



# Okuma bozukluğunun göz izleme ve makine öğrenmesiyle belirlenmesi: Alanyazının gözden geçirilmesi

Esmehan Özer<sup>1</sup>,  Rahime Duygu Temeltürk<sup>2</sup> 

## Anahtar kelimeler

okuma bozukluğu, disleksi, göz izleme, göz hareketleri, makine öğrenmesi, tanılama

## Keywords

reading disorder, dyslexia, eye tracking, eye movements, machine learning, diagnosis

## Öz

Okuma bozukluğu yani disleksi okumanın sesletim ve anlama boyutlarındaki güçlüklerdir. Yaygın olarak karşılaşılan öğrenme bozukluklarından biri olan disleksinin teknoloji temelli ve yenilikçi bir teknik olan göz izleme ile incelendiği çalışmalarla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Göz izleme tekniği aracılığıyla disleksili okurların okuma esnasında sekme ve sabitleme göz hareketlerine ulaşılmakta, elde edilen fizyolojik veriler ile analizler gerçekleştirilmektedir. Böylece disleksili okurların okuma becerilerine ilişkin yapılan analiz ve incelemeler ile okuma performans ve profilleri ortaya konulmaktadır. Bunun yanı sıra son yıllarda bir okurun disleksili olup olmadığının değerlendirilerek tespit edilmesinde göz izleme ve makine öğrenme algoritmalarının birlikte uygulanmaya başlandığı görülmektedir. Bu derleme çalışması ise göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak disleksili bireylerin belirlenmesi için yapılan araştırmaların incelenerek özetlenmesini amaçlamaktadır. Bu nedenle makalede göz hareketleri ve makine öğrenmesi algoritmaları ile ilgili tanımlamaların ardından okurlarda disleksinin saptanmasına yönelik İspanyolca, İsveççe, Yunanca ve Fince olmak üzere dört farklı dilde yapılan çalışmalar özetlenmiştir. Dolayısıyla disleksili bireylerin fizyolojik veriler ışığında hem klinik hem de eğitsel olarak değerlendirilip en erken dönemde tanılanmalarının ve bu bireylere özgü müdahale programlarının geliştirilerek zaman kaybedilmeden uygulanmasının, akademik başarısızlığın ve olumsuz yaşantılarının önüne geçilmesi için kritik öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Böylece göz izleme ile makine öğrenmesinin tamamlayıcı bir rolle de olsa tanı değerlendirme süreçlerinde yer alarak psikiyatri kliniklerinde ve rehberlik araştırma merkezlerinde klinik psikolog, rehberlik psikolojik danışmanlık ve özel eğitim alanlarındaki uzmanlar tarafından uygulanması sonucunda doğru tanılanmanın zaman kaybı ve ekonomik kayıp olmaksızın yapılabileceğine dikkat çekilmek istenmiştir. Göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak yüksek doğruluk ile okuma bozukluğunun tanılanabileceğine ilişkin dört farklı dilde yapılan çalışmaların yanı sıra ana dili Türkçe olan disleksili bireylerin de bu yolla en erken dönemde değerlendirilip tanılanabilecekleri ve kendilerine özgü müdahale programlarının tasarlanabileceği öngörülmektedir.

## Abstract

**Determining reading disorder with eye tracking and machine learning: A review of the literature**  
Reading disorder, namely dyslexia, is described as the difficulty in the pronunciation and comprehension dimensions of reading. Studies in which dyslexia, one of the most common learning disorders, are examined using a technology-based and innovative technique, eye tracking, are frequently encountered. By means of eye tracking, the saccade and the fixation of dyslexic readers are reached during reading and analysis are performed with the obtained physiological data. Thus, the analysis and examination of the reading skills of individuals with dyslexia and their reading performance and profiles are revealed. In addition, in recent years, eye tracking and machine learning have started to be applied together in determining whether a reader is dyslexic or not. This review aimed to analyze and summarize the researches carried out to identify dyslexic individuals using eye tracking and machine learning. For this reason, in the article, after the definitions of eye movements and machine learning algorithms, studies on the detection of dyslexia in readers in four different languages, namely Spanish, Swedish, Greek and Finnish, were summarized. Therefore, it is critical to evaluate individuals with dyslexia clinically and educationally with physiological data, to diagnose them in the earliest period, to apply specific intervention programs, and to prevent academic failure and negative experiences. Thus, the accurate diagnosis can be made without loss of time and economic loss as a result of the application of eye tracking and machine learning even if it is complementary by clinical psychologists, guidance, psychological counseling and special education specialists in psychiatry clinics and guidance research centers. In addition to studies conducted in four different languages regarding the diagnosis of reading disorders with high accuracy using eye tracking and machine learning, individuals with dyslexia whose mother tongue is Turkish can also be evaluated and diagnosed in this way at the earliest age and specific intervention programs can be designed for them.

**Atf için:** Özer, E. ve Temeltürk, R. D. (2023). Okuma bozukluğunun göz izleme ve makine öğrenmesiyle belirlenmesi: Alanyazının gözden geçirilmesi. *Klinik Psikoloji Dergisi*, 7(2), 258-270.

**Esmehan Özer** · esmehanozer@kku.edu.tr | <sup>1</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Kırıkkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Özel Eğitim Bölümü, Ankara yolu 7. km, Yahşihan, 71450; <sup>2</sup>Öğr. Gör., Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Çocuk ve Ergen Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, Mamak Cad. 06260, Mamak/Ankara.

**Geliş:** 20.12.2021, **Düzeltilme:** 23.04.2022, **Kabul:** 09.05.2022



Okuma bozukluğu, Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve Sayımsal El Kitabı 5'te (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders [DSM-5]) Özgül Öğrenme Bozukluğu (ÖÖB) başlığı altında tanımlanmaktadır. DSM-5, okuma bozukluğunun bir başka ifadeyle disleksinin belirtilerini okumanın sesletim ve anlama boyutlarındaki güçlükler olmak üzere iki başlık altında incelemektedir. Sesletim boyutundaki güçlükler: Sözcüğü; yanlış, yavaş, duraksayarak, tahmin ederek, çok çaba sarf ederek okuma ve seslendirme güçlükleridir. Anlama boyutundaki güçlükler: Metnin içeriği ile ilgili sıralama yapma, ilişki kurma, çıkarım oluşturma, derin anlamı fark etme güçlükleridir (Amerikan Psikiyatri Birliği, American Psychiatric Association [APA], 2013). DSM-5'e göre disleksili okurların güçlüklerine ilişkin en az 6 ay boyunca müdahale uygulanmasına rağmen yapılan değerlendirmelerde yaşlarına ait ortalamanın en az 1.5 standart sapma altında ya da uygulanan standart akademik başarı testlerinden 78 standart test puanının altında bir puan almaları beklenmektedir (APA, 2013). Lyon ve arkadaşlarına (2003, s.2) göre:

“Disleksi, nörobiyolojik kökenli özgül bir öğrenme güçlüğüdür. Doğru ve akıcı sözcük tanıma güçlükleri ve zayıf heceleme ve kod çözme becerileri ile karakterize edilmektedir. Bu güçlükler; genel olarak dilin fonoloji bileşenindeki yetersizlikten kaynaklanmaktadır yani okura sunulan sınıftaki etkili öğretime ve okurun diğer bilişsel becerilerindeki performansına ilişkin olarak beklendiği bir durum değildir.”

Özetle; disleksi, sözcük tanımının hızını ve doğruluğunu olumsuz olarak etkileyen bu durumun sonucunda ise okuma akıcılığının ve metni anlamının engellenmesine neden olan nörogelişimsel bir okuma bozukluğudur (Benfatto ve ark., 2016).

Okuma bozukluğu, yazılı anlatım bozukluğu (disgrafi) ve matematik bozukluğu (diskalkuli) ile beraber ÖÖB çatısı altında yer almaktadır. DSM-5'e göre çeşitli dil ve kültürlerden olan okul çağı çocukları arasında ÖÖB tanısının görülme sıklığı %5 ila %15 arasında değişiklik göstermektedir. Bahsedilen öğrenme bozuklukları arasında en yaygın olanı ise disleksidir (APA, 2013). Türkiye'de ÖÖB'nin yaygınlık oranı; ailelerin ve eğitimcilerin bilgi ve farkındalık düzeylerinin sınırlı olması, standartlaştırılmış tanı araçlarının yetersizliği ve tanı sürecinde yaşanan tutarsızlıklar gibi çeşitli nedenlerle net ve doğru bir biçimde sunulamamaktadır (Melekoğlu ve Sak, 2018). Dolayısıyla Türkiye'de disleksi tanınmasına ilişkin ulusal çapta henüz bir fikir birliği olmadığından disleksinin yaygınlığına ilişkin de net verilere ulaşılamamaktadır. Bununla beraber Türkiye'deki tüm özel eğitim alanları-

nın yaklaşık %3'lük bölümünü ÖÖB tanılı bireylerin oluşturduğu ifade edilmektedir (Melekoğlu ve Sak, 2018). Ayrıca, Türkiye'de yapılan epidemiyolojik bir araştırmada, ilkokul çağı çocuklarda ÖÖB yaygınlığı %0.5 olarak bildirilmiştir (Ercan ve ark., 2019). Ek olarak ÖÖG yaşam boyu süren nörogelişimsel bir bozukluk (APA, 2013) olsa da, ilk tanı konma yaşı ilkokul çağına olduğundan Türkiye'de bu alanda yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunun bu yaş grubunda yer alan çocukları kapsadığı görülmektedir (Görgün ve Melekoğlu, 2019).

Disleksili bireylerin tanı-değerlendirme işlemleri profesyonel uzmanlık gerektirir (Prabha ve ark. 2018). Zira disleksi nöropsikolojik, nörobilişsel, nörobiyolojik ve genetik temelleri olan çok yönlü bir bozukluktur (Peterson ve Pennington, 2012). Dolayısıyla göz izleme tekniği (eye tracking technique) ile makine öğrenmesi (machine learning) kullanılarak elde edilen fizyolojik veriler ışığında çok bileşenli ve karmaşık bir yapıya sahip olan disleksinin en erken dönemde hem klinik hem de eğitsel olarak değerlendirilmesinin önemli olduğu düşünülmektedir. Bu çerçevede tanı-değerlendirme aşamasında psikiyatri kliniklerinde ve Rehberlik Araştırma Merkezlerinde (RAM) yer alan klinik psikologların, rehberlik psikolojik danışmanlık ve özel eğitim alanlarındaki uzmanların göz izleme cihaz ve tekniği ile makine öğrenmesi kullanarak öğrencileri doğru, hızlı, objektif ve sınavta etkisinden uzak bir biçimde değerlendirebilmeleri için çalışmalara başlandığı ifade edilebilir. Bu yolla göz izleme cihaz ve tekniği ile makine öğrenmesinin tamamlayıcı bir rolle de olsa tanı-değerlendirme süreçlerinde yer alarak doğru tanılanmanın zaman, emek ve ekonomik kayıplar olmaksızın gerçekleştirilmesinin önemli olduğuna dikkat çekilmek istenmiştir.

Derleme çalışması olan bu makalede disleksili okurların göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi kullanılarak tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen araştırmaların ele alınarak gözden geçirilmesi ve özetlenmesi amaçlanmaktadır. Böylece disleksili okurların okuma becerilerinin değerlendirilerek tıbbi ve eğitsel tanı süreçlerinde fizyolojik veriler ile hızlı, doğru ve sistematik bir biçimde hareket edilebilmesi için uygulamacı ve araştırmacılara yeni bir yöntemin tanıtılması planlanmıştır. Ayrıca okuma bozukluğu olan bireylerin tanı-değerlendirme ve müdahale süreçlerinde yer alan uzmanların kullanabilecekleri biyobelirteçlerin ortaya konmasına yönelik umut verici bilgiler paylaşılmıştır. Bu çerçevede çalışmanın ilerleyen bölümlerinde yöntem, göz izleme tekniğine ve makine öğrenmesine ilişkin önemli bilgiler sunulmuş, disleksili okurların göz izleme ve makine öğrenmesi aracılığıyla belirlendiği araştırmalara yer verilmiş ve ilgili çalışmalar alanyazına ve uygulamaya yönelik olarak tartış-

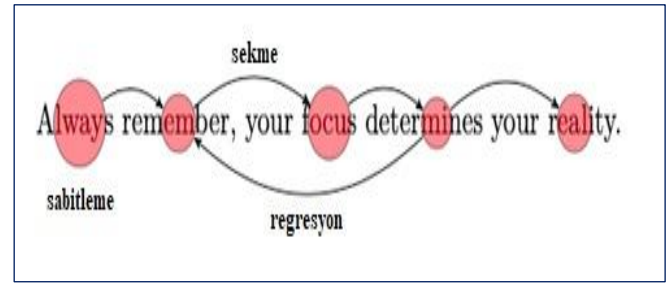
şılmıştır.

## YÖNTEM

Disleksili okurların göz izleme ve makine öğrenmesi ile belirlenmesine yönelik yapılan araştırmaların gözden geçirilip özetlenmesi amacıyla Eric, Ebsco ve Google Scholar (Google Akademik) veri tabanlarından “dyslexia”, “eye tracking”, “eye-tracking”, “eye movement” ve “machine learning” anahtar kelimeleri kullanılarak bu kapsamda yapılan ilk araştırma tarihi olan 2015 yılından 2021 yılına kadarki çalışmalara ulaşılmıştır. Ulaşılan çalışmaların içerikleri incelendiğinde bazı araştırmaların; göz izleme verilerine makine öğrenmesi uygulandığında sunulan bir doğruluk oranı olmadığı örneğin derleme olarak yazıldıkları, katılımcıların ana dilleri ya da katılımcılara sunulan metinlerin dilleri hakkında bilgilere yer vermedikleri, tez çalışması ya da poster sunumları oldukları görülmüştür. Geriye ise altı çalışma kalmıştır.

### Göz İzleme Tekniği

Göz izleme, bireyin nereye ve nasıl baktığını belirleme sürecidir (Bojko, 2013). Bir başka ifadeyle göz izleme; örneğin, okuma sırasında okurun kendisine sunulan sözcük, cümle ya da metin gibi uyaranları okurken göz hareketlerinin kaydedilerek ölçülmesini ifade etmektedir. Bu teknik, bireylerin göz hareketlerini takip ederek objektif bir biçimde fizyolojik veri sağlayan göz izleme cihazları ile uygulanmaktadır. Okuma becerisini inceleyen araştırmalarda sekme (saccade) ve sabitleme (fixation) iki temel göz hareketidir (Rayner, 1998). Sabitleme, gözün oldukça hareketli kaldığı ve bu esnada görsel diziden bilgiler elde ettiği göz hareketi olarak tanımlanmaktadır (Rayner, 2009). Sekme ise iki ardışık sabitleme göz hareketi arasında gerçekleştirilen hızlı göz hareketi olarak ifade edilmektedir (Lai ve ark., 2013). Okurların sessiz bir okuma esnasında ortalama 225-250 milisaniye (ms) sabitleme süresiyle (fixation duration) ve 7-9 harf sekme uzunluğuyla (saccade length) okuma yaptıkları bilinmektedir (Rayner, 2009). Şekil-1’de de görüldüğü üzere bir okur kendisine göz izleme cihazı aracılığıyla sunulan bir cümleyi okurken sözcükler üzerinde yer alan daireler ile gösterilen sabitleme ve bu sabitlemeler arasında çizgiler ile gösterilen sekme göz hareketlerini gerçekleştirmiştir. Ayrıca okurun ‘determines’ sözcüğünden ‘remember’ sözcüğüne regresif yani geriye dönük göz hareketi yaptığı yani birden çok kez geçiş ile okuduğu görülmektedir. Dolayısıyla okurun sabitleme ve sekme göz hareketlerinin sürelerinin toplamı bu cümlenin okur tarafından ne kadar sürede



Şekil 1. Okuma Esnasında Sabitleme, Sekme ve Regresyon Göz Hareketleri Görseli (Lustig, 2016).

işlemlenerek okunduğu bilgisini vermektedir.

### Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bir araştırma amacı kapsamında elde edilen verilerden öğrenebilen ve tahminler oluşturabilen algoritmaları inceleyen bilimsel bir disiplin alanı olarak ifade edilmektedir (Rello ve Ballesteros, 2015). Bir başka ifadeyle makine öğrenmesi aracılığıyla geçmiş veriler üzerinden bilgisayara tecrübe kazandırılarak olayların analizi gerçekleştirilmekte ve bu olayların gelecekte alabileceği durumlara ilişkin tahminler yaptırılmaktadır (Ünsal, 2011). Böylece makine öğrenmesi ile geçmişteki verilere istatistiksel yöntemler uygulanarak analiz edilmekte, bu verilerin modeli çıkartılmakta ve yeni gelen o anki veriler de bu modele göre değerlendirilerek analiz edilmekte, yorumlanmakta ve bu veriler ile bir sonuca ulaşılması sağlanmaktadır (Küçük, 2019).

Makine öğrenmesi; sınıflandırma, kümeleme, eğri uydurma, özellik seçimi ve ilişki belirleme olmak üzere beş yöntem olarak sınıflandırılmaktadır (Alpaydın, 2009). Alanyazında sıklıkla kullanılan sınıflandırma algoritmaları ise Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine), Naive Bayes, k-En Yakın Komşu (K Neighbors Classifier), Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks) ve Karar Ağacıdır (Decision Tree Classifier) (Göker, 2019). Destek Vektör Makinesi, belirli bir sınıflandırma için kritik olan noktaların seçilmesine odaklanmaktadır (Usman ve ark., 2021). Bir başka ifadeyle, Destek Vektör Makinesi iki sınıfa ait verilerin en uygun biçimde birbirlerinden ayrılması amacıyla geliştirilmiş sınıflandırma algoritmalarından biri olarak ifade edilmektedir (Küçük, 2019). Naive Bayes, Bayes teoreminin uygulanmasına dayanan basit olasılıklı sınıflandırıcılar veya algoritmalar ailesi olarak tanımlanmaktadır (Usman ve ark., 2021). Bu kolay anlaşılabilen ve uygulanabilen algoritma kullanılarak bir örneğin sahip olduğu hedef niteliğin sınıf değerlerine ait olma olasılıkları hesaplanabilmektedir (Kartal, 2015). k-En Yakın Komşu algoritması, veri setinde sınıflandırma yapabilmek için değişkenler arasındaki en yakın komşuları bulmaktadır (Filiz,

2019). Bir başka deyişle, k-En Yakın Komşu algoritması, uzaklık hesaplamasına dayalı olarak geliştirilmiş olan bir sınıflandırma algoritması olarak ifade edilmektedir (Kartal, 2015). Yapay Sinir Ağları temellerini biyolojik sinir hücrelerinden yani nöronlardan alan güçlü bir sınıflandırma tekniğidir (Özgür ve Erdem, 2012). Teknik, birbirine katmanlar halinde bağlı olan yapay nöronlar olarak isimlendirilen küçük hesaplama birimlerini içermektedir (Lustig, 2016). Yani insan beyninin işlemlerini taklit ederek çalışan bu algoritma geçmişteki tecrübelerin sonuçlarından yararlanarak hareket etmektedir (Filiz, 2019). Karar Ağacı ise sınıflandırma modelleri oluşturmak amacıyla insanların düşünme şekline çok benzemesi ve kolay anlaşılabilir olması nedenleriyle yaygın olarak kullanılan bir algoritmadır (Kotsiantis, 2013). Denetimli bir öğrenme algoritması olan Karar Ağacıyla eğitim verilerinden çıkarılan basit karar kuralları öğrenilerek hedef değişkenin sınıfının veya değerinin tahmin edildiği bilinmektedir (Vanitha ve Kasthuri, 2021). Özetle, bu araştırma kapsamında disleksili okurların tahmin edilmesinde Destek Vektör Makinesi, Naive Bayes, k-En Yakın Komşu, Yapay Sinir Ağları ve Karar Ağacı makine öğrenme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir.

### ***Disleksili Okurların Göz İzleme ve Makine Öğrenmesi ile Tespit Edilmesi***

Disleksili okurların göz hareketlerinin tipik okurlardan farklılıklar gösterdikleri bilinmektedir (Rello ve Ballesteros, 2015). Başka bir ifadeyle, disleksili okurların disleksili olmayan okurlardan farklı olarak okuma esnasında daha uzun sürede ve daha çok sayıda sabitleme, daha kısa sekme ile daha fazla regresif göz hareketleri gerçekleştirerek okuma yaptıkları bilinmektedir (De Luca ve ark., 2002; Eden ve ark., 1994; Prabha ve Bhargavi, 2020; Rayner, 1998). Bu durumda ise nörogelişimsel bir bozukluk olan dislekside, bireylerin okuma sırasında daha fazla zamana ihtiyaçları olduğu görülmektedir (Benfatto ve ark., 2016; Rello ve Ballesteros, 2015).

Bir okurun disleksili olup olmadığının tespit edilmesi, uygun müdahale yöntemleriyle bu çocukların akademik başarısızlıklarının önüne geçilerek tedavi edilmelerini sağlaması nedeniyle kritik öneme sahiptir (Rello ve Ballesteros, 2015). Aynı zamanda bu erken müdahalelerin disleksi belirtilerinin hafiflemesinde etkili olabileceği ifade edilmektedir (Asvestopoulou ve ark., 2019). Zira öğrenme bozukluklarının özellikle 9-13 yaş aralığında olan bireyleri olumsuz olarak etkilediği bilinmektedir (Modak ve ark., 2019). Bu yaşlara gelindiğinde çocuk okurların okuma performanslarının sınıf seviyelerini yakalamalarının oldukça zor ol-

masının yanı sıra bu çocukların okuma bozukluklarının genel olarak okul performanslarına olumsuz olarak yansıdığı görülmektedir. Ayrıca disleksili okurların yaşadıkları okuma güçlüklerinin okul performanslarının yanı sıra hayatlarının diğer yönlerini de olumsuz olarak etkilediği ve yaşlarının ilerlemesine rağmen sözcük okuma esnasında kod çözme ile okuma problemlerinin devam ettiği ifade edilmektedir (Prabha ve Bhargavi, 2019). Bu durumun öğrencilerde düşük benlik saygısı ile birlikte motivasyon eksikliği ve depresyon gibi psikolojik ve duygusal rahatsızlıklara yol açabileceği rapor edilmektedir (Long ve ark., 2007; Modak ve ark., 2019).

Disleksi tanısı klinik yargının standardize test sonuçlarıyla desteklenmesi sonucunda konulmaktadır (APA, 2013). Bir başka ifadeyle, disleksi yazılı ve sözlü değerlendirmeler yapılarak tespit edilmektedir (Iwabuchi ve ark., 2017). Bu kapsamda bireye uygulanan yazılı ve sözlü değerlendirmeler neticesinde bireyin aldığı puanlara göre klinik yargılar oluşmaktadır. Bu disleksi tanılama yaklaşımının dezavantajı ise klinik yargının uzman görüşlerine ve analizlerine bağlı olarak objektif olmaktan uzak olması şeklinde ifade edilmektedir (Sarıpınar ve Erden, 2010).

Disleksili okurların günümüzde kliniklerde tıbbi ve RAM'lerde eğitsel değerlendirmeleri esnasında psikometrik bataryalar kullanılarak sözcük, cümle ve metin okuma ve bu metinlere ilişkin sorulan sorulara cevap verme gibi etkinlikler ile değerlendirilmeleri oldukça yaygındır. Okuma becerisinin değerlendirilmesini amaçlayan bu bataryalar geçerliliği, güvenilirliği kanıtlanmış, norma dayalı yani standart araçlar olabileceği gibi informal değerlendirme araçları da olabilmektedirler. Bütün bu psikometrik bataryalar ile uygulayıcıların zaman zaman uygun olmayan ortam ve koşullarda, yeterli tecrübeye sahip olmadan ve hatta olası hatalar ile okuma becerisini değerlendirmeleri mümkündür. Bununla beraber okuma becerisi değerlendirilen birey değerlendirme esnasında yorgun, dikkatsiz, endişeli ve motivasyonsuz olabilir. Dolayısıyla birey okuma becerisinin değerlendirildiğinin de farkında olup kendisine verilen yönergeleri tam olarak algılayamayabilir ve düşük okuma performansı sergilenilen bir tablo ile karşı karşıya kalınabilir. Öte yandan psikometrik bataryalar ile okuma becerisine ilişkin elde edilen sonuçlara okuma becerisinin tamamlandığı aşamada ulaşılmaktadır. Oysa göz izleme cihaz ve tekniği aracılığıyla okuma esnasında anbean ulaşılan fizyolojik veriler ile disleksili bireylerin okuma beceri ve performansları belirlenebilir. Aynı zamanda bu geleneksel yöntemler ile disleksili okurların belirlenerek tespit edilmesi zaman alıcı, pahalı ve özellikle çocuk okurlar için çok fazla ısrar gerektirmektedir (Chakraborty, 2020).

Modak ve arkadaşları (2019), Hindistan’da okuma bozukluğuna ilişkin öğrencileri değerlendiren merkezlerin şehirlerde oldukça az sayıda olduğunu ve okuma bozukluğunun tespit edilebilmesi için ebeveynlerin çocuklarını bu merkezlere götürebilme durumlarının olanaksız olduğunu ifade etmektedirler. Üstelik bu tür merkezlerde okuma bozukluğu değerlendirme testlerinin uygulanmasının bir iki gün değil birkaç ayı bulabileceği belirtilmiştir. Hatta bu sürenin on dört aya kadar uzayabildiği belirtilmektedir (Smyrnakis ve ark., 2017). Ayrıca okuma becerisinin objektif ölçülmesine dayalı hızlı ve otomatik tarama stratejilerinin okul yıllarının erken dönemlerinde okuma bozukluğu riski olan çocuk okurların belirlenmesine yardımcı olduğu ifade edilmektedir. Ancak kullanılan bu stratejilerin örneğin, bireysel olarak okuma bozukluğunu ölçümleyebilmekte sınırlılıkları olduğundan ve okuru zaman baskısı altında bıraktığından okuma bozukluğunu tespit etmede etkili oldukları söylenememektedir (Modak ve ark., 2019).

Geleneksel tarama stratejileri ile çocukların okuma bozukluklarının belirlenmesinde bireysel bilişsel becerilerin ölçüldüğü ve bu stratejilerin asıl (actual) okuma becerisinin işlev ve etkileşimlerinin ölçülmesinde sınırlılıklarının olduğu ileri sürülmektedir (Benfatto ve ark., 2016). Bu durumun yanı sıra doğal bir biçimde oluşan asıl okuma sürecini yansıtmayan bu geleneksel tarama stratejilerinin okurların okuma becerilerine ilişkin bir görev sırasındaki performansları üzerinden tahminler sundukları ifade edilmektedir. Oysa okuma sırasında ulaşılan göz izleme verileriyle bireysel okuma becerisinin yüksek oranda tahmin edilebileceği ve böylece göz izlemenin disleksi riski olan öğrencileri hızlı, doğru ve objektif bir biçimde değerlendirerek tanılamak için etkili bir araç olarak kullanılabilirliği belirtilmektedir (Benfatto ve ark., 2016).

Göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi kullanarak disleksili okurların tespit edilmesine ilişkin alanyazın incelendiğinde ilk araştırmanın 2015 yılında Rello ve Ballesteros tarafından ana dili İspanyolca olan bireylerle yapıldığı görülmektedir. Araştırmacılar, 48 disleksili ve 49 disleksili olmayan, yaşları 11 ve 54 aralığında olan bireylerin 12 metni okumaları esnasında elde edilen göz hareketleri verilerine makine öğrenmesi uygulamışlardır. Okurların göz hareketleri verilerine makine öğrenme algoritmalarından Destek Vektör Makinesi ikili sınıflandırıcısı (binary classifier) uygulanarak %80 doğruluk ile disleksili bireyleri tahmin edebildikleri rapor edilmiştir (Rello ve Ballesteros, 2015). Araştırmacılar İspanyolca (Serrano ve Defior, 2008) ve İtalyanca (Tressoldi ve ark., 2001) gibi saydam ortografiye sahip dillerde yani okuma becerisinin değerlendirilmesinde okuma hızının ölçüt olarak alındığı dillerde göz izleme ölçümlerinin dislek-

sili bireyleri tahmin etmede kullanabileceğini ileri sürmektedirler.

Alanyazında gerçekleştirilen bu ilk araştırma ile beraber disleksili okurların belirlenmesine yönelik az sayıda da olsa çalışmalar yapılmaya başlandığı dikkat çekmektedir (örn., Asvestopoulou ve ark., 2019; Benfatto ve ark., 2016; Modak ve ark., 2019; Prabha ve Bhargavi, 2019). Bu kapsamda okurlara verilen okuma görevi sırasında elde edilen göz hareketleri verilerine makine öğrenmesi uygulanarak okurların okuma bozukluklarının olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Bir başka ifadeyle okuma esnasında sabitleme ve sekme göz hareketlerine göz izleme tekniği aracılığıyla ulaşılmakta ve böylece elde edilen verilere makine öğrenme algoritmaları uygulanarak disleksili okurların tespit edilmesi konusunda yüksek doğrulukta ve oldukça başarılı bir yol sunulmaktadır (Modak ve ark., 2019; Prabha ve Bhargavi, 2020).

Disleksili okurların göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi aracılığıyla tahmin edildiği ilgili alanyazın incelendiğinde ana dili İspanyolca (örn., Rello ve Ballesteros, 2015), İsveççe (örn., Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019), Yunanca (örn., Asvestopoulou ve ark., 2019) ve Fince (örn., Raatikainen ve ark., 2021) olan okurlarla dört farklı dilde çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Yakın geçmişte araştırmacıların çeşitli dillerde disleksili bireylerin tanı-değerlendirme ve müdahale süreçlerinde kullanılması amacıyla sabitlemelerin sayısı (number of fixations), sabitleme ve sekme süresi (duration of fixation and saccade), sekme uzunluğunun ortalama ve medyanı (mean and median length of saccades) gibi umut vaat eden biyobelirteçler ortaya koyma çalışmalarına başlayarak ilerleme kaydettikleri ifade edilebilir. Böylelikle son yıllara kadar okuma bozukluğu olan bireylerin tespit edilmesinde psikometrik testler uygulanarak ulaşılan sonuçların yerini göz izleme ile elde edilen biyobelirteçlerin almaya başlayacağı söylenebilir.

İlgili alanyazında göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak disleksili okuru tahmin etme çalışmalarının yürütüldüğü dillerden biri, İsveççedir. Benfatto ve arkadaşları (2016) İsveççe konuşan, 97 yüksek riskli ve 88 düşük riskli, üçüncü sınıfa devam eden 9-10 yaş aralığında olan bireylerin bir metni okurken ulaşılan göz hareketleri verilerine makine öğrenmesi uygulamışlardır. Araştırmacılar üçüncü sınıfa devam eden okurların göz hareketleri verilerine makine öğrenme algoritmalarından Destek Vektör Makinesi-Tekrarlı Nitelik Eleme (Recursive Feature Elimination) uygulayarak %96’lık bir doğruluk ile disleksili bireyleri belirleyebildiklerini ifade etmektedirler. Öte yandan Prabha ve Bhargavi (2019), Benfatto ve arkadaşları

(2016) göz izleme verilerine makine öğrenmesi uygulayarak disleksi riski olan öğrencileri tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) tabanlı Melez Çekirdek Destek Vektör Makinesi-Parçacık Sürü Optimizasyonu (Hybrid Kernel Support Vector Machine-Particle Swarm Optimization) adlı modeli disleksili bireyleri oldukça yüksek bir oranda doğru olarak tahmin edebilmesi için geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modelle lineer Destek Vektör Makinesi algoritmasını karşılaştırdıklarında disleksi riski olan öğrencileri %95'lik bir doğruluk ile daha iyi tahmin etmişlerdir. Aynı zamanda önerilen bu modelin okullarda disleksi tanısı için bir tarama aracı olarak kullanılabilceği ifade edilmektedir (Prabha ve Bhargavi, 2019). Prabha ve Bhargavi'ye (2019), benzer şekilde Chakraborty (2020) de Benfatto ve arkadaşlarının (2016) göz izleme verilerine makine öğrenmesi uygulayarak disleksi riski olan çocuk okurları tespit etmeye yönelik bir araştırma gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, Lojistik Regresyon (Logistic Regression), Rastgele Orman, Karar Ağacı, Gaussian Naive Bayes, Destek Vektör Makinesi ve En Yakın K Komşu makine öğrenme algoritmalarını inceleyerek disleksi riskini tahmin etmede en doğru sonucu veren algoritmaları sunmaktadır. Bu kapsamda makine öğrenme algoritmaları arasında Destek Vektör Makinesi algoritması en başarılı olurken Karar Ağacı ve Gaussian Naive Bayes algoritmalarının diğer algoritmalar kadar verimli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Chakraborty, 2020).

Göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak disleksili çocuk okuru tahmin etme çalışmalarının yürütüldüğü bir diğer dil Yunancadır. Asvestopoulou ve arkadaşları (2019), geniş popülasyonların Yunanca okuma becerilerini daha az maliyetle ve hızlı bir biçimde tarayabilmek için DysLexML olarak adlandırdıkları disleksili okur tarama aracını geliştirmişlerdir. Bu tarama aracı 8 yaş 6 ay ila 12 yaş 6 ay aralığında olan 32 disleksili ve 37 disleksili olmayan çocuğun sessiz okuma modunda Yunanca iki pasaj okuma esnasında ulaşılan göz hareketleri verilerine makine öğrenmesi uygulanarak geliştirilmiştir. Araç, disleksili okurun başarılı bir biçimde tahmin edilmesinde lineer Destek Vektör Makinesi makine öğrenme algoritmasıyla %97'lik bir doğruluk ile en iyi performansı sergilemiştir (Asvestopoulou ve ark., 2019).

Fincede gerçekleştirilen bir başka çalışma Raatikainen ve arkadaşları (2021) tarafından yürütülmüştür. Araştırmacılar, geçmiş yıllarda disleksili okurların göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmaların başarılı sonuçlar elde ederek umut vaat ettiklerini ifade etmektedirler. Öte yandan araştırmacılar bu çalışmalarını, katılımcılarını geniş performans aralığında yer alan zit

gruplardan yani disleksi tanılı okurlar ile iyi okurlardan belirledikleri için eleştirmektedirler. Araştırmacılar sınırda okuma performansına sahip olan okurların klinik ve eğitsel tanı-değerlendirme esnasında okuma performanslarını ortaya koymanın zorlu bir süreç olduğunun ileri sürmektedirler. Raatikainen ve arkadaşları (2021) araştırmaların katılımcı belirleme yöntemine ilişkin yaptıkları bu eleştirinin aksine kendi çalışmalarında katılımcıları yaklaşık 400 öğrenci arasından, okuma akıcılığı puanı normal dağılımın %10 altında olan okur ve tipik okur olup yaş ortalaması 12.5 olan, toplam 165 Finli öğrenci olarak belirlemişlerdir. Öğrencilerin 10 kısa pasaj okumaları sırasında ulaşılan göz hareketleri verilerine makine öğrenme algoritmalarından Rastgele Orman (Random Forest) ve Destek Vektör Makinesi birlikte uygulanmış ve %89.7 doğruluk ile disleksinin tespit edilmesinde başarılı sonuçlar elde edildiği rapor edilmiştir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada disleksili bireylerin göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi ile tespit edilebilmesi için yapılan araştırmaların gözden geçirilerek özetlenmesi amaçlanmıştır. Okuma becerisini tipik bir biçim ve oranda edinemeyen disleksili çocukların ilkokulun ilk yıllarında dikkatli bir biçimde izlenerek desteklenmeye ihtiyaç duydukları kabul edilmektedir (Benfatto ve ark., 2016). Dolayısıyla bu araştırma kapsamında disleksili okurların okuma becerilerinin değerlendirilerek tanılanmaları aşamasında fizyolojik veriler ile sistematik bir biçimde doğru ve hızlı hareket edilebilmesi için uzman, uygulamacı ve araştırmacılara yeni bir yöntemin tanıtılması hedeflenmiştir.

Disleksili okurlar disleksili olmayan okurlar ile karşılaştırıldığında okuma sırasında daha uzun sürede ve sayıda sabitleme, daha kısa sekme ile daha fazla geriye yönelik göz hareketleriyle okumaktadırlar (De Luca ve ark., 2002; Eden ve ark., 1994; Prabha ve Bhargavi, 2020; Rayner, 1998). Okurların göz hareketlerine makine öğrenmesi uygulanarak disleksili olma durumlarının tespit edilebilmesi için ana dili İspanyolca (örn., Rello ve Ballesteros, 2015), İsveççe (örn., Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019), Yunanca (örn., Asvestopoulou ve ark., 2019) ve Fince (örn., Raatikainen ve ark., 2021) olan okurlarla dört farklı dilde çalışmalar gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu araştırmalardan ilki, Rello ve Ballesteros (2015) tarafından hem çocuk hem de yetişkin okurlarla yapılmış ve %80'lik bir doğruluk ile disleksi riski olan bireylerin başarılı bir biçimde tespit edilebileceği belirtilmiştir. İsveççe (örn., Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019), Yunanca (Asvestopoulou ve ark.,

2019) ve Fince (örn., Raatikainen ve ark., 2021) yapılan araştırmaların da disleksili çocuk okuru tespit etmesindeki %90 ve üstü olan doğruluk oranları da göz önüne alındığında göz izleme tekniği ve makine öğrenmesi ile yeni bir tarama aracı geliştirme çabalarının artırılarak ilerletilebileceği düşünülmektedir. Disleksili okuru belirlemeye yönelik olarak geliştirilen bu aracın bu okurların tanınması süreçlerinde yapılan değerlendirme ve inceleme sonuçlarını tamamlayıcı, ayrıntılı ve kapsamlı bilgiler sunacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda disleksili okurların zaman kaybı yaşamadan hızlı bir biçimde değerlendirilerek okuma sırasında gerçekleştirdikleri bireysel bilişsel işlemlerine yönelik fizyolojik verilerle önemli bilgiler edinilebileceği düşünülmektedir.

Okuma bozukluğunun göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak tespit edildiği ilgili alanyazın incelendiğinde ana dili İspanyolca (örn., Rello ve Ballesteros, 2015), İsveççe (örn., Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019), Yunanca (örn., Asvestopoulou ve ark., 2019) ve Fince (örn., Raatikainen ve ark., 2021) olan okurlar ile çalışmalar yürütüldüğü görülmektedir. Yakın geçmişte ülkemizde de ana dili Türkçe olan özellikle çocuk okurların okuma becerilerinin incelendiği çalışmalara başlanmıştır (örn., Özer, 2019; Özer ve Özdemir, 2021a, 2021b). Elde edilen sonuçlar okurların anlamlı sözcük okuma hızları arttıkça sabitleme sürelerinin ve sabitleme sayılarının azaldığını ancak anlamlı sözcük okuma hızları azaldıkça sabitleme sürelerinin arttığını göstermiştir (Özer, 2019; Özer ve Özdemir, 2021a). Bu sonuçlar öyküleyici ve bilgi verici metin türlerinde okurların anlamlı sözcük okuma hızları ile toplam okuma ve bakma sürelerinin ilişkilerini ortaya koymuştur. Benzer ilişkiler yetkin okurların anlamsız sözcük okuma hızları ile öyküleyici ve bilgi verici metinlerde toplam okuma süresi, bakma süresi ve sabitlemelerin sayısı arasında da tespit edilmiştir. Öte yandan zayıf okurların anlamsız sözcük okuma hızları ile sadece öyküleyici metinde bakma süresi arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca dördüncü sınıf öğrencilerinin hem öyküleyici hem de bilgi verici metin türlerinde sıklığı ve yayılım değerleri yüksek olan sözcüklere ilk sabitleme süreleri incelendiğinde zayıf okurların sürelerinin yetkin okurlardan fazla olduğu tespit edilmiştir (Özer ve Özdemir, 2021b). Böylece yakın gelecekte okuma bozukluğu olan çocuk okurların tanı değerlendirme ve müdahale süreçlerinin doğru ve hızlı bir biçimde yürütülmesinde göz izleme aracılığıyla elde edilen göz hareket parametrelerinin ve makine öğrenmesinin daha yoğun bir biçimde kullanılacağı öngörülmektedir.

Göz izleme ve makine öğrenmesi aracılığıyla disleksili okurların tespit edilmesine yönelik çalışmalara

okurlara sunulan metinler bağlamında bakıldığında bu metinlerin farklı sayı ve özelliklerde olduğu görülmektedir. Örneğin, Asvestopoulou ve arkadaşları (2019) araştırmalarının katılımcılarına biri 181 diğeri 143 sözcükten oluşan iki farklı pasaj okuturlarken Benfatto ve arkadaşları (2016) 10 cümleden oluşan kısa bir metni okutmayı tercih etmişlerdir. Öte yandan Rello ve Ballesteros (2015) araştırmalarının katılımcılarına 12 kısa metin okuturken Raatikainen ve arkadaşları (2021) 10 kısa pasaj okutmuşlardır. Bununla beraber ilişkili alanyazında araştırmacıların katılımcılara sunduğu pasaj ya da kısa metinlerin niteliksel özelliklerinin de birbirlerinden farklılaştığı dikkat çekmektedir. Örneğin, Benfatto ve arkadaşları (2016) katılımcılara sundukları metnin 8 satır, 10 cümle ve ortalama sözcük uzunluğunun 4.6 olduğu şeklinde bilgiler sunarken Asvestopoulou ve arkadaşları (2019) katılımcılara sundukları pasajlarda yer alan sözcüklerin ve hecelerinin sadece sayılarına ilişkin bilgiler vermişlerdir. İlgili alanyazında yer alan çalışmalar incelendiğinde metinlerin hem niceliksel hem de niteliksel özelliklerine ilişkin örneğin, katılımcılara göz izleme verilerinin toplanması amacıyla sunulan metinlerin türleri, metinlerde yer alan sözcüklerin türleri, sıklıkları ve ortografik yoğunlukları gibi bilgiler yer almadığı görülmektedir. Bu bağlamda disleksili bireyleri belirlemeye yönelik gerçekleştirilen araştırmalarda katılımcılara sunulması planlanan metinlerin özelliklerine ilişkin ayrıntılı bilgilere yer verilmesinin önemli olduğu ifade edilebilir. Böylece gerçekleştirilecek analizlerin hem disleksili bireyleri doğru bir şekilde belirleyebileceği hem de bu bireylerin okuma akıcılık ve doğruluklarının artmasına yönelik tanı ve değerlendirme süreci sonrasında yapılması planlanan müdahale programlarına yol gösterici nitelikte olacağı öngörülmektedir.

Disleksili okurların göz izleme ve makine öğrenmesi kullanılarak belirlenmeye çalışıldığı araştırmalara bakıldığında ileriye yönelik sabitleme (progressive fixation), ileriye yönelik sekme (progressive saccade), geriye yönelik sabitleme (regressive fixation) ve geriye yönelik sekme (regressive saccade) göz hareketlerinin süreleri, sayıları ve uzunlukları gibi çeşitli parametrelerin tercih edilerek değerlendirmeye alındığı görülmektedir. Ancak yapılan sınırlı sayıda çalışma incelendiğinde disleksili bireyleri belirlemede yoğun olarak seçilen göz hareket parametresini ifade etmenin henüz mümkün olmadığı da söylenebilir. İlerleyen yıllarda bu bireylerin okuma performans ve özelliklerini ortaya koyan ve hatta biyobelirteç olarak kullanabileceğimiz umut vaat eden göz hareket parametrelerinin gerçekleştirilecek araştırmalar ile tespit edilerek belirlenmesinin kritik öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Böylece disleksili bireylerin kâğıt-kalem testleri gibi testler kullanılmadan, uygulamacı

tecrübelerinden bağımsız ve objektif olarak doğru tanı-değerlendirme kararları ile tespit edilebileceği öngörülmektedir.

Okuma bozukluğuna ilişkin tanı-değerlendirme için yönlendirilen öğrencilerin psikiyatri kliniklerinde ve RAM'lerde yer alan klinik psikologlar, rehberlik psikolojik danışmanlık ve özel eğitim alanlarındaki uzmanlar tarafından göz izleme ve makine öğrenmesi ile değerlendirebilmelerinin yapılabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda göz izleme ve makine öğrenmesinin tanıyı tamamlayıcı ya da tanı aracı olarak süreçlerde yer alabileceği düşünülmektedir. Ayrıca tanı-değerlendirme süreçlerinde uzmanların aileler ile görüşmeler yapmaları ve ailelerden öykü formlarını doldurmalarını talep ederek bu öğrencilere ilişkin ayrıntılı bilgilere sahip olabilecekleri ifade edilebilir. Böylece okuma bozukluğu riski olan öğrencilerin bireysel farklılıkları, sosyo-ekonomik durumları gibi bilgilere de ulaşılarak kapsamlı bir biçimde değerlendirme yapılabileceği düşünülmektedir.

Göz izleme ve makine öğrenmesi aracılığıyla disleksili okurların tespit edilmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmaların bazıları (Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019) tanı almamış ancak risk grubunda yer alan öğrencilerdir. Bu bağlamda bakıldığında disleksi tanısı olan bireylerin yanı sıra disleksi için risk grubunda yer alan bireylerin de okuma esnasında elde edilen göz hareketleri verilerine makine öğrenmesi uygulandığı görülmektedir. Böylece disleksi tanısı olan bireylerin göz izleme ve makine öğrenmesi aracılığıyla tespit edilebilmelerinin yanı sıra risk grubunda yer alan bireylerin de bu yolla taranıp tanı-değerlendirme süreçlerine yönlendirilebileceği ve zaman kaybı olmadan etkili müdahale programlarının uygulanabileceği söylenebilir.

İlgili alanyazında gerçekleştirilen araştırmalarda (örn., Asvestopoulou ve ark., 2019; Benfatto ve ark., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha ve Bhargavi, 2019; Raatikainen ve ark., 2021; Rello ve Ballesteros, 2015) en verimli sınıflandırma yöntemi algoritmasının Destek Vektör Makinesi algoritması olduğu ifade edilebilir. Bu durumda ilerleyen dönemlerde saydam bir ortografiye sahip olan Türkçede de Destek Vektör Makinesi makine öğrenme algoritmasının yanı sıra diğer algoritmaların da kullanıldığı ve elde edilen sonuçların karşılaştırılarak en verimli istatistiksel modelin oluşturulabileceği öngörülmektedir. Bu yolla anadili Türkçe olan disleksili bireylerin en erken dönemde değerlendirilip tanılanmaları ya da kendilerine özgü müdahale programlarının tasarlanıp planlanması süreçlerinde verimli bir biçimde göz izleme ve makine öğrenmesinin kullanılabilmesi düşünülmektedir. Ayrıca ilerleyen yıllarda göz izleme cihazlarının maliyetlerinin azalacağı ve erişim kolaylıklarının artacağı düşü-

nüldüğünde disleksiye ilişkin bulguları olan bireylerin okuma becerilerinin değerlendirilmesinde kullanımının giderek yaygınlaşacağı da öngörülmektedir. Ek olarak ise Türkiye'deki çeşitli üniversitelerdeki özel eğitim, genel eğitim ya da Türkçenin eğitimi gibi çeşitli bölümlerde bireylerin okuma, yazma ve matematik gibi akademik becerilerinin göz izleme ve makine öğrenmesi ile incelenip bilimsel çalışmaların da artacağını söylemek mümkün olabilir.

Özetle, okuma becerisinin değerlendirilmesinde okuma hızının ölçüt olduğu saydam ortografiye sahip olan dillerde göz izleme ve makine öğrenmesinin bir tanı araç ve tekniği olarak kullanılabilmesi ifade edilebilir. Böylece göz izleme ve makine öğrenmesini kullanarak disleksili bireyleri otomatik olarak tahmin etmeye yönelik Rello ve Ballesteros'un (2015) gerçekleştirdiği ilk araştırmadan bu yana bu bireylerin geleneksel tarama yöntemlerinin aksine kâğıt kalem kullanılmadan, yazılı ve sözlü yanıtları beklenmeden, hassas bir tarama yöntemi ile belirlenebileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla stresten uzak bir biçimde, değerlendirmeyi yapan uzmanların bilgi ve tecrübelerinden bağımsız bir biçimde değerlendirilerek tespit edilen disleksili bireylere uygun olan profesyonel destek zaman kaybedilmeden sunulabilecektir. Özellikle okuma bozukluğu olan çocuk okurlarda başarısızlık duygularının oluşmasına izin verilmeden, kaygı düzeylerinin artıp motivasyon eksikliği ve depresif duygular yaşamadan çok az müdahaleci bir teknik aracılığıyla değerlendirmelerinin yapılabileceği öngörülmektedir.

## BEYANLAR

**Etik İkelere Uygunluk Beyanı** Etik kurul onayı gerektiren bir çalışma değildir.

**Çıkar Çatışması Beyanı** Bu makalenin tüm yazarları, makaleye ilişkin herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.



## KAYNAKLAR

- Alpaydın, E. (2009). *Introduction to machine learning* (2. baskı). MIT Press.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Association Publishing.
- Asvestopoulou, T., Manousaki, V., Psistakis, A., Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Aslanides, I. M. ve Papadopoulos, M. (2019). DysLexML: Screening tool for dyslexia using machine learning. *ArXiv preprint arXiv: 1903.06274*, 121-127.
- Benfatto, M. N., Seimyr, G. Ö., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A. ve Jacobson, C. (2016). Screening for dyslexia using eye tracking during reading. *PLoS One*, 11(12), 1-16.



- Bojko, A. (2013). *Eye tracking the user experience a practical guide to research*. Rosenfeld.
- Chakraborty, V. (2020). A Study on different classification models for predicting dyslexia. *Kristu Jayanti Journal of Computational Sciences*, 1(1), 29-35.
- De Luca, M., Borrelli, M., Judica, A., Spinelli, D. ve Zoccolotti, P. (2002). Reading words and pseudowords: An eye movement study of developmental dyslexia. *Brain and Language*, 80(3), 617-626.
- Eden, G. F., Stein, J. F., Wood, H. M. ve Wood, F. B. (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research*, 34(10), 1345-1358.
- Ercan, E. S., Polanczyk, G., Akyol Ardıc, U., Yuce, D., Karacetin, G., Tufan, A. E., Tural, U., Aksu, H., Aktepe, E., Rodopman Arman, A., Başgöl, S., Bilac, O., Coşkun, M., Celik, G. G., Karakoc Demirkaya, S., Dursun, B. O., Durukan, İ., Fidan, T., Perdahlı Fiş, N., Gençoğlan, S., ... Yıldız, N. (2019). The prevalence of childhood psychopathology in Turkey: A cross-sectional multicenter nationwide study (EPICPAT-T). *Nordic Journal of Psychiatry*, 73(2), 132-140.
- Filiz, E. (2019). *Makine öğrenmesi yöntemleri ve eğitim verisi üzerine bir uygulama: Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması 2015 Türkiye örneği [Machine learning methods and an application on educational data: The trends in international mathematics and science study]* (Yayınlanmamış doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Göker, H. (2019). *Makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak çocukluk çağı dikkat eksikliği ve hiperaktivite bozukluğunun tahmin edilmesine yönelik uzman sistem tasarımı [Expert system design for the prediction of attention deficit and hyperactivity disorder in childhood using machine learning techniques]* (Yayınlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Görgün, B. ve Melekoğlu, M. A. (2019). Türkiye’de özel öğrenme güçlüğü alanında yapılan çalışmaların incelenmesi. *Sakarya University Journal of Education*, 9(1), 83-106.
- Iwabuchi, M., Hirabayashi, R., Nakamura, K. ve Dim, N. K. (2017). Machine learning based evaluation of reading and writing difficulties. P. Cudd ve L. de Witte (Ed.), *Harnessing the power of technology to improve lives içinde* (s. 1001-1004). IOS Press.
- Kartal, E. (2015). *Sınıflandırmaya dayalı makine öğrenmesi teknikleri ve kardiyolojik risk değerlendirmesine ilişkin bir uygulama [Machine learning techniques based on classification and a study on cardiac risk assessment]* (Yayınlanmamış doktora tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Kotsiantis, S. B. (2013). Decision trees: A recent overview. *Artificial Intelligence Review*, 39(4), 261-283.
- Küçük, R. G. (2019). *Makine öğrenmesi yöntemleri ile Parkinson hastalığının teşhis edilmesi [Diagnosis of Parkinson's disease with machine learning methods]* (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi, İstanbul.
- Lai, M. L., Tsai, M. J., Yang, F. Y., Hsu, C. Y., Liu, T. C., Lee, S. W. Y., Lee, M. H., Chiou, G. L., Liang, J. C. ve Tsai, C. C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, 10, 90-115.
- Long, L., MacBlain, S. ve MacBlain, M. (2007) Supporting students with dyslexia at the secondary level: An emotional model of literacy. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, 51(2), 124-134.
- Lustig, J. (2016). *Identifying dyslectic gaze pattern: Comparison of methods for identifying dyslectic readers based on eye movement patterns*. KTH Vetenskap Och Konst. Sweden. <http://kth.divaportal.org/smash/record.js>
- Lyon, G. R., Shaywitz, S. E. ve Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14.
- Melekoğlu, M. A. ve Sak, U. (2018). *Öğrenme güçlüğü ve özel yetenek* (2. baskı). Pegem Akademi Yayıncılık.
- Modak, M., Ghotane, K., Siddhanth, V., Kelkar, N., Iyer, A. ve Prachi, G. (2019). Detection of dyslexia using eye tracking measures. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 1011-1014.
- Özer, E. (2019). *Yetkin ve zayıf okurların okuma becerileri ile göz hareketleri arasındaki ilişkinin karşılaştırılarak incelenmesi [Comparative examination of the relationship between reading skills and eye movements of good and poor readers]* (Yayınlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Özer, E. ve Özdemir, S. (2021a). The relation between reading performance and eye movement parameters of high-skilled and low-skilled readers. *Education and Science*, 46(208), 395-412.
- Özer, E. ve Özdemir, S. (2021b). Yetkin ve zayıf okurların sıklığı yüksek olan sözcüklere ilk sabitleme sürelerinin incelenmesi. *Ana Dili Eğitimi Dergisi*, 9(3), 804-819.
- Özgür, A. ve Erdem, H. (2012). Saldırı tespit sistemlerinde kullanılan kolay erişilen makine öğrenme algoritmalarının karşılaştırılması. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(2), 41-48.
- Peterson, R. L. ve Pennington, B.F. (2012). Developmental dyslexia. *Lancet* 379(9830), 1997-2007.
- Prabha, A. J. ve Bhargavi, R. (2019). Prediction of dyslexia from eye movements using machine learning. *IETE Journal of Research*, 1-10.
- Prabha, A. J. ve Bhargavi, R. (2020). Predictive model for dyslexia from fixations and saccadic eye movement events. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 195, 105538.
- Prabha, J. A., Bhargavi, R. ve Ragala, R. (2018). Prediction of dyslexia using support vector machine in distributed environment. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4), 2795-2799.
- Raatikainen, P., Hautala, J., Loberg, O., Kärkkäinen, T., Leppänen, P. ve Nieminen, P. (2021). Detection of developmental dyslexia with machine learning using eye movement data. *Array*, 12, 100087.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Jour-*

- nal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- Rello, L. ve Ballesteros, M. (2015). Detecting readers with dyslexia using machine learning with eye tracking measures. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Web for All Conference* içinde (s. 16). New York: Association for Computing Machinery.
- Sarıpınar, E. G. ve Erden, G. (2010). Okuma güçlüğünde akademik beceri ve duyuşal-motor işlevleri değeriendirme testlerinin kullanılabilirliğı. *Türk Psikoloji Dergisi*, 25(65), 56-66.
- Serrano, F. ve Defior, S. (2008). Dyslexia speed problems in a transparent orthography. *Annals of Dyslexia*, 58(1), 81-95.
- Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Selimis, V., Kalaitzakis, M., Bachourou, T., Kaloutsakis, G., Kymionis, G. D., Smirnakis, S. ve Aslanides, I. M. (2017). RADAR: A novel fast-screening method for reading difficulties with special focus on dyslexia. *PLoS One*, 12(8), e0182597.
- Tressoldi, P. E., Stella, G. ve Faggella, M. (2001). The development of reading speed in Italians with dyslexia: A longitudinal study. *Journal of Learning Disabilities*, 34(5), 414-417.
- Usman, O. L., Muniyandi, R. C., Omar, K. ve Mohamad, M. (2021). Advance machine learning methods for dyslexia biomarker detection: A review of implementation details and challenges. *IEEE Access*, 9, 36879-36897.
- Ünsal, Ö. (2011). *Mesleki alan seçimlerinin makine öğrenmesi algoritması kullanılarak belirlenmesi [Determining vocational field elections by using machine learning algorithms]* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Vanitha, G. ve Kasthuri, M. (2021). Dyslexia prediction using machine learning algorithms-A Review. *International Journal of Aquatic Science*, 12(2), 3372-3380.

| **Extended Abstract** |**Determining reading disorder with eye tracking and machine learning: A review of the literature**Esmehan Özer<sup>1</sup>,  Rahime Duygu Temeltürk<sup>2</sup> **Keywords**

reading disorder, dyslexia, eye tracking, eye movements, machine learning, diagnosis

**Abstract**

Reading disorder, namely dyslexia, is described as the difficulty in the pronunciation and comprehension dimensions of reading. Studies in which dyslexia, one of the most common learning disorders, are examined using a technology-based and innovative technique, eye tracking, are frequently encountered. By means of eye tracking, the saccade and the fixation of dyslexic readers are reached during reading and analysis are performed with the obtained physiological data. Thus, the analysis and examination of the reading skills of individuals with dyslexia and their reading performance and profiles are revealed. In addition, in recent years, eye tracking and machine learning have started to be applied together in determining whether a reader is dyslexic or not. This review aimed to analyze and summarize the researches carried out to identify dyslexic individuals using eye tracking and machine learning. For this reason, in the article, after the definitions of eye movements and machine learning algorithms, studies on the detection of dyslexia in readers in four different languages, namely Spanish, Swedish, Greek and Finnish, were summarized. Therefore, it is critical to evaluate individuals with dyslexia clinically and educationally with physiological data, to diagnose them in the earliest period, to apply specific intervention programs, and to prevent academic failure and negative experiences. Thus, the accurate diagnosis can be made without loss of time and economic loss as a result of the application of eye tracking and machine learning even if it is complementary by clinical psychologists, guidance, psychological counseling and special education specialists in psychiatry clinics and guidance research centers. In addition to studies conducted in four different languages regarding the diagnosis of reading disorders with high accuracy using eye tracking and machine learning, individuals with dyslexia whose mother tongue is Turkish can also be evaluated and diagnosed in this way at the earliest age and specific intervention programs can be designed for them.

Diagnosis-assessment procedures for individuals with dyslexia require professional expertise (Prabha et al., 2019). Because dyslexia is a multifaceted disorder with neuropsychological, neurocognitive, neurobiological, and genetic foundations (Peterson & Pennington, 2012). Therefore, it is important to evaluate dyslexia, which has a multi-component and complex structure, both clinically and educationally in the earliest period, in the light of physiological data obtained by using eye tracking technique and machine learning. In this context, studies have been initiated in hospitals and Guidance Research Centers for the accurate, rapid, and objective evaluation of students by clinical psychologists, experts in the fields of guidance, psychological counseling, and special education, using eye tracking and machine learning during the diagnosis-evaluation phase. Therefore, it is important to take part in the diagnosis-evaluation processes of eye tracking and machine learning and to perform the correct diagnosis without time, effort, and economic losses.

This study was aimed to review and summarize the studies carried out to detect readers with dyslexia using eye tracking technique and machine learning. Thus, a new method was introduced to practitioners and researchers to evaluate the reading skills of readers with dyslexia and to act quickly, accurately, and systematically with physiological data in clinical and educational diagnosis processes. In addition, promising information was shared to reveal the biomarkers that can be used by the experts involved in the diagnosis assessment and intervention processes of individuals with dyslexia. In this context, in the following parts of the study, the method is presented, and studies in which dyslexic readers are determined by eye tracking and machine learning are given and discussed in the context of literature and practice.

**METHODS**

Eric, Ebsco, and Google Scholar databases were searched by using keywords like "dyslexia", "eye track-

**To cite:** Özer, E. & Temeltürk, R. D. (2023). Determining reading disorder with eye tracking and machine learning: A review of the literature. *Journal of Clinical Psychology Research*, 7(2), 258-270.

**Esmehan Özer** · [esmehanozer@kku.edu.tr](mailto:esmehanozer@kku.edu.tr) | <sup>1</sup>Asst. Prof., Faculty of Education, Department of Special Education, Kırıkkale University, Ankara yolu 7. Km Yahşihan 71450 Kırıkkale, Türkiye; <sup>2</sup>Lecturer, Faculty of Medicine, Department of Child and Adolescent Mental Health and Diseases, Ankara University, Mamak Cad. 06260, Ankara, Türkiye

**Received** Dec 20, 2021, **Revised** Apr 23, 2022, **Accepted** May 9, 2022



ing", "eye-tracking", "eye movement", and "machine learning", and studies between the first research date 2015 and 2021 were reached. When the contents of the studies were examined, it was observed that some studies did not have an accuracy when machine learning was applied to the eye tracking data, for example, they were written as a review. Some studies did not include information about the native languages of the participants, or the languages of the texts presented to the participants. On the other hand, some studies were removed because they were thesis or poster presentations, and six studies remained.

### *Detection of Dyslexic Readers with Eye Tracking and Machine Learning*

When the related literature, in which dyslexic readers are predicted through eye tracking and machine learning, is examined, studies with native speakers of Spanish (e.g., Rello & Ballesteros, 2015), Swedish (e.g., Benfatto et al., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha & Bhargavi, 2019), Greek (e.g., Asvestopoulou et al., 2019), and Finnish (e.g., Raatikainen et al., 2021) have been reached. Benfatto et al. (2016) applied machine learning to the eye movement data of Swedish-speaking, 97 high-risk, and 88 low-risk individuals aged 9-10 attending the third-grade, which were obtained while reading a text. The researchers identified dyslexic individuals with an accuracy of 96% by applying Recursive Feature Elimination, one of the machine learning algorithms, to the eye movement data of third-grade readers. On the other hand, Prabha and Bhargavi (2019) estimated students at risk of dyslexia by applying machine learning to the eye tracking data of Benfatto et al. (2016). Researchers have developed a model called Particle Swarm Optimization-based Hybrid Kernel Support Vector Machine-Particle Swarm Optimization to accurately predict dyslexic individuals at a very high rate. When they compared the linear Support Vector Machine algorithm with this model they developed, they better predicted students with dyslexia risk with an accuracy of 95%. Similar to Prabha and Bhargavi (2019), Chakraborty (2020) also conducted a study to identify child readers at risk of dyslexia by applying machine learning to the eye tracking data of Benfatto et al. (2016). The researcher examined the Logistic Regression, Random Forest, Decision Tree, Gaussian Naive Bayes, Support Vector Machine, and K Nearest Neighbor machine learning algorithms and presented the algorithms that gave the most accurate results in estimating the risk of dyslexia. In this context, while the Support Vector Machine algorithm is the most successful among machine learning algorithms, it has been concluded that Decision Tree and Gaussian Naive Bayes algorithms are not as efficient as other algorithms (Chakraborty, 2020). Asvestopoulou et al. (2019) developed a dyslexic reader screening tool, which they named DysLexML, to scan the Greek reading skills of large populations more

quickly and with less cost. This scanning tool was developed by applying machine learning to the eye movement data of 32 dyslexic and 37 non-dyslexic children aged 8 years 6 months to 12 years 6 months, who were accessed while reading two passages in Greek in silent reading mode. The tool performed best with a linear Support Vector Machine learning algorithm in successfully predicting the dyslexic reader, with an accuracy of 97% (Asvestopoulou et al., 2019). Raatikainen et al. (2021) studied a total of 165 Finnish students among nearly 400 students whose reading fluency scores were 10% below the normal distribution, and who were typical readers and had a mean age of 12.5 years. Random Forest with Support Vector Machine was applied to the eye movement data obtained during 10 short passage readings of the students and reported that dyslexia was detected with an accuracy of 89.7%.

### **DISCUSSION**

In this study, it was aimed to review and summarize the researches carried out to detect dyslexic individuals with eye tracking technique and machine learning. In order to detect dyslexia by applying machine learning to readers' eye movements, it is seen that studies were carried out in four different languages with native speakers of Spanish (e.g., Rello & Ballesteros, 2015), Swedish (e.g., Benfatto et al., 2016; Chakraborty, 2020; Prabha & Bhargavi, 2019), Greek (e.g., Asvestopoulou et al., 2019), and Finnish (e.g., Raatikainen et al., 2021). The first study in the literature was conducted by Rello and Ballesteros (2015) with both child and adult readers, and it was stated that individuals with dyslexia risk could be successfully detected with an accuracy of 80%. Considering the 90% and higher accuracy rates in detecting dyslexic child readers in Swedish, Greek, and Finnish studies, efforts to develop a new screening tool with eye tracking and machine learning are increasing.

In summary, it can be said that eye tracking and machine learning can be used as diagnostic tools and techniques in languages with transparent orthography, where reading speed is a criterion in the evaluation of reading skills. Thus, since the first research by Rello and Ballesteros (2015) to automatically predict dyslexic individuals using eye tracking and machine learning, it has been thought that these individuals can be identified with a sensitive scanning method, without using paper and pencil, without waiting for written and verbal responses, unlike traditional scanning methods. Therefore, for individuals with dyslexia, determined by being evaluated independently of the knowledge and experience of the experts who make the evaluation away from stress, suitable professional support will be provided without delay. It is predicted that especially dyslexic readers with children can be evaluated through a minimally intrusive technique without allowing feelings of failure, increasing their

anxiety levels, lack of motivation, and experiencing depressive feelings.

## DECLARATIONS

**Compliance with Ethical Standards** It is not a study that requires ethics committee approval.

**Conflict of Interest** All authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the article.

## REFERENCES

- Asvestopoulou, T., Manousaki, V., Psistakis, A., Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Aslanides, I. M., & Papadopoulou, M. (2019). DysLexML: Screening tool for dyslexia using machine learning. *ArXiv preprint arXiv:1903.06274*, 121-127.
- Benfatto, M. N., Seimyr, G. Ö., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A., & Jacobson, C. (2016). Screening for dyslexia using eye tracking during reading. *PLoS One*, *11*(12), 1-16.
- Chakraborty, V. (2020). A study on different classification models for predicting dyslexia. *Kristu Jayanti Journal of Computational Sciences*, *1*(1), 29-35.
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *Lancet* *379*(9830), 1997-2007.
- Prabha, A. J., & Bhargavi, R. (2019). Prediction of dyslexia from eye movements using machine learning. *IETE Journal of Research*, 1-10.
- Raatikainen, P., Hautala, J., Loberg, O., Kärkkäinen, T., Leppänen, P., & Nieminen, P. (2021). Detection of developmental dyslexia with machine learning using eye movement data. *Array*, *12*, 100087.
- Rello, L., & Ballesteros, M. (2015). Detecting readers with dyslexia using machine learning with eye tracking measures. In *Proceedings of the 12<sup>th</sup> web for all conference* (p. 16). Association for Computing Machinery.