies which are contemplated under two subsections. The first section particularly focusses on the current research programs and technologies to discuss why neuroscience knowledge is relevant to education. The second section reviews the recent developments that reflect future prospects and renders the ways in which current neuroscience knowledge is pertinent to education in the context of neuromodulation.

This section has provided examples for the methodological interoperability between the two fields and reviewed recent research bridging between neuroscience and education, as summarized under four subheadings below:

- A departure from the 'indirect evidence' towards the 'direct evidence' paradigm in educational research: Neuroscience technologies are available to researchers working in the fields of learning, instruction, and disorders, with well-established research programmes focusing particularly on core school subject areas, such as reading, mathematics, and brain plasticity, which are fundamental to children's survival in school systems. These technologies provide the opportunity to obtain direct evidence regarding



brain mechanisms underlying cognitive behaviour, presenting a departure from the traditional dependency on sole behavioural assessment methods in education.

- Expansion in the epistemological horizon: Well-established research programmes expand our understanding of why neurobiological mechanisms corresponding to variations in learning processes cannot be interpreted precisely without the use of new methods and tools.
- Dialog: evidence-based programs have focused on improving the quality of dialog between teachers, educators, and psychologists, with an emphasis that the exchange of information flow needs to be bidirectional -from educators to experts, and vice versa.
- Dealing with the information pollution in the field: While interest in brain research is rapidly increasing, it brings additional responsibilities to experts to reduce e.g., the prevalence of neuromyths among educationalists, or to prevent the spread of unproven commercial products in societies.

***Future Prospects: Pioneering Work:***

The range of neuro-intervention strategies involve an array of technologies which can provide a glimpse at insights for future directions. These involve, but not limited to, brain stimulation methods, pharmaceuticals, and brain-implants, mostly pertaining to altering the biochemistry and function of the brain, with potential impacts on the future of human learning as discussed below.

- A group of non-invasive stimulation technologies have been reviewed to discuss the ways in which a number of methods and tools are used to temporally enhance cognitive functions. These include –but are not limited to- the transcranial magnetic stimulation (TMS and rTMS), theta-burst stimulation (TBS), transcranial direct current stimulation (tDCS), and the transcranial random noise stimulation (tRNS).
- Neural interfaces and implants have been reviewed to discuss how neurotechnology can be transitioned to applied science concerning human educability via advanced neural tools, with empowered resolution and precisions for neural interfaces that enable a two-way channel of communication – from device to neurons, and vice versa. These include, for instance, neuroprosthetic sensors, brain-computer interfaces (BCIs), deep brain stimulation (DBS), brain-to-brain interfacing (BTBI) technologies, and other brain implants.
- Pharmacological enhancements, with highly effective drugs, have targeted neurochemical interventions, altering the molecular events underlying cognitive functions, such as memory and executive function. The kinds of drugs that have been experimented with to

treat these conditions are increasingly being used by healthy individuals for the purposes of cognitive enhancement. This section reviewed recent studies discussing the aspects of such enhancement.

The present study highlights the strength of the link between the applied neuroscience research and education, with current neurointervention technologies paving the way for future directions at a stunning pace. The value of this collaboration cannot be analysed from a narrow window stipulating a one-way influence of e.g., neuroscience evidence on classroom practices. Neuroscience research has already transgressed its boundaries and initiated revolutionary debates on issues, such as reasoning and learning, with dedicated technologies allowing effective interventions in the human nervous systems, either to reduce the effects of disabilities or to enhance such cognitive functions.

Contemporary methods have particularly gravitated towards the transformation of educational processes by adding a new functionality to human capabilities: coupling humans with advent machines or with laboratory products. Such integration, in turn, will necessitate a continuous dialog between teachers, engineers, and scientists from diverse disciplines. Rather than being constrained by disciplinary boundaries. This new attitude unifies insights from multiple fields into the phenomena that drive cognitive function, particularly learning.

#### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı**

Bu araştırmanın planlanması, yürütülmesi ve yazılı hale getirilmesinde sadece tek bir araştırmacı yer almıştır.

#### **Destek ve Teşekkür Beyanı**

Bu araştırma, QBA ve UK Economic and Social Research Council (ESRC) tarafından ES/P000592 No'lu fonla desteklenmiştir.

#### **Çatışma Beyanı**

Araştırmacının araştırma ile ilgili diğer kişi ve kurumlarla herhangi bir kişisel ve finansal çıkar çatışması yoktur.

#### **Etik Kurul Beyanı**

Bu araştırma derleme türünde olduğundan etik kurul kararı gerektirmemektedir.