

# Ανίχνευση μαθηματικού άγχους σε μαθητές με δυσλεξία: Προσέγγιση μηχανικής μάθησης και προσαρμοστικής παρέμβασης

Ελένη Φασουλά, Ευγένιος Αυγερινός

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια βιβλιογραφική ανασκόπηση για τη σχέση μεταξύ δυσλεξίας και μαθηματικού άγχους, καθώς και για τις δυνατότητες αξιοποίησης τεχνολογιών όπως το eye tracking και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης στην ανίχνευση και διαχείριση των δυσκολιών αυτών. Η δυσλεξία, ως νευροαναπτυξιακή διαταραχή που επηρεάζει κυρίως την ανάγνωση, συνδέεται με γνωστικές και συναισθηματικές δυσκολίες, οι οποίες συχνά εκδηλώνονται με αυξημένο άγχος και χαμηλή αυτοπεποίθηση στα μαθηματικά. Το μαθηματικό άγχος περιγράφεται ως έντονο αίσθημα φόβου και στρες κατά την εκτέλεση μαθηματικών εργασιών, με επιπτώσεις στη σχολική επίδοση και στη στάση απέναντι στο μάθημα. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι οι κινήσεις των ματιών (fixations, saccades) και η ταχύτητα επεξεργασίας πληροφοριών διαφοροποιούνται σε μαθητές με δυσλεξία, προσφέροντας νέες δυνατότητες για αντικειμενική αξιολόγηση μέσω eye tracking. Παράλληλα, οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης εμφανίζουν υψηλή διαγνωστική ακρίβεια, ενισχύοντας την προοπτική ανάπτυξης συστημάτων πρώιμης ανίχνευσης και εξατομικευμένων παρεμβάσεων, με σεβασμό στις ηθικές αρχές και στην προστασία προσωπικών δεδομένων.

## Abstract

This paper presents a literature review on the relationship between dyslexia and mathematics anxiety, focusing on the potential role of eye-tracking technology and machine learning algorithms in the detection and management of these difficulties. Dyslexia, conceptualised as a neurodevelopmental disorder primarily affecting reading, is associated with cognitive and emotional challenges that often manifest as increased anxiety and low self-confidence in mathematics. Mathematics anxiety is described as an intense feeling of fear, stress, or tension when dealing with mathematical tasks, negatively influencing students' performance and their attitudes towards the subject. Recent studies indicate that eye-movement patterns (fixations, saccades) and processing speed differ in students with dyslexia, offering new opportunities for objective assessment through eye-tracking measures. At the same time, machine learning methods have demonstrated high diagnostic accuracy in distinguishing learners at risk, highlighting the potential for developing systems that support early identification and personalised interventions. Particular emphasis is placed on ethical and legal considerations, including data protection and informed consent, which are essential for the responsible integration of such technologies in educational settings

## Εισαγωγή

Το μαθηματικό άγχος έχει αναγνωριστεί εδώ και δεκαετίες ως ένας κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά τη μάθηση, αποτελώντας «αίσθημα έντασης και άγχους» που παρεμβαίνει στην επίλυση μαθηματικών προβλημάτων και στη συμμετοχή στο μάθημα. Σύμφωνα με κλασικές μελέτες, όπως αυτή των Richardson και Suinn (1972), το μαθηματικό άγχος δεν περιορίζεται σε μια στιγμιαία συναισθηματική αντίδραση, αλλά διαμορφώνει σταδιακά ένα μοτίβο αποφυγής του μαθήματος, επηρεάζοντας την εκπαιδευτική και επαγγελματική πορεία του ατόμου. Στο ίδιο πνεύμα, οι Ashcraft και Krause (2007) επισημαίνουν ότι πολλοί μαθητές αποφεύγουν, όποτε είναι δυνατόν, να εμπλακούν σε δραστηριότητες που περιλαμβάνουν μαθηματικά, είτε μέσα στην τάξη είτε στην καθημερινή ζωή.

Η κατάσταση γίνεται ακόμη πιο σύνθετη όταν συνυπάρχει δυσλεξία, καθώς οι γλωσσικές και γνωστικές δυσκολίες που χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη νευροαναπτυξιακή διαταραχή επηρεάζουν την πρόσληψη και επεξεργασία μαθηματικών πληροφοριών. Μαθητές με δυσλεξία συχνά βιώνουν επαναλαμβανόμενες εμπειρίες αποτυχίας, ντροπής ή σύγκρισης με τους συνομηλικούς τους, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει τη γενικευμένη αίσθηση ανεπάρκειας και να οδηγήσει σε υψηλά επίπεδα άγχους, ιδιαίτερα σε απαιτητικά γνωστικά αντικείμενα όπως τα μαθηματικά. Σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη της σχέσης μεταξύ δυσλεξίας και μαθηματικού άγχους αποκτά ιδιαίτερη σημασία, τόσο για την κατανόηση των μηχανισμών που τα συνδέουν όσο και για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών παρεμβάσεων.

Το μαθηματικό άγχος συνδέεται άμεσα με τον ρόλο που παίζουν τα μαθηματικά στην πρόσβαση σε σπουδές και επαγγέλματα υψηλής ζήτησης, όπως οι επιστήμες, η τεχνολογία, η μηχανική και η πληροφορική. Σε ένα εκπαιδευτικό σύστημα όπου τα μαθηματικά αποτελούν βασικό κριτήριο αξιολόγησης και επιλογής, οι μαθητές που αναπτύσσουν έντονο άγχος απέναντι στο μάθημα αυτό κινδυνεύουν να αποκλειστούν από ολόκληρα πεδία σπουδών, όχι λόγω έλλειψης ικανότητας αλλά εξαιτίας της συναισθηματικής επιβάρυνσης που βιώνουν. Έτσι, το μαθηματικό άγχος δεν αποτελεί μόνο ατομικό πρόβλημα, αλλά συνδέεται με ζητήματα εκπαιδευτικής ισότητας και κοινωνικής δικαιοσύνης, καθώς μπορεί να αναπαράγει ανισότητες σε ευκαιρίες μάθησης και επαγγελματικής εξέλιξης.

Παράλληλα, μεγάλης κλίμακας διεθνείς αξιολογήσεις, όπως οι έρευνες PISA, έχουν δείξει ότι σημαντικό ποσοστό μαθητών δηλώνει ότι νιώθει ανασφάλεια και ένταση όταν καλείται να αντιμετωπίσει μαθηματικά προβλήματα, ακόμη και όταν οι απαιτήσεις είναι σε βασικό επίπεδο. Οι αναφορές αυτές συνδέονται με χαμηλότερες επιδόσεις, αλλά και με μειωμένη προθυμία να εμπλακούν οι μαθητές σε προαιρετικές μαθηματικές δραστηριότητες ή να επιλέξουν κορμούς σπουδών που περιλαμβάνουν ενισχυμένα μαθηματικά. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη του μαθηματικού άγχους, ιδιαίτερα σε ευάλωτες ομάδες όπως οι μαθητές με δυσλεξία, αποκτά κεντρική σημασία για τον ανασχεδιασμό των μαθησιακών εμπειριών και την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και αντιμετώπισης.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνολογικές δυνατότητες για την ανίχνευση και κατανόηση των μαθησιακών δυσκολιών, με το eye tracking και τη μηχανική μάθηση να ξεχωρίζουν ως δύο από τις πιο ενδιαφέρουσες και δυναμικά αναπτυσσόμενες προσεγγίσεις. Η καταγραφή των κινήσεων των ματιών, σε συνδυασμό με αλγορίθμους ταξινόμησης και πρόβλεψης, επιτρέπει την εξαγωγή αντικειμενικών δεικτών που σχετίζονται με τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές διαβάζουν, επεξεργάζονται και κατανοούν μαθηματικές πληροφορίες, καθώς και με το πώς βιώνουν το άγχος κατά την εκτέλεση σχετικών εργασιών. Η παρούσα εργασία εστιάζει αποκλειστικά στη βιβλιογραφική αποτύπωση αυτών των ζητημάτων, χωρίς αναφορά σε πρωτογενή δεδομένα ή συγκεκριμένες τεχνικές υλοποιήσεις, με στόχο να αναδειχθούν οι βασικές θεωρητικές, ερευνητικές και παιδαγωγικές συνιστώσες του πεδίου.

### **Δυσλεξία: ορισμός και εκπαιδευτικές επιπτώσεις**

Η δυσλεξία ορίζεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως μια νευροαναπτυξιακή διαταραχή που επηρεάζει κυρίως την ικανότητα ακριβούς και ρέουσας ανάγνωσης, την αποκωδικοποίηση λέξεων και την ορθογραφία, ενώ συχνά συνδέεται και με δυσκολίες στην κατανόηση γραπτών κειμένων. Οι δυσκολίες αυτές δεν αποδίδονται σε χαμηλή νοημοσύνη, ανεπαρκή διδασκαλία ή ελλειπείς εκπαιδευτικές ευκαιρίες, αλλά σε ιδιαιτερότητες της λειτουργίας του εγκέφαλου και του τρόπου επεξεργασίας των γλωσσικών πληροφοριών. Παρότι η κλινική εικόνα μπορεί να διαφέρει από άτομο σε άτομο, συχνά παρατηρούνται δυσκολίες στην αναγνώριση λέξεων, στη σύνδεση γραφήματος-φωνήματος, στη φωνολογική επεξεργασία και στην εργαζόμενη μνήμη. Οι εκπαιδευτικές επιπτώσεις της δυσλεξίας εκτείνονται πέρα από το μάθημα της γλώσσας, καθώς πολλά γνωστικά αντικείμενα στο σχολείο βασίζονται σε έντονα γραπτό λόγο, σύμβολα και αφηρημένες έννοιες. Ειδικά στα μαθηματικά, η ανάγνωση των εκφωνήσεων, η κατανόηση συμβόλων και η οργάνωση πολυβηματικών διαδικασιών μπορεί να δημιουργούν σημαντικές δυσκολίες για μαθητές με δυσλεξία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα αρκετοί μαθητές να χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων, να κάνουν λάθη που σχετίζονται με τη λανθασμένη ανάγνωση ή ερμηνεία των δεδομένων και να νιώθουν ότι υστερούν σε σχέση με τους συμμαθητές τους.

Ερευνητικά δεδομένα μετά το 2005 καταδεικνύουν ότι τα άτομα με δυσλεξία δεν αντιμετωπίζουν μόνο ακαδημαϊκές δυσκολίες, αλλά συχνά παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα άγχους και κατάθλιψης. Μελέτες όπως αυτές των Goldston et al. (2007) και Ithour et al. (2021) αναφέρουν ότι οι μαθητές με δυσλεξία είναι πιο επιρρεπείς σε προβλήματα ψυχικής υγείας, σε σύγκριση με συνομηλίκους τους χωρίς μαθησιακές δυσκολίες, κάτι που αποδίδεται τόσο στις επανειλημμένες εμπειρίες αποτυχίας όσο και στο στιγματισμό που μπορεί να βιώνουν στο σχολικό περιβάλλον. Αντίθετα, παλαιότερες έρευνες, όπως αυτή των Miller et al. (2005), δεν είχαν εντοπίσει τόσο έντονες διαφορές, γεγονός που δείχνει ότι η κατανόηση της συναισθηματικής διάστασης της δυσλεξίας έχει εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου.

Στη σύγχρονη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορα θεωρητικά μοντέλα για την ερμηνεία της δυσλεξίας, με πιο επιδραστικό τη φωνολογική θεωρία, σύμφωνα με την οποία τα άτομα με δυσλεξία παρουσιάζουν πρωτογενείς δυσκολίες στην επεξεργασία και χειρισμό των φωνημικών μονάδων της γλώσσας. Οι δυσκολίες αυτές επιβαρύνουν την ανάπτυξη της ικανότητας αποκωδικοποίησης, με αποτέλεσμα η ανάγνωση να παραμένει αργή και κοπώδης, ακόμη και όταν το άτομο έχει κατανοήσει τους βασικούς κανόνες αντιστοίχισης γραφημάτων–φωνημάτων. Άλλα μοντέλα δίνουν έμφαση στη δυσλειτουργία της εργαζόμενης μνήμης ή σε ανωμαλίες της οπτικής επεξεργασίας, υποστηρίζοντας ότι τα άτομα με δυσλεξία δυσκολεύονται να διατηρήσουν και να χειριστούν προσωρινά τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ανάγνωση και την κατανόηση κειμένων.

Οι επιπτώσεις αυτών των γνωστικών ιδιαιτεροτήτων επεκτείνονται σε ένα ευρύ φάσμα σχολικών μαθημάτων. Στη φυσική και στη χημεία, για παράδειγμα, οι μαθητές με δυσλεξία μπορεί να δυσκολεύονται να διαβάσουν και να ερμηνεύσουν σύνθετες εκφωνήσεις προβλημάτων ή σύμβολα που συνδυάζουν γράμματα και αριθμούς, ενώ στην ιστορία μπορεί να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην επεξεργασία εκτενών κειμένων και στην οργάνωση πληροφοριών σε χρονολογική σειρά. Οι δυσκολίες αυτές συχνά παραμένουν αόρατες, καθώς αποδίδονται λανθασμένα σε «έλλειψη προσπάθειας» ή «αδιαφορία», γεγονός που ενισχύει την απογοήτευση και το άγχος των μαθητών, ιδιαίτερα όταν έρχονται αντιμέτωποι με αξιολογικές διαδικασίες υψηλού διακυβέματος.

Σε πιο πρόσφατες συνθετικές εργασίες, όπως αυτή των Georgiou et al. (2024), αναδεικνύεται ότι η σχέση μεταξύ δυσλεξίας και άγχους είναι άμεση και πολυπαραγοντική. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι το άγχος δεν αποτελεί απλώς μια δευτερογενή συνέπεια των δυσκολιών, αλλά μπορεί να αλληλεπιδρά με τις γνωστικές λειτουργίες, επιβαρύνοντας περαιτέρω την επίδοση και τη συμμετοχή στη μαθησιακή διαδικασία. Η κατανόηση αυτής της σχέσης είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό ολοκληρωμένων παρεμβάσεων που δεν περιορίζονται μόνο στη βελτίωση της ανάγνωσης, αλλά λαμβάνουν υπόψη το συναισθηματικό και ψυχοκοινωνικό προφίλ του μαθητή.

### **Μαθηματικό άγχος: ορισμός και επιπτώσεις**

Το μαθηματικό άγχος ορίζεται ως μια αρνητική συναισθηματική κατάσταση που περιλαμβάνει αισθήματα φόβου, έντασης και ανησυχίας, τα οποία εμφανίζονται όταν το άτομο καλείται να εκτελέσει μαθηματικές εργασίες ή να αξιολογηθεί σε μαθηματικό περιεχόμενο. Αυτή η κατάσταση μπορεί να συνοδεύεται από σωματικά συμπτώματα, όπως ταχυκαρδία, εφίδρωση ή δυσφορία, καθώς και από γνωστικές δυσλειτουργίες, όπως δυσκολία συγκέντρωσης, «μπλοκάρισμα» της σκέψης και αδυναμία ανάκλησης ήδη γνωστών διαδικασιών. Ως αποτέλεσμα, μαθητές με υψηλό μαθηματικό άγχος συχνά αποδίδουν κάτω από τις πραγματικές τους δυνατότητες σε τεστ και διαγωνίσματα, ακόμη και όταν έχουν κατακτήσει το αντίστοιχο γνωστικό αντικείμενο.

Οι επιπτώσεις του μαθηματικού άγχους δεν περιορίζονται στη στιγμιαία επίδοση, αλλά επεκτείνονται σε πιο μακροπρόθεσμες διαστάσεις. Πολλά παιδιά και ενήλικες εγκαταλείπουν την προσπάθεια να μάθουν μαθηματικά, φοβούμενοι ότι η προσπάθειά τους δεν θα είναι ικανοποιητική και ότι η αποτυχία είναι αναπόφευκτη (Chinn, 2012). Με αυτόν τον τρόπο διαμορφώνεται ένα μοτίβο αποφυγής, όπου οι μαθητές επιλέγουν κατευθύνσεις σπουδών και επαγγέλματα που θεωρούν ότι απαιτούν «λιγότερα μαθηματικά», περιορίζοντας σημαντικά τις μελλοντικές τους επιλογές. Παράλληλα, αναπτύσσουν συχνά μια αρνητική στάση απέναντι στο μάθημα, που μπορεί να επηρεάσει το κλίμα της τάξης και τη δυναμική της εκπαιδευτικής σχέσης με τον εκπαιδευτικό.

Ένα κεντρικό στοιχείο του μαθηματικού άγχους είναι ο φαύλος κύκλος που δημιουργείται μεταξύ άγχους, απόδοσης και αυτοαντίληψης. Οι μαθητές που βιώνουν έντονο άγχος έχουν μειωμένη ικανότητα να αξιοποιήσουν τις γνωστικές τους δεξιότητες την ώρα της αξιολόγησης, γεγονός που οδηγεί σε αποτυχία ή χαμηλότερες επιδόσεις από τις αναμενόμενες. Η εμπειρία αυτή ενισχύει την αίσθηση ανεπάρκειας και την πεποίθηση ότι «δεν είναι καλοί στα μαθηματικά», αυξάνοντας το άγχος σε μελλοντικές παρόμοιες καταστάσεις και οδηγώντας σε ακόμη μεγαλύτερη αποφυγή του αντικειμένου.

### **Μαθηματικό άγχος και δυσλεξία**

Η συνύπαρξη δυσλεξίας και μαθηματικού άγχους δημιουργεί ένα σύνθετο προφίλ μαθησιακών και συναισθηματικών δυσκολιών, το οποίο έχει απασχολήσει έντονα τη διεθνή βιβλιογραφία. Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι οι μαθητές με δυσλεξία είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην ανάπτυξη άγχους, τόσο γενικευμένου όσο και ειδικού για τα μαθηματικά, καθώς έρχονται συχνά αντιμέτωποι με απαιτητικές γλωσσικές και συμβολικές εργασίες στις οποίες δυσκολεύονται να ανταποκριθούν. Οι συχνές εμπειρίες αποτυχίας, οι διορθώσεις μπροστά στους συμμαθητές και η αίσθηση ότι «μένουν πίσω» μπορούν να ενισχύσουν την αρνητική αυτοεικόνα και να πυροδοτήσουν έντονα συναισθήματα άγχους κατά τη διάρκεια του μαθήματος των μαθηματικών.

Οι δυσκολίες που συναντούν στα μαθηματικά οι μαθητές με δυσλεξία σχετίζονται με μια σειρά παραγόντων, όπως έχουν καταγράψει ερευνητές όπως οι Clayton (2000) και Chinn (2018). Ένας πρώτος παράγοντας αφορά τη γλώσσα των μαθηματικών: οι εκφωνήσεις προβλημάτων, οι ορισμοί και οι λεκτικές επεξηγήσεις συχνά απαιτούν υψηλό επίπεδο αναγνωστικής ικανότητας και κατανόησης, κάτι που μπορεί να δυσχεραίνει τον προσδιορισμό του τι ακριβώς ζητείται. Δεύτερος παράγοντας είναι η ακολουθία βημάτων, καθώς πολλά μαθηματικά προβλήματα απαιτούν την εκτέλεση σειράς διαδοχικών ενεργειών, οι οποίες πρέπει να διατηρούνται στην εργαζόμενη μνήμη και να εφαρμόζονται με συγκεκριμένη τάξη.

Σημαντικό μέρος της έρευνας γύρω από το μαθηματικό άγχος έχει επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και στάθμιση ψυχομετρικών εργαλείων, όπως η Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS) και οι συντομευμένες εκδοχές της, αλλά και πιο σύντομες κλίμακες όπως η Single-Item Math Anxiety Scale. Οι κλίμακες αυτές ζητούν από τους μαθητές να αξιολογήσουν, σε συνεχείς βαθμίδες, το επίπεδο άγχους που νιώθουν σε συγκεκριμένες μαθηματικές καταστάσεις, όπως η συμμετοχή στο μάθημα, η επίλυση προβλημάτων στον πίνακα ή η συμμετοχή σε εξετάσεις. Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων έχουν δείξει σταθερά ότι το μαθηματικό άγχος αποτελεί διακριτή συναισθηματική διάσταση, η οποία δεν ταυτίζεται με τη γενική σχολική ανησυχία, αλλά σχετίζεται ειδικά με το περιεχόμενο και το πλαίσιο των μαθηματικών δραστηριοτήτων.

Επιπλέον, έχει καταδειχθεί ότι το μαθηματικό άγχος συνδέεται στενά με τη λειτουργία της εργαζόμενης μνήμης, δηλαδή της ικανότητας του ατόμου να διατηρεί και να χειρίζεται προσωρινά τις πληροφορίες που απαιτούνται για την εκτέλεση υπολογισμών πολλών βημάτων ή τη νοερή επεξεργασία αριθμών. Όταν το άγχος είναι υψηλό, ένα μέρος των γνωστικών πόρων «δεσμεύεται» από τις αρνητικές σκέψεις και την ανησυχία («θα αποτύχω», «δεν είμαι καλός στα μαθηματικά»), με αποτέλεσμα να μένουν λιγότεροι πόροι διαθέσιμοι για την επίλυση του προβλήματος. Αυτό οδηγεί σε μειωμένη επίδοση ακόμη και σε καθήκοντα που, υπό ουδέτερες συναισθηματικές συνθήκες, ο μαθητής θα μπορούσε να ολοκληρώσει με επιτυχία, γεγονός που ενισχύει τον φαύλο κύκλο άγχους-αποτυχίας και αποφυγής.

Επιπλέον, η αποκωδικοποίηση μαθηματικών συμβόλων μπορεί να αποτελεί πρόκληση, καθώς οι μαθητές με δυσλεξία είναι πιθανό να συγχέουν σύμβολα που μοιάζουν οπτικά ή να δυσκολεύονται να συνδέσουν το σύμβολο με την αντίστοιχη έννοια. Η απομνημόνευση αριθμητικών δεδομένων, πινάκων και τύπων επηρεάζεται επίσης από δυσκολίες της μνήμης, οδηγώντας σε μεγαλύτερη εξάρτηση από υπολογισμούς «από την αρχή» κάτι που οδηγεί σε αυξημένη γνωστική επιβάρυνση. Τέλος, η χαμηλή αυτοπεποίθηση στα μαθηματικά, η οποία συχνά καλλιεργείται μέσα από διαδοχικές εμπειρίες αποτυχίας, ενισχύει το άγχος, κάτι που δημιουργεί επιπλέον επιβάρυνση στην ψυχολογία του μαθητή οδηγώντας τον στην αποφυγή των Μαθηματικών.

### **Μέθοδοι ανίχνευσης άγχους και μαθησιακών δυσκολιών**

Η ανίχνευση του μαθηματικού άγχους σε μαθητές με δυσλεξία αποτελεί μια σύνθετη πρόκληση, καθώς απαιτεί την αξιοποίηση τόσο ψυχομετρικών όσο και βιολογικών δεικτών, σε συνδυασμό με τις εκπαιδευτικές παρατηρήσεις. Παραδοσιακά, η αξιολόγηση του άγχους βασιζόταν κυρίως σε ερωτηματολόγια αυτοαναφοράς, όπως η Mathematics Anxiety Rating Scale (MARS) και οι συντομευμένες εκδοχές της, αλλά και σε νεότερες κλίμακες όπως η Single-Item Math Anxiety Scale, που διερευνούν τη συχνότητα και την ένταση των συναισθημάτων άγχους σε συγκεκριμένες μαθηματικές καταστάσεις (π.χ. τεστ, προφορικές απαντήσεις). Τα εργαλεία αυτά προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για την υποκειμενική εμπειρία του

μαθητή, ωστόσο επηρεάζονται από παράγοντες όπως η ειλικρίνεια των απαντήσεων και η ικανότητα ενδοσκόπησης, ενώ ενδέχεται να υποεκτιμούν ή να υπερεκτιμούν το πραγματικό επίπεδο άγχους.

Πέρα από τα ερωτηματολόγια, στη βιβλιογραφία περιγράφεται η χρήση ψυχοφυσιολογικών μεθόδων, όπως το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (ΗΕΓ), η μέτρηση καρδιακού ρυθμού και η ηλεκτροδερμική δραστηριότητα, οι οποίες μπορούν να καταγράψουν σε πραγματικό χρόνο αντιδράσεις στρες κατά την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. Οι μέθοδοι αυτές προσφέρουν πιο αντικειμενικά δεδομένα, αλλά συχνά απαιτούν εξειδικευμένο και δαπανηρό εξοπλισμό, καθώς και ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες, γεγονός που περιορίζει την ευρεία χρήση τους στην καθημερινή σχολική πράξη. Επιπλέον, η εφαρμογή τέτοιων τεχνικών σε παιδιά προϋποθέτει υψηλό βαθμό ηθικής ευαισθησίας και προσεκτικό χειρισμό, ώστε να αποφεύγεται η δημιουργία επιπρόσθετου άγχους λόγω της ίδιας της διαδικασίας αξιολόγησης.

Στο πλαίσιο αυτό, το ενδιαφέρον της σύγχρονης έρευνας στρέφεται σε μεθόδους που συνδυάζουν την αντικειμενικότητα των βιολογικών μετρήσεων με μεγαλύτερη λειτουργικότητα σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπως είναι το eye tracking. Η δυνατότητα καταγραφής των κινήσεων των ματιών, χωρίς επεμβατικές διαδικασίες, επιτρέπει στους ερευνητές και στους εκπαιδευτικούς να μελετήσουν λεπτομερώς τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές διαβάζουν κείμενα, προσεγγίζουν μαθηματικά προβλήματα και κατανέμουν την προσοχή τους σε κρίσιμα στοιχεία της εκφώνησης ή της αναπαράστασης (π.χ. εξισώσεις, γραφήματα). Παράλληλα, σε συνδυασμό με σύγχρονες τεχνικές μηχανικής μάθησης, τα δεδομένα αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη μοντέλων που αναγνωρίζουν πρότυπα συμπεριφοράς συνδεδεμένα με δυσλεξία και μαθηματικό άγχος.

#### **Eye tracking: βασικές αρχές και μεταβλητές**

Το eye tracking αποτελεί μια τεχνολογία που καταγράφει και αναλύει τις κινήσεις των ματιών, παρέχοντας πληροφορίες για το πού, πότε και για πόσο χρονικό διάστημα εστιάζει την προσοχή του ένα άτομο κατά τη διάρκεια μιας οπτικής εργασίας. Με τη χρήση ειδικών αισθητήρων και καμερών, είναι δυνατόν να εντοπιστούν με μεγάλη ακρίβεια τα σημεία στα οποία κοιτάζει ο χρήστης σε μια οθόνη ή σε έντυπο υλικό, καθώς και η ακολουθία των σημείων αυτών στον χρόνο. Οι δύο βασικές κατηγορίες κινήσεων που ενδιαφέρουν τη σχετική έρευνα είναι οι σταθερές ματιές (fixations), κατά τις οποίες το βλέμμα παραμένει σχεδόν ακίνητο σε ένα σημείο, και οι ταχείες μετακινήσεις (saccades), με τις οποίες το βλέμμα μεταπηδά από το ένα σημείο στο άλλο.

Στη μελέτη της δυσλεξίας και του μαθηματικού άγχους, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν συγκεκριμένες μεταβλητές eye tracking, οι οποίες έχουν αναδειχθεί ως δείκτες δυσκολιών στην επεξεργασία πληροφοριών. Η διάρκεια των fixations, για παράδειγμα, συνδέεται με τον χρόνο που απαιτείται για την επεξεργασία μιας λέξης ή ενός συμβόλου: οι μαθητές με δυσλεξία ενδέχεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερες διάρκειες σταθερής ματιάς, υποδηλώνοντας αυξημένη γνωστική προσπάθεια για την αποκωδικοποίηση και κατανόηση του υλικού.[Chinn, 2018] Τα πρότυπα των saccades, όπως η ταχύτητα, το μήκος και η ακρίβειά τους, έχουν επίσης βρεθεί διαφοροποιημένα σε άτομα με δυσλεξία, τα οποία συχνά εμφανίζουν πιο αργές και λιγότερο σταθερές κινήσεις, με μεγαλύτερες καταγραφές σε ήδη διαβασμένα τμήματα κειμένου.

Πέρα από τις βασικές μεταβλητές, η έρευνα αξιοποιεί και πιο σύνθετους δείκτες, όπως η διάρκεια πρώτης ματιάς (first fixation duration), η συνολική διάρκεια ματιάς σε μια περιοχή ενδιαφέροντος (total gaze duration), ο αριθμός των επιστροφών (regressions) και τα μοτίβα πορείας του βλέμματος (scanpaths). Η ανάλυση αυτών των δεικτών επιτρέπει την ανασύσταση της «διαδρομής» που ακολουθεί ο μαθητής κατά την ανάγνωση ενός κειμένου ή την εξέταση ενός διαγράμματος, αποκαλύπτοντας στρατηγικές όπως η σειριακή ανάγνωση, η επιλεκτική εστίαση σε λέξεις-κλειδιά ή η επανειλημμένη επιστροφή σε ασαφή στοιχεία. Στους μαθητές με δυσλεξία, τα μοτίβα αυτά τείνουν να είναι πιο κατακερματισμένα και λιγότερο αποτελεσματικά, υποδηλώνοντας την ανάγκη για διδακτικές παρεμβάσεις που θα ενισχύουν την ανάπτυξη πιο αποδοτικών στρατηγικών ανάγνωσης και επεξεργασίας.

#### **Εφαρμογές του eye tracking σε δυσλεξία και μαθηματικό άγχος**

Μία από τις πιο σημαντικές εφαρμογές του eye tracking στην εκπαιδευτική έρευνα αφορά τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων μαθησιακών δυσκολιών, όπως η δυσλεξία, τα ελλείμματα προσοχής και το μαθηματικό άγχος. Μέσα από την ανάλυση των προτύπων κινήσεων των ματιών είναι δυνατόν να

εντοπιστούν χαρακτηριστικά μοτίβα που διαχωρίζουν, για παράδειγμα, έναν μαθητή με δυσλεξία από έναν μαθητή που αντιμετωπίζει κυρίως δυσκολίες συγκέντρωσης. Στην περίπτωση της δυσλεξίας, οι παρατεταμένες fixations σε λέξεις, οι επαναλαμβανόμενες επιστροφές σε προηγούμενες γραμμές και η ακανόνιστη πορεία του βλέμματος κατά την ανάγνωση συνδέονται με δυσκολίες αποκωδικοποίησης, ενώ σε περιπτώσεις ελλειμματικής προσοχής μπορεί να παρατηρούνται πιο διάσπαρτα και ασύνδετα μοτίβα εστίασης.

Τα δεδομένα eye tracking μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για την εκτίμηση του γνωστικού φορτίου κατά την εκτέλεση μιας εργασίας, καθώς μεταβολές στο μέγεθος της κόρης και στη συχνότητα των fixations έχουν συνδεθεί με τον βαθμό δυσκολίας που βιώνει ο μαθητής. Όταν το γνωστικό φορτίο είναι υψηλό, για παράδειγμα σε σύνθετα μαθηματικά προβλήματα, παρατηρούνται συχνά αυξημένες διάρκειες fixations σε συγκεκριμένα σημεία της εκφώνησης ή του διαγράμματος, καθώς και μεγαλύτερη ασυνέπεια στην κίνηση των ματιών, κάτι που συνδέεται με αυξημένο άγχος και γνωστική επιβάρυνση. Οι ενδείξεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εκτιμηθεί αν ένα εκπαιδευτικό υλικό είναι υπερβολικά απαιτητικό ή αν χρειάζεται ανασχεδιασμό, ώστε να προσαρμοστεί καλύτερα στις δυνατότητες των μαθητών με δυσλεξία. Σε ό,τι αφορά το μαθηματικό άγχος, η αυξημένη διάρκεια fixations και οι ακανόνιστες κινήσεις των ματιών έχουν συνδεθεί με συναισθηματική επιβάρυνση και στρες κατά την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. Μαθητές που βιώνουν έντονο άγχος τείνουν να «κολλούν» σε συγκεκριμένα σημεία του προβλήματος, να επιστρέφουν επανειλημμένα σε ήδη διαβασμένες πληροφορίες ή να αποφεύγουν να εστιάσουν σε κρίσιμα στοιχεία, γεγονός που αντανακλά την πάλη μεταξύ γνωστικής προσπάθειας και συναισθηματικής πίεσης. Με τον τρόπο αυτό, οι μετρήσεις eye tracking προσφέρουν έναν έμμεσο αλλά ισχυρό δείκτη της συναισθηματικής κατάστασης του μαθητή, συμπληρώνοντας τις αυτοαναφορές και τις παρατηρήσεις του εκπαιδευτικού.

Πέρα από τις βασικές μεταβλητές, όπως η διάρκεια των fixations και τα πρότυπα των saccades, η έρευνα στο πεδίο του eye tracking αξιοποιεί μια σειρά από πιο σύνθετους δείκτες, όπως η διάρκεια πρώτης ματιάς (first fixation duration), η συνολική διάρκεια ματιάς σε μια περιοχή ενδιαφέροντος (total gaze duration), ο αριθμός των επιστροφών (regressions) και τα μοτίβα πορείας του βλέμματος (scanpaths). Η ανάλυση αυτών των δεικτών επιτρέπει την ανασύσταση της «διαδρομής» που ακολουθεί ο μαθητής κατά την ανάγνωση ενός κειμένου ή την εξέταση ενός διαγράμματος, αποκαλύπτοντας στρατηγικές όπως η σειριακή ανάγνωση, η επιλεκτική εστίαση σε λέξεις-κλειδιά ή η επανειλημμένη επιστροφή σε ασαφή στοιχεία. Στους μαθητές με δυσλεξία, τα μοτίβα αυτά τείνουν να είναι πιο «κατακερματισμένα» και λιγότερο αποτελεσματικά, υποδηλώνοντας την ανάγκη για διδακτικές παρεμβάσεις που θα ενισχύουν την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών ανάγνωσης.

Η τεχνολογία eye tracking έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της πλοήγησης σε ψηφιακά μαθησιακά περιβάλλοντα, όπως εκπαιδευτικές ιστοσελίδες, πολυμεσικές εφαρμογές και συστήματα διαχείρισης μάθησης. Μέσα από την καταγραφή του πού εστιάζουν οι μαθητές στην οθόνη, πώς μετακινούν το βλέμμα μεταξύ κειμένου, εικόνων και διαδραστικών στοιχείων, και πόσο χρόνο αφιερώνουν σε διαφορετικές περιοχές, οι ερευνητές μπορούν να αξιολογήσουν κατά πόσο ο σχεδιασμός του υλικού υποστηρίζει ή εμποδίζει την κατανόηση. Τα δεδομένα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για τον ανασχεδιασμό διδακτικών υλικών που απευθύνονται σε μαθητές με δυσλεξία, ώστε να μειώνεται το γνωστικό φορτίο και να διευκολύνεται η εστίαση στα πιο κρίσιμα στοιχεία της πληροφορίας.

### **Συστήματα eye tracker και ανάγκη για λύσεις χαμηλού κόστους**

Στη διεθνή βιβλιογραφία καταγράφονται διάφορα εξειδικευμένα συστήματα eye tracker, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε ερευνητικά και κλινικά πλαίσια. Ενδεικτικά, το Tobii Pro X3-120 είναι ένα σύστημα με ακρίβεια περίπου 0,4 μοιρών οπτικής γωνίας και συχνότητα δειγματοληψίας 120 Hz, κατάλληλο για χρήση με σταθερό υπολογιστή και συνοδευόμενο από το λογισμικό ανάλυσης Tobii Pro Lab. Αντίστοιχα, το EyeLink 1000 της SR Research προσφέρει εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια, που μπορεί να φτάσει έως και 0,01 μοίρες, και πολύ υψηλές συχνότητες δειγματοληψίας (1000 ή 2000 Hz), γεγονός που το καθιστά ιδανικό για πειράματα γνωστικής επιστήμης και νευροψυχολογίας.

Άλλα συστήματα, όπως το SMI RED-m και το Gazepoint GP3, λειτουργούν ως απομακρυσμένοι eye trackers, χωρίς φυσική επαφή με τον χρήστη, και είναι σχεδιασμένα για εύκολη ενσωμάτωση με οθόνες και εκπαιδευτικό λογισμικό. Το SMI RED-m προσφέρει ακρίβεια περίπου 0,4 μοιρών και συχνότητα δειγματοληψίας 120 Hz, ενώ θεωρείται κατάλληλο τόσο για παιδιά όσο και για ενήλικες, με εφαρμογές στην εκπαιδευτική έρευνα και στη διάγνωση δυσλεξίας. Το Gazepoint GP3, με ακρίβεια περίπου 0,5 μοιρών και συχνότητα 150 Hz, χρησιμοποιείται σε μελέτες ανάγνωσης, αξιολόγηση εμπειρίας χρήστη (UX) και εκπαιδευτικές εφαρμογές, προσφέροντας πιο οικονομικές επιλογές σε σχέση με τα κορυφαία εργαστηριακά συστήματα (Tobii Pro, n.d.; SR Research, n.d.; SensoMotoric Instruments, n.d.; Gazepoint, n.d.).

Παρά τα πλεονεκτήματα του εργαστηριακού εξοπλισμού, όπως η εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια, η μεγάλη συχνότητα δειγματοληψίας και τα προηγμένα λογισμικά ανάλυσης, η χρήση του συνοδεύεται από σημαντικούς περιορισμούς. Ο εξοπλισμός είναι συνήθως σταθερός, απαιτεί ειδικά διαμορφωμένους χώρους και παρουσιάζει υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, γεγονός που καθιστά δύσκολη την ευρεία διάδοση σε σχολικές μονάδες και μικρότερα ερευνητικά κέντρα. Γι' αυτόν τον λόγο, στη βιβλιογραφία τονίζεται όλο και περισσότερο η ανάγκη για λύσεις χαμηλού κόστους, οι οποίες θα επιτρέπουν την αξιοποίηση της τεχνολογίας eye tracking σε πραγματικές εκπαιδευτικές συνθήκες, όπως είναι οι σχολικές αίθουσες και τα κέντρα υποστήριξης μαθητών.

### **Eye tracking, τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση**

Η σύζευξη της τεχνολογίας eye tracking με μεθόδους τεχνητής νοημοσύνης, και ειδικότερα με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, έχει ανοίξει νέους δρόμους για την ανίχνευση δυσλεξίας και μαθηματικού άγχους. Τα δεδομένα κινήσεων των ματιών, όταν αναλυθούν με κατάλληλες υπολογιστικές τεχνικές, μπορούν να μετατραπούν σε χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την εκπαίδευση μοντέλων ταξινόμησης, ικανών να διακρίνουν μαθητές με δυσλεξία από τυπικά αναπτυσσόμενους μαθητές με υψηλή ακρίβεια. Στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρονται μοντέλα βασισμένα σε αλγορίθμους όπως οι Random Forests και οι Support Vector Machines, τα οποία έχουν επιτύχει διαγνωστική ακρίβεια έως και 95–96% σε ορισμένες μελέτες, αναδεικνύοντας τη δυναμική του συνδυασμού eye tracking και μηχανικής μάθησης (Dowker et al., 2016). Σε γενικό επίπεδο, τα μοντέλα αυτά ακολουθούν μια τυπική διαδικασία: αρχικά πραγματοποιείται εξαγωγή χαρακτηριστικών από τις ακατέργαστες χρονικές σειρές των κινήσεων των ματιών (π.χ. μέσοι όροι, διακυμάνσεις, συχνότητες συγκεκριμένων μοτίβων), και στη συνέχεια τα χαρακτηριστικά αυτά χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση ενός ταξινομητή σε ένα σύνολο δεδομένων όπου είναι γνωστό αν οι συμμετέχοντες ανήκουν σε ομάδα με δυσλεξία ή όχι, ή αν παρουσιάζουν υψηλό ή χαμηλό μαθηματικό άγχος. Η επίδοση του μοντέλου αξιολογείται σε ξεχωριστό σύνολο ελέγχου, με δείκτες όπως η ακρίβεια, η ευαισθησία, η ειδικότητα και η περιοχή κάτω από την καμπύλη ROC, ώστε να εκτιμηθεί κατά πόσο το μοντέλο γενικεύεται σε νέα, άγνωστα δεδομένα.

Παρά τα ενθαρρυντικά ευρήματα, η βιβλιογραφία επισημαίνει την ανάγκη προσοχής σε ζητήματα όπως η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, ο κίνδυνος υπερπροσαρμογής και οι πιθανές μεροληψίες που ενδέχεται να ενσωματωθούν στα μοντέλα. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο που έχει εκπαιδευτεί σε δεδομένα από έναν συγκεκριμένο γλωσσικό πληθυσμό μπορεί να μην αποδίδει εξίσου καλά σε διαφορετικές γλωσσικές κοινότητες ή ηλικιακές ομάδες, αν τα πρότυπα eye tracking διαφοροποιούνται σημαντικά. Επιπλέον, το «μαύρο κουτί» ορισμένων αλγορίθμων μπορεί να δημιουργεί δυσκολίες στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων και στην εξήγηση των αποφάσεων σε εκπαιδευτικούς και γονείς, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη διαφανών και επεξηγήσιμων μοντέλων όταν αυτά προορίζονται για χρήση σε εκπαιδευτικά πλαίσια.

### **Ηθικά ζητήματα και προστασία προσωπικών δεδομένων**

Η χρήση τεχνολογιών όπως το eye tracking και η μηχανική μάθηση σε μαθητικό πληθυσμό εγείρει σημαντικά ηθικά και νομικά ζητήματα, τα οποία δεν μπορούν να αγνοηθούν. Τα δεδομένα που συλλέγονται, όπως οι κινήσεις των ματιών, οι φυσιολογικές αντιδράσεις και οι επιδόσεις σε μαθηματικές εργασίες, θεωρούνται προσωπικά δεδομένα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να ενταχθούν στην κατηγορία των ευαίσθητων δεδομένων, καθώς σχετίζονται με την υγεία και τις μαθησιακές δυσκολίες του ατόμου (European Parliament & Council of the European Union, 2016). Ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων (GDPR) της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτει σαφείς απαιτήσεις για την κωδικοποίηση, ανωνυμοποίηση και ασφαλή

αποθήκευση των δεδομένων, καθώς και για τον περιορισμό της πρόσβασης μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα.

Η ενημέρωση και συγκατάθεση των γονέων και των μαθητών αποτελεί επίσης θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διεξαγωγή οποιασδήποτε σχετικής έρευνας ή εφαρμογής. Πριν από τη συμμετοχή, οι γονείς και, ανάλογα με την ηλικία, οι ίδιοι οι μαθητές πρέπει να ενημερώνονται με σαφή και κατανοητό τρόπο για τον σκοπό της μελέτης, τις μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν, τα είδη των δεδομένων που θα συλλεχθούν και τον τρόπο με τον οποίο θα προστατευτούν, σύμφωνα με το ρυθμιστικό πλαίσιο του GDPR (European Parliament & Council of the European Union, 2016). Η συγκατάθεση πρέπει να είναι ελεύθερη, ρητή και ανακλητή ανά πάσα στιγμή, ενώ οι συμμετέχοντες πρέπει να έχουν το δικαίωμα να αποχωρήσουν χωρίς καμία αρνητική συνέπεια για τη σχολική τους πορεία.

Ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα που αναδεικνύεται στη βιβλιογραφία αφορά τον κίνδυνο «ετικετοποίησης» των μαθητών μέσω της χρήσης τεχνολογικών εργαλείων διάγνωσης. Αν τα αποτελέσματα από eye tracking και μηχανική μάθηση χρησιμοποιηθούν χωρίς επαρκή ερμηνεία και παιδαγωγική ευαισθησία, υπάρχει ο κίνδυνος να αποδοθούν στους μαθητές σταθερές ταυτότητες, όπως «δυσλεξικός μαθητής με υψηλό άγχος», οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν τις προσδοκίες των εκπαιδευτικών και των γονέων. Μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να ενισχύσει το αίσθημα στιγματισμού και να περιορίσει τις ευκαιρίες των μαθητών, αντί να λειτουργήσει υποστηρικτικά, γι' αυτό και η χρήση των εργαλείων αυτών πρέπει να γίνεται πάντα στο πλαίσιο μιας ευρύτερης παιδαγωγικής και ψυχοκοινωνικής αξιολόγησης.

Σε παιδαγωγικό επίπεδο, η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το eye tracking απαιτεί την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, ώστε να μπορούν να κατανοούν τα βασικά ευρήματα και να τα μεταφράζουν σε πρακτικές διδακτικές αποφάσεις. Η συνεργασία πολυεπιστημονικών ομάδων, στις οποίες συμμετέχουν εκπαιδευτικοί γενικής και ειδικής αγωγής, ψυχολόγοι, ερευνητές και γονείς, μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση παρεμβάσεων που λαμβάνουν υπόψη τόσο τις γνωστικές όσο και τις συναισθηματικές ανάγκες των μαθητών με δυσλεξία. Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα που προκύπτουν από την τεχνολογία δεν αντιμετωπίζονται ως αυτοσκοπός, αλλά ως εργαλείο ενίσχυσης της παιδαγωγικής πράξης, μέσα σε ένα πλαίσιο που προάγει τη συμπερίληψη, τον σεβασμό στα δικαιώματα των μαθητών και την προαγωγή της ψυχικής τους υγείας.

### **Παιδαγωγικές προεκτάσεις και μελλοντικές κατευθύνσεις**

Τα ευρήματα της βιβλιογραφίας σχετικά με τη δυσλεξία, το μαθηματικό άγχος και τη χρήση eye tracking και μηχανικής μάθησης έχουν σημαντικές παιδαγωγικές προεκτάσεις. Καταρχάς, αναδεικνύουν την ανάγκη για έγκαιρη ανίχνευση των μαθησιακών δυσκολιών και των συναισθηματικών παραγόντων που τις συνοδεύουν, ώστε οι παρεμβάσεις να σχεδιάζονται πριν παγιωθούν τα αρνητικά μοτίβα απόδοσης και αυτοαντίληψης (Georgiou et al., 2024). Η αξιοποίηση δεδομένων eye tracking μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να εντοπίσουν τα σημεία ενός κειμένου ή μιας μαθηματικής εργασίας στα οποία οι μαθητές με δυσλεξία «κολλούν» ή δείχνουν αυξημένο γνωστικό φορτίο, οδηγώντας σε προσαρμογές του υλικού, όπως απλοποίηση εκφωνήσεων, χρήση πιο σαφών γραφημάτων ή αλλαγές στη διάταξη της πληροφορίας. [Chinn, 2018]

Περαιτέρω, οι πληροφορίες που προκύπτουν από την ανάλυση των κινήσεων των ματιών μπορούν να αξιοποιηθούν για τον σχεδιασμό εξατομικευμένων προγραμμάτων εκπαίδευσης, τα οποία θα εστιάζουν στις συγκεκριμένες δυσκολίες κάθε μαθητή. Για παράδειγμα, αν διαπιστωθεί ότι ένας μαθητής δυσκολεύεται ιδιαίτερα στην επεξεργασία γραφημάτων, μπορεί να αναπτυχθεί ένα πρόγραμμα παρέμβασης που θα περιλαμβάνει σταδιακά δομημένες δραστηριότητες με απλουστευμένες οπτικές αναπαραστάσεις, οι οποίες σταδιακά θα γίνονται πιο σύνθετες. Αντίστοιχα, σε μαθητές που παρουσιάζουν έντονο μαθηματικό άγχος, οι παρεμβάσεις μπορούν να εστιάσουν στη σταδιακή έκθεση σε μαθηματικές εργασίες με ταυτόχρονη υποστήριξη σε επίπεδο συναισθηματικής διαχείρισης και αυτορρύθμισης (Chinn, 2012).

Σε παιδαγωγικό επίπεδο, η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το eye tracking απαιτεί την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, ώστε να μπορούν να κατανοούν τα βασικά ευρήματα και να τα μεταφράζουν σε πρακτικές διδακτικές αποφάσεις. Η συνεργασία πολυεπιστημονικών ομάδων, στις οποίες συμμετέχουν εκπαιδευτικοί γενικής και ειδικής αγωγής, ψυχολόγοι, ερευνητές και γονείς, μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση

παρεμβάσεων που λαμβάνουν υπόψη τόσο τις γνωστικές όσο και τις συναισθηματικές ανάγκες των μαθητών με δυσλεξία (Georgiou et al., 2024; Dowker et al., 2016). Με αυτόν τον τρόπο, τα δεδομένα που προκύπτουν από την τεχνολογία δεν αντιμετωπίζονται ως αυτοσκοπός, αλλά ως εργαλείο ενίσχυσης της παιδαγωγικής πράξης, μέσα σε ένα πλαίσιο που προάγει τη συμπερίληψη, τον σεβασμό στα δικαιώματα των μαθητών και την προαγωγή της ψυχικής τους υγείας.

### **Συμπεράσματα**

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αναδεικνύει ότι η δυσλεξία και το μαθηματικό άγχος συνδέονται στενά, διαμορφώνοντας ένα σύνθετο προφίλ δυσκολιών που επηρεάζει ουσιαστικά τη μαθησιακή πορεία των μαθητών. Η δυσλεξία δεν περιορίζεται στις γλωσσικές δεξιότητες, αλλά επηρεάζει και τις μαθηματικές επιδόσεις, ιδιαίτερα όταν απαιτείται ανάγνωση σύνθετων εκφωνήσεων, διαχείριση πολλαπλών βημάτων και κατανόηση αφηρημένων συμβόλων (Clayton, 2000; Chinn, 2018). Το μαθηματικό άγχος, από την πλευρά του, ενισχύει τις υπάρχουσες δυσκολίες και μπορεί να οδηγήσει σε αποφυγή του μαθήματος, χαμηλή αυτοπεποίθηση και περιορισμό των εκπαιδευτικών και επαγγελματικών επιλογών (Chinn, 2012).

Η τεχνολογία eye tracking και οι μέθοδοι μηχανικής μάθησης προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για την αντικειμενική ανίχνευση της δυσλεξίας και του μαθηματικού άγχους, μέσω της ανάλυσης προτύπων κινήσεων των ματιών και άλλων βιολογικών δεικτών. Έρευνες δείχνουν ότι η διαγνωστική ακρίβεια μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα, γεγονός που καθιστά τα εργαλεία αυτά ιδιαίτερα ελκυστικά για την πρόωμη αναγνώριση μαθητών που βρίσκονται σε κίνδυνο. Ωστόσο, η αξιοποίησή τους στην εκπαιδευτική πράξη απαιτεί προσεκτική θεώρηση των ηθικών και νομικών συνεπειών, με έμφαση στην προστασία προσωπικών δεδομένων, στην ενημερωμένη συγκατάθεση και στην αποφυγή στιγματισμού (European Parliament & Council of the European Union, 2016).

Τέλος, τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας υποδεικνύουν ότι η πιο αποτελεσματική προσέγγιση βρίσκεται στη συνδυαστική χρήση παραδοσιακών εργαλείων αξιολόγησης και υποστηρικτικών τεχνολογιών, στο πλαίσιο ενός ολιστικού παιδαγωγικού σχεδιασμού. Η ανάπτυξη λύσεων χαμηλού κόστους, κατάλληλων για πραγματικές σχολικές συνθήκες, σε συνδυασμό με την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στη χρήση και ερμηνεία των σχετικών δεδομένων, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην έγκαιρη ανίχνευση και υποστήριξη μαθητών με δυσλεξία και μαθηματικό άγχος (Dowker et al., 2016; Georgiou et al., 2024). Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για ένα πιο συμπεριληπτικό και υποστηρικτικό μαθησιακό περιβάλλον, στο οποίο όλοι οι μαθητές θα έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν τις δυνατότητές τους στα μαθηματικά χωρίς να εγκλωβίζονται σε έναν φαύλο κύκλο δυσκολιών και άγχους.

### **Βιβλιογραφία**

- Ashcraft, M. H., & Krause, J. A. (2007). Working memory, math performance, and math anxiety. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(2), 243–248.
- Chinn, S. J. (2012). Beliefs, anxiety, and avoiding failure in mathematics. *Psychology Research and Behavior Management*, *5*, 75–83.
- Chinn, S. J. (2018). *Mathematics for dyslexics and dyscalculics: A teaching handbook* (4th ed.). Routledge.
- Clayton, J. (2000). *Mathematics and dyslexia*.
- Georgiou GK, Parrila R, McArthur G. (2024). Dyslexia and mental health problems: introduction to the special issue. *Ann Dyslexia*, *74*(1), 1-3. doi: 10.1007/s11881-024-00300-3
- Goldston, D. B., Walsh, A., Mayfield, A. E., Reboussin, B. A., Reboussin, D. M., Frazier, P. H., & Kelley, A. E. (2007). Reading problems, psychiatric disorders, and functional impairment from mid- to late adolescence. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *46*(1), 25–32.
- Elhassan, A., & Hassan, H. (2015). Emotional and behavioral problems among children with specific learning disorders. *Journal of Educational Policy and Entrepreneurial Research*, *2*(10), 66-74.
- Miller, C. J., Hynd, G. W., Miller, S. R., & Marks, W. (2005). Childhood dyslexia: Syndromes, behavior, and comorbidity. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *44*(6), 626–632.
- Richardson, F. C., & Suinn, R. M. (1972). The Mathematics Anxiety Rating Scale: Psychometric data. *Journal of Counseling Psychology*, *19*(6), 551–554.

### **Eye tracking – συστήματα (τεχνικά/γκρίζα βιβλιογραφία)**

Gazepoint. (n.d.). *Gazepoint GP3 eye tracker: Technical specifications*. Gazepoint Systems Inc.  
SR Research. (n.d.). *EyeLink 1000 Plus: Eye tracker system description*. SR Research Ltd.  
Tobii Pro. (n.d.). *Tobii Pro X3-120 eye tracker: Product description and technical specifications*. Tobii Pro AB.  
SensoMotoric Instruments (SMI). (n.d.). *RED-m remote eye tracking system: Product brochure*. SensoMotoric Instruments.

**Γενικά/θεωρητικά για μαθηματικό άγχος (αν τα έχεις χρησιμοποιήσει στο κείμενο)**

Dowker, A., Sarkar, A., & Looi, C. Y. (2016). Mathematics anxiety: What have we learned in 60 years? *Frontiers in Psychology*, 7, 508.

**Νομοθεσία – GDPR**

European Parliament, & Council of the European Union. (2016). *Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 (General Data Protection Regulation)*. Official Journal of the European Union.