




Gelişimsel Disleksi ve Otizm Spektrum Bozukluğu Tedavisinde Özgün Bir Nörogeribildirim Yöntemi: Auto Train Brain

A Novel Neurofeedback Method in the Treatment of Developmental Dyslexia and Autism Spectrum Disorder: Auto Train Brain

 Günet EROĞLU^a,
 Dilara SAVAŞ^b,
 Barış EKİCİ^c

^aIşık Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye
^bMEF Üniversitesi
İktisadi İdari ve
Sosyal Bilimler Fakültesi,
Psikoloji Bölümü,
İstanbul, Türkiye
^cSerbest Hekim,
İstanbul, Türkiye

Yazışma Adresi/Correspondence:

Günet EROĞLU
Işık Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
İstanbul, Türkiye
gunet.eroглу@heathmobilesoftware.com

ÖZET Auto Train Brain, disleksi ve otizm spektrum bozukluğu (OSB) olan çocukların bilişsel performanslarını nörogeribildirim ve çoklu duyu öğrenme yöntemi ile geliştiren bir mobil telefon uygulamasıdır. EEG sinyalleri, 14 kanallı EEG başlığı ile okunur, mobil telefonda işlenir ve görsel/işitsel uyarılar şeklinde nörogeribildirim verilir. Bu derlemede, gelişimsel disleksi ve OSB'nin bilişsel semptomları, anatomisi, ve elektrofizyolojisi konusunda literatür taraması verilmiştir. Daha sonra, nörogeribildirim çalışması mekanizması, gelişimsel disleksi ve OSB'nde uygulama yöntemleri ve sonuçları literatür taraması olarak detaylı açıklanmıştır. Nörogeribildirim, literatürde en az bir klinik çalışmada etkin olduğu kanıtlanmış, APA kurallarına göre "muhtemelen etkili" (possibly efficacious) olan bir metoddur. Auto Train Brain'in ilk klinik çalışması, gelişimsel disleksi üzerinde yapılmıştır ve bu çalışmanın sonuçlarına göre, disleksili çocukların okuma becerilerinde istatistiki olarak anlamlı olumlu fark izlenmiştir. Ayrıca, çoklu zamansal boyutta karmaşıklık (complexity) hesaplamasına göre, beyin sinyallerinin karmaşıklık değerlerinin tüm zamansal ölçeklerde arttığı da izlenmiştir. Auto Train Brain, şu anda OSB olan çocuklar üzerinde klinik olarak denenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nörogeribildirim; gelişimsel disleksi; otizm spektrum bozukluğu; otomatik beyin eğitim

ABSTRACT Auto Train Brain is a mobile phone application that improves the reading performance of children with dyslexia and ASD through neurofeedback and multi-sensory learning method. EEG signals are read with a 14-channel EEG headset, processed on the mobile phone, and neurofeedback is given in the form of visual/auditory stimuli. In this review, a literature review on developmental dyslexia and cognitive symptoms, anatomy, and electrophysiology of ASD is given. Then, the working mechanism of neurofeedback, its application methods and results in developmental dyslexia and ASD were explained in detail as a literature review. Neurofeedback is a method that has been proven to be effective in at least one clinical study in the literature and is "possibly efficacious" according to APA guidelines. The first clinical study of Auto Train Brain was conducted on developmental dyslexia, and according to the results of this study, a statistically significant positive difference was observed in reading skills of children with dyslexia. It was also observed that the complexity values of brain signals increased at all temporal scales according to the complexity calculation in multiple temporal dimensions. Auto Train Brain is currently being clinically tested on children with ASD.

Keywords: Neurofeedback; developmental dyslexia; autism spectrum disorder; auto train brain

Disleksi, nöropsikiyatrik kökeni olan, özel bir öğrenme bozukluğudur. Çocuklarda %5-10'luk bir prevalansa sahiptir. Doğru ve akıcı olarak kelime tanımadaki zorluklar ve zayıf yazım yetenekleri ile tanımlanır. Bu zorluklar, disleksili kişilerde, dilin fonolojik bileşenini anlama eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Diğer sonuçlar, okuduğunu anlamadaki sorunları, kelime ve bilginin gelişimini etkileyebilecek azalmış okuma deneyimini içerir.¹ Ön ve arka dil alanları arasında zayıf bağlantıdan do-

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN:

Eroğlu G, Savaş D, Ekiçi B. Gelişimsel disleksi ve otizm spektrum bozukluğu tedavisinde özgün bir nörogeribildirim yöntemi: auto train brain. Bildik T, editör. Dijital Psikiyatri. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; 2022. p.38-45.

layı, fonolojik sistemden kaynaklanan bir problemin varlığı söz konusudur.² Diğer bir araştırmada ise, dislekside primer görsel alandaki magnoselüler yapıda bir problem olduğu rapor edilmiştir.³ Disleksideki sorunlar, primer görme ve işitme alanlarında olabileceği gibi, daha sıklıkla multimodal çalışan ve görsel/işitsel algının birleştirildiği alanlarda farklılık ya da yetersizlik olarak karşımıza çıkar.⁴ Disleksilerin, okuma ve heceleme yetenekleri, görsel ve/veya işitsel alandaki farklılıklar yüzünden akranlarına göre daha düşüktür.

Otizm spektrum bozukluğu (OSB), nörogelişimsel bir sorun olup, tanı yaygınlığı artmaktadır. Güncel olarak 1/59 çocukta gözükmekte ve erkek çocuklarında kız çocuklarına kıyasla 3-4 kat daha fazla rastlanılmaktadır.⁵ Özellikle erken çocukluk döneminde kendini 3 ana alanda ortaya çıkarmaktadır. Bu alanlar, sosyal, iletişim ve tekrar edici/sınırlı ilgi alanı olarak sıralanabilir.⁶ Bu alanlarla ilgili önemli belirtiler arasında, zayıf göz kontağı, insanlarla ilişki kurmada zorluk, ekolali, bir objeye karşı takıntı, bazı uyarılara karşı aşırı hassasiyet veya aşırı duyarsızlık, değişime karşı direnç ve amaçsız davranışlar örnek gösterilebilir. Nörolojik bakış açısıyla temellendirmek gerekirse, Beyinde aynı alıcı (receptor) alana sahip hücre grubuna minikolon denir. Minikolon yapısı içindeki nöronlar birbirleri ile daha sık iletişimde bulunur. Neokortikalizasyon, beyin parselasyonu, lateralizasyonu ve beyin katlaması (gyrification), korteks içine yüksek sayıda mini kolonların eklenmesinden ve eksilmesinden etkilenir.⁷ Minikolonlar, yaygın olduğundan ve çok sayıda olduğundan, minikolonların temel ontogenetik modelindeki çok küçük anormallikler, beynin gelişiminde inanılmaz derecede önemli değişikliklere neden olabilir. Minikolonopatiler beyin hacmini, gri/beyaz madde oranını değiştirir.⁸ Disleksi ve OSB olan kişilerde minikolon yapısının normal bireylere göre farklı olduğu bilinmektedir, çünkü fMRI çalışmaları, disleksilerin beyin hacminin, beyin katlamasının (gyrification) az olduğunu, anormal lateralizasyona sahip olduğunu ve disleksili kişilerin beyaz madde derinliğinin daha fazla olduğunu göstermektedir.⁸ Dislekside korteksin kalınlığından ziyade daha az katlamasının varlığı nedeniyle, beyaz madde derinliği normalden daha fazladır.⁹ OSB olan kişilerde ise, beyin hacminin, beyin katlamasının çok olduğu ve beyaz madde derinliğinin daha az olduğu bildirilmiştir.⁸ Alta yatan yapı ne olursa olsun, beyin doğumdan sonra çevresel uyarılara göre kendini organize etme imkanına sahiptir. Okuma, bir insanın yaşamı boyunca kültürel olarak geliştirilmiş bir süreçtir.⁹ Erken okur yazarlık becerileri, yaşamın ilk birkaç yılı boyunca kortikokortikal bağlantıların yeniden şekillenmesinin bir sonucudur. Minikolonlar, korteksin intrakortikal devreleri değiştirmeden

çevresel uyarılara uyum sağlamasına olanak tanıyan “zayıf bağlantılar” sağlayabilir.⁷ Ayrıca beyin başlangıçta görme ve dil için kurulan devreleri bir okuma sistemine zaman içinde adapte olur.¹⁰ Yeni bağlantılar arttıkça, nöronların birleşik aktivasyonu yeni devrelerin oluşumunu tetikler.⁷ Beyin olgunlaşması ile birlikte çocuklarda görülen her iki hemisferin eş zamanlı aktivasyonu, sol hemisferde daha dar alanda, verimli ve hızlı bir sistemin aktivasyonu ile yer değiştirir.¹¹ Sol hemisferde, temporo-parietal lobda, okumanın dar alanda ve hızlı gerçekleşmesi, genellikle disleksi olan kişilerde gelişmez. İlk araştırmalar, disleksili kişilerin dil ile ilgili süreçler için sağ hemisferlerini kullandıklarını göstermiştir.¹²

Son dönemde yapılan disleksi konusundaki araştırmalar, bu görüşü sol angular gyrus’u hedefleyen intra-hemisferik “kısa” kortikokortikal bağlantıdaki bir eksiklik lehine rafine etmiştir.¹³ Bu durum, daha az verimli okuma devresi, zayıf fonolojik işlem veya farkındalık olarak kendini gösterir. Çeşitli araştırmacılar, disleksili çocukların sol frontal bölgede yavaş dalgalara sahip olduklarını ve beta-1 (12-15 Hz) aktivitesini senkronize etmediklerini bildirmişlerdir. Broca bölgesi (konuşma üretimi ve artikülasyon) ve angular gyrus ile ilgili alanlarda okuma, okuduğunu anlama ve matematik işlemler yeterince verimli yapılmaz.^{14,15} Disleksili çocuklar beyin sağ temporal ve sağ parietal bölgelerinde artmış yavaş aktiviteye sahiptir.¹⁶ Araştırmalar, sol temporal bölgede yavaş dalgaların fazla olduğunu göstermektedir.¹⁷ Disleksi ayrıca Dikkat Eksikliği ve Hiperaktivite (DEHB) ile birlikte görülebilir, yani frontal loblarda yavaş aktivite yüksek olabilir. Sol ve sağ temporal bölgelerin delta ve teta bantları için fazla uyumlu olması, alfa ve beta bantları için sağ-temporo merkezli aşırı uyumun olması, sol hemisferik hakimiyetin henüz kurulmamış olduğunu gösterir.^{13,16} Bu nedenle, herhangi bir disleksi eğitim yazılımı, sol hemisferik baskınlığı geliştirmelidir.

Linden, 19 kanallı EEG kayıtlarından hesaplanan, bant gücü, göreceli bant gücü ve çok değişkenli bağlantı analizine dayalı olarak, dört Kantitatif EEG (QEEG) otizm modeli tanımlamıştır.¹⁸ Kantitatif EEG (QEEG), zaman boyunca okunan analog beyin sinyallerinin frekans bandına matematiksel olarak çevrilmesi ile ortaya çıkan verileri içerir. Dört Otizm QEEG alt tipi modeli şunlardır: (1) obsesiflik, aşırı odaklanma ve anksiyeteye karşılık gelen yüksek beta aktivitesi, (2) kortikal yavaşlama ve dikkatsizliğe, dürtüsellik ve hiperaktiviteye karşılık gelen yüksek delta/teta aktivitesi, (3) anormal EEG/epilepsi aktivitesi ve (4) normalden daha düşük genel EEG aktivitesinin (voltaj) gösterdiği metabolik/toksik modeli. Yüksek beta alt tipi, OSB

olan kişilerin yaklaşık %50-60'ında ortaya çıkan en yaygın alt tipti. Delta/teta alt tipi %30-40, anormal EEG alt tipi %33 ve metabolik/toksik alt tip %10'dur. Asperger'li kişilerde, QEEG analizlerinde, öncelikle sağ temporal ve parietal bölgelerde, sosyal ve duygusal tanıma mekanizmalarında yer alan bölümlerde yüksek teta/alfa yaşlaması ve sağ temporal/parietal beyin bölgeleri ve diğer bölgeler arasında düşük uyum olduğu izlenmiştir.

Coben, OSB olan grubun, intrahemisferik ve interhemisferik uyumda normallerden farklı olduklarını bulmuştur. Bulgular, OSB olan kişilerde, öncelikle sağ posterior bölgelerde aşırı teta'yı içeriyordu.¹⁹ Ayrıca frontal korteks üzerinde yetersiz delta ve aşırı orta hat beta vardı. Daha da önemlisi, OSB olan kişilerde, kontrollere kıyasla yetersiz bağlantı modeli vardı. Bu durum, kısa, orta ve uzun elektrotlararası mesafelerde azalmış intrahemisferik delta ve teta uyumunu içerir. İnterhemisferik olarak, delta ve teta uyumları frontal bölge boyunca düşüktü. Temporal bölgelerde delta, teta ve alfa uyumsuzluğu belirgindi. Son olarak, arka bölgelerde düşük delta, teta ve beta uyumu vardı.

NÖROGERİBİLDİRİM NEDİR?

İnsan beyninden EEG cihazları ile okunan frekans verileri, 0- 100 Hz arasındadır ve literatürde yaygın olarak kullanıldığı şekilde aşağıdaki güç bantlarına ayrılmıştır. Delta (0-4 Hz), teta (4-8 Hz), alfa (8 Hz-12 Hz), beta-1 (12-15 Hz), beta2 (15 Hz-25 Hz), gama (25 Hz-100 Hz). Nörogeribildirim uygulamalarında, kullanıcının beyin aktivasyonu, EEG başlığı ile gerçek zamanlı olarak okunur. Okunan analog EEG sinyalleri, güç bantlarına bilgisayar aracılığı ile çevrilir, kişiye görsel ve işitsel olarak sayısallaştırılmış değerler gösterilir. Kullanıcı gerçek beyin aktivasyon modeli hakkında doğrudan olarak bilgisayardan görsel ve işitsel geri bildirim alır, zaman içerisinde 20 ve daha fazla nörogeribildirim seansı alan kişi, merkezi sinir sisteminin bazı bölümleri üzerinde giderek daha çok kontrol kazanır.²⁰ Nörogeribildirim, açık bir görsel ve işitsel geribildirim sinyali aracılığıyla, duyu organlarındaki hücrelerin, çeşitli kimyasal süreçleri başlattığı, bunun sonucunda oluşan elektrik akımının merkezi sinir sistemine ulaştırılması ve beyinde işlenmesini kontrol etmeyi öğrenme sürecidir. Yapılan son araştırmalar, belirli beyin bölgelerindeki aktiviteyi değiştirmek için kullanıcıları eğitmede, nörogeribildirim başarılı olduğunu bildirmiştir. Zamanla elektrik akımının düzenlenmesi konusunda verilen eğitim, davranışsal ölçümlerde veya klinik semptomlarda değişikliklere dönüşebilir. Beynin belirli bir bölgesi üzerinde öğrenilen kontrolün, uzun vadede beyin iletişim ağlarında değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir.²¹

DİSLEKSİ VE OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞUNDA DAHA ÖNCE YAPILMIŞ NÖROGERİBİLDİRİM İLE İLGİLİ KLİNİK ÇALIŞMALAR

Walker ve Norman, disleksili kişilere delta ve teta'yı düşürmek, sol temporalde beta-1'i artırmak, delta ve teta aralığında aşırı uyumunu azaltmak için nörogeribildirim protokolleri uyguladılar ve araştırmaları en az iki seviye okumada artış göstermiştir.²² Nazari, sol temporal ve frontalde delta ve teta'yı düşürmek, sol temporal ve frontalde beta-1'i artırmak için disleksili kişilere nörogeribildirim protokolleri uyguladı.²³ Tedavi nedeniyle okuma süresi ve okuma hataları azaldı. Takip değerlendirmeleri, okuma iyileştirmelerinin hem kalıcı hem de daha iyi olduğunu gösterdi. Disleksiye nörogeribildirim uygulamasının heceleme için yararlı olduğu, ancak okumada fayda sağlamadığı gösterildi.¹⁴ Thornton ve Carmody, okuma seviyelerinde artış bildirdi.¹⁷ Coben ve ark. disleksili katılımcılar üzerinde, beyin bölgelerinin uyumlandırılması konusunda nörogeribildirim eğitimi yaptılar.¹³ Beynin ilgili bölgelerinin uyumlandırılması konusunda nörogeribildirim ile eğitilen disleksili kişilerin okuma performansları gelişti.

OSB'li bireyler ile yapılan birçok nörogeribildirim çalışması otizmin çekirdek semptomlarında (sosyal davranış, dikkat, ve bağ kurma) EEG değerlendirmelerine bağlı olarak gelişme görüldüğü saptanmıştır.²⁴ Sadece, davranış odaklanmak yerine, nörobiyolojik bir seviyede incelenebiliyor olması da nörogeribildirim önemli bileşenlerinden biridir.

Otizimde kullanılan nörogeribildirim protokolleri teta ve alfa'yı azaltmayı hedeflerken beta1 artırmayı ve SMR artırmayı hedefler.^{25,26} Dinlenme anında, Mu ritmini ödüllendiren (8-13 Hz) protokoller mevcuttur. Mu ritmini bir gözlem faaliyetinde düşürmeyi ödüllendiren protokoller vardır. Bağlantılanmanın artışı, mu aktivitesinin düşüşü ile ilgili görünmektedir.^{27,28} Wang ve ark. gama bant gücünü artıran nörogeribildirim protokollerini kullanmıştır.²⁹ Disleksi ve OSB için literatürde geçen nörogeribildirim protokolleri ile ilgili detaylar Tablo 1'de verilmiştir.

AUTO TRAIN BRAIN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Kantitatif EEG (QEEG) temelli nörogeribildirim ve çoklu-duyusal öğrenme yöntemleri hakkında çok sayıda ayrı araştırma olmasına rağmen, araştırmalarda bu yöntemlerin birleştirilmesi ve otomatize edilmesi konusunda bir yaklaşım sergilenmemiş olmasıdır. Nörogeribildirim, henüz okuyup yazamayan disleksili kişiler için çoklu duyusal yaklaşımın temelini oluşturan görsel ve işitsel ipuçlarına

dayanmaktadır. Nörogeribildirim uygulanarak, yavaş beyin dalgaları, beynin, harflerin şekilleri ve seslerini birleştirebildikleri evreye kadar azaltılır. Daha sonra, harfleri seslerle birleştiren bir alfabe öğretim sistemi sunulur. Sistem, harflerin görsel temsillerini, sesbirimlerine sorunsuz bir şekilde bağlamalı ve disleksili kişilere, kalıcı olarak edinilmiş bir yetenek haline getirilmesi için, bu süreç birçok kez tekrarlanmalıdır. Bilgisayarlar, tekrarlayan görevleri çok verimli bir şekilde halledebilir ve aynı prosedürü disleksili çocuklara tekrar edebilir. Bu yeni çözüm, yinelenebilir, tutarlı sonuçlar sağlamalı ve disleksinin herhangi bir alt türüne uygulanmasına izin vermemelidir.

Auto Train Brain, disleksili çocuklar için özel olarak tasarlanmış patentli bir yazılımdır (patent numarası: PCT/TR2017/050572).³⁰ Bu yazılım uygulamasında, okuma yeteneklerini geliştirmek için bir sistem ve yöntem önerilmiştir (Resim 1). Sistem, çoklu duyuşsal öğrenme ve kantitatif EEG temelli nörogeribildirim protokolüne dayanır. Temel amaç, disleksili kişilerin okuma becerilerini güvenilir bir şekilde geliştiren evde uygulanabilen bir terapi sağlamaktır.

Auto Train Brain, bir EEG başlık ile kullanılır. İnvazif olmayan bir çözümdür, hem yetişkinler hem de çocuklar için herhangi bir yan etkisi olmaksızın sürekli beyin performansı iyileştirmesi sunar. 14 kanaldan EEG sinyalleri başlık ile okunarak frekans güç bantlarına çevrilir, bu sinyaller cep telefonunda işlenir ve çevrimiçi, gerçek zamanlı olarak görsel ve işitsel nörogeribildirim sağlar. Bu yazılım uygulamasında, okuma yeteneğini geliştirmek için bir sistem ve yöntem önerilmiştir. Auto Train Brain içinde yer alan kantitatif EEG temelli nörogeribildirim protokolü aşağıda açıklanmıştır:

- Norm eşiğinin üzerindeyse, beyindeki Broca bölgesindeki teta dalgalarını azaltın;
- Norm eşiğinin üzerindeyse, beyindeki Wernicke bölgesindeki teta dalgalarını azaltın;
- Sol hemisferde teta dalgalarının maksimum frekans güç bantlarına sahip kanalları bulun ve teta'yı azaltın; ve
- Sağ yarıkürede teta dalgalarının maksimum frekans güç bantlarına sahip kanalları bulun ve teta'yı azaltın.

Olumlu ödül, ekrandaki yeşil bir oktur, olumsuz geri bildirim kırmızı bir ok ve bir "bip" sesidir. Olumlu ödülle, ekranda görüntülenen puan artar. Katılımcının yavaş beyin dalgaları norm eşiğinin üzerinde ise ekranda kırmızı ok gösterilir ve katılımcının bunu yeşil oka çevirmeye çalışması istenir. Tipik bir nörogeribildirim seansı 20 dakika sürer. Nörogeribildirim seansının ardından, harflerin şekli ve sesini eşleştirme alfabe öğretim sistemi sunulmuştur. Şu

anda mevcut nörogeribildirim sistemleri ile Auto Train Brain arasındaki önemli farklardan birisi, nörogeribildirimi çoklu duyuşsal öğrenme ilkeleriyle birleştirmesidir. Ayrıca, 14 kanallı nörogeribildirim protokolü yenidir (Resim 1).

DISLEKSİ KLİNİK ÇALIŞMA SONUÇLARI VE OTİZM SPEKTRUM BOZUKLUĞUNDA DEVAM EDEN ÇALIŞMA HAKKINDA BİLGİ

Eroğlu ve ark.nın yaptığı klinik çalışmada, deney ve kontrol grubunda ortaya çıkan bulgular aşağıda özetlenmiştir:¹⁵

1. Disleksili çocukların beyinlerinde ölçülen karmaşıklık (complexity), sağlıklı çocuklardan oluşan norm grubunun beyinlerinde ölçülen karmaşıklığa göre daha düşüktür (Şekil 1).

Disleksili çocukların beyinlerinde dinlenme anında ölçülen karmaşıklığın (Multi-scale entropy), orta ve yüksek zamansal ölçeklerde, sağlıklı çocuklardan oluşan norm grubuna kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu yapılan klinik çalışma ile ortaya konulmuştur.¹⁵

Uzun mesafe dinamik zamansal karmaşıklık, MSE'de daha yüksek zamansal ölçeklerde yüksek veya düşük karmaşıklık olarak yansıtılır. Daha yüksek zamansal ölçeklerde daha düşük karmaşıklık, beynin iki hemisferi arasında daha az fark olduğu anlamına gelir. Bu durum, disleksili çocukların her iki hemisferi de eşit olarak kullandıklarını gösterirken, sağlıklı çocuklardan oluşan norm grubunda, sol beyin baskınlığının zaten kurulmuş olduğunu göstermektedir.¹⁵

Daha düşük zamansal ölçeklerdeki karmaşıklık, deney grubu için heterojendi. Deney grubundaki bazı katılımcılar, daha düşük zamansal ölçeklerde norm grubuna göre daha az karmaşıklığa sahipti ve bazıları daha fazlaydı. Bu durum, disleksili çocukların minikolonopatiye sahip olabileceğine işaret edebilir.¹⁵ İnflamasyonun, hızlı beyin dalgaları anlamına gelen düşük zamansal ölçeklerde karmaşıklığı arttırdığı da bilinmektedir.²⁹ Genel olarak, OSB ve disleksi birbirinin tam tersi olmasına rağmen disleksili çocukların beyinlerinde ölçülen karmaşıklık, Catarino ve ark. tarafından açıklandığı gibi atipik OSB olan çocuklara benzemektedir.³¹

2. Auto Train Brain ile yapılan nörogeribildirim, disleksili deney grubunda tüm zamansal ölçeklerde karmaşıklığı arttırmış, sol hemisfer dominansının kurulmasına yardımcı olmuştur.

Auto Train Brain ile yapılan nörogeribildirim sonucunda beyinde ölçülen karmaşıklığı, sağlıklı çocuklardan oluşan norm grubu ile karşılaştırdığımızda,

TABLO 1: Literatürde yeralan disleksi ve otizm çalışmalarında kullanılan nörogeribildirim protokolleri.

Çalışmanın adı	Tanı	Protokol	Sonuç	Hasta sayısı
Walker & Norman, (2006)	Disleksi	Santral bölgede, delta ve teta düşür, sol temporalde beta1 artır, delta ve teta aşırı uyumunu düşür	Okumada 2 seviye artış	12
Nazari ve ark. (2012)	Disleksi	Sol temporal ve frontalde delta ve tetayı düşür, sol temporal ve frontalde beta1'i artır	Okuma süresi arttı, okuma hataları azaldı	31
Breteler ve ark. (2010)	Disleksi	Sol ve sağ temporalde delta düşür, frontal ve santralde beta düşür, delta, alfa ve beta aşırı uyum düşür	Hecelemede artış, okumada fark yok	10
Thornton & Carmody (2005)	Disleksi	Teta ve alfa düşür	Okuma seviyesinde artış	69
Coben ve ark. (2015)	Disleksi	Frontotemporal ve oksipitoparietal aşırı uyum düşür, Parietal medial temporalde aşırı uyum düşür	Okuma performansında artış	42
Cowan & Markham (1994)	OSB	4-10 Hz düşür, 16-20 Hz artır	Dikkat, motor davranışlarda iyileşme, dürtüsellikte azalma, sosyalleşmede artış	Olgu sunumu
Sichel ve ark. (1995)	OSB	Teta düşür, SMR artır	Sosyalleşme, davranış, konuşmada artış	Olgu sunumu
Thompson and Thompson (1995)	OSB	Teta düşür, SMR artır, parietal temporalde	Sosyal, akademik ve davranışlarda artış	Olgu sunumu
Ibric and Hudspeth (2003)	OSB	Kantitatif EEG tabanlı kişiye özel	Davranışta düzelleme, uyku ve harekette düzelleme	Olgu sunumu
Thompson and Thompson (2003a)	OSB	Kantitatif EEG tabanlı; teta düşür, santral bölgede 13-15 Hz artır	IQ'da artış, sosyalleşmede artış	3
Limsila ve ark. (2004)	OSB	Frontalde HEG tabanlı	Notlar iyileşti	Olgu sunumu
Linden (2004)	OSB	Kantitatif EEG tabanlı, kişiye özel	Dikkat arttı, dürtüsellik azaldı, hiperaktivite azaldı, EEG iyileşti, iletişim düzeldi, sosyalleşme arttı	Olgu sunumu
Scolnick (2005)	OSB	EEG tabanlı, kişiye özel	Davranışlar düzeldi	Olgu sunumu
Jarusiewicz (2002)	OSB	EEG tabanlı, kişiye özel	ATEC tabanlı otizm semptomlarında %26 düşüş, sosyalleşmede artış, konuşmada artış, uykuda düzelleme, ev ödevini yapmada artış	24
Coben & Padolsky (2007)	OSB	Posterior frontal ve anterior temporal alanlar arasında aşırı uyumu azaltma yönünde EEG tabanlı	ATEC tabanlı otizm semptomlarında %40 düşüş,	37
Kouijzer ve ark. (2009)	OSB	Kantitatif EEG tabanlı, theta/beta1 oranı düşürme	Yönetici faaliyetlerde artış, sosyalleşmede ve iletişimde artış	7
Wang ve ark. (2016)	OSB	Kantitatif EEG, 40 Hz gama artır, dikkat artır	Hiperaktivitede azalış, sosyalleşmede artış	18
Coben ve ark. (2018)	OSB, ADHD	4 kanallı EEG uyumu artırma protokolü	Güç bantlarında olumlu yönde daha fazla değişim	174

SF2, $t(539.568)=-2.055$, $p=.040$, $d=0.20$ ve SF10, $t(435.575)=-2.889$, $p=.004$, $d=0.34$. arasındaki tüm karnallardaki karmaşıklık önemli ölçüde arttığı izlenmiştir. Yalnızca, SF32, $t(516.654)=4.108$, $p<.001$, $d=0.30$ ve

SF36, $t(519.423)=2.217$, $p=.027$, $d=0.15$ arasındaki karmaşıklık farklı kalmıştır. Bu durum, dislekside sol hemisferin sağ hemisferden farklılaşmaya başladığını göstermektedir.¹⁵



RESİM 1: Auto Train Brain'in bir çocuk tarafından kullanımı.

3. Auto Train Brain ile yapılan nörogeribildirim, elektrofizyolojik olarak beyinde karmaşıklık artırımının ötesinde, bilişsel olarak okuma becerilerini geliştirmiştir.

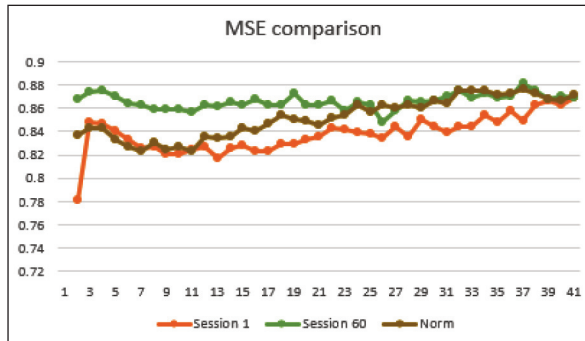
Bu araştırmada, TILLS puanları deney öncesi ölçülen 20.3'ten deney sonrası 24.1'e yükselmiştir. Bir dakikada okunan kelime sayısı 38'den 60'a yükselmiştir.¹⁵

4. Auto Train Brain nörogeribildirim uygulaması, eşlik eden durumları olmayan disleksili çocuklarda özel eğitimle birlikte uygulandığında etki seviyesi en yüksek çözümlü olmaktadır.

Eşlik eden durumları olmayan disleksili çocuklarda özel eğitimle birlikte uygulandığında, TILLS puanları 25.5'dan 35'e yükselmiştir.¹⁵

5. Auto Train Brain ile evde özel eğitim mümkün olabilmektedir.

Auto Train Brain ile disleksili çocukların evde, çevrimiçi eğitimle, yan etkisiz rehabilitasyon hizmeti alabile-



ŞEKİL 1: Sağlıklı çocuklar norm grubu (n=20) ve disleksili deney grubu (n=16) arasında eğitim öncesi ve sonrası çoklu ölçekli entropi (MSE) elektroensefalogram analizlerinin sonuçları ve karşılaştırması. 1. Session deney grubu eğitim öncesi, 60. session ise deney grubu eğitim sonrası ile ilgilidir. Norm, sağlıklı çocuklar norm grubunu temsil eder.

cekleri izlenmiştir. Pandemi döneminde, rehabilitasyon merkezlerinin kapatılması nedeniyle bu çocuklar çok uzun süre eğitim alamadılar. Pandeminin önümüzdeki dönemde de devam edebileceği düşünülürse, disleksili çocuklar için Auto Train Brain nörogeribildirim eğitimi ile destekli çevrimiçi normal eğitim, tek eğitim seçeneği olarak kalabilir.

Klinik çalışmada, nadir durumlarda tedavi sonrası kısa süreli baş ağrıları dışında hiçbir katılımcı için herhangi bir sıkıntı bildirilmedi.

OSB üzerine yapılan klinik çalışmamızda, farklı nitelik setine sahip OSB tanısı almış çocuklara psikometrik testler, deney öncesi ve sonrası olarak uygulanmaktadır. Ayrıca, dinlenme anında ve çalışma belleği aktifken EEG verisi toplanmaktadır. Auto Train Brain eğitimi sonrasında, hem EEG verilerindeki karmaşıklık değişimi, hem de psikometrik testlerde görülen değişimler incelenecektir.

NÖROGERİBİLDİRİMDE GELECEK VİZYONU

Nörogeribildirim, bedende üretilen elektrik akımı üzerinde kişinin kontrolünü artırmayı hedefleyen, kısa süreli baş ağrısı haricinde yan etkisi olmayan bir yöntemdir. Bu yöntemin, doktorların kontrolünde evde uygulanabilen bir rehabilitasyon yöntemi olması, ailelerin bu tedaviyi benimseme imkanlarını artırmakta ve çocukların nörogeribildirim eğitimi alma sürelerini uzatmaktadır. Disleksili ve OSB olan bireylerin hayatlarının bazı kritik dönemlerinde desteklenmeleri, hayat kalitelerinin yükselmesi ve topluma entegre bir hayat sürdürebilmeleri için önemlidir. Doktorların da disleksili ve OSB olan bireylerin gelişimlerini, Auto Train Brain uygulaması ile bilgisayardan, seans bazında oluşan verilerle izlemeleri, hem hastaları için daha uygun teşhis ve tedavi önerileri üretmeleri, hem de daha çok hastayı uzun dönemli takip edebilmeleri açısından önemlidir.

Auto Train Brain eğitimi, gelecekte zihinsel yetersizlik, anksiyete, depresyon, ve Alzheimer's hastalıkları için de uyarlanıp klinik çalışma ile etkinliği incelenebilir.

SONUÇ

Teknolojideki gelişmeler, müdahalelerin gerçekleştirilmesi için ilginç bir araç sağlar ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulmasına rağmen, 14 kanallı nörogeribildirim ve çoklu duyuşal öğrenme yönteminin bir arada kullanılması disleksili çocukların okuma becerilerini geliştirebilir. Şu anda Auto Train Brain, disleksili çocuklar için, evde etkili bir eğitim sunmaktadır. Pandemi döneminde, rehabilitasyon merkezleri kapatıldı ve disleksili çocuklar özel eğitim alamadılar. Önümüzdeki dönemde de pandeminin devam edebileceği göz önüne alındığında, Auto Train Brain, disleksili çocuklar

için bilimsel olarak kanıtlanmış, evde uygulanabilen, yan etkisiz, çevrimiçi özel eğitim çözümü olarak kullanılabilir. Bu çalışma aynı zamanda gelecekteki araştırmalar için bazı çı-

karımlar ortaya çıkardı. Hafızayı, dinlemeyi, konuşmayı ve kelime farkındalığını geliştiren yeni oyunlar, etkinliği artırmak için Auto Train Brain'e eklenebilir.

KAYNAKLAR

- Lyon GR, Shaywitz SE, Shaywitz BA. (2003). A definition of dyslexia. *Ann. of Dyslexia*. 2003;53(1):1-14.
- Paulesu E, Frith U, Snowling M, Gallagher A, Morton J, Frackowiak RS, Frith CD. Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*. 1996;119 (Pt 1):143-57. doi: 10.1093/brain/119.1.143.
- Stein J, Walsh V. To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*. 1997;20(4):147-52. doi: 10.1016/s01662236(96)01005-3.
- Harrar V, Tammam J, Pérez-Bellido A, Pitt A, Stein J, Spence C. Multi-sensory integration and attention in developmental dyslexia. *Curr Biol*. 2014;24(5):531-5. doi: 10.1016/j.cub.2014.01.029.
- Blumberg SJ, Bramlett MD, Kogan MD, Schieve LA, Jones JR, Lu MC. Changes in prevalence of parent-reported autism spectrum disorder in school-aged U.S. children: 2007 to 2011-2012. *Natl health Stat Report*. 2013;(65):1-11, 1 p following 11.
- Young RL, Rodi ML. Redefining autism spectrum disorder using DSM5: the implications of the proposed DSM-5 criteria for autism spectrum disorders. *J Autism Dev Disord*. 2014;44(4):758-65. doi: 10.1007/s10803-013-1927-3.
- Casanova MF, Tillquist CR. Encephalization, emergent properties, and psychiatry: a minicolumnar perspective. *Neuroscientist*. 2008;14(1):10118. doi: 10.1177/1073858407309091.
- Casanova MF, Buxhoeveden DP, Switala AE, Roy E. Minicolumnar pathology in autism. *Neurology*. 2002;58(3):428-32. doi: 10.1212/wnl.58.3.428.
- Casanova MF, El-Baz AS, Giedd J, Rumsey JM, Switala AE. Increased white matter gyral depth in dyslexia: implications for corticocortical connectivity. *J Autism Dev Disord*. 2010;40(1):21-9. doi: 10.1007/s10803009-0817-1.
- Wise JC, Sevcik RA, Morris RD, Lovett MW, Wolf M. The relationship among receptive and expressive vocabulary, listening comprehension, pre-reading skills, word identification skills, and reading comprehension by children with reading disabilities. *J Speech Lang hear Res*. 2007;50(4):1093-109. doi: 10.1044/1092-4388(2007/076).
- Sandak R, Mencl WE, Frost SJ, Pugh KR. The Neurobiological Basis of Skilled and Impaired Reading: Recent Findings and New Directions. *Scientific Studies of reading*. 2004;8(3):273-92. doi: 10.1207/s1532799xssr0803_6.
- Yeni-Komshian Gh, Isenberg D, Goldberg h. Cerebral dominance and reading disability: left visual field deficit in poor readers. *Neuropsychologia*. 1975;13(1):83-94. doi: 10.1016/0028-3932(75)90051-2.
- Coben R, Wright EK, Decker SL, Morgan T. Impact of Coherence Neurofeedback on Reading Delays in Learning Disabled Children: A Randomized Controlled Study. *NeuroRegulation*. 2015;2(4):168-78. doi: 10.15540/nr.2.4.168.
- Breteler Mh, Arns M, Peters S, Giepman I, Verhoeven L. Improvements in spelling after QEEG-based neurofeedback in dyslexia: a randomized controlled treatment study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010;35(1):5-11. doi: 10.1007/s10484-009-9105-2. Erratum in: *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2010;35(2):187.
- Eroğlu G, Gürkan M, Teber S, Ertürk K, Kırmızı M, Ekici B, et al. Changes in EEG complexity with neurofeedback and multi-sensory learning in children with dyslexia: A multiscale entropy analysis. *Appl Neuropsychol Child*. 2020:1-12. doi: 10.1080/21622965.2020.1772794.
- Arns M, Peters S, Breteler R, Verhoeven L. Different brain activation patterns in dyslexic children: evidence from EEG power and coherence patterns for the double-deficit theory of dyslexia. *J Integr Neurosci*. 2007;6(1):175-90. doi: 10.1142/s0219635207001404.
- Thornton KE, Carmody DP. Electroencephalogram biofeedback for reading disability and traumatic brain injury. *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am*. 2005;14(1):137-62, vii. doi: 10.1016/j.chc.2004.07.001.
- Linden M (2004) Case studies of QEEG mapping and neurofeedback with autism. Presented at the 12th Annual Conference of the International Society for Neuronal Regulation, Fort Lauderdale, Florida.
- Coben R, Clarke AR, Hudspeth W, Barry RJ. EEG power and coherence in autistic spectrum disorder. *Clin Neurophysiol*. 2008;119(5):1002-9. doi: 10.1016/j.clinph.2008.01.013.
- Ninaus M, Witte M, Kober SE, Friedrich EV, Kurzmann J, hartsuiker E, et al. Neurofeedback and Serious Games. In: *Management Association, ed. Gamification: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*. Hershey, PA: IGI Global; 2015. p. 83-112. doi:10.4018/978-1-4666-82009.ch005.
- Niv S. Clinical efficacy and potential mechanisms of neurofeedback. *Personality and Individual Differences*. 2013;54(6):676-86. doi:10.1016/j.paid.2012.11.037.
- Walker JE, Norman CA. The neurophysiology of dyslexia: A selective review with implications for neurofeedback remediation and results of treatment in twelve consecutive patients. *Journal of Neurotherapy*. 2006;10(1):45-55. doi:10.1300/J184v10n01_04.
- Nazari MA, Mosanezhad E, hashemi T, Jahan A. The effectiveness of neurofeedback training on EEG coherence and neuropsychological functions in children with reading disability. *Clin EEG Neurosci*. 2012;43(4):315-22. doi: 10.1177/1550059412451880.
- Coben R, Ricca R. EEG biofeedback for autism spectrum disorder: a commentary on Kouijzer et al. (2013). *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2015;40(1):53-6. doi: 10.1007/s10484-014-9255-8.
- Cowan J, Markham L. EEG biofeedback for the attention problems of autism: A case study. In *Annual Meeting of the Association for applied Psychophysiology and Biofeedback*. 1994;12-3.
- Thompson L, Thompson M. Autism/Asperger's/obnoxious child, 3 case histories: how we get positive results with complex ADD clients. Paper presented at the Annual Conference of the Society for Neuronal Regulation, Scottsdale, Az. 1995.
- Pineda JA, Brang D, hecht E, Edwards L, Carey S, Bacon M, et al. Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2008;2(3):557-81.
- Coben R, hudspeth W. Mu-like rhythms in autistic spectrum disorder: EEG analyses and neurofeedback. Presented at the 14th Annual Conference of the International Society for Neuronal Regulation. Atlanta, Georgia. 2006.

- 29 Wang Y, Sokhadze EM, El-Baz AS, Li X, Sears L, Casanova MF, Tasman A. Relative power of specific EEG bands and their ratios during neurofeedback training in children with autism spectrum disorder. *Front. hum. Neurosci.* 2016;9:723. doi: 10.3389/fnhum.2015.00723.
- 30 Eroğlu G, Aydın S, Çetin M, Balçisoy S. (2018, May). Improving cognitive functions of dyslexics using multi-sensory learning and EEG neurofeedback. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). Izmir, Turkey. 2018. doi: 10.1109/SIU.2018.8404711.
31. Catarino A, Churches O, Baron-Cohen S, Andrade A, Ring H. Atypical EEG complexity in autism spectrum conditions: a multiscale entropy analysis. *Clin Neurophysiol.* 2011;122(12):2375-83. doi: 10.1016/j.clinph.2011.05.004.