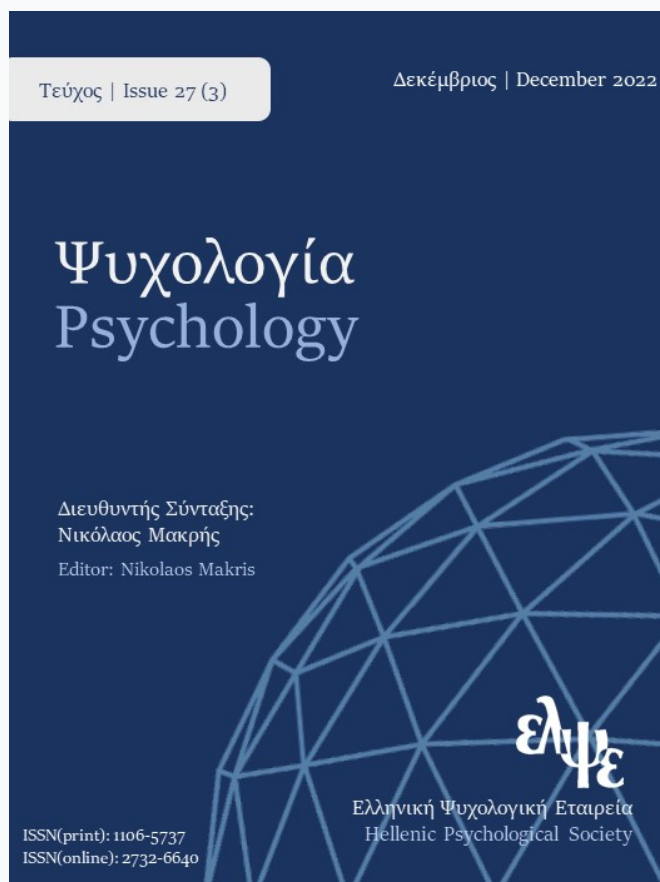


## Psychology: the Journal of the Hellenic Psychological Society

Vol 27, No 3 (2022)

December 2022



### Algorithm for screening students for dyslexia through reading. Data collected with the use of eye-tracking technology in the Greek language

*Vassilios Andreadakis, Nadia Boufachrentin, Elpida Servou, Theodora Bachourou, Nikolaos Kozeis, Ioannis Smyrnakis, Ioannis M. Aslanides*

doi: [10.12681/psy\\_hps.26737](https://doi.org/10.12681/psy_hps.26737)

Copyright © 2022, Βασίλης Ανδρεαδάκης



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

### To cite this article:

Andreadakis, V., Boufachrentin, N., Servou, E., Bachourou, T., Kozeis, N., Smyrnakis, I., & Aslanides, I. M. (2022). Algorithm for screening students for dyslexia through reading. Data collected with the use of eye-tracking technology in the Greek language. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, 27(3), 63–78. [https://doi.org/10.12681/psy\\_hps.26737](https://doi.org/10.12681/psy_hps.26737)



## ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ | RESEARCH PAPER

# Αλγόριθμος ανίχνευσης μαθητών με δυσλεξία μέσω της ανάγνωσης. Δεδομένα από την τεχνολογία οφθαλμικής ιχνηλάτησης (eye-tracking) στην ελληνική γλώσσα

Βασίλης ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ<sup>1</sup>, Νάντια ΜΠΟΥΦΑΧΡΕΝΤΙΝ<sup>2</sup>, Ελπίδα ΣΕΡΒΟΥ<sup>2</sup>, Δώρα ΜΠΑΧΟΥΡΟΥ<sup>3</sup>, Νικόλαος ΚΟΖΗΣ<sup>4</sup>, Ιωάννης ΣΜΥΡΝΑΚΗΣ<sup>5</sup>, Ιωάννης Μ. ΑΣΛΑΝΙΔΗΣ<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Προηγμένες Οφθαλμικές Τεχνολογίες, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

<sup>2</sup> Ειδικός παιδαγωγός - φιλόλογος

<sup>3</sup> Λογοθεραπεύτρια, Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

<sup>4</sup> Παιδοοφθαλμολογικό Ελλάδος

<sup>5</sup> Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

<sup>6</sup> Οφθαλμολογική Μονάδα Ημερήσιας Νοσηλείας Εμμετρωπία, Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

## ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

Οφθαλμική ιχνηλάτηση, eye-tracking, οφθαλμικές κινήσεις, ανάγνωση, δυσλεξία, αναγνωστική ευχέρεια, αναγνωστικές δυσκολίες

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε και καταγράφηκε η απεικόνιση της ανάγνωσης, βασισμένη στην τεχνολογία της οφθαλμικής ιχνηλάτησης (eye-tracking). Δόθηκε έμφαση στην ειδική μαθησιακή δυσκολία στην ανάγνωση και στο γραπτό λόγο ή αλλιώς δυσλεξία, κατά την οποία παρατηρούνται δυσκολίες στην ακρίβεια της ανάγνωσης και την ευχέρεια. Ενώ η δυσλεξία δεν αποτελεί οφθαλμολογικό πρόβλημα, οι ανεπάρκειες στην αποκωδικοποίηση και στην ευχέρεια αποτυπώνονται από τις εστιάσεις και τις σακκαδικές κινήσεις κατά την ανάγνωση κειμένου από ένα άτομο. Τα δεδομένα από την καταγραφή του αναγνωστικού μονοπατιού μέσω οφθαλμικής ιχνηλάτησης αξιοποιήθηκαν έτσι ώστε με εγκυρότητα και αξιοπιστία να εντοπιστούν οι μαθητές με δυσκολίες ανάγνωσης και να παραπεμφθούν για περαιτέρω διερεύνηση ως υποψήφιοι με ειδική μαθησιακή δυσκολία. Ως αποτέλεσμα, δημιουργήθηκε ένα ανιχνευτικό εργαλείο ανάγνωσης, που δίνει τη δυνατότητα να ξεχωρίσουν οι μαθητές με αναγνωστικές δυσκολίες από τους μαθητές που δεν έχουν. Το ποσοστό επιτυχίας έφτασε το 90% της σωστής κατηγοριοποίησης των μαθητών. Ειδικότερα, 63 από τους 68 τυπικούς αναγνώστες (93% ειδικότητα-specificity) και 60 από τους 69 δυσλεξικούς αναγνώστες (87% ευαισθησία-sensitivity) αξιολογήθηκαν και κατηγοριοποιήθηκαν σωστά από το εργαλείο υπό κυκλική επικύρωση (under circular validation). Λαμβάνοντας υπόψη πόσο σημαντική είναι η έγκαιρη παρέμβαση στις σχολικές δεξιότητες όπως η ανάγνωση, το εργαλείο αυτό καταγράφει τις οφθαλμικές κινήσεις κατά την ανάγνωση - καταγράφει δηλαδή το αναγνωστικό μονοπάτι, το οποίο είναι μοναδικό για κάθε μαθητή - ποσοτικοποιεί τα δεδομένα από την καταγραφή και διακρίνει τους μαθητές εκείνους με χαμηλή επίδοση στην ανάγνωση, ανάλογα με την ηλικία τους. Η χρήση του εργαλείου αυτού αποσκοπεί στον εντοπισμό πληθυσμού μαθητών με αναγνωστικές δυσκολίες. Ένα τέτοιο εργαλείο θα βοηθήσει, συνεπικουρικά, στην εξατομικευμένη αντιμετώπιση και στην παρακολούθησή της προόδου αυτής της αντιμετώπισης.

## ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Ανδρεάδης Βασίλης,  
Προηγμένες Οφθαλμικές  
Τεχνολογίες,  
Πεδιάδος 16 Δεξιά,  
Ηράκλειο,  
[andreadakis.v@eyetracking.gr](mailto:andreadakis.v@eyetracking.gr)

## Εισαγωγή

Η ανάγνωση είναι μία σύνθετη γνωστική δραστηριότητα, η οποία αναπτύσσεται μέσω της εξάσκησης και σταδιακά αυτοματοποιείται στα πρώτα σχολικά χρόνια. Πρόκειται για την επεξεργασία της γραφικής αναπαράστασης, ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή κατανόηση του ερεθίσματος (Berthiaume & Daigle, 2014). Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατανόηση κειμένου μπορεί να προβλεφθεί από δύο στοιχεία: ικανότητα

αποκωδικοποίησης, δηλαδή οπτική αναγνώριση λέξης, και λεξιλογική κατανόηση (Hoover & Gough, 1990). Χρειάζονται και τα δύο μαζί για μία επιτυχημένη ανάγνωση. Ένα χαρακτηριστικό των γλωσσικών συστημάτων είναι ο βαθμός διαφάνειας, η αντιστοιχία δηλαδή γραφήματος-φωνήματος. Στις περιπτώσεις όπου κάθε γράφημα αντιστοιχεί σε ένα μοναδικό φώνημα αναφερόμαστε σε γλωσσικά συστήματα με υψηλά επίπεδα διαφάνειας (Πόρποδας, 2002). Στις διαφανείς γλώσσες, όπως είναι τα ελληνικά, ένας αναγνώστης συνήθως δεν δυσκολεύεται στη διάκριση και αντιστοίχιση γραφημάτων-φωνημάτων. Αντίθετα, σε αυτές τις περιπτώσεις, η μεγαλύτερη ένδειξη αναγνωστικών προβλημάτων είναι η χαμηλή αναγνωστική ευχέρεια (Protorapas, 2008· Wimmer, 1993). Επομένως, ο αναγνώστης δεν έχει κατακτήσει την αυτοματοποίηση της αναγνωστικής διεργασίας, άρα παρατηρείται αργή ανάγνωση με συλλαβιστό ρυθμό.

Ενώ μερικοί αναγνώστες διαθέτουν φυσιολογική όραση και ακοή, έχουν τυπικό δείκτη νοημοσύνης και έχουν λάβει επαρκή εκπαίδευση, δεν έχουν την αναμενόμενη αναγνωστική ευχέρεια και επαρκή κατανόηση αυτών που διαβάζουν. Άρα, αν δεν υπάρχει κάποια νευροαναπτυξιακή ή άλλη διαταραχή της ανάπτυξης, όπως η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής με ή χωρίς Υπερκινητικότητα, τότε υπάρχει πιθανότητα οι αναγνώστες αυτοί να έχουν δυσλεξία.

Σύμφωνα με τον ορισμό των Lyon, Shaywitz και Shaywitz (2003), «η δυσλεξία είναι μια ειδική μαθησιακή δυσκολία που έχει νευροβιολογική βάση. Η δυσκολία αυτή μπορεί να προέρχεται από ανεπάρκειες στο φωνολογικό στοιχείο της γλώσσας, το οποίο αποκλίνει από τις υπόλοιπες γνωστικές λειτουργίες, παρά την αποτελεσματική και επαρκή καθοδήγηση από την τάξη» (Lyon et al., 2003, σελίδες 2-3). Η εικόνα των αρχάριων αναγνωστών σε μεγαλύτερη ηλικία αλλάζει, καθώς βρίσκουν αντισταθμιστικούς μηχανισμούς, ώστε να καλύψουν τα παραπάνω ελλείμματα. (Temple et al., 2013). Η δυσλεξία αποτελεί την πιο κοινή μαθησιακή δυσκολία, όπου περίπου το 70%-80% των δυσλεξικών έχει δυσκολία στην ανάγνωση, γεγονός που δυσχεραίνει την ακαδημαϊκή τους πορεία (Τζιβινίκου, 2015). Ως δευτερογενή συμπτώματα παρατηρούνται η χαμηλή αυτοπεποίθηση, τα προβλήματα συμπεριφοράς, η κοινωνική αποστασιοποίηση κ.α. Συνεπώς, η έγκαιρη διάγνωση και παρέμβαση είναι επιτακτική ανάγκη, προκειμένου να βοηθηθούν οι μαθητές με δυσλεξία.

Η αξιολόγηση παιδιών με δυσλεξία, συνήθως πραγματοποιείται στη Γ' Δημοτικού καθώς ή/και πολύ αργότερα, ενώ αρκετοί μαθητές μπορεί να μην αξιολογηθούν και διαγνωστούν ποτέ. Η παραπάνω κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα την «παγίωση» των δυσκολιών, κάνοντας τους μαθητές αυτούς να αισθάνονται μειονεκτικά, εξαιτίας των επαναλαμβανόμενων αποτυχιών. Η αναγνωστική ευχέρεια είναι ένα σημαντικός προγνωστικός δείκτης κυρίως από τη Γ' Δημοτικού και μετά για τα ελληνικά δεδομένα (Padeliadu & Antoniou, 2013). Μία πλήρης αξιολόγηση σύμφωνα με τη Διεθνή Ένωση Δυσλεξίας (International Dyslexia Association) περιλαμβάνει μία λεπτομερή συλλογή πληροφοριών. Ορισμένες από τις διαδικασίες που συμπεριλαμβάνονται είναι: το κοινωνικό ιστορικό, η αξιολόγηση νοητικού δυναμικού, η λογοθεραπευτική αξιολόγηση, η αξιολόγηση φωνολογικής ενημερότητας και η κατανόηση κειμένου. Ακόμα και αν η πλήρης διάγνωση είναι πολύ σημαντική για τη θεραπευτική παρέμβαση, η αξιολόγηση μεγάλου αριθμού μαθητών είναι χρονοβόρα και κοστίζει αρκετά (Learning Disabilities Association of America, 2017· National Health Service (NHS), 2017). Στην Ιρλανδία, η αξιολόγηση ενός δυσλεξικού μαθητή μπορεί να έχει αναμονή έξι με εννέα μήνες (Dyslexia Association of Ireland, 2020). Αν και υπάρχουν σύντομα τεστ που εξετάζουν την αναγνωστική ικανότητα, όπως για παράδειγμα το τεστ Dibels στις ΗΠΑ (DIBELS, 2003), ωστόσο αξιολογούν μονάχα τη φωναχτή ανάγνωση, με αποτέλεσμα να χάνουν πολύτιμες πληροφορίες από τη σιωπηλή οι οποίες θα μπορούσαν να συλλεχθούν από συσκευές οφθαλμικής ιχνηλάτησης. Η ανάγκη για σταθμισμένα, έγκυρα, αξιόπιστα, ταχεία και άμεσα αξιοποιήσιμα χωρίς αναμονή εργαλεία αξιολόγησης που στοχεύουν στην ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών γίνεται όλο και πιο επιτακτική.

Για τη διεκπεραίωση της ανάγνωσης λαμβάνεται υπόψη η συμμετοχή της όρασης, όπως έχει αποτυπωθεί σε αρκετές έρευνες (Bouma & De Voogd, 1974· Rayner, 1978· Tinker, 1958, κ.α.). Η πρόσληψη οπτικών ερεθισμάτων πραγματοποιείται μέσω των οφθαλμικών κινήσεων. Οφθαλμικές κινήσεις είναι οι κινήσεις των βολβών των οφθαλμών που γίνονται προκειμένου να επιτευχθεί ο σχηματισμός ευκρινούς ειδώλου (των αντικειμένων που παρατηρούμε) στην ωχρά κηλίδα του αμφιβληστροειδούς χιτώνα των οφθαλμών και συνεπώς να αρχίσει η νευρική διέγερση για τη γνωστική διαδικασία της αναγνώρισής τους (Πόρποδας, 2002).

Υπάρχουν δύο βασικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάγνωση του κειμένου: οι εστιάσεις και οι σακκαδικές κινήσεις. Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως κατά τη διαδικασία της ανάγνωσης οι δύο αυτές διεργασίες συντελούνται με αρκετά γρήγορο ρυθμό, ώστε να δίνεται η εντύπωση πως τα μάτια «γλιστρούν» πάνω στο κείμενο.

Κατά τη διάρκεια των οφθαλμικών κινήσεων στο γραπτό κείμενο παρατηρούνται στάσεις ή, αλλιώς, εστιάσεις (Πόρποδας, 2002, Εικόνα 1). Ο μέσος χρόνος διάρκειας των εστιάσεων που πραγματοποιεί ένας τυπικός

αναγνώστης είναι περίπου 200–250 msec (Πόρποδας 2002). Σε αυτό το σύντομο διάστημα ο αναγνώστης προβαίνει στη διαδικασία της αποκωδικοποίησης του κείμενου. Αφού ολοκληρωθεί μια εστίαση, οι οφθαλμοί συντονισμένα μετακινούνται στην επόμενη εστίαση. Αυτά είναι τα άλματα, που ονομάζονται σακκαδικές κινήσεις (saccadic movements). Η χρονική τους διάρκεια έχει υπολογιστεί σε περίπου 20-40 msec (Πόρποδας, 2002). Σε αυτό το διάστημα δεν προσλαμβάνεται πληροφορία για περαιτέρω γνωστική επεξεργασία.

Ένας ώριμος αναγνώστης διαβάζει περίπου 7 με 9 χαρακτήρες (αφορά Άγγλο ενήλικα αναγνώστη, Rayner et al., 2006). Ως έμπειρος αναγνώστης έχει την ικανότητα μεγάλων σακκαδικών κινήσεων και μικρών εστιάσεων. Αυτές οι ενδείξεις είναι κατά προσέγγιση και κρίνονται και από άλλες παραμέτρους, όπως την απόσταση του αναγνώστη από το κείμενο, το κενό ανάμεσα στα γράμματα και την οπτική γωνία του αναγνώστη κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης (Morrison, 1981). Ακόμη και η φύση του γραπτού κειμένου επηρεάζει τις εστιάσεις των οφθαλμών. Για παράδειγμα, ένα κείμενο σε ξένη γλώσσα, τεχνικοί όροι, άγνωστες πολυσύλλαβες λέξεις, ανορθόγραφα γραμμένες λέξεις αναγκάζουν τον αναγνώστη να προσηλωθεί περισσότερο, να πραγματοποιήσει μικρότερα άλματα και περισσότερες οπισθοδρομήσεις (Πόρποδας, 2002).

Για τα παιδιά ηλικίας 7-11 ετών, οι εστιάσεις ποικίλουν από 243-285 msec και ο μέσος όρος μήκους σακκαδικών κινήσεων είναι 7-8 χαρακτήρες (Blythe, 2011). Αντίθετα, σε έναν δυσλεξικό αναγνώστη οι σακκαδικές κινήσεις χαρακτηρίζονται από αστάθεια, είναι σπασμωδικές, ακανόνιστες, καθόλου ομαλές και με οπισθοδρομήσεις (De Luca, 1999). Εκτός από τη διαφοροποίηση στις σακκαδικές κινήσεις, παρατηρείται επιπλέον μεγαλύτερη διάρκεια εστιάσεων των δυσλεξικών αναγνωστών σε σύγκριση με εκείνους που δεν αντιμετωπίζουν κάποια αναγνωστική δυσκολία. Επίσης, το εύρος των σακκαδικών κινήσεων είναι μικρότερο σε αντίθεση με εκείνο των αναγνωστών που έχουν κατακτήσει το μηχανισμό ανάγνωσης (Razuk, 2018).

Η οφθαλμική κίνηση κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των βασικών μηχανισμών ελέγχου των οφθαλμών (oculomotor control mechanisms), της προσοχής, της λεξιλογικής επεξεργασίας, της σημασιολογίας και της συντακτικής δομής του κειμένου (Frazier, 1982· Rayner, 1983). Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι ακανόνιστες οφθαλμικές κινήσεις δεν αποτελούν πρόβλημα όρασης, αλλά είναι αποτέλεσμα αναγνωστικών δυσκολιών (Kirkby, 2008· Rayner, 1998). Η δυσκολία των αναγνωστών είτε λόγω δυσλεξίας είτε λόγω απειρίας αυξάνεται όταν και το κείμενο δυσκολεύει. Η μεγαλύτερη δυσκολία γίνεται αντιληπτή από τις περισσότερο χρονοβόρες εστιάσεις, το μικρότερο μήκος σακκαδικών κινήσεων και τις αυξημένες οπισθοδρομήσεις, συγκριτικά με τους τυπικούς αναγνώστες (Ashby et al., 2005· Chace et al. 2005).

Αυτή η αργή επεξεργασία των πληροφοριών πιθανόν να οφείλεται σε διαφορετική επεξεργασία δεξιού και αριστερού ημισφαιρίου, εστιασμένη προσοχή και «υπερφόρτωση αριστερού ημισφαιρίου» (Schneeps, 2013). Η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων αποτυπώνει ένα διαφορετικό μοτίβο στους αναγνώστες με δυσκολία το οποίο χαρακτηρίζεται κυρίως από πολλές εστιάσεις και μικρές σακκαδικές κινήσεις και τους διαχωρίζει από εκείνους που δεν αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ανάγνωση.

Τα διαγνωστικά κριτήρια της δυσλεξίας διαφέρουν ανάλογα με τη διαφάνεια του εκάστοτε γλωσσικού συστήματος. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι σε διαφανείς γλώσσες όπως τα ιταλικά, τα γερμανικά και τα ελληνικά, τα φωνολογικά ελλείμματα είναι λιγότερα σε σύγκριση με μη διαφανείς γλώσσες όπως τα αγγλικά, όπου ο αναγνώστης πρέπει να πληροφορηθεί την ακριβή προφορά των λέξεων (De Luca, 1999· Hutzler, 2004· Hatzidaki, 2011). Ενώ έχουν γίνει έρευνες για τα χαρακτηριστικά τυπικών και μη τυπικών αναγνωστών μέσω οφθαλμικής ιχνηλάτησης (Zoccolotti, 1999· De Luca, 2002), δεν έχει απαντηθεί πλήρως το ερώτημα πώς τα αποτελέσματα αυτής της απεικόνισης των δύο πληθυσμών θα αποτελέσουν αξιόπιστο μέτρο σύγκρισης.

Στην παρούσα έρευνα, για να καταγραφούν οι οφθαλμικές κινήσεις, δηλαδή οι «εστιάσεις» και οι «σακκαδικές κινήσεις», των συμμετεχόντων κατά τη σιωπηλή ανάγνωση χρησιμοποιήθηκε οφθαλμικός ιχνηλάτης (eye-tracker, Tobii, 2016). Οι παράμετροι που αξιολογήθηκαν χωρίστηκαν σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στις «μη-συσχετιζόμενες-με-κείμενο» (non word specific parameters) και στις «σχετιζόμενες-με-κείμενο» (word specific parameters). Η πρώτη ομάδα παραμέτρων καταγράφει δεδομένα με οποιοδήποτε ερέθισμα, είτε αυτό είναι κείμενο είτε είναι μια εικόνα. Η δεύτερη ομάδα παραμέτρων καταγράφει δεδομένα που βασίζονται στο κείμενο-ερέθισμα. Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω δύο κατηγορίες παραμέτρων εξάγεται ένα σύνολο αποτελεσμάτων, στο οποίο φαίνονται οι ομοιότητες και οι διαφορές του ατόμου αυτού σε σχέση με τυπικούς και δυσλεξικούς αναγνώστες της ίδιας ηλικίας.

Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα του εργαλείου οφθαλμικής ιχνηλάτησης είναι: 1) η οπτική απεικόνιση των εστιάσεων και των σακκαδικών κινήσεων κατά την ανάγνωση και 2) η αξιολόγηση κατά τη σιωπηλή ανάγνωση. Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα διαγνωστικά εργαλεία που δίνουν τη δυνατότητα αξιολόγησης μόνο σε φωναχτή

ανάγνωση (DIBELS, 2003), η ανάλυση του αναγνωστικού μονοπατιού αποτυπώνεται με ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο από τον οφθαλμικό ιχνηλάτη (eye-tracker).

Η χρήση ενός τέτοιου εργαλείου μπορεί να αποτελέσει έναν αντικειμενικό και γρήγορο τρόπο αξιολόγησης, ο οποίος θα χορηγείται εύκολα σε παιδιά σχολικής ηλικίας, ώστε οι ενδείξεις του να αποτελέσουν το ξεκίνημα της πρώιμης παρέμβασης για τους μαθητές με αναγνωστικές δυσκολίες. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι παράμετροι ενημερώνουν για τη στρατηγική ανάγνωσης που χρησιμοποιούν οι συμμετέχοντες. Αυτή η πληροφορία είναι εξαιρετικά σημαντική για τον επαγγελματία που αναλαμβάνει μετέπειτα να βοηθήσει τον αναγνώστη, αφενός διότι μπορεί να εστιάσει σε λέξεις ή φράσεις που δυσκολεύουν τον συγκεκριμένο μαθητή, δηλαδή να δημιουργήσει ένα εξατομικευμένο πρόγραμμα παρέμβασης και αφετέρου να μετρήσει με αντικειμενικό τρόπο τη βελτίωση του μαθητή πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το πρόγραμμα παρέμβασης.

Ακόμα και αν μία τέτοια προσέγγιση δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποκλειστικό διαγνωστικό κριτήριο των παιδιών με διαταραχές ανάγνωσης, υπάρχει δυνατότητα να ξεχωρίσει τους αναγνώστες που έχουν υψηλή πιθανότητα να έχουν αναγνωστικές δυσκολίες, όπως για παράδειγμα δυσλεξία, και να τους παραπέμψει για περαιτέρω διερεύνηση σε έναν ειδικό.

Χάρη στη σύντομη διαδικασία αξιολόγησης, διευκολύνεται η εξέταση μεγάλου πληθυσμού μαθητών και με την ανάλυση των δεδομένων δημιουργούνται δύο υπό-ομάδες: τυπικοί και μη τυπικοί αναγνώστες. Οι δυο αυτές υπο-ομάδες διαφέρουν τόσο στα αναγνωστικά τους μονοπάτια (παραδείγματα αναγνωστικών μονοπατιών στην Εικόνα 1) όσο και στις τιμές των παραμέτρων τους και στο τελικό σκορ κατάταξης που εξάγεται για κάθε ένα αναγνώστη. Επομένως, ένας μη-τυπικός αναγνώστης α) θα έχει διαφορετικό αναγνωστικό μονοπάτι, β) διαφορετικές τιμές στις επιμέρους παραμέτρους και γ) διαφορετικό σκορ κατάταξης στον πληθυσμό από έναν τυπικό αναγνώστη. Αυτός ο αναγνώστης λοιπόν θα παραπεμφθεί για περαιτέρω διερεύνηση στον ειδικό με μεγάλη πιθανότητα να έχει διαταραχή της ανάγνωσης, όπως δυσλεξία.

## Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν 154 Έλληνες μαθητές, ηλικίας από 8,1 ετών έως 15,6 ετών, στις τάξεις Γ' Δημοτικού έως Γ' Γυμνασίου. Δεκαεπτά (17) από αυτούς απορρίφθηκαν από την έρευνα λόγω ελλειπών δεδομένων κατά την καταγραφή ή λόγω δυσκολίας στη συνεργασία με τον ερευνητή.

Από τους υπόλοιπους 137 συμμετέχοντες σχηματίστηκαν δύο ομάδες: α) ο δυσλεξικός πληθυσμός που αποτελούνταν από 69 συμμετέχοντες διαγνωσμένους με δυσλεξία από επίσημο ελληνικό δημόσιο φορέα διάγνωσης δυσλεξίας και β) ο τυπικός πληθυσμός που αποτελούνταν από 68 συμμετέχοντες οι οποίοι δεν είχαν κανένα αναγνωστικό πρόβλημα. Το τελικό δείγμα περιελάμβανε 62 κορίτσια και 75 αγόρια, ηλικίας 8,3 - 15,6 χρόνων. Κάθε πληθυσμός χωρίστηκε σε ομάδες, ανάλογα με την τάξη την οποία φοιτούσε ο κάθε μαθητής. Οι μαθητές του Γυμνασίου ενοποιήθηκαν σε μια ομάδα.

Οι συμμετέχοντες διάβασαν δύο κείμενα αυξανόμενης δυσκολίας και αξιολογήθηκαν ενώ διάβαζαν σιωπηλά. Για την συμμετοχή στην έρευνα, ήταν απαραίτητη η έγγραφη συγκατάθεση του γονέα ή του κηδεμόνα του συμμετέχοντος. Επίσης, ο συμμετέχων ενημερωνόταν ότι μπορεί να διακόψει οποιαδήποτε στιγμή το θελήσει την εξέταση.

## Πίνακας 1

Κατανομή φύλων και ομάδων των μαθητών

Τάξη	Αγόρια	Κορίτσια	Τυπικοί	Δυσλεξικοί
Γ' Δημ.	19	13	21	11
Δ' Δημ.	22	17	18	21
Ε' Δημ.	9	14	12	11
Στ' Δημ.	13	13	10	16
Α' Γυμν.	9	4	8	5
Β' Γυμν.	2	1	2	1
Γ' Γυμν.	1	0	1	0

## Μεθοδολογία

Όλοι οι συμμετέχοντες διάβασαν δυο κείμενα στην Ελληνική γλώσσα, ενώ οι κινήσεις των ματιών τους κατά την ανάγνωση καταγράφονταν μέσω του συστήματος οφθαλμικής ιχνηλάτησης. Τα κείμενα ήταν γραμμένα από ειδικό παιδαγωγό ώστε να είναι κατάλληλα για όλες τις ηλικίες των συμμετεχόντων και αποτελούνταν από λέξεις χαμηλής και υψηλής συχνότητας αντίστοιχα. Το πρώτο κείμενο (το «βασικό κείμενο») είχε 181 λέξεις, πολλές από τις οποίες ήταν πολυσύλλαβες και ο αναγνώστης μπορούσε να παρακολουθήσει νοηματικά το κείμενο. Το κείμενο αυτό χαρακτηρίζεται ως μέτριας νοηματικής δυσκολίας. Το δεύτερο κείμενο (το «εύκολο κείμενο») είχε 143 λέξεις, οι οποίες ήταν μονοσύλλαβες ή δυσύλλαβες και το νόημα του ήταν εύκολο. Τα κείμενα ήταν γραμμένα με γραμματοσειρά Courier New, μαύρου χρώματος σε γκρι φόντο. Το μέγεθος της γραμματοσειράς ήταν 30pt και το διάκενο μεταξύ γραμμών ήταν 2.3. Τα κείμενα ήταν χωρισμένα σε σελίδες και κάθε σελίδα αποτελούνταν από 6 γραμμές (5 σελίδες για το πρώτο κείμενο και 3 σελίδες για το δεύτερο).



**Εικόνα 1.** Μέρος από το «εύκολο κείμενο» που δόθηκε προς ανάγνωση

*\*Σημείωση.* Οι μπλε κύκλοι είναι οι «εστιάσεις» και οι πορτοκαλί γραμμές οι «σακκαδικές κινήσεις». Στα αριστερά αποτυπώνεται το αναγνωστικό μονοπάτι ενός τυπικού αναγνώστη, ενώ στα δεξιά ενός δυσλεξικού αναγνώστη. Ο δυσλεξικός έχει περισσότερες εστιάσεις, μεγαλύτερης διάρκειας (όσο μεγαλύτερος ο κύκλος τόσο πιο μεγάλη η διάρκεια της εστίασης) ενώ οι σακκαδικές του κινήσεις είναι μικρότερες σε μήκος και με οπισθοδρομήσεις (διαβάζει κάτι και γυρίζει να το ξαναδιαβάσει).

Μετά από την ανάγνωση κάθε κειμένου ακολουθούσε μια σειρά από 5 ερωτήσεις κλειστού τύπου (ΝΑΙ /ΟΧΙ). Κάθε σωστή απάντηση έπαιρνε 1 βαθμό, ενώ κάθε λάθος απάντηση δεν έπαιρνε βαθμό. Σκοπός των ερωτήσεων δεν ήταν να ελεγχθεί η κατανόηση του κειμένου, αλλά να εξασφαλιστεί ότι ο αναγνώστης θα διαβάσει όλο το κείμενο και δεν θα παραλείψει κομμάτια του, αφού εάν παραλείψει δεν θα μπορεί να απαντήσει τις ερωτήσεις.

### Έλεγχος οπτικής οξύτητας

Πριν από την ανάγνωση των κειμένων, όλοι οι αναγνώστες υπεβλήθησαν σε έλεγχο οπτικής οξύτητας ώστε να εξασφαλιστεί ότι η όραση τους ήταν στα τυπικά επίπεδα. Ο έλεγχος οπτικής οξύτητας πραγματοποιήθηκε από οφθαλμίατρο. Εάν κάποιος συμμετέχων δεν είχε φυσιολογική όραση, με ή χωρίς διορθωτικά γυαλιά, εξαιρούνταν από την έρευνα.

### Βαθμονόμηση και ανάγνωση

Εφόσον η όραση του συμμετέχοντος ήταν φυσιολογική, τότε εισέρχονταν σε ένα ήσυχο δωμάτιο όπου λάμβανε χώρα η ανάγνωση των κειμένων. Ο συμμετέχων καθόταν σε ένα γραφείο όπου βρισκόταν ο φορητός υπολογιστής και η απόσταση του από την οθόνη ήταν 50-60 εκ. Μαζί του, καθ' όλη τη διάρκεια των αναγνώσεων υπήρχε ένας ερευνητής. Πριν ξεκινήσει η ανάγνωση, πραγματοποιήθηκε η βαθμονόμηση του συμμετέχοντος με τον ιχνηλάτη. Εμφανίζονταν διαδοχικά μια σειρά από 7 περιστρεφόμενες μπίλιες, τις οποίες ο συμμετέχων έπρεπε να κοιτάζει έως ότου αυτές εκραγούν. Οι μπίλιες εμφανίζονταν σε ένα συμμετρικό πλέγμα με γνωστές συντεταγμένες, μη ορατό στον συμμετέχοντα, ώστε να καλυφθεί όλη η θέαση της οθόνης. Εφόσον η βαθμονόμηση ήταν επιτυχής, τότε ο συμμετέχων προχωρούσε στην ανάγνωση, αλλιώς ο ερευνητής επαναλάμβανε

τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Ο μέσος χρόνος διάρκειας της βαθμονόμησης ήταν 30 δευτερόλεπτα, ενώ των αναγνώσεων ήταν 15 λεπτά.

### **Συσκευές**

Οι οφθαλμικές κινήσεις καταγράφηκαν χρησιμοποιώντας τον οφθαλμικό ιχνηλάτη Tobii 4C eye-tracker (Tobii, 2016). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι: ρυθμός ανανέωσης 90Hz, απόσταση λειτουργίας 50cm-90cm και εύκολη τοποθέτηση/αφαίρεση από την οθόνη του φορητού υπολογιστή. Η επιλογή έγινε διότι ο ιχνηλάτης αυτός είναι εντελώς μη παρεμβατικός διότι αφενός ο συμμετέχων δεν χρειάζεται να φορέσει κάτι πάνω του και αφετέρου τοποθετείται εύκολα στην οθόνη του φορητού υπολογιστή χωρίς να προκαλεί άγχος ή περισπάσεις, κάτι που εξασφαλίζει την απρόσκοπτη προσήλωση του συμμετέχοντος στο κείμενο. Ο φορητός υπολογιστής που συνδέθηκε ο ιχνηλάτης και που εμφάνιζε τα ερεθίσματα ήταν ένας φορητός υπολογιστής μάρκας Dell με επεξεργαστή Intel i7 και μέγεθος οθόνης 15.6". Η ανάλυση της οθόνης ήταν 1366 × 768 pixels με ρυθμό ανανέωσης 60 Hz.

### **Αποτελέσματα**

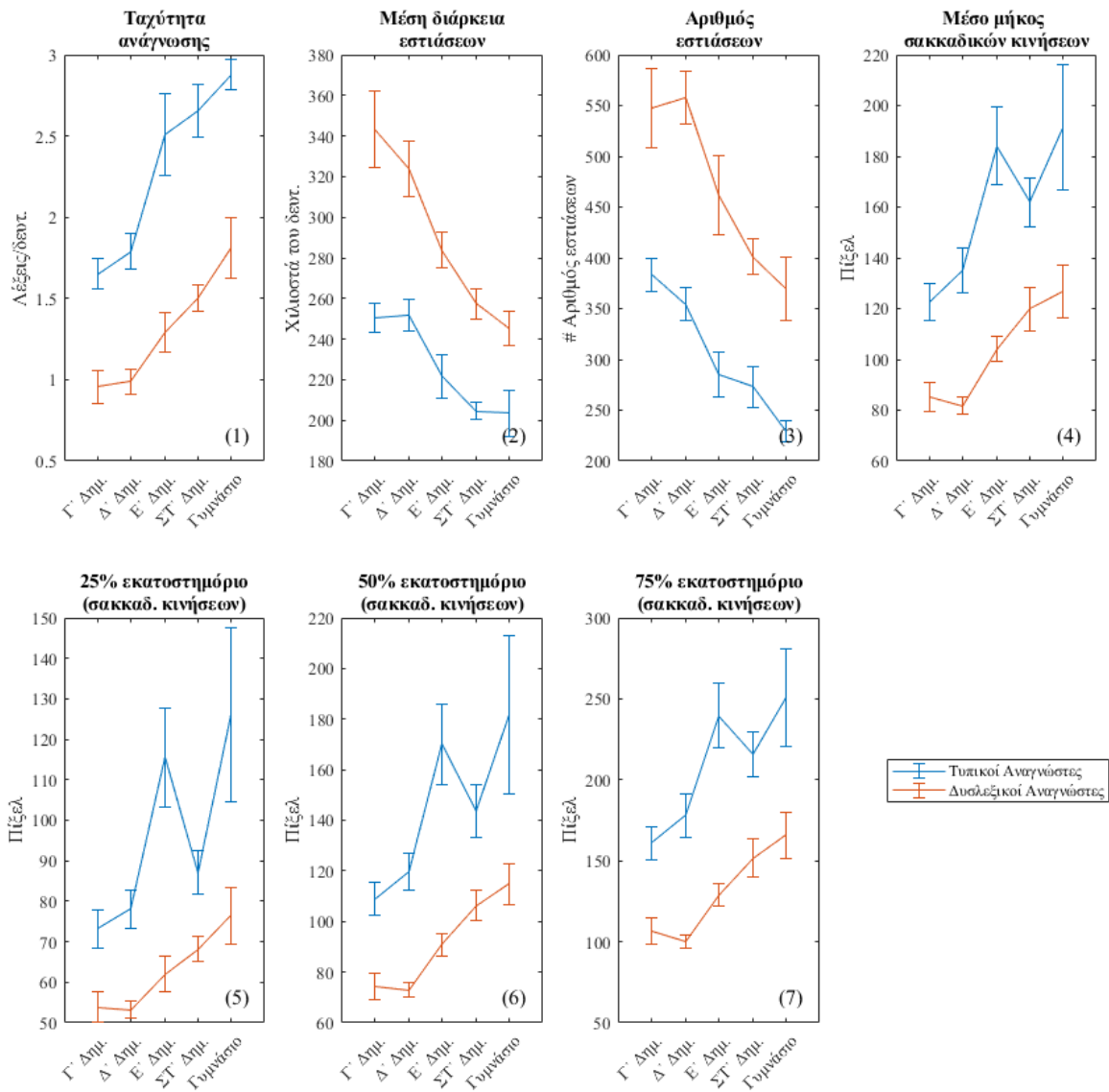
Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκαν δυο κατηγορίες αναλύσεων των καταγεγραμμένων οφθαλμικών κινήσεων από το εργαλείο. Η πρώτη κατηγορία αναλύσεων αφορά παραμέτρους που δεν σχετίζονται άμεσα με το είδος του οπτικού ερεθίσματος. Δηλαδή, είτε αυτό είναι κείμενο είτε είναι εικόνα οι οφθαλμικές κινήσεις δύνανται να καταγραφούν και να αναλυθούν, διότι πραγματοποιούνται ούτως ή άλλως. Βασίζονται στην ανάλυση της διάρκειας των εστιάσεων και του μεγέθους των σακκαδικών κινήσεων. Αυτή η πρώτη κατηγορία ονομάζεται παράμετροι «μη-συσχετιζόμενες-με-κείμενο» (non-word specific parameters). Παράμετροι της πρώτης κατηγορίας που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι: η ταχύτητα (ανάγνωσης στη συγκεκριμένη περίπτωση), η μέση διάρκεια εστιάσεων, ο αριθμός εστιάσεων και το μήκος σακκαδικών κινήσεων.

Η δεύτερη κατηγορία αναλύσεων αφορά παραμέτρους που εξαρτώνται από το λεκτικό-οπτικό ερέθισμα, για παράδειγμα το πλήθος των συλλαβών και το μέγεθος των λέξεων. Βασίζονται στην ανάλυση της συνολικής διάρκειας εστιάσεων σε κάθε λέξη και του αριθμού επανεπισκέψεων σε κάθε λέξη. Η δεύτερη κατηγορία ονομάζεται παράμετροι «σχετιζόμενες-με-κείμενο» (word-specific parameters). Παράμετροι της δεύτερης κατηγορίας που αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι: οι λέξεις χωρίς εστιάσεις, ο αριθμός λέξεων με πολλαπλές εστιάσεις, ο αριθμός λέξεων με 6-7 χαρακτήρες που προκαλούν δυσκολία, ο αριθμός λέξεων με 8+ χαρακτήρες που προκαλούν δυσκολία και ο αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξεως.

Για να υπολογιστεί η διαχωριστική ικανότητα της κάθε παραμέτρου στο διαχωρισμό τυπικών και δυσλεξικών μαθητών υπολογίστηκε η *Επιφάνεια Κάτω από την Καμπύλη* (Area Under Curve, εφεξής EKK). Η EKK ορίζεται ως η επιφάνεια μεταξύ της ROC καμπύλης και του άξονα των  $x$ , και παίρνει τιμές από το 0 ως το 1. Στην περίπτωση που έχουμε τέλει διαχωρισμό από κάποιο  $P_0$  (όπου  $P_0$  είναι μια τιμή της παραμέτρου), τότε η EKK παίρνει την τιμή 1. Όταν η τιμή της παραμέτρου  $P$  δεν σχετίζεται με το αν κάποιος είναι δυσλεξικός ή όχι, τότε η EKK παίρνει τιμές κοντά στο 0,5. Η EKK παίρνει τιμές μικρότερες από 0,5 όταν η ανίσωση πρόβλεψης πρέπει να αλλάξει φορά, και να έχουμε ότι το  $P < P_0$  προβλέπει αν κάποιος είναι δυσλεξικός ή όχι. Όσο μεγαλύτερη η τιμή της EKK, τόσο καλύτερος και ο διαχωρισμός της παραμέτρου. Στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, οι τιμές που παίρνει η EKK έχουν εύρος από 0,83 έως 0,98, το οποίο είναι εξαιρετικός διαχωρισμός των δύο ομάδων.

### **Παράμετροι μη-συσχετιζόμενες-με-κείμενο (non-word specific)**

Η πρώτη κατηγορία αναλύσεων αφορά παραμέτρους που δεν σχετίζονται άμεσα με το είδος του οπτικού ερεθίσματος και είναι παράμετροι που μπορούν να εξαχθούν είτε το ερέθισμα είναι κείμενο, εικόνα, βίντεο κλπ. Τις παραμέτρους αυτές τις ονομάζουμε «μη-συσχετιζόμενες-με-κείμενο» και τα γραφήματά τους φαίνονται στο Γράφημα 1.



Γράφημα 1. Γραφήματα παραμέτρων «μη-συσχετιζόμενων-με-κείμενο».

\*Σημείωση. Το εύρος απόκλισης (error bar) δίνεται από την σταθερή απόκλιση του μέσου όρου της τιμής της παραμέτρου.

**Ταχύτητα ανάγνωσης (reading speed):** Ο αριθμός αναγνωσμένων λέξεων ανά λεπτό (Γράφημα 1.1). Όσο μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει ο αναγνώστης στην ευχέρεια τόσο πιο αργά διαβάσει, άρα έχει μικρή ταχύτητα ανάγνωσης. Στους τυπικούς αναγνώστες, η ταχύτητα ανάγνωσης αυξάνεται με την ηλικία, με πιο απότομη αύξηση μεταξύ της Δ' και Ε' Δημοτικού. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες, η ταχύτητα ανάγνωσης αυξάνει με σταθερό ρυθμό από τη Δ' Δημοτικού και έπειτα. Σύμφωνα με το Γράφημα 1.1, η ταχύτητα ανάγνωσης των παιδιών με δυσλεξία σε όλες τις τάξεις, από τη Γ' Δημοτικού ως το Γυμνάσιο, είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τους τυπικούς αναγνώστες της αντίστοιχης τάξης. Για τους τυπικούς αναγνώστες, σημειώνεται μικρότερη αύξηση της ταχύτητας ανάγνωσης από την Ε' Δημοτικού και έπειτα, με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα στους δυσλεξικούς να εμφανίσουν ταχύτητα παρόμοια με αυτή των τυπικών. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου, η οποία αξιολογήθηκε μετρώντας επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,90 έως 0,95, η οποία κρίνεται πάρα πολύ καλή.

**Μέση διάρκεια εστιάσεων (mean fixation duration):** Μέσος όρος διάρκειας εστιάσεων σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (Γράφημα 1.2). Όσο μεγαλύτερη μέση διάρκεια εστιάσεων έχει ο αναγνώστης, τόσο μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει στην αποκωδικοποίηση της πληροφορίας. Στους τυπικούς αναγνώστες, ο μέσος χρόνος εστιάσεων μειώνεται από τη Δ' Δημοτικού και έπειτα, ενώ παρουσιάζει σταθερότητα μετά τη ΣΤ' Δημοτικού. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες, ο μέσος χρόνος εστιάσεων μειώνεται σταθερά σε όλες τις τάξεις. Η μεγαλύτερη



διαφορά στη μέση διάρκεια εστιάσεων ανάμεσα στις δύο ομάδες αναγνωστών βρίσκεται στη Γ' τάξη. Μετά την Στ' Δημοτικού, οι τυπικοί αναγνώστες παρουσιάζουν σταθερότητα στη διάρκεια εστιάσεων, η οποία συνεχίζεται και στο Γυμνάσιο. Αντίθετα, στους δυσλεξικούς μαθητές συνεχίζεται η μείωση στο χρόνο εστιάσεων και στο Γυμνάσιο και έτσι μειώνεται η διαφορά με τους τυπικούς. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,85 έως 0,95, κάτι που σημαίνει ότι η παράμετρος διαχωρίζει εξαιρετικά τους δύο πληθυσμούς αναγνωστών.

**Αριθμός εστιάσεων (fixation number):** Ο συνολικός αριθμός εστιάσεων σε όλο το κείμενο (Γράφημα 1.3). Όσες περισσότερες εστιάσεις παρατηρούνται σε ένα κείμενο, τόσο μεγαλύτερη δυσκολία υπάρχει στην ανάγνωση. Στους τυπικούς αναγνώστες, ο αριθμός των εστιάσεων μειώνεται σταθερά με την ηλικία. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες, ο αριθμός των εστιάσεων μειώνεται από τη Δ' Δημοτικού και έπειτα. Παρατηρείται περίπου σταθερός αριθμός εστιάσεων μεταξύ Γ' και Δ' Δημοτικού. Η διαφορά στον αριθμό των εστιάσεων μεταξύ τυπικών και δυσλεξικών αναγνωστών εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της στη Δ' Δημοτικού. Ωστόσο, δεν παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές σε όλο το ηλικιακό φάσμα που μελετούμε. Στο Γυμνάσιο, όπου τυπικοί και δυσλεξικοί αναγνώστες έχουν τον ελάχιστο αριθμό εστιάσεων, ο αριθμός των εστιάσεων των δυσλεξικών είναι σχεδόν διπλάσιος του αριθμού εστιάσεων των τυπικών αναγνωστών. Σημαντικά φαινόμενα κορεσμού στον αριθμό των εστιάσεων δεν παρατηρούνται σε καμία από τις δύο ομάδες αναγνωστών μέχρι και το Γυμνάσιο. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,86 έως 0,95, με το μέγιστο να παρατηρείται στη Δ' Δημοτικού.

**Μήκος σακκαδικών κινήσεων (mean saccade length) και εκατοστημόρια (percentiles):** Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών εστιάσεων σε εικονοστοιχεία (pixels, στη δική μας συσκευή κάθε γράμμα αντιστοιχεί σε 23 εικονοστοιχεία περίπου, Γραφήματα 1.4, 1.5, 1.6 και 1.7). Προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι η κίνηση μεταξύ δύο διαδοχικών εστιάσεων είναι πραγματική σακκαδική κίνηση, τέθηκε ένα όριο ταχύτητας 60 deg/sec. Το μέσο σακκαδικό μήκος είναι ο μέσος όρος του μήκους όλων των σακκαδικών κινήσεων. Τα μήκη των σακκαδικών κινήσεων χωρίζονται σε τρία εκατοστημόρια: του 25%, του 50% και του 75%. Μικρό μήκος σακκαδικών κινήσεων υποδεικνύει έλλειψη αναγνωστικής ευχέρειας και αυτοπεποίθησης ότι ο αναγνώστης διαβάζει ορθά. Στους τυπικούς αναγνώστες, όσο αυξάνεται η ηλικία αυξάνεται σταθερά και το μέσο σακκαδικό μήκος, με εξαίρεση την πτώση μεταξύ Ε' και Στ' Δημοτικού. Η συμπεριφορά αυτή επαληθεύεται και στα τρία εκατοστημόρια του μήκους των σακκαδικών κινήσεων που λάβαμε υπόψιν μας. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες, παρατηρείται και πάλι αύξηση του μέσου σακκαδικού μήκους από τη Δ' Δημοτικού και έπειτα. Η διαφορά τυπικών-δυσλεξικών στο μέσο μήκος σακκαδικών κινήσεων δεν παρουσιάζει συστηματικές διακυμάνσεις στις ηλικιακές ομάδες των συμμετεχόντων. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,83 έως 0,98, με το μέγιστο να παρατηρείται στην Δ' Δημοτικού.

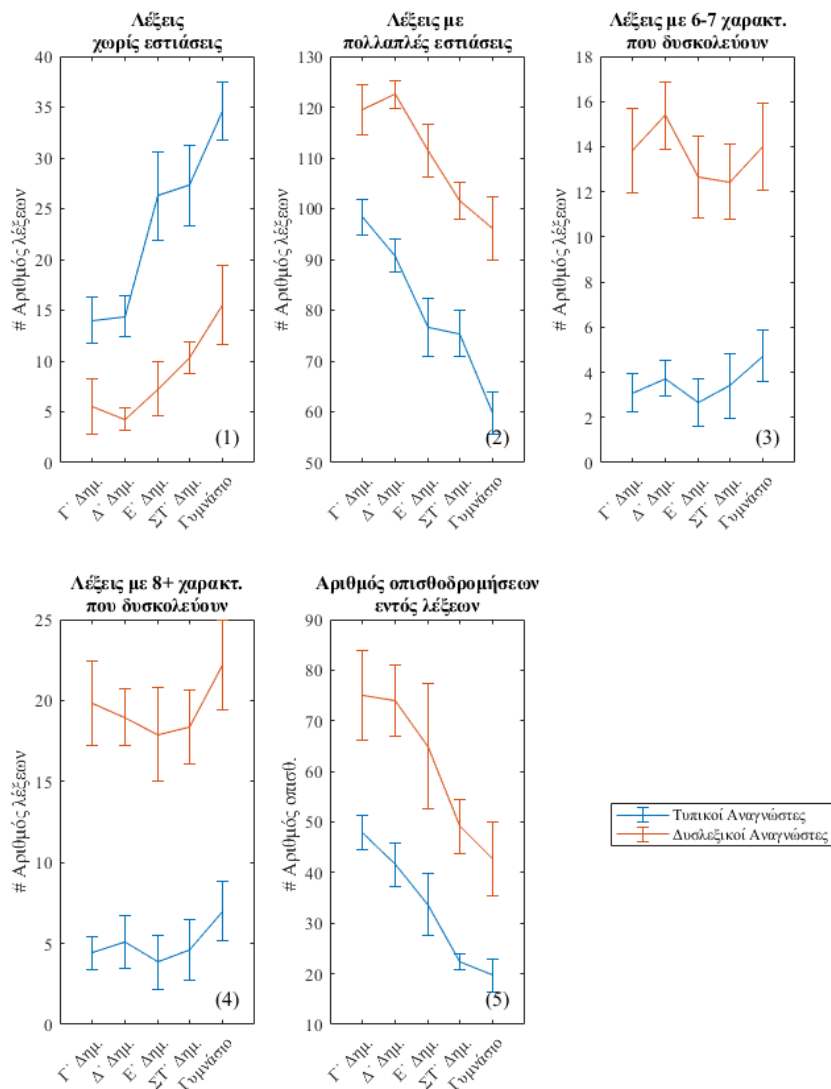
## Πίνακας 2

Επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (ΕΚΚ, Area under curve-AUC) για τις μη-συσχετιζόμενες-με-κείμενο παραμέτρους σε όλες τις τάξεις

Όνομα Παραμέτρου	ΕΚΚ Γ' Δημ.	ΕΚΚ Δ' Δημ.	ΕΚΚ Ε' Δημ.	ΕΚΚ Στ' Δημ.	ΕΚΚ Γυμνάσιο
Ταχύτητα ανάγνωσης	0,90	0,92	0,93	0,95	0,91
Μέση διάρκεια εστιάσεων	0,95	0,85	0,92	0,93	0,87
Αριθμός εστιάσεων	0,86	0,95	0,91	0,93	0,94
Μήκος σακκαδικών κινήσεων	0,85	0,92	0,98	0,87	0,83
25% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,84	0,88	0,95	0,84	0,86
50% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,88	0,94	0,98	0,83	0,84
75% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,85	0,95	1,00	0,87	0,81

### Παράμετροι σχετιζόμενες-με-κείμενο (word specific)

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η δεύτερη κατηγορία αναλύσεων αφορά παραμέτρους που εξαρτώνται από το οπτικό ερέθισμα, για παράδειγμα το πλήθος των συλλαβών και το μέγεθος των λέξεων. Το γράφημα των «σχετιζόμενων-με-κείμενο» παραμέτρων φαίνεται στο Γράφημα 2.



**Γράφημα 2.** Γραφήματα παραμέτρων «συσχετιζόμενων-με-κείμενο»

\*Σημείωση. Το εύρος απόκλισης (error bar) δίνεται από την σταθερή απόκλιση του μέσου όρου της τιμής της παραμέτρου.

**Λέξεις χωρίς εστιάσεις (not fixated words):** Συνήθως, λέξεις υψηλής συχνότητας ή μικρές λέξεις, όπως άρθρα και σύνδεσμοι, στις οποίες ο αναγνώστης δεν έχει εστίασει και είτε μαντεύει είτε βλέπει με την περιφερειακή του όραση (Γράφημα 2.1). Όσο μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει ο αναγνώστης στην ευχέρεια, τόσο λιγότερες λέξεις χωρίς εστιάσεις θα έχει. Στους τυπικούς αναγνώστες, ο αριθμός των λέξεων χωρίς εστιάσεις αυξάνει σταδιακά από 14 λέξεις στη Γ' Δημοτικού στις 35 λέξεις στο Γυμνάσιο (μεσοσταθμικά). Η μεγαλύτερη αύξηση στους τυπικούς αναγνώστες παρατηρείται μεταξύ Δ' και Ε' Δημοτικού. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες, σημειώνεται σταδιακή αύξηση από μεσοσταθμικά 5 λέξεις στη Γ' Δημοτικού σε 15 περίπου στο Γυμνάσιο. Αν και η διαφορά μεταξύ τυπικών και δυσλεξικών αναγνωστών αυξάνεται από τάξη σε τάξη, δεν αυξάνεται απαραίτητα και η διαχωριστική ικανότητα της παραμέτρου λόγω της διακύμανσης του αριθμού των λέξεων χωρίς εστιάσεις

στον εκάστοτε πληθυσμό. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,83 έως 0,93, με το μέγιστο να παρατηρείται στην Ε' Δημοτικού.

**Λέξεις με πολλαπλές εστιάζσεις (multiple fixated words):** Λέξεις στις οποίες ο αναγνώστης εστιάζει πάνω από μια φορά (Γράφημα 2.2). Συνήθως, οι λέξεις με πολλαπλές εστιάζσεις είναι πολυσύλλαβες λέξεις ή λέξεις που δεν συναντώνται συχνά (χαμηλής συχνότητας). Όσο περισσότερες οι λέξεις με πολλαπλές εστιάζσεις τόσο μεγαλύτερη δυσκολία αντιμετωπίζει ο μαθητής στην αποκωδικοποίηση των λέξεων. Στους τυπικούς αναγνώστες ο αριθμός των λέξεων με πολλαπλές εστιάζσεις μειώνεται σταθερά από περίπου 100 λέξεις στη Γ' Δημοτικού σε περίπου 60 στο Γυμνάσιο. Στους δυσλεξικούς αναγνώστες η πτωτική τάση αρχίζει από τη Δ' Δημοτικού (120 λέξεις) και φτάνει μέχρι 100 περίπου λέξεις στο Γυμνάσιο. Η περιορισμένη πτώση στον αριθμό των λέξεων με πολλές εστιάζσεις στους δυσλεξικούς φανερώνει δυσκολία στην αναγνώριση ολόκληρων λέξεων με μια εστίαση. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ τυπικών και δυσλεξικών αναγνώστων παρατηρείται στο Γυμνάσιο, όπου, παρά την εκπαίδευση που έχουν λάβει οι δυσλεξικοί μέχρι το σημείο αυτό, δεν καταφέρνουν να αναγνωρίζουν με μία εστίαση τις πολυσύλλαβες λέξεις, όπως οι τυπικοί αναγνώστες. Αντίθετα, στη Γ' Δημοτικού η διαφορά είναι περιορισμένη υποδηλώνοντας ότι οι δύο ομάδες αναγνώστων έχουν πολύ κοντινές τιμές, αλλά οι δυσλεξικοί αναγνώστες βελτιώνονται πιο αργά από τους τυπικούς αναγνώστες. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,83 έως 0,97, με το μέγιστο να παρατηρείται στο Γυμνάσιο.

**Λέξεις με 6-7 χαρακτήρες που δυσκολεύουν (6&7 char. words causing difficulty):** Η διάρκεια της πρώτης ανάγνωσης σε μια λέξη αποκαλύπτει τη δυσκολία που αντιμετώπισε ο αναγνώστης διαβάζοντάς την (Γράφημα 2.3). Θεωρείται ότι μια λέξη δυσκολεύει τον αναγνώστη όταν ο χρόνος της πρώτης ανάγνωσης της υπερβαίνει τον χρόνο του 90% των τυπικών αναγνώστων. Ο συνολικός αριθμός λέξεων με 6-7 χαρακτήρες είναι 32 στο βασικό κείμενο της παρούσας μελέτης. Όσο περισσότερες λέξεις με 6-7 χαρακτήρες δυσκολεύουν τον αναγνώστη τόσο μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζει ο αναγνώστης στην αποκωδικοποίηση λέξεων μεσαίου μεγέθους. Στους τυπικούς αναγνώστες ο αριθμός των λέξεων με 6-7 χαρακτήρες που δυσκολεύουν παραμένει περίπου σταθερός σε όλες τις ηλικιακές ομάδες, δηλαδή 3 με 4 λέξεις. Το ίδιο συμβαίνει και στους δυσλεξικούς αναγνώστες με τον αριθμό των λέξεων να είναι 13 με 15 λέξεις. Η διαφορά ανάμεσα σε τυπικούς και δυσλεξικούς αναγνώστες παραμένει μεγάλη (περίπου στις 10 λέξεις) σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,87 έως 0,95, με το μέγιστο να παρατηρείται στο Γυμνάσιο.

**Λέξεις με 8+ χαρακτήρες που δυσκολεύουν (8+ char. words causing difficulty):** Ομοίως με την προηγούμενη παράμετρο, η δυσκολία σε μια λέξη ορίζεται από τον χρόνο πρώτης ανάγνωσης της (Γράφημα 2.4). Θεωρούμε ότι μια λέξη δυσκολεύει τον αναγνώστη όταν ο χρόνος της πρώτης ανάγνωσης της υπερβαίνει τον χρόνο του 90% των τυπικών αναγνώστων. Ο συνολικός αριθμός λέξεων με 8 χαρακτήρες και πάνω είναι 46 στο κείμενο που λήφθηκε υπόψιν στην παρούσα μελέτη. Όσο περισσότερες λέξεις με 8 χαρακτήρες και πάνω δυσκολεύουν τον αναγνώστη τόσο μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζει ο αναγνώστης στην αποκωδικοποίηση πολυσύλλαβων λέξεων. Στους τυπικούς αναγνώστες ο αριθμός των λέξεων με 8 χαρακτήρες και πάνω που δυσκολεύουν παραμένει περίπου σταθερός σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Το ίδιο συμβαίνει και στους δυσλεξικούς αναγνώστες. Ο αριθμός των λέξεων με 8 χαρακτήρες και πάνω που δυσκολεύουν τους τυπικούς αναγνώστες είναι 4-6 λέξεις, ενώ τους δυσλεξικούς αναγνώστες είναι 18-22 λέξεις. Η διαφορά ανάμεσα σε τυπικούς και δυσλεξικούς αναγνώστες παραμένει μεγάλη (περίπου στις 15 λέξεις) σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,91 έως 0,94, με το μέγιστο να παρατηρείται στην Γ' Δημοτικού και στο Γυμνάσιο.

**Αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξεως (backward within word refixations):** Ο αριθμός από σακκαδικές κινήσεις μέσα στη λέξη με αντίθετη φορά από εκείνη της ανάγνωσης, δηλαδή η οπισθοδρομηση κατά την ανάγνωση μίας λέξης (Γράφημα 2.5). Όσο περισσότερες οπισθοδρομήσεις εντός λέξης πραγματοποιεί ένας αναγνώστης τόσο μεγαλύτερη αβεβαιότητα δείχνει ως προς το αν αποκωδικοποίησε σωστά τη λέξη ή το νόημα αυτής. Στους τυπικούς αναγνώστες, ο αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξης μειώνεται σταθερά από περίπου 50 οπισθοδρομήσεις στη Γ' Δημοτικού σε περίπου 20 στο Γυμνάσιο. Το ίδιο συμβαίνει και στους δυσλεξικούς αναγνώστες, στους οποίους ο αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξης ξεκινά από περίπου 75 οπισθοδρομήσεις

στη Γ' Δημοτικού και καταλήγει σε περίπου 45 στο Γυμνάσιο. Η διαφορά ανάμεσα σε τυπικούς και δυσλεξικούς παραμένει περίπου σταθερή σε όλες τις ηλικιακές ομάδες. Η διαχωριστική ικανότητα αυτής της παραμέτρου (ΕΚΚ) κυμαίνεται από 0,80 έως 0,87, με το μέγιστο να παρατηρείται στην Στ' Δημοτικού.

### Πίνακας 3

Επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (ΕΚΚ, Area under curve-AUC) για τις συσχετιζόμενες-με-κείμενο παραμέτρους σε όλες τις τάξεις

Όνομα Παραμέτρου	ΕΚΚ Γ' Δημ.	ΕΚΚ Δ' Δημ.	ΕΚΚ Ε' Δημ.	ΕΚΚ Στ' Δημ.	ΕΚΚ Γυμνάσιο
Λέξεις χωρίς εστιώσεις	0,83	0,85	0,93	0,88	0,91
Λέξεις με πολλαπλές εστιώσεις	0,83	0,95	0,92	0,92	0,97
Λέξεις με 6-7 χαρακτήρες που δυσκολεύουν	0,95	0,94	0,95	0,87	0,93
Λέξεων με 8+ χαρακτήρες που δυσκολεύουν	0,94	0,91	0,92	0,91	0,94
Αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξεως	0,80	0,84	0,81	0,87	0,86

### Τελικό σκορ (Total Score) – Προβλεπτική εγκυρότητα (predicted validity)

Η παράμετρος «Τελικό σκορ» ενός αναγνώστη μετράει την πιθανότητα ο αναγνώστης αυτός να ανήκει σε μια από τις δύο ομάδες αναγνωστών. Εάν το τελικό σκορ ενός συμμετέχοντα είναι κάτω από 0,5 τότε κατατάσσεται ως τυπικός, ενώ εάν είναι μεγαλύτερο του 0,5 κατηγοριοποιείται ως δυσλεξικός. Η παράμετρος αυτή εξάγεται συνδυάζοντας μια ομάδα παραμέτρων της ανάλυσης του κάθε αναγνώστη (Γράφημα 3).

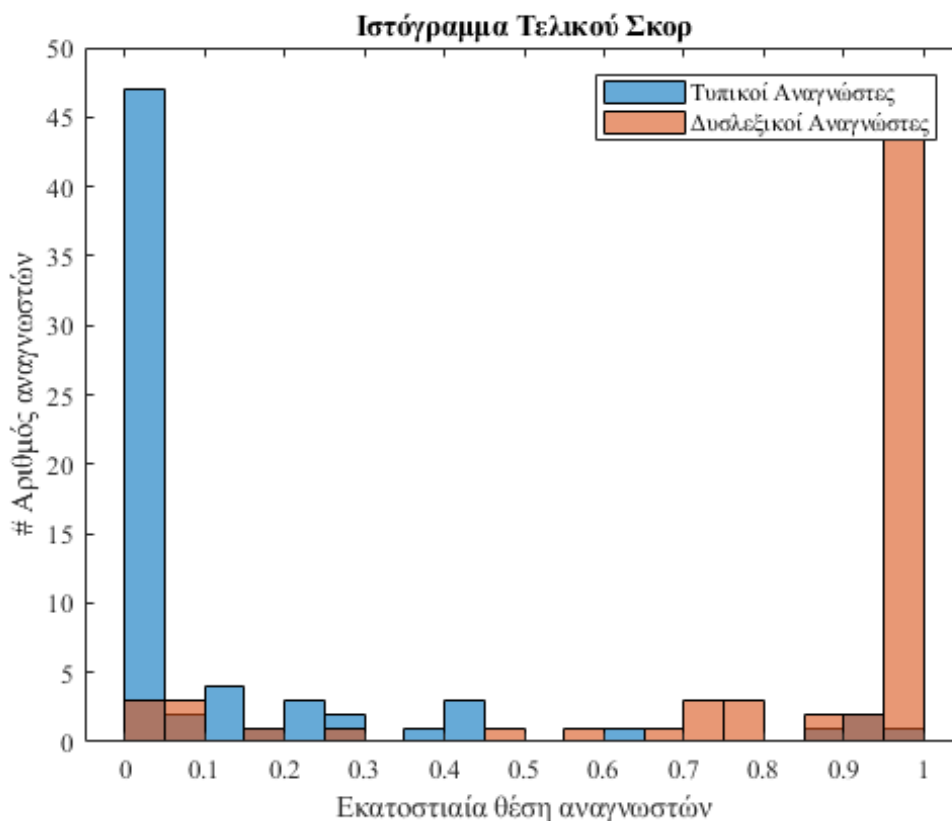
Με βάση τα αποτελέσματα στο τελικό σκορ εξετάστηκε, με αυτοματοποιημένο τρόπο από τον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε, το ποσοστό ορθής κατηγοριοποίησης των συμμετεχόντων στις ομάδες που ανήκουν. Στόχος ήταν να υπολογιστεί η προβλεπτική εγκυρότητα του αλγορίθμου. Το συνολικό σκορ της προβλεπτικής εγκυρότητας εξακριβώθηκε χρησιμοποιώντας την παρακάτω διαδικασία: για την εκπαίδευση του αλγορίθμου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους 136 συμμετέχοντες, οι οποίοι αποτελούσαν την ομάδα εκπαίδευσης (training group) και για τη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε το άτομο που έμενε κάθε φορά απ' έξω, ο οποίος αποτέλεσε την ομάδα δοκιμών (testing group). Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται *κυκλική επικύρωση* (circular validation). Το ζητούμενο ήταν ο αλγόριθμος να τον κατατάξει σε μια από τις δύο ομάδες (τυπικός ή δυσλεξικός) με βάση τις παραμέτρους της ανάλυσης του. Ο αλγόριθμος απέδωσε πολύ καλά υπό κυκλική επικύρωση (under circular validation) παρά το μεγάλο ηλικιακό εύρος του πληθυσμού.

Το ποσοστό επιτυχίας (προβλεπτικής εγκυρότητας) έφτασε το 90% σωστής κατάταξης των παιδιών. Ειδικότερα, 63 από τους 68 τυπικούς αναγνώστες (93% ειδικότητα-specificity) και 60 από τους 69 δυσλεξικούς αναγνώστες (87% ευαισθησία-sensitivity) αξιολογήθηκαν και καταχωρήθηκαν σωστά από τον αλγόριθμο υπό κυκλική επικύρωση (under circular validation). Το άτομο που αξιολογούνταν κάθε φορά (testing group) δεν συμπεριλαμβανόταν στο γκρουπ δημιουργίας του τεστ (training group).

### Διαβάθμιση δυσκολίας κειμένων

Εκτός από το «βασικό κείμενο», το οποίο δόθηκε σε όλους τους μαθητές κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, υπήρχε και ένα άλλο κείμενο, ευκολότερο, το οποίο δόθηκε για συγκριτικούς σκοπούς. Σε αυτή τη δοκιμασία, από το αρχικό δείγμα των 154 μαθητών απορρίφθηκαν 14 λόγω ελλιπών δεδομένων κατά την καταγραφή ή λόγω δυσκολίας στη συνεργασία με τον ερευνητή. Επομένως, σε αυτή τη δοκιμασία συμμετείχαν 140 Έλληνες μαθητές (65 κορίτσια, 75 αγόρια), εκ των οποίων οι 68 ήταν τυπικοί αναγνώστες και οι 72 ήταν διαγνωσμένοι δυσλεξικοί αναγνώστες. Αυτό το κείμενο, κατασκευάστηκε επίσης από ειδικό παιδαγωγό έτσι, ώστε να ταιριάζει σε όλους τους αναγνώστες, ήταν εύκολο σε νόημα και περιείχε 143 λέξεις, οι περισσότερες από τις οποίες ήταν μονοσύλλαβες ή δισύλλαβες.

Οι ίδιες παράμετροι με το βασικό κείμενο κατεγράφησαν και αναλύθηκαν και σε αυτό το κείμενο. Τα αποτελέσματα τους φαίνονται στον Πίνακα 4.



**Γράφημα 3.** Ιστόγραμμα τυπικών και δυσλεξικών αναγνωστών με βάση την κατάταξη τους από την συνδυαστική παράμετρο Τελικό Σκορ (Total Score)

**Πίνακας 4**

Επιφάνεια κάτω από την καμπύλη (EKK, Area under curve-AUC) για το «εύκολο κείμενο» σε όλες τις τάξεις

Όνομα Παραμέτρου	ΕΚΚ Γ' Δημ.	ΕΚΚ Δ' Δημ.	ΕΚΚ Ε' Δημ.	ΕΚΚ Στ' Δημ.	ΕΚΚ Γυμνάσιο
Ταχύτητα ανάγνωσης	0,93	0,88	0,88	0,95	0,94
Μέση διάρκεια εστιάσεων	0,94	0,85	0,87	0,94	0,76
Αριθμός εστιάσεων	0,84	0,92	0,87	0,93	0,91
Μήκος σακκαδικών κινήσεων	0,81	0,88	0,92	0,84	0,79
25% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,84	0,84	0,95	0,83	0,89
50% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,88	0,90	0,96	0,82	0,76
75% εκατοστημόριο (σακκαδ.)	0,81	0,92	0,96	0,79	0,83
Λέξεις χωρίς εστιάσεις	0,76	0,86	0,88	0,96	0,83
Λέξεις με πολλαπλές εστιάσεις	0,83	0,95	0,86	0,86	0,97
Λέξεις με 6-7 χαρακτήρες που δυσκολεύουν	0,92	0,84	0,95	0,87	0,86
Λέξεις με 8+ χαρακτήρες που δυσκολεύουν	0,97	0,90	0,96	0,93	0,82
Αριθμός οπισθοδρομήσεων εντός λέξεως	0,85	0,82	0,73	0,80	0,77

**Συζήτηση**

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναφέρονται στη σύγκριση και τον διαχωρισμό των αναγνωστικών μονοπατιών, με τη βοήθεια της τεχνολογίας της οφθαλμικής ιχνηλάτησης, μεταξύ δύο ομάδων: ενός πληθυσμού τυπικών αναγνωστών κι ενός πληθυσμού δυσλεξικών αναγνωστών. Στο σημείο αυτό, αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η δυσλεξία δεν προκαλείται από κάποια οφθαλμολογική

πάθηση (Rayner, 1998· Kirkby, 2008), αλλά οφείλεται σε ελλείμματα στο φωνολογικό και γραφοφωνημικό επίπεδο. Έτσι, η παρούσα μελέτη, μέσω του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, ανέδειξε τρία μεγάλα πλεονεκτήματα που έχει αυτή η προσέγγιση στην ανίχνευση των αναγνωστικών δυσκολιών. Πρώτον, μεγάλες διαφοροποιήσεις στις οφθαλμικές κινήσεις των δύο ομάδων, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τη δυνατότητα αναγνώρισης και διαχωρισμού τυπικών και μη τυπικών αναγνωστών (Hutzler & Wimmer, 2004· Zaccolotti et al., 1999· De Luca et al., 2002). Δεύτερον, κατέστησε πιο ξεκάθαρα τα χαρακτηριστικά, δηλαδή τις στρατηγικές ανάγνωσης των ατόμων με αναγνωστικές δυσκολίες, όπως η δυσλεξία. Τρίτον, έδειξε ότι ένα τέτοιο εργαλείο παρέχει ποσοτικά και αντικειμενικά δεδομένα για την αναγνωστική απόδοση, τα οποία δεν μπορούν να εντοπιστούν με άλλο τρόπο. Η παρούσα προσέγγιση βασίζεται σε μετρήσιμες παραμέτρους, όπως η μέση διάρκεια εστιάσεων, το μήκος σακκαδικών κινήσεων, ο αριθμός εστιάσεων κ.α. που το καθιστούν αρκετά εξειδικευμένο και μέχρι σήμερα δεν ήταν η πληροφορία αυτή διαθέσιμη στους ειδικούς. Η πληροφορία που συλλέγεται από το εργαλείο είναι εξαιρετικά χρήσιμη στον ειδικό αναφορικά με τα σημεία στα οποία δυσκολεύεται ο αναγνώστης και τον τρόπο που πρέπει να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες που εμφανίζονται.

Πλέον, καθίσταται εφικτό με τη χρήση του οφθαλμικού ιχνηλάτη να προσδιοριστεί με ακριβή τρόπο ένας αναγνώστης ως τυπικός ή μη-τυπικός ενώ διαβάσει σιωπηλά, κάτι που μέχρι τώρα δεν μπορούσε να γίνει γιατί δεν υπήρχε τρόπος να μετρηθεί η σιωπηλή ανάγνωση και οι ειδικοί στηρίζονταν μόνο στη φωναχτή. Το βασικότερο χαρακτηριστικό που φαίνεται να έχει ένας τυπικός αναγνώστης, με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, είναι η ευχέρεια. Ένας τυπικός αναγνώστης, δηλαδή, φαίνεται να έχει γρήγορο ρυθμό (υψηλή ταχύτητα ανάγνωσης), ενώ κάνει τις απαραίτητες παύσεις, κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης, στα σημεία στίξης. Η ικανότητά του τυπικού αναγνώστη να προβλέπει λέξεις είναι αυξημένη λόγω της άνεσης που αποκτά με τα χρόνια στην αναγνωστική διαδικασία. Επιπλέον, ένας τυπικός αναγνώστης φαίνεται να παρουσιάζει πολλαπλές εστιάσεις σε μικρό αριθμό λέξεων, κάτι που καταδεικνύει την αυξημένη ευχέρεια. Αντίθετα, ένας δυσλεξικός αναγνώστης φαίνεται να δυσκολεύεται στην αποκωδικοποίηση λέξεων και την αναγνωστική ευχέρεια, εύρημα που επιβεβαιώνεται και από άλλες έρευνες (Hutzler, 2004· Zaccolotti, 1999· De Luca, 2002). Πιο συγκεκριμένα, ένας δυσλεξικός αναγνώστης, με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, εμφανίζει πιο αργή ταχύτητα ανάγνωσης και δεν τηρεί τα σημεία στίξης, άρα δεν κάνει τις ανάλογες παύσεις. Η ικανότητά του να προβλέπει λέξεις είναι πολύ αδύναμη, ειδικά συγκριτικά με τους τυπικούς αναγνώστες αντίστοιχης ηλικίας. Επιπλέον, ένας δυσλεξικός αναγνώστης φαίνεται να συλλαβίζει καθώς παρατηρείται μεγάλος αριθμός λέξεων με πολλαπλές εστιάσεις, κάτι που επιβεβαιώνει τη δυσκολία των δυσλεξικών αναγνωστών στην αναγνωστική ευχέρεια. Εκτός από τις λέξεις με πολλές εστιάσεις, ένας δυσλεξικός αναγνώστης φαίνεται, επίσης, να πραγματοποιεί μεγάλο αριθμό οπισθοδρομήσεων και εστιάσεων μεγάλης διάρκειας, κάτι που φανερώνει δυσκολία στην αποκωδικοποίηση.

Καθώς εξελίσσεται ο αλγόριθμος και αναλύονται τα δεδομένα, εντοπίζονται όλο και περισσότερα ξεκάθαρα χαρακτηριστικά, που συνθέτουν ένα αναγνωστικό “προφίλ”, δηλαδή στρατηγικές ανάγνωσης ατόμων με αναγνωστικές δυσκολίες και πιο συγκεκριμένα με δυσλεξία. Ακόμα και αν έχουν δοθεί αρκετοί ορισμοί για τις δυσκολίες στην ανάγνωση (Hall, 2009), υπάρχει χώρος ώστε να διερευνηθούν ακόμα τα κριτήρια ανίχνευσης της. Η αντικειμενικότητα του εργαλείου βοηθά στην ανίχνευση και το διαχωρισμό των αναγνωστών σε δύο κατηγορίες. Ένας από τους λόγους που δυσχεραίνει την εδραίωση ενός καθολικού ορισμού για τη δυσλεξία (Hall, 2009), είναι η απουσία ξεκάθαρων κριτηρίων που οδηγούν στη διάγνωση και το ότι δεν υπάρχει ένα κοινό εργαλείο που να αξιολογεί τους αναγνώστες σε κάθε γλώσσα. Από τα αποτελέσματα όμως της έρευνας αυτής, δίνεται η δυνατότητα να ξεπεραστούν οι παραπάνω δυσκολίες και το εργαλείο ανάγνωσης μέσω της ανίχνευσης των οφθαλμικών κινήσεων του αναγνώστη να μπορεί με αντικειμενικό και αξιόπιστο τρόπο να ανιχνεύει ακόμη και μαθητές με αυξημένη πιθανότητα ειδικής μαθησιακής δυσκολίας στην ανάγνωση. Επίσης, είναι ένα εργαλείο που δύναται να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως σε άτομα που μιλούν οποιαδήποτε γλώσσα, καθώς βασίζεται στην ανάλυση των οφθαλμικών κινήσεων, λαμβάνοντας φυσικά τις ιδιαιτερότητες της κάθε γλώσσας. Επιπροσθέτως, λόγω του ότι είναι ψηφιακό και ταχύ στην εφαρμογή του το καθιστά ικανό να εφαρμοστεί σε μεγάλο δείγμα μαθητικού πληθυσμού.

## Επίλογος – Μελλοντικές προεκτάσεις

Συμπερασματικά, το εργαλείο ανίχνευσης αναγνωστικών προβλημάτων που περιγράφεται στην παρούσα έρευνα θα μπορούσε να είναι ένας αυτοματοποιημένος, γρήγορος και ακριβής τρόπος ανίχνευσης παιδιών με υψηλή πιθανότητας να διαγνωστούν με δυσλεξία, το οποίο δύναται να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλης κλίμακας

πληθυσμούς. Επιπλέον, η ανάλυση των παραμέτρων της κίνησης των οφθαλμών, όπως προσλαμβάνεται από το εργαλείο κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης θα είναι αρκετά βοηθητική για την εξατομικευμένη παρέμβαση. Επιπρόσθετα, θα συνδράμει και στην αντικειμενική παρακολούθηση της επιτυχίας του προγράμματος, δηλαδή θα μπορούσε να λειτουργήσει και ως εργαλείο παρακολούθησης της προόδου του μαθητή, ώστε ο κάθε ειδικός να κρίνει αν το πρόγραμμα παρέμβασης είναι αποτελεσματικό. Θα ήταν αρκετά ενδιαφέρον αν το εργαλείο μπορούσε να διαχωρίσει τους αναγνώστες σε εκείνους με χαμηλή αναγνωστική ευχέρειας και σε αυτούς με δυσλεξία. Ακόμα και αν ο αρχικός σκοπός της έρευνας δεν ήταν αυτός, εκτιμάται ότι στο μέλλον το εργαλείο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να εντοπίζει και να κατηγοριοποιεί τις ειδικές δυσκολίες στην ανάγνωση. Σε αυτή την περίπτωση, θα χρειαστεί να αξιοποιηθούν τα δεδομένα της σιωπηλής και της φωναχτής ανάγνωσης, συνδυαστικά. Μεγαλύτερος αριθμός συμμετεχόντων σε μελλοντικές έρευνες θα επιτρέψει τη σύγκριση κάθε συμμετέχοντα με περισσότερα άτομα της ίδιας ηλικιακής ομάδας και συνεπώς εύρεση νέων χαρακτηριστικών για τον εντοπισμό αναγνωστικών δυσκολιών.

### Χρηματοδότηση

Η εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της Δράσης ΕΡΕΥΝΩ - ΔΗΜΙΟΥΡΓΩ - ΚΑΙΝΟΤΟΜΩ και συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ) (κωδικός έργου:Τ1ΕΔΚ-00858).

### Βιβλιογραφία

- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. (2005). Eye Movements of Highly Skilled and Average Readers: Differential Effects of Frequency and Predictability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(6), 1065-1086. <https://doi.org/10.1080/02724980443000476>
- Berthiaume, R., & Daigle, D. (2014). Morphological processing and learning to read: The case of deaf children. *Deafness Education International*. <https://doi.org/10.1179/1557069X14Y.0000000036>
- Blythe, H. I., & Joseph, H. S. S. L. (2011). *Children's eye movements during reading*. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of eye movements* (p. 643-662). Oxford University Press
- Bouma, H. (1973). Visual inference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words, *Vision Research*, 13, 767-782
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye Movements and Phonological Parafoveal Preview: Effects of Reading Skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 59(3), 209-217. <https://doi.org/10.1037/h0087476>
- DIBELS (2003). University of Oregon. <https://dibels.uoregon.edu>
- Dyslexia Association of Ireland (2020). <https://dyslexia.ie/giving-tuesday-2020/>
- De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A., Spinell, D., & Zoccolotti P. (1999). Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia*, 37(12), 1407-1420. <https://doi.org/10.1017/S0142716499002027>
- De Luca, M., Borrelli, M., Judica, A., Spinelli, D., & Zoccolotti P. (2002). Reading words and pseudowords: an eye movement study of developmental dyslexia. *Brain and Language*, 80(3), 617-626
- Frazier, L., & Rayner, K. (1982). Making and correcting errors during sentence comprehension: Eye movements in the analysis of structurally ambiguous sentences. *Cognitive Psychology*, 14(2), 178-210. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(82\)90008-1](https://doi.org/10.1016/0010-0285(82)90008-1)
- Hall, W. (2009). *Dyslexia in the primary classroom*. SAGE
- Hatzidaki, A., Gianneli, M., Petrakis, E., Makaronas, N., Aslanides, I.M. (2011). Reading and visual processing in Greek dyslexic children: an eye-movement study. *Dyslexia*, 17, 85-104. <https://doi.org/10.1002/dys.416>
- Hoover, W. A., & Gough, P. B. (1990). The simple view of reading. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 2(2), 127-160. <https://doi.org/10.1007/BF00401799>
- Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*, 89(1), 235-242. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00401-2](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00401-2)
- Kirkby, J.A., Webster, L.A., Blythe, H., & Liversedge. S. (2008). Binocular coordination during reading and non-reading tasks. *Psychological Bulletin*, 134(5), 742-763. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0012979>

- Lyon, G., Shaywitz, S., & Shaywitz, B. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1-14
- Learning Disabilities Association of America (2017). <https://ldaamerica.org/info/adult-learning-disability-assessment-process/>
- Morrison, R., & Rayner, K. (1981). Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle. *Perception & Psychophysics*, 30(4), 395-396
- National Health Service (NHS)(2017). <https://www.nhs.uk/conditions/dyslexia/diagnosis/>
- Padeliadu, S., & Antoniou, F. (2013). The Relationship between Reading Comprehension, Decoding, and Fluency in Greek: A Cross Sectional Study. *Reading & Writing Quarterly: Overcoming Learning Difficulties*, 30(1), 1-31. <https://doi.org/10.1080/10573569.2013.758932>
- Protopapas, A., & Skaloumbakas, C. (2008). Assessment of reading fluency for the identification of reading difficulties. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, 15 (3), 267-289
- Rayner, K. (1978) Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin*, 85(3), 618-660. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-2909.85.3.618>
- Rayner, K. (1983) Eye movements, perceptual span, and reading disability. *Annals of Dyslexia*, 33, 163-173.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Razuk, M., Barela, J., Peyre, H., Gerard, CL., & Bucci M. (2018). Eye movements and postural control in dyslexic children performing different visual tasks. *PLoS ONE*, 13(5), Article e0198001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198001>
- Schneps, M.H., Thomson, J.M., Sonnert, G., Pomplun, M., Chen, C., et al. (2013). Shorter lines facilitate reading in those who struggle. *PLoS One*, 8(8), Article e71161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071161>
- Temple, E., Deutsch, G.K., Poldrack, R.A., Miller, S.L., Tallal, P., et al. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), 2860-2865. <https://doi.org/10.1073/pnas.0030098100>
- Tinker, M.A. (1958). Recent studies on eye movements in reading. *Psychological Bulletin*, 55(4), 215-231
- Tobii AB (2016). <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-tech/4L-product-sheet.pdf?v=1>
- Wimmer, H. (1993). Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics*, 14(1), 1-33. <https://doi.org/10.1017/S0142716400010122>
- Zoccolotti, P., De Luca M, Di Pace, E, Judica A, Orlandi M, et al. (1999). Markers of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme-phoneme correspondence. *Applied Psycholinguistics*, 20(2), 191-216
- Πόρποδας, Κ. (2002). Η νευροφυσιολογική βάση της ανάγνωσης, Η Ανάγνωση (σ.117-σ.144) Πάτρα.
- Τζιβινίκου, Σ. (2015). Μαθησιακές δυσκολίες - διδακτικές παρεμβάσεις. [ηλεκτρ. βιβλ.]. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. <http://hdl.handle.net/11419/5332>



## Algorithm for screening students for dyslexia through reading. Data collected with the use of eye-tracking technology in the Greek language

Vassilios ANDREADAKIS<sup>1</sup>, Nadia BOUFACHREDIN<sup>2</sup>, Elpida SERVOU<sup>2</sup>, Theodora BACHOUROU<sup>3</sup>, Nikolaos KOZEIS<sup>4</sup>, Ioannis SMYRNAKIS<sup>5</sup>, Ioannis M. ASLANIDES<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Optotech, Hellenic Mediterranean University

<sup>2</sup> Special educational needs teacher

<sup>3</sup> Logotherapist, University of Peloponnese

<sup>4</sup> Paidophthalmologiko Ellados

<sup>5</sup> Mechanical Engineering, Hellenic Mediterranean University

<sup>6</sup> Emmetropia Eye Institute, Hellenic Mediterranean University

---

### KEYWORDS

eye tracking,  
eye movements,  
dyslexia,  
specific Learning Disabilities,  
reading difficulties,  
reading fluency

---

### ABSTRACT

In this study, the reading process was evaluated with the use of eye-tracking technology. Emphasis was placed on the specific learning disability of reading and writing (developmental dyslexia), which leads to difficulties in reading accuracy and fluency, among other things. While developmental dyslexia is not an oculomotor problem, the difficulties in decoding and fluency are depicted in fixations and saccadic movements during reading. Using data recorded using eye-tracking and the analysis of the reading path through eye movements, a reading evaluation tool was developed, distinguishing students with and without reading difficulties. In this study, 137 native Greek students participated, aged 8.1 to 15.6 years, of whom 62 were girls and 75 were boys. All participants read two texts of increasing difficulty in the Greek language and were evaluated while reading silently. The results of the study revealed that the success rate in student distinction was 90%. In particular, 63 of the 68 typical readers (93% specificity) and 60 of the 69 readers with developmental dyslexia (87% sensitivity) were evaluated and correctly classified by the model, under circular validation. Taking into account how important is early intervention for solving problems in language skills like reading, the tool of this study records eye movements during reading (i.e. it records the reading path which is unique for each reader), quantifies the data and identifies the readers with poor reading skills, in relation to their age. The use of this tool is to detect students with reading difficulties and help specialists create customized treatment plans (complementary with other tools) and track the progress of such treatment plans.

---

### CORRESPONDENCE

Andreadakis Vassilios,  
Optotech,  
Pediados 16,  
Heraklion,  
[andreadakis.v@eyetracking.gr](mailto:andreadakis.v@eyetracking.gr)