ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τεχνολογικά Υποστηριζόμενη Ανίχνευση Αναγνωστικών Δυσκολιών σε Παιδιά: Συστηματική Ανασκόπηση

ΑΛΕΞΑΝΔΡΗ ΚΛΕΙΩ

Α.Μ: 1205

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: ΤΟΚΗ ΕΥΓΕΝΙΑ, Καθηγήτρια ΠΙ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2026

Technology-Supported Detection of Reading Difficulties in Children: A Systematic Review

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © (Κλειώ Αλεξανδρή, 2026)
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή μέρους ή του συνόλου της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για εκπαιδευτικό ή ερευνητικό σκοπό, μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Υπεύθυνη Δήλωση

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας της παρούσας πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια που προσφέρθηκε στην εκπόνησή της αναγνωρίζεται και αναφέρεται στο κείμενο. Επιπλέον, αναφέρονται όλες οι βιβλιογραφικές πηγές που αξιοποιήθηκαν, πρωτογενείς και δευτερογενείς, είτε η συμβολή τους παρατίθεται επακριβώς ως απόσπασμα είτε ως παράφραση.

Η συγγραφέας της πτυχιακής εργασίας

Κλειώ Αλεξανδρή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα Ευγενία Τόκη, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες παρατηρήσεις της κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Η συμβολή της υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική για την ολοκλήρωση της μελέτης.

Επίσης, ευχαριστώ από καρδιάς την οικογένειά μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα για την την υπομονή και τη συνεχή στήριξή σε όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.

Περίληψη

Οι αναγνωστικές δυσκολίες και η δυσλεξία αποτελούν από τις συχνότερες μαθησιακές δυσκολίες της παιδικής ηλικίας, με σημαντικές επιπτώσεις στη σχολική επίδοση και τη μετέπειτα ακαδημαϊκή και κοινωνική ανάπτυξη των παιδιών. Η έγκαιρη ανίχνευσή τους θεωρείται καθοριστικής σημασίας, καθώς επιτρέπει την πρώιμη εφαρμογή κατάλληλων παρεμβάσεων και τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Σκοπός της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης ήταν η διερεύνηση των τεχνολογικά υποστηριζόμενων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την πρώιμη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού, η καταγραφή των δεικτών που αξιοποιούνται και η αποτύπωση της διαγνωστικής ή προγνωστικής τους αξίας.

Η ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες PRISMA 22. Η αναζήτηση της βιβλιογραφίας διεξήχθη στις βάσεις δεδομένων Scopus, Web of Science, ERIC, IEEE Xplore, APA PsycNet, PubMed, ACM Digital Library και Google Scholar, ενώ εφαρμόστηκαν προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού. Στην τελική σύνθεση συμπεριλήφθηκαν 30 πρωτογενείς ερευνητικές μελέτες που δημοσιεύθηκαν την περίοδο 2015–2026.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ήταν τα συστήματα eye-tracking, οι εφαρμογές μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, τα ψηφιακά εργαλεία προσυμπτωματικού ελέγχου, τα εκπαιδευτικά παιχνίδια (serious games) και οι τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (Automatic Speech Recognition – ASR). Οι σημαντικότεροι δείκτες περιλάμβαναν τις οφθαλμικές κινήσεις, τη φωνολογική επίγνωση, την ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (RAN), τη γνώση γραμμάτων, την αποκωδικοποίηση, την αναγνωστική ευχέρεια, καθώς και δεδομένα αλληλεπίδρασης με ψηφιακά περιβάλλοντα και χαρακτηριστικά της προφορικής ανάγνωσης. Οι περισσότερες μελέτες ανέφεραν υψηλή διαγνωστική ή προγνωστική ακρίβεια και υπογράμμισαν τη δυνατότητα εφαρμογής των τεχνολογιών αυτών ως εργαλείων πρώιμου προσυμπτωματικού ελέγχου.

Συμπερασματικά, οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι αποτελούν μια ιδιαίτερα ελπιδοφόρα προσέγγιση για την έγκαιρη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών, προσφέροντας αντικειμενικότητα, ταχύτητα και δυνατότητα εφαρμογής σε σχολικά και κλινικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για την επικύρωση και τη

γενίκευση των εργαλείων αυτών σε διαφορετικούς πληθυσμούς και γλωσσικά περιβάλλοντα.

Λέξεις-κλειδιά: αναγνωστικές δυσκολίες, δυσλεξία, πρώιμη ανίχνευση, τεχνολογία, eye-tracking, μηχανική μάθηση, τεχνητή νοημοσύνη, ψηφιακά εργαλεία αξιολόγησης.

Abstract

Reading difficulties and dyslexia are among the most common learning difficulties in childhood, with significant impacts on school performance and the subsequent academic and social development of children. Their early detection is considered crucial, as it allows for the early implementation of appropriate interventions and the improvement of learning outcomes. The purpose of this systematic review was to investigate the technologically supported methods used for the early detection of reading difficulties in preschool children and the first grades of primary school, to record the indicators used and to capture their diagnostic or prognostic value.

The review was carried out in accordance with the PRISMA 22 guidelines. The literature search was conducted in the Scopus, Web of Science**,** ERIC, IEEE Xplore**,** APA PsycNet**,** PubMed**, ACM** Digital Library and Google Scholar databases, while predefined inclusion and exclusion criteria were applied. The final synthesis included 30 primary research studies published between 2015 and 2026.

The results showed that the most frequently used technologies were eye-tracking systems, machine learning and artificial intelligence applications, digital screening tools, serious games, and Automatic Speech Recognition (ASR) technologies. The most important indicators included eye movements, phonological awareness, rapid automated naming (RAN), letter knowledge, decoding, reading fluency, as well as data on interaction with digital environments and oral reading characteristics. Most studies reported high diagnostic or prognostic accuracy and highlighted the potential application of these technologies as early screening tools.

In conclusion, technology-supported methods are a particularly promising approach for the early detection of reading difficulties, offering objectivity, speed and applicability in school and clinical settings. However, further research is needed to validate and generalize these tools to different populations and linguistic environments.

Keywords: reading difficulties, dyslexia, early detection, technology, eye-tracking, machine learning, artificial intelligence, digital assessment tools.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 5
Περίληψη 6
Abstract 8
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 10
1. Εισαγωγή 10
1.1. Αναγνωστικές δυσκολίες 10
1.2. Επιπολασμός και αντίκτυπος 10
1.3. Η συμβολή της τεχνολογίας 11
2. Φωνολογική επίγνωση και ταχεία αυτοματοποιημένη ονομασία 12
2.1. Τι είναι η ΦΕ και η RAN 12
2.2. Πρόσφατες έρευνες για τις παρεμβάσεις 14
2.3. Διαφορές των ΦΕ και RAN μεταξύ γλωσσών 15
3. Έγκαιρη ανίχνευση δυσκολιών ανάγνωσης και η συμβολή της τεχνολογίας 17
3.1. Τι είναι η «έγκαιρη ανίχνευση» 17
3.2. Γιατί είναι σημαντική η έγκαιρη ανίχνευση 17
3.3. Συμβολή της τεχνολογίας στην έγκαιρη ανίχνευση 18
3.4. Ενσωμάτωση της τεχνολογίας σε συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης 20
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 21
1. Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα 21
2. Μέθοδος 21
3. Πλαίσιο PICO για την έγκαιρη ανίχνευση των αναγνωστικών δυσκολιών και τη συμβολή της τεχνολογίας 31
4. Διάγραμμα ροής PRISMA 22 33
5. Αποτελέσματα 34
Α΄ ερευνητικό ερώτημα 66
Β΄ ερευνητικό ερώτημα 67
Γ΄ ερευνητικό ερώτημα 69
6. Συζήτηση 71
7. Συμπεράσματα 73
Βιβλιογραφία 75

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Εισαγωγή

1.1. Αναγνωστικές δυσκολίες

Οι δυσκολίες στην ανάγνωση προκύπτουν όταν οι μαθητές δυσκολεύονται να αναπτύξουν ακριβή και άπταιστη ανάγνωση λέξεων ή/και να κατανοήσουν γραπτό κείμενο. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι αυτές οι δυσκολίες πηγάζουν από πολλαπλούς γλωσσικούς, γνωστικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Η έγκαιρη αναγνώρισή τους και η στοχευμένη παρέμβαση βελτιώνουν σημαντικά τις μακροπρόθεσμες εκβάσεις (Chyl et al., 2024).

Οι δυσκολίες στην ανάγνωση δεν είναι μια ενιαία πάθηση, αλλά ένα φάσμα επίμονων προβλημάτων που επηρεάζουν ένα ή περισσότερα συστατικά στοιχεία της ανάγνωσης. Πρόκειται για δυσκολίες κατανόησης κειμένου, στις οποίες η αποκωδικοποίηση είναι επαρκής αλλά η κατανόηση της γλώσσας (που περιλαμβάνει λεξιλόγιο, σύνταξη, εξαγωγή συμπερασμάτων από το περιεχόμενο) είναι αδύναμη. Πολλές φορές τα προφίλ είναι μικτά, γιατί συνδυάζουν προκλήσεις αποκωδικοποίησης και κατανόησης (Chyl et al., 2024). Αυτά τα προφίλ έχουν σημασία, επειδή το καθένα απαιτεί διαφορετικές αποκρίσεις από τους διδάσκοντες και τους μαθητές.

Η αποκωδικοποίηση λέξεων είναι η ικανότητα μετατροπής γραμμάτων/γραφημάτων σε ήχους/φωνήματα. Στο πλαίσιο της αναγνωστικής ικανότητας, ο όρος αναφέρεται στην ικανότητα κάποιου να αναγνωρίζει και να διαβάζει λέξεις με ακρίβεια, ταχύτητα και χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια (Mather and Wendling, 2016).

1.2. Επιπολασμός και αντίκτυπος

Σε ένα σημαντικό ποσοστό, παιδιά αλλά και ενήλικες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ανάγνωση που επηρεάζουν την ακαδημαϊκή επίδοση, τις ευκαιρίες απασχόλησης για τους δεύτερους και την λειτουργικότητα στην καθημερινή ζωή, γενικότερα. Σε πρόσφατες μελέτες τονίζεται ότι κατά την αξιολόγηση, οι ειδικοί πρέπει να καταγράφουν τόσο τις επιμέρους δεξιότητες, όσο και τον λειτουργικό γραμματισμό, ειδικά για εφήβους και

ενήλικες που μπορεί να συγκαλύπτουν τα προβλήματα αποκωδικοποίησης με αντισταθμιστικές τακτικές (Chyl et al., 2024).

Αιτίες και παράγοντες κινδύνου

Οι δυσκολίες στην ανάγνωση συνήθως προκύπτουν από έναν συνδυασμό αρκετών επιμέρους θεμάτων, όπως:

- Αδυναμίες φωνολογικής επεξεργασίας.

- Αργή ταχύτητα κατονομασίας, σε αντίθεση με την ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (Rapid Automatized Naming,, RAN).

- Περιορισμένο λεξιλόγιο και δεξιότητες προφορικού λόγου.

- Περιορισμοί στη μνήμη εργασίας και την ταχύτητα επεξεργασίας.

- Ασυνεπής ή ανεπαρκής διδασκαλία, με αποτέλεσμα να μην ξεκινά έγκαιρα η ανάγνωση.

- Κοινωνικοπολιτισμικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες, ενδεικτικά η περιορισμένη έκθεση σε έντυπη ύλη και πολύγλωσσα περιβάλλοντα χωρίς να παρέχουν επαρκή υποστήριξη στο παιδί.

Αυτοί οι παράγοντες αλληλεπιδρούν διαφορετικά σε κάθε μαθητή, γι' αυτό η ολοκληρωμένη αξιολόγηση είναι απαραίτητη (Jéldrez et al., 2025).

1.3. Η συμβολή της τεχνολογίας

Η τεχνολογία χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο για την υποστήριξη μαθητών με αναγνωστικές δυσκολίες. Οι προσαρμοστικές ψηφιακές πλατφόρμες παρέχουν εξατομίκευση της πρακτικής, για κάθε παιδί που αντιμετωπίζει πρόβλημα και ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο. Οι παρεμβάσεις που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη συμβολή της τεχνολογίας οδηγούν σε θετικά αποτελέσματα για τους μαθητές του δημοτικού, αν και τα αποτελέσματα ποικίλλουν ανάλογα με τον σχεδιασμό του προγράμματος και την πιστότητα της υλοποίησής του. Τα ψηφιακά εργαλεία υποστηρίζουν επίσης τον έλεγχο και την παρακολούθηση της προόδου κάθε μαθητή και μαθήτριας, προσφέροντας στους εκπαιδευτικούς λεπτομερή δεδομένα σχετικά με την ακρίβεια, την ευχέρεια και τα μοτίβα σφαλμάτων (Alqahtani et al., 2024).

Επισημαίνεται ότι η τεχνολογία είναι πιο αποτελεσματική όταν ενσωματώνεται σε διδασκαλία βασισμένη σε τεκμήρια και δεν χρησιμοποιείται ως αυτόνομη λύση.

Οι πρακτικές θετικές επιπτώσεις για εκπαιδευτικούς και κλινικούς από τη χρήση της τεχνολογίας, αφορούν περισσότερο στην έγκαιρη χρήση επικυρωμένων εργαλείων προληπτικού ελέγχου και διαλογής για τον εντοπισμό κινδύνου, με συντομία και χωρίς χρονοβόρες διαδικασίες που θα ενοχλούσαν τα παιδιά. Η τεχνολογία μπορεί να συμβάλλει στην αντιστοίχιση της διδασκαλίας ή κατάρτισης με το προφίλ του μαθητή ή μαθήτριας, διακρίνοντας κατά πόσο έχει ανάγκη να μάθει αποκωδικοποίηση, κατανόηση, ή να γίνει μικτή διδασκαλία και των δύο. Έτσι είναι εφικτός ένας συνδυασμός σαφούς διδασκαλίας, καθοδηγούμενης πρακτικής και γλωσσικής ανάπτυξης. Η πρόοδος παρακολουθείται συχνά και η διδασκαλία προσαρμόζεται ανάλογα. Βέβαια, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας γίνεται για να ενισχυθεί η παρέμβαση υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού και όχι για την αντικατάστασή του.

2. Φωνολογική επίγνωση και ταχεία αυτοματοποιημένη ονομασία

2.1. Τι είναι η ΦΕ και η RAN

Έχει βρεθεί ότι η φωνολογική επίγνωση (ΦΕ, phonological awareness, PA) και η ταχεία αυτοματοποιημένη ονομασία (ΤΑΟ, rapid automized naming, RAN) συνδέονται στενά με την ανάπτυξη της ανάγνωσης από τα παιδιά και εξηγεί τη μοναδική διακύμανση στις αναγνωστικές δεξιότητες για κάθε ένα από αυτά, πέρα από γενικούς παράγοντες όπως η ηλικία και το μη λεκτικό IQ (Araújo, Reis, Petersson, & Faísca, 2015).

Η ΦΕ αναφέρεται στην ικανότητα αναγνώρισης και χειρισμού φωνολογικών τμημάτων σε λέξεις που προφέρονται και η RAN υποδηλώνει την ικανότητα ονομασίας γραμμάτων που εμφανίζονται διαδοχικά, ψηφίων (αριθμών), απεικονιζόμενων αντικειμένων ή χρωμάτων, στο συντομότερο δυνατό χρόνο (Landerl et al., 2019).

Η ΦΕ, ή φωνολογική επεξεργασία ευρύτερα, αναφέρεται σε μια μεταγλωσσική δεξιότητα που επιτρέπει σε ένα άτομο να αναλογίζεται και να χειρίζεται τη ηχητική δομή της ομιλούμενης γλώσσας, σε επίπεδο (1) λέξεων και συλλαβών, (2) έναρξης και ρυθμών ή (3) φωνημάτων, ανεξάρτητα από τη σημασία τους. Οι δεξιότητες ΦΕ εμφανίζονται νωρίς, αναπτύσσονται γρήγορα καθ' όλη τη διάρκεια της παιδικής ηλικίας και έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην επίτευξη γραμματισμού. Για να μάθει ένα παιδί να διαβάζει, πρέπει να γνωρίζει την αυθαίρετη και συμβατική αντιστοιχία μεταξύ της ηχητικής δομής της γλώσσας και των κανόνων για τον τρόπο γραφής της (Gijbels et al., 2024).

Η ΦΕ είναι σημαντική, καθώς όλα τα ορθογραφικά συστήματα αναπαριστούν φωνολογικές μονάδες, με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Τα παιδιά με ανεπαρκή πρόσβαση στις σχετικές φωνολογικές μονάδες θα έχουν προβλήματα στην πλήρη κατανόηση των αντιστοιχίσεων μεταξύ μιας συγκεκριμένης ομιλούμενης γλώσσας και της ορθογραφίας της. Η εξάσκηση που μπορεί να γίνει για την ΦΕ φαίνεται ότι βελτιώνει τις εκβάσεις για την ανάγνωση (π.χ., Suggate, 2016). Ένα σημαντικό και μέχρι στιγμής άλυτο ζήτημα είναι το εάν η ΦΕ προηγείται της απόκτησης της δεξιότητας για ανάγνωση, ή εάν εξελίσσεται ως συνέπεια ή κατά τη διάρκεια της εκμάθησης της ανάγνωσης. Παρ' όλο που μελέτες με αναλφάβητους ενήλικες δείχνουν ότι η ΦΕ είναι συνέπεια της εκμάθησης του γραμματισμού, διαχρονικές μελέτες έχουν υποδείξει το αντίθετο. Ένας σημαντικός μεθοδολογικός περιορισμός των διαχρονικών μελετών που δείχνουν μια συσχέτιση της ΦΕ στην προσχολική ηλικία με την ανάγνωση σε μεταγενέστερη ηλικία, είναι ότι συνήθως οι πρώιμες αναγνωστικές ικανότητες, δεν αξιολογούνταν στο πρώτο χρονικό σημείο από το οποίο ξεκινά κάθε αξιολόγηση. Επομένως, δεν είναι σαφές εάν η συσχέτιση μεταξύ της ΦΕ που επιτυγχάνεται νωρίς και της μεταγενέστερης ικανότητας ανάγνωσης, προκύπτει σε παιδιά που έχουν ήδη βασικές δεξιότητες ανάγνωσης κατά την πρώτη αξιολόγηση και τα οποία έχουν καλή απόδοση στις ασκήσεις ΦΕ. Η παραμέληση του γεγονότος ότι παιδιά σε ένα ορισμένο ποσοστό μπορούν να διαβάσουν ήδη από την αρχή της φοίτησης στο σχολείο, μπορεί να προκαλέσει εσφαλμένες ερμηνείες των προγνωστικών μοτίβων (Landerl et al., 2019).

Παρ' όλο που στη RAN αποδίδεται ορισμένες φορές η ερμηνεία ότι αντανακλά και τη φωνολογική επεξεργασία, υπάρχει ο ισχυρισμός ότι αποτελεί ξεχωριστή νοητική κατασκευή που σχετίζεται ανεξάρτητα με την ανάγνωση. Οι μηχανισμοί που διέπουν την καλά τεκμηριωμένη σχέση RAN-ανάγνωσης είναι λιγότερο σαφείς και αποτελούν αντικείμενο συζήτησης (Jones, Snowling, & Moll, 2016).

Οι διαφορετικές οπτικές γωνίες συγκλίνουν σε μεγάλο βαθμό στην υπόθεση ότι η διαδοχική ονομασία (ή ονοματοδοσία) (sequential naming) μιμείται την έγκαιρη ενσωμάτωση των οπτικών και λεκτικών δεξιοτήτων που απαιτούνται κατά την αποτελεσματική αναγνώριση λέξεων και επιτρέπει την ταυτόχρονη επεξεργασία πολλαπλών ερεθισμάτων που παρουσιάζονται με διαδοχικό τρόπο. Αυτό το γεγονός εξηγεί το γιατί η RAN ασκεί τις ισχυρότερες επιδράσεις της στην αναγνωστική ευχέρεια (Landerl et al., 2019).

2.2. Πρόσφατες έρευνες για τις παρεμβάσεις

Πρόσφατες μελέτες και μετα-αναλύσεις υπογραμμίζουν αρκετές αρχές που βασίζονται στα τεκμήρια που έχουν ληφθεί υπόψη.

Ξεκινώντας, η πιο αποτελεσματική προσέγγιση για παιδιά με δυσκολίες αποκωδικοποίησης παραμένει η σαφής, συστηματική εκμάθηση ανάγνωσης μέσω φωνημάτων. Οι μεγαλύτεροι μαθητές (σε ηλικίες μεγαλύτερες από αυτές της 1ης και 2ας δημοτικού) με σημαντικές δυσκολίες στην ανάγνωση λέξεων, επωφελούνται από τις δομημένες παρεμβάσεις αποκωδικοποίησης, αν και τα μεγέθη των επιδράσεων είναι μέτρια και τα οφέλη είναι μεγαλύτερα στην αποκωδικοποίηση ψευδολέξεων και στην ευχέρεια αποκωδικοποίησης (Boucher et al., 2024).

Ο όρος «ψευδολέξη» σημαίνει ότι ενώ δεν περιέχει κάποια σημασία, συνεχίζει να ακολουθεί τους κανόνες φωνολογίας της γλώσσας. Είναι γνωστή και ως “nonsense word” ή «μη-λέξη». Χρησιμοποιείται όταν εφαρμόζεται μια διαδικασία μέτρησης της ικανότητας ενός ατόμου να διαβάζει (να αποκωδικοποιεί) λέξεις που δεν έχει ξαναδεί, χρησιμοποιώντας φωνητικούς κανόνες, χωρίς να βασίζεται στη μνήμη του για τη σημασία τους (Share, 2008).

Οι παρεμβάσεις από ειδικούς και εκπαιδευτικούς για να βελτιωθεί η κατανόηση κειμένου, λειτουργούν καλύτερα όταν συνδυάζουν τη διδασκαλία μιας στρατηγικής (π.χ., πώς θα γίνει αντιληπτή από τον μαθητή/τη μαθήτρια η κύρια ιδέα, πώς θα διαμορφώσει μια σύνοψη του κειμένου, ποια είναι η δομή του) με δραστηριότητες γλωσσικής ανάπτυξης, δηλαδή εμπλουτισμού του λεξιλογίου.

Επίσης, το κίνητρο έχει σημασία. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι συγκεκριμένες δυσκολίες ανάγνωσης αλληλεπιδρούν με διαστάσεις που παρακινούν, που παρέχουν κίνητρα, όπως η αυτοαποτελεσματικότητα και η αξία που δίνει το ίδιο το άτομο σε μια εργασία που του έχει ανατεθεί, επηρεάζοντας την επιμονή και τη δέσμευσή του για την πραγματοποίησή της (Boucher et al., 2024).

Οι παρεμβάσεις που συμβάλλουν στη διαμόρφωση μιας στρατηγικής από τους εκπαιδευτικούς ποικίλλουν σε αποτελεσματικότητα. Η μετα-ανάλυση δικτύου του Bayes (Bayesian network meta-analysis), στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση πολλαπλών θεραπευτικών παρεμβάσεων ταυτόχρονα, συνδυάζοντας άμεσα (direct) και έμμεσα (indirect) δεδομένα από διάφορες μελέτες (Yu et al., 2024), δείχνει ότι δεν κυριαρχεί μια μεμονωμένη στρατηγική. Οι πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις είναι αυτές που αποτελούνται από πολυάριθμα επιμέρους συστατικά που είναι προσαρμοσμένα στις ανάγκες των μαθητών (Peng et al., 2024).

2.3. Διαφορές των ΦΕ και RAN μεταξύ γλωσσών

Η ΦΕ και η RAN αντικατοπτρίζουν δύο ξεχωριστές λεκτικές ικανότητες που βοηθούν τα παιδιά να κατανοήσουν και να αυτοματοποιήσουν τις αντιστοιχίσεις μεταξύ της ομιλούμενης γλώσσας και του συστήματος γραφής που αποκτούν ως δεξιότητα. Παρ' όλο που έχει αναφερθεί ότι υπάρχουν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ αυτών των προγνωστικών παραγόντων και της ανάγνωσης σε ορθογραφίες που διαφέρουν μεταξύ τους π.χ., στα Ολλανδικά, Γαλλικά, Γερμανικά, Ισπανικά, Κινέζικα, όπως και στα Ελληνικά (Protopapas, Altani, & Georgiou, 2013), η πλειονότητα των μελετών έχει διεξαχθεί με παιδιά που αποκτούν ως δεξιότητα το αγγλικό σύστημα γραφής (βλ. την πρόσφατη μετα-ανάλυση των Araújo et al., 2015). Σ' αυτές τις μελέτες έχει συνήθως διερευνηθεί η πρόβλεψη της ακρίβειας ανάγνωσης, ενώ σε πιο συνεπείς ορθογραφίες, η αναγνωστική ευχέρεια είναι το κεντρικό μέσο μέτρησης με τη μεγαλύτερη σημασία, καθώς ακόμη και οι πολύ νέοι αναγνώστες και όσοι έχουν ελλείψεις, τείνουν να κάνουν λίγα λάθη ανάγνωσης (π.χ., Diamanti, Goulandris, Campbell, & Protopapas, 2018).

Η ορθογραφία των αγγλικών είναι ασυνήθιστα πολύπλοκη και έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο δύσκολο να την κατανοήσει κανείς σε σύγκριση με άλλες, πιο «διαφανείς», δηλαδή πιο σαφείς ορθογραφίες. Η μοναδική πολυπλοκότητα της ορθογραφίας των αγγλικών δημιουργεί προβληματισμό, γιατί πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο τα προγνωστικά μοτίβα που βρέθηκαν για την αγγλική γλώσσα μπορούν να γενικευτούν σε άλλες γλώσσες και στα συστήματα γραφής τους (Landerl et al., 2019).

Η υπόθεση του ορθογραφικού βάθους διατυπώνεται γιατί θεωρείται ότι η εκμάθηση της αγγλικής γλώσσας γίνεται δύσκολη, επειδή είναι μια «βαθιά» ορθογραφία που αντιπροσωπεύει μορφολογικές και όχι φωνολογικές μονάδες. Το γεγονός ότι οι ορθογραφίες των αγγλικών έχουν εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου για να αντιπροσωπεύουν τη μορφολογία, την ετυμολογία και τη φωνολογία σε έναν σύνθετο συνδυασμό (Bowers & Bowers, 2017), έχει οδηγήσει σε μια κατάσταση στην οποία οι περισσότερες άλλες αλφαβητικές ορθογραφίες αντιπροσωπεύουν τη φωνολογική δομή της ομιλούμενης γλώσσας με πιο διαφανή και συνεπή τρόπο. Οι ορθογραφίες που αντιπροσωπεύουν τη φωνημική δομή με συνέπεια, καθιστούν σχετικά εύκολο για τα μικρά παιδιά να επεξεργαστούν τις αντιστοιχίσεις μεταξύ γραφημάτων και φωνημάτων. Η αγγλική γλώσσα αντιπροσωπεύει το επίπεδο φωνημάτων με ασυνέπεια, ενώ πιο συνεπείς σχέσεις μπορούν να βρεθούν για μεγαλύτερα φωνολογικά μεγέθη κόκκων (phonological grain sizes), όπως οι

μονάδες ομοιοκαταληξίας (rime units, αναφερόμενη και ως καταληκτική μονάδα σε μια λέξη, η οποία ξεκινά από το τελευταίο φωνήεν που περιέχεται σ' αυτή τη λέξη). Με την «υπόθεση μεγέθους ψυχογλωσσικού κόκκου» (psycholinguistic grain-size hypothesis) (Ziegler & Goswami, 2005) προτείνεται ότι ο εντοπισμός και η εφαρμογή αυτών των μονάδων μεταβλητού μεγέθους και των σύνθετων αντιστοιχίσεων των γραπτών συμβόλων (γραμμάτων) με τους αντίστοιχους φθόγγους (ήχους) είναι πιο δύσκολη από το να μπορεί κανείς να βασιστεί με συνέπεια στο φωνημικό επίπεδο (Landerl et al., 2019).

Οι Caravolas et al. (2012) παρακολούθησαν παιδιά σε ένα επίσης ένα διαγλωσσικό δείγμα, που περιλάμβανε αγγλικές και άλλες, πιο συνεπείς αλφαβητικές ορθογραφίες (στα Ισπανικά, Τσεχικά και Σλοβακικά). Η ΦΕ και η RAN αποτέλεσαν σημαντικούς προγνωστικούς παράγοντες της ανάγνωσης στην πρώτη δημοτικού, επιπλέον της ανάγνωσης και της γνώσης γραμμάτων σε προσχολική ηλικία (ενώ για τη λεκτική βραχυπρόθεσμη μνήμη δεν έλαβαν υπόψη κάποια μοναδική διακύμανση). Οι Caravolas et al. (2013) αξιολόγησαν περαιτέρω την ανάγνωση έξι φορές μεταξύ του νηπιαγωγείου και του τέλους της Β' Δημοτικού. Η ανάλυσή τους επιβεβαίωσε προηγούμενα ευρήματα ότι η ανάπτυξη της ανάγνωσης προχωρά πιο αργά στα Αγγλικά από ό,τι στις πιο συνεπείς ορθογραφίες. Επιπλέον, τα προγνωστικά πρότυπα ανάπτυξης της ανάγνωσης ήταν παρόμοια σε τρεις ορθογραφίες (τα Σλοβακικά δεν συμπεριλήφθηκαν πλέον), με εξαίρεση ότι η πρώιμη γνώση γραμμάτων ήταν λιγότερο σημαντική στα Αγγλικά από ό,τι στα Ισπανικά και τα Τσεχικά. Οι συγγραφείς υποστήριξαν ότι οι αναπτυξιακές τροχιές θα προχωρούσαν ταχύτερα σε συνεπείς ορθογραφίες λόγω της υψηλής αξιοπιστίας των αντιστοιχιών γράμματος-ήχου, ενώ οι υποκείμενοι μηχανισμοί θα παρέμεναν ως επί το πλείστον καθολικοί, τουλάχιστον για τις αλφαβητικές ορθογραφίες. Ένας σημαντικός περιορισμός αυτής της μελέτης ήταν ότι οι γνωστικοί προγνωστικοί παράγοντες αξιολογήθηκαν μόνο μία φορά κατά την έναρξη της μελέτης, έτσι ώστε να μην μπορούν να εντοπιστούν πιθανές διαδραστικές σχέσεις με την ανάγνωση.

3. Έγκαιρη ανίχνευση δυσκολιών ανάγνωσης και η συμβολή της τεχνολογίας

3.1. Τι είναι η «έγκαιρη ανίχνευση»

Οι περισσότερες μελέτες ορίζουν την έγκαιρη ανίχνευση ως τον εντοπισμό του κινδύνου που διατρέχουν ορισμένα παιδιά για αναγνωστικές δυσκολίες οι οποίες θα εκδηλωθούν μεταγενέστερα, πριν ή κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών της επίσημης φοίτησης στο σχολείο (νηπιαγωγείο έως και 2^{α} Δημοτικού). Ορισμένες φορές, αυτές επεκτείνονται και στην προσχολική ηλικία. Οι βασικές δομές, σε αντιστοιχία με τους παράγοντες κινδύνου που αναφέρθηκαν πιο πάνω, περιλαμβάνουν:

- Φωνολογική επίγνωση (τμηματοποίηση, ανάμειξη blending, ομοιοκαταληξία).
- Γνώση γραμμάτων (αναγνώριση και ονομασία τους και γνώση του ήχου του) και αντιστοιχία γράμματος-ήχου.
- RAN.
- Έγκαιρη ως προς την ηλικία αποκωδικοποίηση και αναγνώριση λέξεων.
- Προφορικός (ομιλούμενος) λόγος (περιλαμβάνονται λεξιλόγιο, σύνταξη, αφήγηση).
- Ευχέρεια ανάγνωσης και ακρίβεια ανάγνωσης.

Ο προληπτικός έλεγχος και διαλογή όπως διεξάγεται ως τώρα βασίζεται σε σύντομες, προτυποποιημένες εργασίες που χορηγούνται στους μαθητές για να πραγματοποιηθούν ατομικά ή σε μικρές ομάδες. Η τεχνολογία προσθέτει συνεχείς, λεπτομερείς μετρήσεις στη διάρκεια της διαδικασίας, οι οποίες μπορούν να βελτιώσουν την πρόβλεψη και την επεκτασιμότητα (Alqahtani, 2024).

3.2. Γιατί είναι σημαντική η έγκαιρη ανίχνευση

Η έγκαιρη ανίχνευση των αναγνωστικών δυσκολιών είναι πιο αποτελεσματική όταν ο έλεγχος συμπεριφοράς συνδυάζεται με τεχνολογικά ενισχυμένα διαγνωστικά εργαλεία. Οι έρευνες δείχνουν ότι η μηχανική μάθηση (machine learning), η παρακολούθηση της κίνησης των οφθαλμών (eye-tracking) και τα προσαρμοστικά ψηφιακά περιβάλλοντα ανάγνωσης μπορούν να εντοπίσουν δείκτες κινδύνου νωρίτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με τις παραδοσιακές αξιολογήσεις και μόνο.

Οι πρώιμες αναγνωστικές δυσκολίες, είτε οφείλονται σε φωνολογικά ελλείμματα, σε αργή αποκωδικοποίηση, είτε σε αναδυόμενη δυσλεξία, προβλέπουν ότι οι μαθητές θα βρεθούν μακροπρόθεσμα μπροστά σε ακαδημαϊκές προκλήσεις, μειωμένη ικανότητα κατανόησης, ακόμη και σε αυξημένο κίνδυνο διακοπής της φοίτησης στο σχολείο. Ο εντοπισμός αυτών των δυσκολιών στα πρώτα χρόνια της φοίτησης επιτρέπει τη στοχευμένη παρέμβαση, πριν παγιωθούν οι αναγνωστικές συνήθειες (Foldnes et al., 2024).

Ο έγκαιρος προληπτικός έλεγχος και διαλογή συνήθως επικεντρώνεται σε βασικούς δείκτες.

Πρόκειται για τη φωνολογική επίγνωση (ομοιοκαταληξία, τμηματοποίηση), την αντιστοιχία μεταξύ γράμματος και ήχου, τη RAN, την ευχέρεια αποκωδικοποίησης, τα μοτίβα κινήσεων των ματιών (εστιάσεις, παλινδρομήσεις, σακκαδικές κινήσεις) και τους δείκτες συμπεριφοράς κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων ανάγνωσης που ανατίθενται στους μαθητές και με τις οποίους διαπιστώνονται σφάλματα, δισταγμοί και ο χρονισμός.

Η τεχνολογία πλέον ενισχύει την ακρίβεια και την επεκτασιμότητα των μετρήσεων αυτών των δεικτών.

3.3. Συμβολή της τεχνολογίας στην έγκαιρη ανίχνευση

1. Μηχανική μάθηση και πρόβλεψη βασισμένη στην εμπειρία που αποκομίζουν τα παιδιά από ένα παιχνίδι.

Η εμπειρία έγκειται στον συγκεκριμένο τρόπο με τον οποίο οι παίκτες αλληλεπιδρούν με ένα παιχνίδι, που περιλαμβάνει τους κανόνες, τις προκλήσεις, την πλοκή και τη συνολική εντύπωση από το παιχνίδι.

Μελέτες μεγάλης κλίμακας σε τάξεις δείχνουν ότι οι εφαρμογές (apps) γραμματισμού μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλο αριθμό δεδομένων για να γίνει η επεξεργασία τους στη συνέχεια (όπως χρόνους απόκρισης, μοτίβα σφάλματος). Αυτά χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα μηχανικής μάθησης, για να προβλέψουν δυσκολίες ανάγνωσης μήνες πριν από τις «παραδοσιακές» δοκιμασίες που χορηγούνται ως τώρα.

Σε μελέτη του 2024, στην οποία ο σκοπός ήταν να εντοπιστούν μαθητές που διατρέχουν κίνδυνο κατά την εισαγωγή στο σχολείο, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την εφαρμογή “GraphoGame”, που συλλέχθηκαν από 1.676 μαθητές της πρώτης δημοτικού. Η ακρίβεια που επιτεύχθηκε ήταν πολύ σημαντική, στο 75% (Foldnes et al., 2024).

Αυτό οφείλεται στα μοντέλα που ανιχνεύουν ανεπαίσθητες μεταβολές ή ιδιαιτερότητες στις πορείες που διαγράφει η μάθηση, οι οποίες δεν γίνονται αντιληπτές από τους εκπαιδευτικούς ή μόνο με τη διεξαγωγή προτυποποιημένων τεστ.

Έτσι θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στην σχολική καθημερινότητα ψηφιακές δραστηριότητες χαμηλού φόρτου, που λειτουργούν και ως εργαλεία προληπτικού ελέγχου και διαλογής.

2. Παρακολούθηση της κίνησης των οφθαλμών για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της δυσλεξίας

Η παρακολούθηση της κίνησης των οφθαλμών παρέχει αντικειμενικές, λεπτομερείς μετρήσεις της αναγνωστικής συμπεριφοράς, όπως τη διάρκεια προσήλωσης, τα σακκαδικά μοτίβα, τις παλινδρομήσεις, με τις οποίες διακρίνονται αξιόπιστα οι δυσλεξικοί/ές από τους/τις τυπικούς/ές αναγνώστες και αναγνώστριες.

Σε μια συστηματική ανασκόπηση του 2024 υπογραμμίζεται η αξία της παρακολούθησης της κίνησης των οφθαλμών στα πλαίσια του προληπτικού ελέγχου και διαλογής, της αξιολόγησης και της διάγνωσης, σημειώνοντας την δυνατότητα που προσθέτει, να αποκαλύπτονται δυσκολίες επεξεργασίας, ακόμη και πριν γίνουν εμφανή τα σφάλματα ανάγνωσης (Toki, 2024).

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που περιέχουν λειτουργίες παρακολούθησης της κίνησης των ματιών έχουν φτάσει να ταξινομούν τη δυσλεξία με ποσοστό ακρίβειας έως και 88,9%, ακόμη και με συσκευές χαμηλού κόστους (Vajs et al., 2023).

Η παρακολούθηση της κίνησης των ματιών γίνεται όλο και πιο προσιτή και μπορεί να υποστηρίξει την έγκαιρη πραγματοποίηση του προληπτικού ελέγχου και της διαλογής και την κλιμάκωσή τους αν χρειαστεί, σε σχολεία και κλινικές.

3. Διαγνωστικά εργαλεία με τεχνητή νοημοσύνη

Πρόσφατες αξιολογήσεις στις οποίες λαμβάνονται υπόψη γνώσεις νευροεπιστημών, δείχνουν ότι σε πιλοτικές μελέτες, τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ) που αναλύουν τις κινήσεις των ματιών, τη γραφή και την ευχέρεια ανάγνωσης μπορούν να ανιχνεύσουν τη δυσλεξία με ακρίβεια >80% (Niu et al., 2025).

Αυτά τα εργαλεία μπορούν να εντοπίσουν άτυπα πρότυπα οπτικοχρονικής επεξεργασίας (Donner, 2021), να παρέχουν εξατομικευμένα προφίλ ανάγνωσης και να υποστηρίξουν πολυγλωσσική και διαγλωσσική αξιολόγηση. Η ΤΝ δίνει μια επιπλέον δυνατότητα για πιο εξατομικευμένη, πολιτισμικά προσαρμόσιμη και έγκαιρη ανίχνευση.

4. Παρεμβάσεις ανάγνωσης ως διαγνωστικοί δείκτες βασισμένης στην τεχνολογία

Οι ψηφιακές παρεμβάσεις ανάγνωσης όχι μόνο υποστηρίζουν τη μάθηση, αλλά παράγουν και δεδομένα που αποκαλύπτουν επίμονες δυσκολίες.

Στη μετα-ανάλυση του Alqahtani (2024) διαπιστώθηκαν μέτρια μεγέθη επίδρασης από τις παρεμβάσεις ανάγνωσης που βασίζονται στην τεχνολογία και τονίστηκε η ικανότητά τους να υποστηρίζουν τους μαθητές με τα πιο σοβαρά ελλείμματα ανάγνωσης.

Οι προσαρμοστικές πλατφόρμες προσαρμόζουν τη δυσκολία σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας τους ειδικούς και εκπαιδευτικούς που τη χρησιμοποιούν για να ανιχνεύσουν ότι ένα παιδί δυσκολεύεται συνεχώς να αποκτήσει συγκεκριμένες δεξιότητες. Έτσι οι πλατφόρμες παρέμβασης λειτουργούν και ως συστήματα συνεχούς παρακολούθησης της προόδου.

3.4. Ενσωμάτωση της τεχνολογίας σε συστήματα έγκαιρης ανίχνευσης

Ένα ισχυρό πλαίσιο έγκαιρης ανίχνευσης συνδυάζει καθολικό (σε όλα τα παιδιά) ψηφιακό προληπτικό έλεγχο και διαλογή κατά την είσοδο στο σχολείο, στην πρώτη τάξη, συνεχή παρακολούθηση μέσω προσαρμοστικών εφαρμογών γραμματισμού και στοχευμένη αξιολόγηση με χρήση εργαλείων παρακολούθησης της κίνησης των οφθαλμών ή με υποστήριξη από την ΤΝ. Περιλαμβάνονται επίσης πίνακες ελέγχου που δίνουν τη δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να ερμηνεύουν όσα αναγράφονται σ’ αυτούς, προκειμένου να αξιοποιηθούν γνώσεις και συμπεράσματα, όπως και διασφαλίσεις σε θέματα δεοντολογίας και ηθικής (περιλαμβάνουν τη διασφάλιση του απορρήτου των δεδομένων των παιδιών, τη διαφάνεια στη χρήση τους, την ίση μεταχείριση), όπως τονίζεται και σε σχετικές έρευνες (Niu et al., 2025).

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης είναι να διερευνήσει τις τεχνολογικές προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρώιμη ανίχνευση, τον προληπτικό έλεγχο ή την πρόβλεψη αναγνωστικών δυσκολιών και της δυσλεξίας σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού σχολείου. Επιπλέον, επιδιώκεται η αποτύπωση των διαθέσιμων ερευνητικών δεδομένων σχετικά με τη διαγνωστική ή προγνωστική ακρίβεια, τη χρηστικότητα, καθώς και τους περιορισμούς των συγκεκριμένων τεχνολογιών κατά την εφαρμογή τους σε εκπαιδευτικά ή κλινικά πλαίσια.

Ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση οργανώνεται γύρω από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

RQ1. Ποιες τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρώιμη ανίχνευση ή τον προληπτικό έλεγχο αναγνωστικών δυσκολιών ή δυσλεξίας σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού σχολείου;

RQ2. Ποιους δείκτες αξιοποιούν οι τεχνολογικές αυτές μέθοδοι για την ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών, όπως η φωνολογική επίγνωση, η ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (Rapid Automatized Naming – RAN), η γνώση γραμμάτων, η αποκωδικοποίηση, η αναγνωστική ευχέρεια, οι οφθαλμικές κινήσεις, τα δεδομένα από ψηφιακά παιχνίδια ή η ανάλυση ομιλίας;

RQ3. Ποια στοιχεία αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τη διαγνωστική ή προγνωστική ακρίβεια, τη χρηστικότητα και τους περιορισμούς των τεχνολογικών αυτών προσεγγίσεων κατά την εφαρμογή τους σε σχολικό ή κλινικό πλαίσιο;

2. Μέθοδος

Στρατηγική και καταγραφή της βιβλιογραφικής αναζήτησης (Search Log)

Η βιβλιογραφική αναζήτηση πραγματοποιήθηκε σε διεθνώς αναγνωρισμένες επιστημονικές βάσεις δεδομένων που καλύπτουν τους τομείς της εκπαίδευσης, της ψυχολογίας, της ιατρικής και της εκπαιδευτικής τεχνολογίας. Συγκεκριμένα, η αναζήτηση

πραγματοποιήθηκε στις βάσεις δεδομένων Scopus, Web of Science, ERIC, PubMed/MEDLINE, APA PsycInfo (μέσω της πλατφόρμας APA PsycNet) και IEEE Xplore. Συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκε η ACM Digital Library, ενώ το Google Scholar αξιοποιήθηκε αποκλειστικά για την αναζήτηση πρόσθετων δημοσιεύσεων και τον εντοπισμό πιθανής γκρίζας βιβλιογραφίας. Οι πλατφόρμες ResearchGate και Academia.edu δεν χρησιμοποιήθηκαν ως κύριες βάσεις δεδομένων για τον εντοπισμό των μελετών, αλλά αποκλειστικά ως συμπληρωματικά μέσα για την ανάκτηση πλήρους κειμένου δημοσιεύσεων που είχαν ήδη εντοπιστεί μέσω των επιστημονικών βάσεων δεδομένων.

Για κάθε βάση δεδομένων διατηρήθηκε αναλυτικό αρχείο αναζήτησης (Search Log), στο οποίο καταγράφηκαν η ημερομηνία της αναζήτησης, η στρατηγική αναζήτησης (search string), τα εφαρμοζόμενα φίλτρα, ο αριθμός των αποτελεσμάτων που ανακτήθηκαν, καθώς και η εξαγωγή των βιβλιογραφικών εγγραφών στο λογισμικό διαχείρισης βιβλιογραφίας Zotero και στην πλατφόρμα Rayyan για την απομάκρυνση διπλότυπων εγγραφών και τη διαδικασία επιλογής των μελετών.

Οι στρατηγικές αναζήτησης προσαρμόστηκαν στη σύνταξη (syntax) και στις δυνατότητες κάθε βάσης δεδομένων, αξιοποιώντας συνδυασμούς ελεγχόμενων όρων (όπου ήταν διαθέσιμοι) και ελεύθερων λέξεων-κλειδιών με χρήση των λογικών τελεστών Boolean (AND, OR). Οι αναζητήσεις επικεντρώθηκαν σε τέσσερις βασικούς θεματικούς άξονες: (α) τις αναγνωστικές δυσκολίες και τη δυσλεξία, (β) την πρώιμη ανίχνευση ή πρόβλεψη, (γ) τις τεχνολογικές μεθόδους αξιολόγησης και (δ) τον παιδικό πληθυσμό προσχολικής και πρώτης σχολικής ηλικίας.

Η διαδικασία επιλογής των μελετών ακολούθησε τις αρχές της δήλωσης PRISMA 2022, περιλαμβάνοντας διαδοχικά στάδια εντοπισμού, απομάκρυνσης διπλότυπων εγγραφών, ελέγχου τίτλων και περιλήψεων, αξιολόγησης των πλήρων κειμένων και τελικής ένταξης των μελετών που πληρούσαν τα προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού.

Πίνακας 1. Στρατηγική αναζήτησης βιβλιογραφικών πηγών

Βάση δεδομένων	Ημερομηνία αναζήτησης	Search string	Φίλτρα	Αποτελέσματα	Εξήχθησαν σε Zotero/Rayyan
Scopus	30/6/2026	TITLE-ABS-KEY ((dyslexia OR "reading disorder*" OR "reading	Έτη: 2015–2026, Τύπος:	n= 142	Ναι

		difficult*" OR "reading disabilit*" OR "poor reader*" OR "literacy difficult*") AND (screen* OR "early detect*" OR "early identif*" OR predict* OR "diagnostic accuracy" OR assessment OR classification) AND (technolog* OR digital OR computer* OR tablet* OR app OR "machine learning" OR "artificial intelligence" OR "eye tracking" OR eye-track* OR "speech recognition" OR ASR OR "game-based" OR "serious game*" OR GraphoGame) AND (child* OR preschool* OR kindergarten OR "primary school" OR "elementary school" OR "grade 1" OR "grade 2" OR "grade 3")) AND PUBYEAR > 2014	Articles, Γλώσσα: English		
Web of Science	30/6/2026	TS=((dyslexia OR "reading disorder*" OR "reading difficult*" OR "reading disabilit*" OR	Έτη: 2015–2026, Article &	n= 93	Ναι

		"poor reader*" OR "literacy difficult*") AND (screen* OR "early detect*" OR "early identif*" OR predict* OR "diagnostic accuracy" OR assessment OR classification) AND (technolog* OR digital OR computer* OR tablet* OR app OR "machine learning" OR "artificial intelligence" OR "eye tracking" OR eye-track* OR "speech recognition" OR ASR OR "game-based" OR "serious game*" OR GraphoGame) AND (child* OR preschool* OR kindergarten OR "primary school" OR "elementary school" OR "grade 1" OR "grade 2" OR "grade 3"))	Proceedings, English		
PubMed/Medline	30/6/2026	("Dyslexia"[Mesh] OR dyslexia[tiab] OR "reading disorder*"[tiab] OR "reading difficult*"[tiab] OR "reading	2015–2026, Humans, English	n= 96	Ναι

		disabilit*"[tiab]) AND ("Mass Screening"[Mesh] OR screen*[tiab] OR "early detect*"[tiab] OR "early identif*"[tiab] OR predict*[tiab] OR assessment[tiab]) AND ("Artificial Intelligence"[Mesh] OR "Machine Learning"[Mesh] OR technolog*[tiab] OR digital[tiab] OR "eye tracking"[tiab] OR "speech recognition"[tiab] OR GraphoGame[tiab]) AND (child*[tiab] OR preschool*[tiab] OR kindergarten[tiab] OR "primary school"[tiab])			
ERIC	30/6/2026	(dyslexia OR "reading difficulties" OR "reading disabilities" OR "reading disorder" OR "poor readers") AND (screening OR "early identification" OR "early detection" OR prediction OR assessment) AND (technology OR digital	Peer-reviewed, 2015–2026, Journal Articles	n= 57	Ναι

		OR "computer-based" OR tablet OR app OR "machine learning" OR "artificial intelligence" OR "eye tracking" OR "speech recognition" OR "serious game" OR GraphoGame) AND (children OR preschool OR kindergarten OR "primary education" OR "elementary school")			
APA PsycInfo (APA PsycNet)	30/6/2026	(dyslexia OR "reading disorder*" OR "reading difficult*" OR "reading disabilit*" OR "poor reader*") AND (screen* OR "early detection" OR "early identification" OR predict* OR assessment) AND (technology OR digital OR "computer-based" OR tablet OR app OR "machine learning" OR "artificial intelligence" OR "eye tracking" OR "speech recognition" OR ASR OR "serious game*" OR GraphoGame) AND (child* OR preschool*	2015–2026, Empirical Study, Peer-reviewed, English	n= 65	Ναι

		OR kindergarten OR "primary school")			
IEEE Xplore	30/6/2026	("All Metadata":"dyslexia" OR "All Metadata":"reading difficulties") AND ("All Metadata":"screening" OR "All Metadata":"early detection" OR "All Metadata":"classification") AND ("All Metadata":"machine learning" OR "All Metadata":"artificial intelligence" OR "All Metadata":"eye tracking" OR "All Metadata":"speech recognition" OR "All Metadata":"mobile application") AND ("All Metadata":"children" OR "All Metadata":"primary school")	Journals & Conferences, 2015–2026	n= 38	Ναι
ACM Digital Library	30/6/2026	(dyslexia OR "reading difficulties" OR "reading disorder") AND (children OR "primary school" OR "elementary school")	Research Articles & Conference Papers, 2015–2026	n= 27	Ναι

		AND ("machine learning" OR "eye tracking" OR "speech recognition" OR "educational technology" OR "serious games" OR "digital assessment") AND (screening OR detection OR prediction OR classification OR assessment)			

Πέραν της συστηματικής αναζήτησης στις κύριες επιστημονικές βάσεις δεδομένων, πραγματοποιήθηκε συμπληρωματική αναζήτηση στο Google Scholar με σκοπό τον εντοπισμό επιπλέον σχετικών δημοσιεύσεων που ενδεχομένως δεν είχαν ανακτηθεί μέσω των κύριων βάσεων. Δεδομένου ότι το Google Scholar δεν υποστηρίζει σύνθετες στρατηγικές αναζήτησης με εκτεταμένους Boolean τελεστές και παρουσιάζει περιορισμένη αναπαραγωγιμότητα των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιήθηκαν σύντομες και στοχευμένες αναζητήσεις.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι όροι αναζήτησης:

- Prompt 1: *"early detection" dyslexia children technology screening*
- Prompt 2: *"reading difficulties" "machine learning" children screening*
- Prompt 3: *"dyslexia" "eye tracking" children screening*
- Prompt 4: *"reading fluency" "speech recognition" children assessment dyslexia*
- Prompt 5: *"GraphoGame" reading difficulties prediction children*
- Prompt 6 (ελληνική βιβλιογραφία):
    - *«αναγνωστικές δυσκολίες» «πρώιμη ανίχνευση» τεχνολογία*
    - *δυσλεξία «προληπτικός έλεγχος» «μηχανική μάθηση»*
    - *δυσλεξία «παρακολούθηση οφθαλμικών κινήσεων» παιδιά*

Για κάθε αναζήτηση εξετάστηκαν τα πρώτα 100 αποτελέσματα, σύμφωνα με τις προτεινόμενες πρακτικές για τη χρήση του Google Scholar σε συστηματικές ανασκοπήσεις. Οι δυνητικά σχετικές δημοσιεύσεις αξιολογήθηκαν με βάση τα προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού, ενώ οι βιβλιογραφικές εγγραφές που κρίθηκαν κατάλληλες εξήχθησαν στο Zotero και συμπεριλήφθηκαν στη διαδικασία ελέγχου μέσω της πλατφόρμας Rayyan. Το Google Scholar χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ως συμπληρωματική πηγή αναζήτησης και όχι ως κύρια βάση δεδομένων της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης.

Κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού

Για τη διασφάλιση της ποιότητας και της συνάφειας των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στην παρούσα συστηματική ανασκόπηση, καθορίστηκαν εκ των προτέρων συγκεκριμένα κριτήρια ένταξης και αποκλεισμού.

Κριτήρια ένταξης

Στην ανασκόπηση συμπεριλήφθηκαν πρωτογενείς εμπειρικές μελέτες που πληρούσαν όλα τα ακόλουθα κριτήρια:

- Αφορούσαν παιδιά προσχολικής ηλικίας και μαθητές των πρώτων τάξεων του δημοτικού σχολείου (έως την Γ΄ Δημοτικού), ηλικίας περίπου 4–9 ετών.
- Εστίαζαν στην πρώιμη ανίχνευση (early identification), τον προληπτικό έλεγχο (screening), την πρόβλεψη (prediction) ή τη διαγνωστική ταξινόμηση (diagnostic classification) αναγνωστικών δυσκολιών ή δυσλεξίας.
- Αξιοποιούσαν τεχνολογικά υποστηριζόμενες μεθόδους, όπως ψηφιακά τεστ, εφαρμογές για φορητές συσκευές ή tablets, υπολογιστικά εργαλεία, αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, συστήματα οφθαλμικής παρακολούθησης (eye-tracking), τεχνολογίες αναγνώρισης ομιλίας (Automatic Speech Recognition – ASR), εκπαιδευτικά ψηφιακά παιχνίδια (serious games) ή αξιολόγηση μέσω παιχνιδοποιημένων εφαρμογών (game-based assessment).
- Παρουσίαζαν αποτελέσματα σχετικά με τη διαγνωστική ή προγνωστική απόδοση των τεχνολογιών, όπως δείκτες ακρίβειας (accuracy), ευαισθησίας (sensitivity), ειδικότητας (specificity), εμβαδού κάτω από την καμπύλη ROC (Area Under the Curve – AUC), προγνωστικής εγκυρότητας (predictive validity), αποτελεσματικότητας του προληπτικού ελέγχου (screening performance) ή δεδομένα χρηστικότητας και εφαρμοσιμότητας (feasibility/usability).

- Ήταν πρωτογενείς εμπειρικές μελέτες διαγνωστικής ακρίβειας, προγνωστικές μελέτες, μελέτες διατομικής ταξινόμησης (cross-sectional classification studies) ή μελέτες επικύρωσης (validation studies).
- Δημοσιεύθηκαν κατά το χρονικό διάστημα 2015–2026.
- Ήταν δημοσιευμένες στην ελληνική ή στην αγγλική γλώσσα.
- Ήταν διαθέσιμες σε πλήρες κείμενο.

Κριτήρια αποκλεισμού

Από την ανασκόπηση αποκλείστηκαν μελέτες που:

- Εξέταζαν αποκλειστικά την αποτελεσματικότητα τεχνολογικών παρεμβάσεων για τη βελτίωση της αναγνωστικής επίδοσης, χωρίς να περιλαμβάνουν διαδικασίες πρώιμης ανίχνευσης, προληπτικού ελέγχου ή πρόβλεψης αναγνωστικών δυσκολιών.
- Αφορούσαν εφήβους ή ενήλικες, εκτός εάν τα δεδομένα για παιδιά προσχολικής ηλικίας ή των πρώτων τάξεων του δημοτικού παρουσιάζονταν διακριτά.
- Ήταν δευτερογενείς μελέτες, όπως συστηματικές ανασκοπήσεις ή μετα-αναλύσεις, οι οποίες αξιοποιήθηκαν μόνο για την τεκμηρίωση του θεωρητικού πλαισίου και όχι για τη σύνθεση των πρωτογενών ερευνητικών δεδομένων.
- Αναφέρονταν γενικά στην εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης ή άλλων ψηφιακών τεχνολογιών στην εκπαίδευση, χωρίς να εξετάζουν ειδικά την ανίχνευση ή την πρόβλεψη αναγνωστικών δυσκολιών ή δυσλεξίας.
- Παρουσίαζαν τεχνολογίες υποστηρικτικής μάθησης (assistive technologies), όπως εφαρμογές μετατροπής κειμένου σε ομιλία (text-to-speech), οι οποίες λειτουργούσαν αποκλειστικά ως εργαλεία υποστήριξης και όχι ως μέσα ανίχνευσης ή διαγνωστικής αξιολόγησης.
- Δεν ήταν διαθέσιμες σε πλήρες κείμενο ή προέρχονταν αποκλειστικά από μη αναπαραγώγιμες ή μη επιστημονικά τεκμηριωμένες πηγές, όπως αποθετήρια τύπου Academia.edu ή ResearchGate, χωρίς παράλληλη δημοσίευση σε έγκριτο επιστημονικό περιοδικό ή πρακτικά συνεδρίου.

Αυτό που παρατηρείται είναι η έντονη ετερογένεια προέλευσης των μελετών που θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν ή να αποκλειστούν στα πλαίσια συστηματικής ανασκόπησης, σχετικά με την εκπαίδευση παιδιών που παρουσιάζουν μειονεκτήματα στη δεξιότητα ανάγνωσης. Εντοπίζεται έντονος κατακερματισμός του αντικειμένου, ο οποίος

επεκτείνεται και στις μεθόδους έρευνας και στις τεχνολογικές λύσεις που ερευνώνται. Έτσι, τελικά, ενώ έχει καταβληθεί προσπάθεια να βρεθούν οι καταλληλότερες μελέτες, οι αριθμοί που αναφέρονται στο διάγραμμα PRISMA 22 δεν είναι δυνατό να επιβεβαιωθεί ότι είναι οριστικοί, αλλά αποτελούν μόνο μια καλή προσέγγιση όσων έχουν δημοσιευτεί έως τώρα.

3. Πλαίσιο PICO για την έγκαιρη ανίχνευση των αναγνωστικών δυσκολιών και τη συμβολή της τεχνολογίας

P (Population) - Πληθυσμός

Παιδιά από την προσχολική έως την Γ' τάξη (περίπου ηλικίες 4–9 ετών), τα οποία:

- διατρέχουν κίνδυνο για αναγνωστικές δυσκολίες,

- υποβάλλονται σε πρώιμο προληπτικό έλεγχο και διαλογή γραμματισμού (δεξιοτήτων ανάγνωσης και γραφής),

- φοιτούν σε βαθμίδες προσχολικής ή πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης ή δέχονται ήδη βοήθεια από ειδικό.

Η έγκαιρη ανίχνευση είναι πιο αποτελεσματική πριν οι αναγνωστικές δυσκολίες εδραιωθούν και οι περισσότερες μελέτες με τις οποίες αναζητούνται τρόποι για να εντοπιστούν τα προβλήματα με προγνωστική ακρίβεια επικεντρώνονται σε αυτό το αναπτυξιακό χρονικό παράθυρο.

I (Intervention) - Δοκιμασία παρέμβασης

Εργαλεία έγκαιρου ελέγχου με βελτιωμένη τεχνολογία, όπως:

- διαγνωστικά εργαλεία προληπτικής ανίχνευσης γραμματισμού που λειτουργούν σε υπολογιστή ή tablet,

- μοντέλα μηχανικής μάθησης που ενσωματώνουν ανάλυση δεδομένων από συμμετοχή σε παιχνίδι ή από καταγραφές σε ψηφιακά ημερολόγια,

- συστήματα παρακολούθησης της κίνησης των οφθαλμών για να εντοπιστούν δείκτες πρώιμης δυσλεξίας,

- αξιολογήσεις προφορικής ανάγνωσης που βασίζονται σε ανάλυση ομιλίας ή ASR,

- προσαρμοστικές ψηφιακές πλατφόρμες ανάγνωσης που δημιουργούν δεδομένα διαγνωστικής διαδικασίας.

Αυτά τα εργαλεία παρέχουν αυτοματοποιημένη βαθμολόγηση, λεπτομερείς μετρήσεις συμπεριφοράς και προγνωστικά αναλυτικά στοιχεία, πέρα από τις παραδοσιακές αξιολογήσεις.

C (Comparison) - Τρόποι σύγκρισης

- Συμβατικά εργαλεία έγκαιρου ελέγχου του γραμματισμού, όπως:

- Εργασίες φωνολογικής επίγνωσης

- Δοκιμασίες γνώσης (αντιστοιχίας) γραμμάτων-ήχων (ή φθόγγων)

- RAN

- Μετρήσεις αποκωδικοποίησης και ευχέρειας που καταγράφονται με συμβατικό τρόπο, σε χαρτί.

- Αξιολογήσεις με την κρίση του εκπαιδευτικού ή προτυποποιημένες αξιολογήσεις αναφοράς.

- Κλινικές διαγνωστικές αξιολογήσεις (για δυσλεξία ή διαταραχή ανάγνωσης).

Τα συγκριτικά εργαλεία ενδέχεται να διαφέρουν ανάλογα με τον σχεδιασμό κάθε μελέτης. Για παράδειγμα, οι μελέτες διαγνωστικής ακρίβειας διαφέρουν από τις μελέτες προγνωστικής εγκυρότητας.

O (Outcome) - Αποτελέσματα/Εκβάσεις

Πρωτεύουσες εκβάσεις:

- Διαγνωστική ακρίβεια (ευαισθησία, εξειδίκευση, AUC) για τον εντοπισμό παιδιών που διατρέχουν κίνδυνο δυσκολιών στην ανάγνωση

- Προγνωστική εγκυρότητα για μεταγενέστερες εκβάσεις ανάγνωσης όπως ανάγνωση λέξεων, αποκωδικοποίηση, ευχέρεια, κατανόηση

- Ακρίβεια ταξινόμησης για δυσλεξία ή για σοβαρή βλάβη που προκαλεί δυσκολία στην ανάγνωση.

Δευτερεύουσες εκβάσεις:

- Σκοπιμότητα και χρηστικότητα σε σχολικά περιβάλλοντα

- Αποδοτικότητα (χρόνος, κόστος, επεκτασιμότητα μετρήσεων και αποτελεσμάτων)

- Σταδιακή εγκυρότητα πέρα από τον συμβατικό προληπτικό έλεγχο και διαλογή

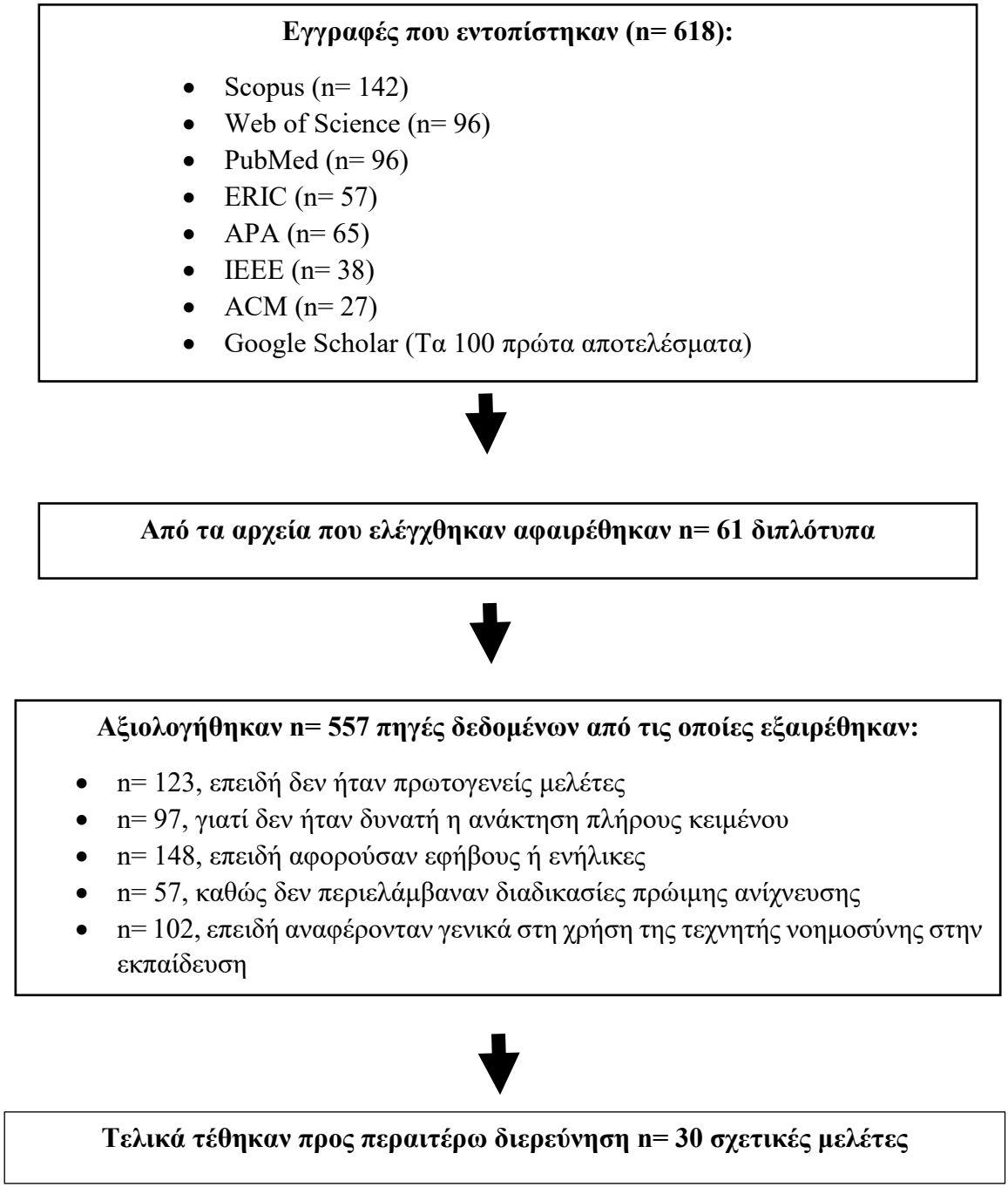
- Ζητήματα ίσης μεταχείρισης (να αποδίδουν οι μετρήσεις σε όλες τις γλώσσες που μιλούν τα παιδιά, ομάδες SES, πολύγλωσσοι μαθητές)

Συνοπτικά, η μελέτη αφορά σε παιδιά προσχολικής και πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στις πρώτες τάξεις (P), για να εντοπιστούν βελτιώσεις των τεχνολογικά ενισχυμένων εργαλείων πρώιμου προληπτικού ελέγχου και διαλογής (I), σε σύγκριση με τους συμβατικούς προληπτικούς ελέγχους γραμματισμού, ή με την κρίση των εκπαιδευτικών (C). Ερευνάται επίσης η ακρίβεια, η αποτελεσματικότητα και η προγνωστική εγκυρότητα της έγκαιρης ανίχνευσης των δυσκολιών ανάγνωσης, σε μικρές ηλικίες (O).

4. Διάγραμμα ροής PRISMA 22

Η στρατηγική αναζήτησης των δεδομένων για τη διερεύνηση των βασικών ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα.

Διάγραμμα 1. Διάγραμμα ροής επιλογής ερευνών



5. Αποτελέσματα

Οι πηγές που έχουν συμπεριληφθεί στην ανασκόπηση αφορούν πρωτογενείς μελέτες που αποτυπώνουν δεδομένα σχετικά με την ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών/δυσλεξίας σε παιδιά και τη συμβολή της τεχνολογίας. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει κάποια χαρακτηριστικά των μελετών αυτών, για να είναι εφικτός ο συγκριτικός συσχετισμός των πληροφοριών που αντλούνται.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά μελετών που ανασκοπήθηκαν

Κατηγορία 1. Μελέτες που αξιοποιούν τεχνολογία Eye-tracking					
Συγγραφείς	**Χώρα**	**Δείγμα**	**Τεχνολογία**	**Σκοπός**	**Ευρήματα**
Rello & Ballesteros (2015)	Ισπανία	97 μαθητές δημοτικού με και χωρίς δυσλεξία	Σύστημα eye-tracking (Tobii) και αλγόριθμος Support Vector Machine (SVM) για την αυτόματη ταξινόμηση ατόμων με δυσλεξία	Να διερευνηθεί κατά πόσο τα δεδομένα των οφθαλμικών κινήσεων κατά την ανάγνωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν, σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, για την ανίχνευση της δυσλεξίας και των αναγνωστικών δυσκολιών	Το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια ταξινόμησης περίπου 80% (80,18%), δείχνοντας ότι χαρακτηριστικά όπως η επίμονη εστίαση (fixations) και οι σακκαδικές κινήσεις (saccades) αποτελούν αξιόπιστους δείκτες για την αυτοματοποιημένη ανίχνευση της δυσλεξίας και της αναγνωστικής δυσχέρειας. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η προσέγγιση μπορεί

					να λειτουργήσει ως υποστηρικτικό εργαλείο για τη διαγνωστική αξιολόγηση
Nilsson Benfatto et al. (2016)	Σουηδία	185 παιδιά ηλικίας 6–8 ετών.	Σύστημα eye-tracking κατά τη σιωπηρή ανάγνωση σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την ανάπτυξη μοντέλων ταξινόμησης.	Να διερευνηθεί κατά πόσο τα δεδομένα των οφθαλμικών κινήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αντικειμενικό εργαλείο για την πρώιμη ανίχνευση παιδιών που διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης επίμονων αναγνωστικών δυσκολιών ή δυσλεξίας.	Η μελέτη έδειξε ότι η χρήση τεχνολογίας eye-tracking σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης μπορεί να υποστηρίξει την πρώιμη ανίχνευση παιδιών υψηλού κινδύνου για αναγνωστικές δυσκολίες, επιτυγχάνοντας ακρίβεια 95,6%, ευαισθησία 95,5% και ειδικότητα 95,7%. Η ταξινόμηση βασίστηκε κυρίως σε δείκτες των οφθαλμικών κινήσεων, όπως η διάρκειατου εστιασμένου βλέμματος, το μήκος των

					σακκαδικών κινήσεων και οι παλίνδρομες κινήσεις. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι το εργαλείο αποτελεί μια γρήγορη και αντικειμενική μέθοδο προσυμπτωματικού ελέγχου, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά στις καθιερωμένες διαγνωστικές διαδικασίες.
Smyrnakis et al. (2017)	Ελλάδα	69 παιδιά ηλικίας 6,5-8,5 ετών (37 τυπικοί αναγνώστες και 32 παιδιά με διαγνωσμένη δυσλεξία)	Σύστημα RADAR (Rapid Assessment of Difficulties and Abnormalities in Reading), το οποίο αξιοποιεί eye-tracking κατά τη σιωπηρή ανάγνωση. Οι καταγραφές αναλύθηκαν μέσω ενός σύνθετου δείκτη	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένα γρήγορο, αυτοματοποιημένο και μη παρεμβατικό εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου για την ανίχνευση παιδιών με υψηλό κίνδυνο δυσλεξίας, μέσω της ανάλυσης των οφθαλμικών	Το σύστημα RADAR ταξινόμησε σωστά το 94,2% των παιδιών, παρουσιάζοντας ευαισθησία 93,8% και ειδικότητα 94,6%. Οι σημαντικότεροι δείκτες που αξιοποιήθηκαν ήταν η εστίαση, το μήκος των

			(Total Reading Score – TRS) που βασίζεται σε παραμέτρους των οφθαλμικών κινήσεων.	κινήσεων κατά την ανάγνωση.	σακκαδικών κινήσεων, οι σύντομες παλίνδρομες σακκαδικές κινήσεις. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι το RADAR αποτελεί ένα γρήγορο, αξιόπιστο και αυτοματοποιημένο εργαλείο πρώιμου προσυμπτωματικού ελέγχου, κατάλληλο για εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας σχολικά προγράμματα ανίχνευσης, χωρίς όμως να αντικαθιστά την ολοκληρωμένη διαγνωστική αξιολόγηση.
Moiroud et al. (2018)	Γαλλία	39 παιδιά, χωρισμένα σε τρεις ομάδες: • 13 παιδιά με	Eye-tracking (σύστημα SuriCog) κατά την εκτέλεση του Developmental	Να διερευνηθεί αν η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων κατά τη διάρκεια του DEM test μπορεί να αναδείξει διαφορές	Τα παιδιά με δυσλεξία εμφάνισαν σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια εστίασης και χρειάστηκαν

		διαγνωσμένη δυσλεξία, • 13 τυπικοί αναγνώστες αντίστοιχης χρονολογικής ηλικίας και IQ, • 13 τυπικοί αναγνώστες αντίστοιχου αναγνωστικού επιπέδου και IQ.	Eye Movement (DEM) Test.	μεταξύ παιδιών με δυσλεξία και τυπικών αναγνωστών και να αξιολογηθεί η χρησιμότητα του DEM ως εργαλείου διερεύνησης της οφθαλμοκινητικής συμπεριφοράς κατά την ανάγνωση.	περισσότερο χρόνο για να ολοκληρώσουν το DEM Test C σε σύγκριση με τους τυπικούς αναγνώστες ίδιας χρονολογικής ηλικίας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε σημαντική συσχέτιση μεταξύ της διάρκειας του εστιασμένου βλέμματος, της αναγνωστικής ευχέρειας (λέξεις ανά λεπτό) και του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης της δοκιμασίας. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι ο συνδυασμός του DEM test με τεχνολογία eye-tracking αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της οφθαλμοκινητικής συμπεριφοράς παιδιών με

					δυσλεξία, αν και απαιτούνται μεγαλύτερες μελέτες για την επιβεβαίωση των ευρημάτων.
Asvestopoulou et al. (2019)	Ελλάδα	69 ελληνόφωνα παιδιά ηλικίας 8 – 10 ετών**,** από τα οποία 32 είχαν διαγνωσμένη δυσλεξία και 37 ήταν τυπικοί αναγνώστες**.**	Eye-tracking σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης (Linear SVM, Naive Bayes, K-means) για την ανάπτυξη του συστήματος DysLexML.	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου της αναπτυξιακής δυσλεξίας, το οποίο χρησιμοποιεί δεδομένα οφθαλμικών κινήσεων και τεχνικές μηχανικής μάθησης, με στόχο την έγκαιρη ανίχνευση παιδιών που διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης αναγνωστικών δυσκολιών	Η μελέτη έδειξε ότι το σύστημα DysLexML μπορεί να ανιχνεύσει με υψηλή αξιοπιστία παιδιά με δυσλεξία, επιτυγχάνοντας ακρίβεια 97% με χρήση μοντέλου Linear SVM. Η ταξινόμηση βασίστηκε κυρίως σε δείκτες των οφθαλμικών κινήσεων, όπως το μήκος των σακκαδικών κινήσεων (saccade length), ο αριθμός των σύντομων προοδευτικών κινήσεων (short forward movements) και ο αριθμός των λέξεων με

					πολλαπλές καθηλώσεις (multiply fixated words). Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο διατηρεί υψηλή απόδοση ακόμη και όταν τα δεδομένα περιέχουν θόρυβο, γεγονός που υποδηλώνει ότι μπορεί να αξιοποιηθεί σε πραγματικές σχολικές συνθήκες με οικονομικότερα συστήματα eye-tracking. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι η τεχνολογία αυτή μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη ανίχνευση παιδιών που χρειάζονται περαιτέρω αξιολόγηση και πρώιμη παρέμβαση.

Gran Ekstrand et al. (2021)	Σουηδία	Η κύρια βάση δεδομένων προήλθε από 3.444 screenings μαθητών Α΄–Γ΄ Δημοτικού (35 σχολεία). Για τη μελέτη επικύρωσης αξιολογήθηκαν νευροψυχολογικά 8 παιδιά που είχαν χαρακτηριστεί υψηλού κινδύνου από το σύστημα eye-tracking	Eye-tracking (Lexplore) και Machine Learning (Support Vector Machine) για την πρόβλεψη κινδύνου αναγνωστικών δυσκολιών	Να διερευνηθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα ενός συστήματος screening με eye-tracking συμφωνούν με τα ευρήματα μιας εξειδικευμένης νευροψυχολογικής αξιολόγησης	Τα παιδιά που εντοπίστηκαν από το σύστημα eye-tracking εμφάνισαν σημαντικές δυσκολίες στην ανάγνωση και την αποκωδικοποίηση κατά τη νευροψυχολογική αξιολόγηση. Τα ευρήματα υποστηρίζουν ότι το eye-tracking αποτελεί έγκυρο και αντικειμενικό εργαλείο screening για τον εντοπισμό παιδιών που χρειάζονται περαιτέρω αξιολόγηση και υποστήριξη
Andreadakis et al. (2022)	Ελλάδα	137 ελληνόφωνοι μαθητές δημοτικού (συμπεριλαμβάνεται και μια κατηγορία εφήβων), από τους οποίους 69 είχαν διαγνωσμένη αναπτυξιακή δυσλεξία και 68	Eye-tracking κατά τη σιωπηρή ανάγνωση και ανάπτυξη αλγορίθμου ταξινόμησης για την ανίχνευση μαθητών με δυσλεξία, βασισμένου	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένας αλγόριθμος που αξιοποιεί δεδομένα από την τεχνολογία eye-tracking για τον εντοπισμό μαθητών με δυσλεξία κατά την	Η μελέτη έδειξε ότι ο αλγόριθμος ταξινόμησε σωστά το 90% των μαθητών. Συγκεκριμένα, αναγνώρισε σωστά 63 από τους 68 τυπικούς αναγνώστες

		ήταν τυπικοί αναγνώστες.	στην ανάλυση της αναγνωστικής διαδρομής των ματιών.	ανάγνωση ελληνικών κειμένων και να διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης του ως εργαλείου προσυμπτωματικού ελέγχου στο σχολικό πλαίσιο.	(ειδικότητα 93%) και 60 από τους 69 μαθητές με δυσλεξία (ευαισθησία 87%). Η ταξινόμηση βασίστηκε σε δείκτες των οφθαλμικών κινήσεων που καταγράφουν τη μοναδική αναγνωστική πορεία κάθε μαθητή κατά τη σιωπηρή ανάγνωση. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το εργαλείο μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη ανίχνευση μαθητών με αναγνωστικές δυσκολίες και να χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με τις καθιερωμένες διαγνωστικές διαδικασίες για τον σχεδιασμό εξατομικευμένων

					παρεμβάσεων και την παρακολούθηση της προόδου τους.
Vajs et al. (2023)	Σερβία	15 δυσλεκτικά και 15 νευροτυπικά παιδιά σχολικής ηλικίας	Eye-tracking (παρακολούθηση κινήσεων ματιών κατά την ανάγνωση) με εξαγωγή ερμηνεύσιμων χαρακτηριστικών (π.χ. fixations, saccades, διάρκεια προσήλωσης) και εφαρμογή μοντέλων μηχανικής μάθησης για ανίχνευση δυσλεξίας και παροχή real-time feedback.	Να διερευνηθεί αν μπορούν να ανιχνευθούν έγκαιρα μαθητές με δυσλεξία ή αναγνωστικές δυσκολίες μέσω χαρακτηριστικών από eye-tracking κατά τη διάρκεια ανάγνωσης, και να αναπτυχθεί ένα σύστημα που δίνει πραγματικού χρόνου ανατροφοδότηση (real-time feedback) ώστε να είναι πιο προσβάσιμη η διάγνωση και η υποστήριξη.	Οι προτεινόμενες, ερμηνεύσιμες χαρακτηριστικές μετρήσεις από τα δεδομένα eye-tracking (π.χ. μοτίβα κινήσεων των ματιών, σταθεροποιήσεις) κατάφεραν να διαχωρίσουν αποτελεσματικά δυσλεξικούς και μη μαθητές, με υψηλή ακρίβεια (~88–89%). Επιπλέον, έδειξαν ότι μπορούν να λειτουργήσουν και σε χαμηλότερη συχνότητα καταγραφής, κάτι που τις κάνει πιο πρακτικές και “low-cost” για πραγματικές εφαρμογές

Cogan et al. (2025)	Ιρλανδία	Παιδιά σχολικής ηλικίας με και χωρίς δυσλεξία, τα οποία συμμετείχαν σε δοκιμασία ανάγνωσης ενώ καταγράφονταν οι οφθαλμικές κινήσεις τους	Σύστημα eye-tracking σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την ανάπτυξη ενός «δείκτη δυσλεξίας» (dyslexia indicator)	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένας αντικειμενικός δείκτης που βασίζεται στις οφθαλμικές κινήσεις κατά την ανάγνωση και μπορεί να συμβάλει στην έγκαιρη αναγνώριση παιδιών με πιθανή δυσλεξία και αναγνωστικές δυσκολίες	Η μελέτη έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά των οφθαλμικών κινήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός αξιόπιστου δείκτη ανίχνευσης δυσλεξίας. Ο συνδυασμός eye-tracking και Machine Learning παρουσίασε ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως εργαλείο υποστήριξης του προσυμπτωματικού ελέγχου, αν και οι συγγραφείς επισημαίνουν την ανάγκη αξιολόγησης του μοντέλου σε μεγαλύτερα και πιο ετερογενή δείγματα
Berns-Conner et al. (2026)	ΗΠΑ	29 μαθητές Α΄–Γ΄ Δημοτικού: 12 με αναγνωστική δυσκολία (RD) και 17 χωρίς	Lexplore (AI-based reading screener), Tobii Eye Tracker 5, καταγραφή	Να διερευνηθεί εάν οι δείκτες οφθαλμικών κινήσεων που παρέχει το	Οι μαθητές με αναγνωστικές δυσκολίες εμφάνισαν σημαντικά

		αναγνωστική δυσκολία	οφθαλμικών κινήσεων (μέση διάρκεια προσήλωσης και ποσοστό προσήλωσης), με ενσωματωμένους αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης. Οι ερευνητές ανέλυσαν τα αποτελέσματα του συστήματος με στατιστικές μεθόδους και δεν εκπαίδευσαν νέο μοντέλο AI	Lexplore μπορούν να διακρίνουν μαθητές με και χωρίς αναγνωστικές δυσκολίες και να υποστηρίξουν τον έγκαιρο προσυμπτωματικό έλεγχο στο σχολείο	μεγαλύτερη διάρκεια καθηλώσεων και υψηλότερο ποσοστό καθηλώσεων σε σχέση με τους τυπικούς αναγνώστες. Τα ευρήματα υποστηρίζουν ότι το eye-tracking μπορεί να αποτελέσει ένα γρήγορο, αντικειμενικό και οικονομικό εργαλείο screening, χωρίς όμως να αντικαθιστά την ολοκληρωμένη διαγνωστική αξιολόγηση
Κατηγορία 2. Μελέτες που αφορούν την τεχνολογία Digital Assessment / Serious Games					
Hautala et al. (2020)	Φινλανδία	723 μαθητές από την Α΄ έως τη Γ΄ Δημοτικού, οι οποίοι συμμετείχαν σε ομαδική αξιολόγηση με χρήση tablets.	Ψηφιακό σύστημα Game-Based Assessment (GBA) σε περιβάλλον εκπαιδευτικού παιχνιδιού, το οποίο	Να διερευνηθεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα ενός ψηφιακού παιχνιδοποιημένου εργαλείου αξιολόγησης για τον εντοπισμό μαθητών με	Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ψηφιακό εργαλείο αξιολόγησης μπορεί να εντοπίσει αξιόπιστα μαθητές με αναγνωστικές δυσκολίες,

			χορηγήθηκε μέσω tablet και συγκρίθηκε με παραδοσιακές δοκιμασίες χαρτιού-μολυβιού.	αναγνωστικές δυσκολίες και να εξεταστεί κατά πόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γρήγορο και οικονομικό εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου στο σχολικό περιβάλλον.	παρουσιάζοντας ιδιαίτερα υψηλή αποτελεσματικότητα στην αξιολόγηση της αναγνωστικής ευχέρειας σε σύγκριση με την αναγνωστική ακρίβεια. Η συνολική αξιοπιστία του συστήματος ήταν υψηλή, ενώ η ταξινόμηση με βάση τις ακατέργαστες βαθμολογίες παρουσίασε καλύτερη απόδοση από τις βαθμολογίες προσαρμοσμένες ανά τάξη. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι η παιχνιδοποιημένη ψηφιακή αξιολόγηση αποτελεί μια έγκυρη, οικονομική και εύχρηστη λύση για τον μαζικό

					προσυμπτωματικό έλεγχο μαθητών στο σχολείο και μπορεί να ενσωματωθεί σε εκπαιδευτικά παιχνίδια που υποστηρίζουν την ανάπτυξη της ανάγνωσης.
Rello et al. (2020)	Ισπανία	Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε περισσότερους από 3.600 συμμετέχοντες για την ανάπτυξη του μοντέλου και σε δεύτερο ανεξάρτητο δείγμα άνω των 1.300 συμμετεχόντων για την επαλήθευση της αξιοπιστίας του.	Διαδικτυακό παιχνιδοποιημένο τεστ (online gamified test) σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη του κινδύνου δυσλεξίας.	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένα διαδικτυακό, παιχνιδοποιημένο εργαλείο που επιτρέπει τον γρήγορο και εύχρηστο προσυμπτωματικό έλεγχο για τον εντοπισμό ατόμων με αυξημένο κίνδυνο δυσλεξίας, αξιοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης.	Το μοντέλο εντόπισε σωστά πάνω από το 80% των συμμετεχόντων με δυσλεξία στο αρχικό δείγμα. Στο ανεξάρτητο δείγμα επαλήθευσης, πέτυχε ανάκληση (recall) μεγαλύτερη από 78**%** για παιδιά μεγαλύτερης ηλικίας**,** αποδεικνύοντας ότι η απόδοσή του διατηρείται και σε διαφορετικό περιβάλλον χρήσης (tablet). Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι

					ένα παιχνιδοποιημένο ψηφιακό τεστ, σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, μπορεί να αποτελέσει αποτελεσματικό εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου μεγάλης κλίμακας, ενώ το εργαλείο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από περισσότερους από 200.000 χρήστες
Thomson et al. (2020)	Νορβηγία	137 παιδιά ηλικίας περίπου 6 ετών (Α΄ Δημοτικού), τα οποία συμμετείχαν στο πρόγραμμα On Track. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν το GraphoGame για 25 εβδομάδες και καταγράφηκαν όλα τα δεδομένα της αλληλεπίδρασής τους με το παιχνίδι.	GraphoGame (serious game) και ανάλυση των δεδομένων παιχνιδιού (learning analytics) μέσω μοντέλων λανθάνουσας καμπύλης ανάπτυξης (latent growth curve analysis), ώστε να προβλεφθούν οι	Να διερευνηθεί κατά πόσο τα δεδομένα που συλλέγονται αυτόματα από τη χρήση ενός ψηφιακού εκπαιδευτικού παιχνιδιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δυναμικό εργαλείο αξιολόγησης και να προβλέψουν με	Η πρόοδος των παιδιών μέσα στο **GraphoGame** προέβλεψε τις μελλοντικές αναγνωστικές επιδόσεις καλύτερα από τον αρχικό δείκτη κινδύνου που είχε υπολογιστεί κατά την έναρξη της σχολικής χρονιάς. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι

			μελλοντικές αναγνωστικές επιδόσεις	μεγαλύτερη ακρίβεια τις μελλοντικές αναγνωστικές δεξιότητες των παιδιών σε σύγκριση με τις παραδοσιακές αξιολογήσεις που πραγματοποιούνται μόνο κατά την έναρξη της φοίτησης	διαφορετικές τροχιές μάθησης μέσα στο παιχνίδι εξηγούσαν σημαντικό μέρος της διακύμανσης στις αναγνωστικές δεξιότητες στο τέλος της Α΄ Δημοτικού. Τα αποτελέσματα υποστηρίζουν ότι τα δεδομένα χρήσης ενός ψηφιακού εκπαιδευτικού παιχνιδιού μπορούν να αξιοποιηθούν ως μη παρεμβατικό εργαλείο έγκαιρης ανίχνευσης και πρόβλεψης αναγνωστικών δυσκολιών, μειώνοντας την ανάγκη για συχνές συμβατικές δοκιμασίες αξιολόγησης
Vanden Bempt et al. (2021)	Βέλγιο	Από αρχικό σχολικό προσυμπτωματικό	GraphoGame Flemish (GG-FL), ένα	Να αξιολογηθεί κατά πόσο ένα προσαρμοσμένο	Τα παιδιά που χρησιμοποίησαν το GraphoGame

		έλεγχο 1.225 παιδιών προσχολικής ηλικίας (4–5 ετών), επιλέχθηκαν 88 παιδιά υψηλού γνωστικού κινδύνου για δυσλεξία και κατανεμήθηκαν σε ομάδα GraphoGame, ομάδα ελέγχου και ομάδα χωρίς παρέμβαση	ψηφιακό παιχνίδι εκμάθησης φωνολογικών δεξιοτήτων και αντιστοίχισης γραφήματος–φωνήματος (serious game).	ψηφιακό παιχνίδι μπορεί να ενισχύσει βασικές προαναγνωστικές δεξιότητες σε παιδιά υψηλού κινδύνου για δυσλεξία και να διερευνηθεί η χρησιμότητά του στο πλαίσιο της πρώιμης υποστήριξης	παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη βελτίωση στη γνώση γραμμάτων και στην αποκωδικοποίηση λέξεων σε σύγκριση με τις ομάδες ελέγχου. Δεν διαπιστώθηκαν αντίστοιχες βελτιώσεις σε μη εκπαιδευμένες δεξιότητες, όπως η ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (RAN) και το λεξιλόγιο. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το GraphoGame μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο ψηφιακό εργαλείο για την υποστήριξη παιδιών που έχουν ήδη εντοπιστεί ως υψηλού κινδύνου μέσω πρώιμου

					προσυμπτωματικού ελέγχου
Rauschenberger et al. (2022)	Γερμανία, Ισπανία και ΗΠΑ	313 παιδιά, εκ των οποίων 116 είχαν διαγνωσμένη δυσλεξία. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω ενός διαδικτυακού παιχνιδιού (web-game) σε δύο γλώσσες (γερμανικά και ισπανικά).	Διαδικτυακό παιχνιδοποιημένο εργαλείο (web-game) σε συνδυασμό με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης (Random Forest, Extra Trees, Gradient Boosting). Το παιχνίδι αξιολογεί οπτικές και ακουστικές δεξιότητες που σχετίζονται με τη δυσλεξία, χωρίς να απαιτεί αναγνωστική ικανότητα ή γλωσσική γνώση	Να αναπτυχθεί και να αξιολογηθεί ένα καθολικό (language-independent) εργαλείο προσυμπτωματικού ελέγχου της δυσλεξίας, το οποίο χρησιμοποιεί ένα διαδικτυακό παιχνίδι και τεχνικές μηχανικής μάθησης, ώστε να εντοπίζει παιδιά υψηλού κινδύνου ακόμη και πριν αποκτήσουν πλήρως αναγνωστικές δεξιότητες	Τα καλύτερα μοντέλα μηχανικής μάθησης πέτυχαν ακρίβεια 74% για το γερμανικό δείγμα και 69% για το ισπανικό δείγμα, με F1-score 0,75 και στις δύο γλώσσες. Η αξιολόγηση βασίστηκε σε οπτικές και ακουστικές δραστηριότητες του παιχνιδιού, επιτρέποντας την ανίχνευση παιδιών με αυξημένο κίνδυνο δυσλεξίας χωρίς να απαιτείται ανάγνωση κειμένου. Οι συγγραφείς επισημαίνουν ότι το εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μαζικό προσυμπτωματικό έλεγχο, είναι εύκολα

					προσβάσιμο μέσω διαδικτύου και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον εντοπισμό παιδιών προσχολικής ηλικίας ή προαναγνωστών, διευκολύνοντας την έγκαιρη παραπομπή για εξειδικευμένη αξιολόγηση
Foldnes et al. (2024)	Νορβηγία	1676 μαθητές Α΄ Δημοτικού	Εκπαιδευτικό παιχνίδι GraphoGame + machine learning (ανάλυση gameplay δεδομένων)	Να εξεταστεί αν δεδομένα από τις πρώτες εβδομάδες χρήσης ενός εκπαιδευτικού παιχνιδιού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έγκαιρη ανίχνευση μαθητών που θα εμφανίσουν αναγνωστικές δυσκολίες στο τέλος της Α’ Δημοτικού, ώστε να υποστηριχθεί η πρώιμη παρέμβαση στο σχολείο	Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης που βασίστηκαν σε χαρακτηριστικά από το gameplay (π.χ. ακρίβεια, χρόνοι αντίδρασης, πρόοδος στο παιχνίδι) κατάφεραν να προβλέψουν με ικανοποιητική ακρίβεια (περίπου 72–82%) ποιοι μαθητές θα καταλήξουν σε ομάδα χαμηλής αναγνωστικής

					επίδοσης, δείχνοντας ότι τα ψηφιακά ίχνη μάθησης μπορούν να λειτουργήσουν ως αξιόπιστος πρώιμος δείκτης κινδύνου
Κατηγορία 3. Μελέτες που σχετίζονται με Machine learning / AI prediction – Εργαλεία Screening					
Catts et al. (2015)	ΗΠΑ	366 παιδιά από το νηπιαγωγείο έως τη Β΄ Δημοτικού	Καθολικός προσυμπτωματικός έλεγχος (universal screening) και συνεχής παρακολούθηση της προόδου (progress monitoring) με ψηφιακή καταγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων.	Να διερευνηθεί αν ο συνδυασμός καθολικού screening και συστηματικής παρακολούθησης της προόδου μπορεί να εντοπίσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τα παιδιά που θα εμφανίσουν αναγνωστικές δυσκολίες στο πλαίσιο του μοντέλου Response to Intervention (RTI)	Ο συνδυασμός των αρχικών δοκιμασιών screening με τη συνεχή παρακολούθηση της αναγνωστικής προόδου βελτίωσε σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού των παιδιών υψηλού κινδύνου. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι η αξιολόγηση δεν πρέπει να βασίζεται σε μία μόνο μέτρηση, αλλά σε επαναλαμβανόμενα δεδομένα προόδου, ώστε να μειώνονται τα

					ψευδώς θετικά και τα ψευδώς αρνητικά αποτελέσματα και να διευκολύνεται η έγκαιρη εκπαιδευτική παρέμβαση
Lakretz et al. (2015)	Ισραήλ	313 άτομα ηλικίας άνω των 7 ετών, με και χωρίς δυσλεξία	Πιθανοτικά γραφικά μοντέλα (Probabilistic Graphical Models), Naïve Bayes και Latent Dirichlet Allocation (LDA).	Να αναπτυχθεί μοντέλο μηχανικής μάθησης για την αυτόματη ανίχνευση και ταξινόμηση της δυσλεξίας, αξιοποιώντας τα πρότυπα των αναγνωστικών λαθών και να διερευνηθούν πιθανοί υποτύποι της διαταραχής	Το μοντέλο πέτυχε AUC = 0,801, παρουσιάζοντας ικανοποιητική ικανότητα διάκρισης ατόμων με και χωρίς δυσλεξία. Επιπλέον, ανέδειξε διαφορετικά πρότυπα αναγνωστικών λαθών, υποστηρίζοντας ότι οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να συμβάλουν στην αντικειμενικότερη αξιολόγηση και ταξινόμηση της δυσλεξίας

Poulsen et al. (2017)	Δανία	164 παιδιά, τα οποία παρακολουθήθηκαν από το τέλος του νηπιαγωγείου (Grade 0) έως το τέλος της Β΄ Δημοτικού	Ψηφιακή ανάλυση δεδομένων και μοντέλα πρόβλεψης	Να συγκριθεί η ακρίβεια της πρώιμης ανίχνευσης πριν από την έναρξη της διδασκαλίας της ανάγνωσης με την ανίχνευση έξι μήνες μετά την έναρξη της Α΄ Δημοτικού και να προταθεί μια αποτελεσματικότερη στρατηγική screening	Η πρώιμη πρόβλεψη βασίστηκε σε δείκτες όπως φωνολογική επίγνωση, ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (RAN), γνώση γραμμάτων, συσχετιστική μάθηση και αρχικές αναγνωστικές δεξιότητες. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι η προγνωστική ακρίβεια αυξάνεται σημαντικά μετά τους πρώτους έξι μήνες της Α΄ Δημοτικού και πρότειναν ένα πολυφασικό μοντέλο προσυμπτωματικού ελέγχου (multi-point screening), ώστε να μειώνονται τα ψευδώς θετικά αποτελέσματα και

					να εντοπίζονται αποτελεσματικότερα τα παιδιά που χρειάζονται έγκαιρη υποστήριξη
Perry et al. (2019)	Αυστραλία	622 παιδιά, εκ των οποίων 388 με δυσλεξία και 234 τυπικής ανάπτυξης	Υπολογιστικά μοντέλα (computational modeling) και αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης για την προσομοίωση της ανάπτυξης της ανάγνωσης και την πρόβλεψη διαφορετικών προφίλ αναγνωστικών δυσκολιών	Να διερευνηθεί αν εξατομικευμένα υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να προβλέψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αναγνωστικές δυσκολίες, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλά γνωστικά ελλείμματα αντί για έναν μόνο παράγοντα	Τα εξατομικευμένα υπολογιστικά μοντέλα προέβλεψαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αναγνωστικές επιδόσεις των παιδιών σε σχέση με τα παραδοσιακά μοντέλα ενός μόνο ελλείμματος. Η μελέτη έδειξε ότι η δυσλεξία και οι αναγνωστικές δυσκολίες είναι ετερογενείς και ότι η συνδυαστική αξιολόγηση φωνολογικών, ορθογραφικών και λεξιλογικών δεξιοτήτων βελτιώνει σημαντικά την προγνωστική ικανότητα των

					μοντέλων. Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι τα υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη πιο εξατομικευμένων εργαλείων πρώιμης ανίχνευσης
Prabha & Bhargavi (2020)	Ινδία	187 παιδιά (άτομα με και χωρίς δυσλεξία), γύρω στην ηλικία των 9 ετών, των οποίων καταγράφηκαν οι οφθαλμικές κινήσεις κατά την ανάγνωση	Eye-tracking και αλγόριθμοι Machine Learning (Random Forest, SVM κ.ά.) για την ταξινόμηση δυσλεξίας	Να αναπτυχθεί προγνωστικό μοντέλο που αξιοποιεί χαρακτηριστικά των οφθαλμικών κινήσεων (fixations και saccades) για την αυτόματη ανίχνευση/ταξινόμηση ατόμων με δυσλεξία	Το μοντέλο πέτυχε υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης (≈95%), αναδεικνύοντας ότι οι δείκτες eye-tracking μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστη βάση για αυτοματοποιημένα εργαλεία ανίχνευσης της δυσλεξίας
Silverman et al. (2021)	ΗΠΑ	125 μαθητές που παρακολουθήθηκαν από την Α΄ έως τη Γ΄ Δημοτικού (για την πρόβλεψη δυσκολιών στο τέλος της Α΄ τάξης) και υποσύνολο **77** μαθητών για την πρόβλεψη	Ψηφιακή ανάλυση δεδομένων screening και στατιστικά/προγνωστικά μοντέλα ταξινόμησης	Να διερευνηθεί ποιοι πρώιμοι δείκτες μπορούν να προβλέψουν με ακρίβεια ποια παιδιά θα εμφανίσουν δυσκολίες αποκωδικοποίησης και κατανόησης	Οι σημαντικότεροι προγνωστικοί δείκτες ήταν η αναγνώριση λέξεων, η αποκωδικοποίηση, η επανάληψη προτάσεων και ο προφορικός λόγος. Το μοντέλο

		δυσκολιών κατανόησης ανάγνωσης έως το τέλος της Γ΄ Δημοτικού		της ανάγνωσης, ώστε να βελτιωθούν οι διαδικασίες προσυμπτωματικού ελέγχου στα πρώτα σχολικά χρόνια	παρουσίασε πολύ υψηλή διαγνωστική ακρίβεια, με AUC 94,7% για την πρόβλεψη δυσκολιών στο τέλος της Α΄ Δημοτικού και AUC 90,5% για την πρόβλεψη δυσκολιών κατανόησης στο τέλος της Γ΄ Δημοτικού. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι οι σύντομες δοκιμασίες screening μπορούν να εντοπίσουν έγκαιρα τους μαθητές υψηλού κινδύνου και να υποστηρίξουν την έγκαιρη εκπαιδευτική παρέμβαση
Cadime et al., 2022	Πορτογαλία	81 μαθητές δημοτικού	Ψηφιακό εκπαιδευτικό εργαλείο παρέμβασης για ανάγνωση	Να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα μιας ψηφιακής παρέμβασης στην υποστήριξη	Η ομάδα που χρησιμοποίησε το ψηφιακό εργαλείο παρουσίασε σημαντική

			(computer-based intervention σε εξ αποστάσεως/σχολικό περιβάλλον λόγω COVID-19)	μαθητών με δυσκολίες ανάγνωσης κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19, όταν η δια ζώσης υποστήριξη ήταν περιορισμένη	βελτίωση σε δεξιότητες ανάγνωσης (π.χ. ακρίβεια και ευχέρεια) σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, δείχνοντας ότι οι ψηφιακές παρεμβάσεις μπορούν να είναι αποτελεσματικές ακόμη και σε συνθήκες εξ αποστάσεως εκπαίδευσης
Alrubaian (2025)	Σαουδική Αραβία	300 παιδιά ηλικίας 6–12 ετών (150 με δυσλεξία και 150 τυπικής ανάπτυξης)	Αλγόριθμοι Machine Learning (Logistic Regression, Random Forest, XGBoost και Ensemble model) σε συνδυασμό με επιλογή χαρακτηριστικών (Recursive Feature Elimination - RFE).	Να αναπτυχθούν και να αξιολογηθούν μοντέλα μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη και έγκαιρη ανίχνευση της δυσλεξίας και των δυσκολιών που προκαλεί, αξιοποιώντας νευρογνωστικούς, γλωσσικούς και συμπεριφορικούς δείκτες	Οι σημαντικότεροι προγνωστικοί δείκτες ήταν η φωνολογική επίγνωση, η ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (RAN), η προσοχή, η πρώιμη γλωσσική καθυστέρηση και η γνωστική ευελιξία. Το μοντέλο Logistic Regression παρουσίασε την υψηλότερη

					διαγνωστική επίδοση (AUC = 0,95, ευαισθησία = 97%, ειδικότητα = 91%, συνολική ακρίβεια = 94%), ενώ και τα μοντέλα Random Forest και XGBoost πέτυχαν υψηλή προγνωστική ακρίβεια. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι η μηχανική μάθηση μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο εργαλείο για την αντικειμενική και έγκαιρη αναγνώριση παιδιών με δυσλεξία
Tsolia et al. (2026)	Ελλάδα	77 μαθητές Δημοτικού	Deep learning σε σύντομες ηχογραφήσεις προφορικής ανάγνωσης	Ανάπτυξη εργαλείου αυτόματου προσυμπτωματικού ελέγχου μέσω ανάλυσης της προφορικής ανάγνωσης	Το μοντέλο πέτυχε περίπου 84% ακρίβεια και balanced accuracy 0,85, δείχνοντας ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να υποστηρίξει την έγκαιρη ανίχνευση

					αναγνωστικών δυσκολιών
Κατηγορία 4. Μελέτες που σχετίζονται με Speech recognition / oral reading fluency					
Molenaar et al. (2023)	Ολλανδία	Η μελέτη χρησιμοποίησε ηχογραφήσεις παιδιών που διαβάζουν στα ολλανδικά, προκειμένου να αξιολογήσει την απόδοση συστημάτων αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR)	Έξι συστήματα Automatic Speech Recognition (ASR), βασισμένα στις πλατφόρμες Kaldi και Whisper, για την αυτόματη αξιολόγηση της ακρίβειας της προφορικής ανάγνωσης	Να αξιολογηθεί κατά πόσο σύγχρονα συστήματα ASR μπορούν να εκτιμήσουν με αξιοπιστία την ακρίβεια της προφορικής ανάγνωσης παιδιών και να αποτελέσουν εργαλείο υποστήριξης της διαγνωστικής αξιολόγησης και της έγκαιρης ανίχνευσης αναγνωστικών δυσκολιών	Το καλύτερο σύστημα παρουσίασε ουσιαστική συμφωνία με τις αξιολογήσεις των ειδικών (Matthews Correlation Coefficient MCC = 0,63) και τη μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ των δεικτών εμπιστοσύνης του συστήματος και της ορθότητας των λέξεων (r = 0,45). Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι η τεχνολογία ASR μπορεί να υποστηρίξει την αυτοματοποιημένη αξιολόγηση της προφορικής ανάγνωσης και να συμβάλει στην ανάπτυξη αξιόπιστων εργαλείων για την

					έγκαιρη αναγνώριση παιδιών με πιθανές αναγνωστικές δυσκολίες, αν και απαιτείται περαιτέρω βελτίωση των μοντέλων
Gao et al. (2024)	Ολλανδία	Ηχογραφήσεις προφορικής ανάγνωσης από παιδιά δημοτικού που μιλούν ολλανδικά	Συστήματα Automatic Speech Recognition (ASR) με σύγχρονα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης (Whisper, Wav2Vec2 και HuBERT) για την αυτόματη ανίχνευση λαθών κατά την προφορική ανάγνωση (reading miscues)	Να διερευνηθεί κατά πόσο προηγμένα μοντέλα ASR μπορούν να αναγνωρίζουν με ακρίβεια την παιδική ομιλία και να εντοπίζουν αυτόματα αναγνωστικά λάθη, ώστε να υποστηρίξουν την έγκαιρη αξιολόγηση και ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών στο δημοτικό σχολείο	Το μοντέλο HuBERT πέτυχε την καλύτερη απόδοση στην αναγνώριση παιδικής ομιλίας σε επίπεδο φωνημάτων (PER = 23,1%), ενώ το Whisper παρουσίασε την καλύτερη επίδοση σε επίπεδο λέξεων (WER = 9,8%). Για την ανίχνευση αναγνωστικών λαθών, το Wav2Vec2 εμφάνισε την υψηλότερη ανάκληση (Recall = 0,83), ενώ το Whisper πέτυχε την υψηλότερη

					ακρίβεια (Precision = 0,52) και F1-score = 0,52. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι η τεχνολογία ASR μπορεί να αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο για την αυτοματοποιημένη αξιολόγηση της προφορικής ανάγνωσης και να υποστηρίξει την έγκαιρη αναγνώριση μαθητών με πιθανές αναγνωστικές δυσκολίες, αν και απαιτείται περαιτέρω βελτίωση των μοντέλων
Bai et al. (2023)	Ολλανδία	752 μαθητές Α΄ Δημοτικού που εξασκήθηκαν στην προφορική ανάγνωση με τη χρήση του ψηφιακού Reading Tutor	Automatic Speech Recognition (ASR) ενσωματωμένο σε ψηφιακό Reading Tutor, το οποίο παρέχει	Να διερευνηθεί κατά πόσο ένα σύστημα ASR μπορεί να παρέχει αποτελεσματική ανατροφοδότηση σε μαθητές της Α΄ Δημοτικού κατά	Οι μαθητές βελτίωσαν την ακρίβεια της προφορικής ανάγνωσης μετά τη χρήση του συστήματος, ιδιαίτερα όταν

			αυτόματη ανατροφοδότηση (ρητή ή έμμεση) κατά την προφορική ανάγνωση	την εκμάθηση της ανάγνωσης και να εξεταστεί η επίδραση διαφορετικών τύπων ανατροφοδότησης στην αναγνωστική επίδοση	λάμβαναν ρητή ανατροφοδότηση. Παράλληλα, παρατηρήθηκε μια αντιστάθμιση μεταξύ ακρίβειας και ταχύτητας ανάγνωσης, καθώς οι μαθητές διάβαζαν πιο αργά όταν προσπαθούσαν να διορθώσουν τα λάθη τους. Οι συγγραφείς καταλήγουν ότι η τεχνολογία ASR μπορεί να υποστηρίξει την παρακολούθηση της αναγνωστικής ανάπτυξης και να προσφέρει πολύτιμα δεδομένα για την αξιολόγηση της προφορικής ανάγνωσης, αν και δεν αποτελεί από μόνη της εργαλείο διάγνωσης ή screening
Bailly et al. (2022)	Γαλλία	443 παιδιά (1.063 ηχογραφήσεις	Automatic Speech	Ανάπτυξη αυτόματου	Το σύστημα προέβλεψε με

		προφορικής ανάγνωσης)	Recognition (ASR), γλωσσικά και προσωδιακά χαρακτηριστικά	συστήματος αξιολόγησης της προφορικής ανάγνωσης παιδιών.	υψηλή αξιοπιστία τις αξιολογήσεις των ειδικών (συσχέτιση >0,80) για ακρίβεια, ευχέρεια, προσωδία και εκφραστικότητα, δείχνοντας ότι η ASR μπορεί να υποστηρίξει την αξιολόγηση της αναγνωστικής επίδοσης
Vitthal et al. (2021)	Ινδία	Παιδιά πρώτων τάξεων Δημοτικού	Ακουστικά χαρακτηριστικά ομιλίας (χωρίς πλήρες ASR)	Πρόβλεψη των δεξιοτήτων αποκωδικοποίησης από την προφορική ανάγνωση	Οι παύσεις, ο ρυθμός ανάγνωσης και τα ακουστικά χαρακτηριστικά προέβλεψαν αξιόπιστα τις αναγνωστικές δεξιότητες, προτείνοντας μια γρήγορη και οικονομική μέθοδο αξιολόγησης

Μετά την εφαρμογή της διαδικασίας επιλογής των μελετών, συμπεριλήφθηκαν συνολικά 30 πρωτογενείς ερευνητικές μελέτες, οι οποίες δημοσιεύθηκαν την περίοδο 2015–2026 και εξέτασαν τη χρήση τεχνολογικά υποστηριζόμενων μεθόδων για την πρώιμη ανίχνευση ή τον προσυμπτωματικό έλεγχο αναγνωστικών δυσκολιών και δυσλεξίας σε παιδιά. Οι μελέτες προέρχονταν από διαφορετικές χώρες και αξιοποίησαν ποικίλες τεχνολογικές προσεγγίσεις. Για την καλύτερη οργάνωση και σύνθεση των ευρημάτων, τα

αποτελέσματα παρουσιάζονται σύμφωνα με τα τρία ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας συστηματικής ανασκόπησης.

Α΄ ερευνητικό ερώτημα: Τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρώιμη ανίχνευση ή τον προληπτικό έλεγχο αναγνωστικών δυσκολιών/δυσλεξίας σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και πρώτων τάξεων δημοτικού.

Η ανάλυση των 30 πρωτογενών μελετών ανέδειξε ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι για την πρώιμη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε βασικές κατηγορίες: (α) ψηφιακά εργαλεία προσυμπτωματικού ελέγχου (digital screening tools), (β) εφαρμογές μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης (Machine Learning/Artificial Intelligence), (γ) αξιολόγηση μέσω εκπαιδευτικών παιχνιδιών (game-based assessment/serious games), (δ) τεχνολογίες καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (eye-tracking) και (ε) αυτόματη αναγνώριση ομιλίας και αξιολόγηση προφορικής ανάγνωσης (Automatic Speech Recognition – ASR).

Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ήταν η καταγραφή των οφθαλμικών κινήσεων (eye-tracking). Οι μελέτες των Nilsson Benfatto et al. (2016), Smyrnakis et al. (2017), Moiroud et al. (2018), Asvestopoulou et al. (2019), Andreadakis et al. (2022), Vajs et al. (2023), Cogan et al. (2025) και Berns-Conner et al. (2026) αξιοποίησαν συστήματα καταγραφής του βλέμματος για την αναγνώριση παιδιών με αυξημένο κίνδυνο αναγνωστικών δυσκολιών. Οι περισσότερες από αυτές συνδύασαν δεδομένα eye-tracking με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, με στόχο την αυτοματοποιημένη ταξινόμηση των μαθητών.

Ιδιαίτερα συχνή ήταν επίσης η αξιοποίηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, είτε ως αυτόνομων συστημάτων πρόβλεψης είτε σε συνδυασμό με άλλα ψηφιακά δεδομένα. Μελέτες όπως των Rello και Ballesteros (2015), Lakretz et al. (2015), Prabha και Bhargavi (2020), Rauschenberger et al. (2022), Alrubaian (2025), Foldnes et al. (2024) και Khan et al. (2018) ανέπτυξαν μοντέλα ταξινόμησης που βασίστηκαν σε χαρακτηριστικά ανάγνωσης, οφθαλμικών κινήσεων ή δεδομένα από ψηφιακές δοκιμασίες για την πρόβλεψη του κινδύνου δυσλεξίας.

Μία ακόμη σημαντική κατηγορία αφορούσε τα ψηφιακά εργαλεία αξιολόγησης και τα εκπαιδευτικά παιχνίδια (serious games). Μελέτες όπως των Hautala et al. (2020), Thomson et al. (2020), Vanden Bempt et al. (2021), Rello et al. (2020), Cadime et al. (2022) και Foldnes et al. (2024) αξιοποίησαν δεδομένα που παράγονται κατά την αλληλεπίδραση των παιδιών με ψηφιακές εφαρμογές ή εκπαιδευτικά παιχνίδια (π.χ. GraphoGame), προκειμένου να εντοπίσουν πρώιμους δείκτες κινδύνου για αναγνωστικές δυσκολίες.

Παράλληλα, αρκετές πρόσφατες μελέτες χρησιμοποίησαν τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας (ASR) και ανάλυσης της προφορικής ανάγνωσης. Οι εργασίες των Bai et al. (2021), Bailly et al. (2022), Molenaar et al. (2023), Gao et al. (2024), Vitthal et al. (2021) και Tsolia et al. (2026) αξιολόγησαν αυτόματα την αναγνωστική ευχέρεια, την ακρίβεια αποκωδικοποίησης και τα αναγνωστικά λάθη, επιτρέποντας την αντικειμενική ανίχνευση παιδιών που χρειάζονται περαιτέρω αξιολόγηση.

Τέλος, ορισμένες μελέτες χρησιμοποίησαν ψηφιακά εργαλεία screening ή πολυπαραγοντικά μοντέλα αξιολόγησης που συνδύαζαν περισσότερες από μία τεχνολογίες, επιβεβαιώνοντας ότι η σύγχρονη προσέγγιση στην πρώιμη ανίχνευση βασίζεται ολοένα και περισσότερο στον συνδυασμό πολλαπλών πηγών δεδομένων. Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι τεχνολογίες που αξιοποιούνται σήμερα για τον προληπτικό έλεγχο των αναγνωστικών δυσκολιών μετατοπίζονται από τις παραδοσιακές δοκιμασίες προς αυτοματοποιημένα, αντικειμενικά και ψηφιακά υποστηριζόμενα συστήματα αξιολόγησης, με κυρίαρχες τις εφαρμογές eye-tracking, μηχανικής μάθησης, εκπαιδευτικών παιχνιδιών και αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας.

Β΄ ερευνητικό ερώτημα: Δείκτες που αξιοποιούν οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι, όπως φωνολογική επίγνωση, RAN, γνώση γραμμάτων, αποκωδικοποίηση, αναγνωστική ευχέρεια, οφθαλμικές κινήσεις, δεδομένα από ψηφιακά παιχνίδια ή ανάλυση ομιλίας.

Η ανάλυση των μελετών έδειξε ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι βασίζονται σε ένα ευρύ φάσμα γνωστικών, γλωσσικών και συμπεριφορικών δεικτών, οι οποίοι αξιοποιούνται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό για την έγκαιρη ανίχνευση παιδιών που διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης αναγνωστικών δυσκολιών.

Οι οφθαλμικές κινήσεις (eye movements) αποτέλεσαν τους συχνότερα χρησιμοποιούμενους δείκτες. Ειδικότερα, μελέτες που βασίστηκαν σε τεχνολογίες eye-tracking αξιολόγησαν τη διάρκεια και τον αριθμό των προσηλώσεων (fixation duration, fixation count), το μήκος και την ταχύτητα των σακκαδικών κινήσεων (saccades), τις παλίνδρομες κινήσεις (regressions), καθώς και τη συνολική συμπεριφορά του βλέμματος κατά την ανάγνωση (Nilsson Benfatto et al., 2016; Smyrnakis et al., 201; Moiroud et al., 2018; Asvestopoulou et al., 2019; Prabha & Bhargavi, 2020; Andreadakis et al., 2022; Vajs et al., 2023; Cogan et al., 2025; Berns-Conner et al., 2026). Οι δείκτες αυτοί αξιοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων μοντέλων ταξινόμησης παιδιών με και χωρίς αναγνωστικές δυσκολίες επιτυγχάνοντας σε αρκετές περιπτώσεις υψηλή προγνωστική ή

διαγνωστική ακρίβεια (Rello & Ballesteros, 2015; Nilsson Benfatto et al., 2016; Asvestopoulou et al., 2019; Prabha & Bhargavi, 2020; Vajs et al., 2023).

Μία δεύτερη σημαντική κατηγορία αφορούσε τους γλωσσικούς και γνωστικούς δείκτες, όπως η φωνολογική επίγνωση, η ταχεία αυτοματοποιημένη κατονομασία (Rapid Automatized Naming – RAN), η γνώση γραμμάτων, η αποκωδικοποίηση, η αναγνωστική ακρίβεια, η αναγνωστική ευχέρεια, η ορθογραφική επεξεργασία, η εργαζόμενη μνήμη και η ταχύτητα επεξεργασίας πληροφοριών (Catts et al., 2015; Poulsen et al., 2017; Silverman et al., 2021; Perry et al., 2019). Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιήθηκαν είτε ως χαρακτηριστικά εισόδου σε αλγορίθμους μηχανικής μάθησης είτε σε συνδυασμό με ψηφιακά εργαλεία αξιολόγησης για την ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης του κινδύνου δυσλεξίας ή αναγνωστικών δυσκολιών (Lakretz et al., 2015; Khan et al., 2018; Rauschenberger et al., 2022; Alrubaian, 2025).

Στις μελέτες που αξιοποίησαν εκπαιδευτικά παιχνίδια (serious games) και ψηφιακές εφαρμογές αξιολόγησης, οι βασικοί δείκτες προέκυψαν από τα δεδομένα αλληλεπίδρασης των παιδιών με το ψηφιακό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, αναλύθηκαν ο χρόνος απόκρισης, η ακρίβεια των απαντήσεων, η πρόοδος κατά την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων, τα πρότυπα λαθών, ο αριθμός των προσπαθειών και άλλα δεδομένα χρήσης (gameplay analytics), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη της μελλοντικής αναγνωστικής επίδοσης (Thomson et al., 2020; Hautala et al., 2020; Rello et al., 2020; Vanden Bempt et al., 2021; Cadime et al., 2022; Foldnes et al., 2024).

Επιπλέον, αρκετές μελέτες βασίστηκαν στην αυτόματη ανάλυση της προφορικής ανάγνωσης μέσω τεχνολογιών Automatic Speech Recognition (ASR). Οι συχνότεροι δείκτες ήταν η αναγνωστική ευχέρεια, η ακρίβεια αποκωδικοποίησης, ο αριθμός και το είδος των αναγνωστικών λαθών (miscues), οι παύσεις, η ταχύτητα ανάγνωσης, καθώς και ακουστικά χαρακτηριστικά της ομιλίας, όπως η διάρκεια και ο ρυθμός εκφοράς (Bai et al., 2021; Bailly et al., 2022; Molenaar et al., 2023; Gao et al., 2024; Tsolia et al., 2026; Vitthal et al., 2021). Οι δείκτες αυτοί επέτρεψαν την αυτοματοποιημένη αξιολόγηση της προφορικής ανάγνωσης και την αναγνώριση μαθητών που χρειάζονταν περαιτέρω διαγνωστική διερεύνηση (Molenaar et al., 2023; Gao et al., 202; Tsolia et al., 2026).

Σε κάθε περίπτωση, τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι οι σύγχρονες τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι δεν βασίζονται σε έναν μόνο δείκτη, αλλά αξιοποιούν τον συνδυασμό πολλαπλών γνωστικών, γλωσσικών και συμπεριφορικών χαρακτηριστικών. Η πολυπαραγοντική αυτή προσέγγιση ενισχύει την ακρίβεια της πρώιμης ανίχνευσης και

επιτρέπει την ανάπτυξη περισσότερο αντικειμενικών και αυτοματοποιημένων εργαλείων προσυμπτωματικού ελέγχου.

Γ΄ ερευνητικό ερώτημα: Στοιχεία που αναφέρονται για τη διαγνωστική ή προγνωστική ακρίβεια, τη χρηστικότητα και τους περιορισμούς αυτών των τεχνολογιών σε σχολικό ή κλινικό πλαίσιο.

Η σύνθεση των μελετών έδειξε ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι παρουσιάζουν γενικά υψηλή διαγνωστική και προγνωστική ικανότητα για την έγκαιρη ανίχνευση παιδιών με κίνδυνο εμφάνισης αναγνωστικών δυσκολιών. Ιδιαίτερα τα συστήματα που συνδυάζουν τεχνολογίες eye-tracking με αλγορίθμους μηχανικής μάθησης ανέφεραν υψηλά ποσοστά ακρίβειας, ευαισθησίας και ειδικότητας(Nilsson Benfatto et al., 2016· Smyrnakis et al., 2017· Asvestopoulou et al., 2019· Prabha & Bhargavi, 2020· Vajs et al., 2023· Berns-Conner et al., 2026). Αντίστοιχα, τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που αξιοποίησαν δεδομένα από ψηφιακές αξιολογήσεις, εκπαιδευτικά παιχνίδια ή αυτόματη ανάλυση της προφορικής ανάγνωσης εμφάνισαν ικανοποιητική έως πολύ υψηλή προγνωστική ικανότητα, υποστηρίζοντας την αξιοποίησή τους ως εργαλεία προσυμπτωματικού ελέγχου (Thomson et al., 2020; Hautala et al., 2020; Rello et al., 2020; Bai et al., 2021; Bailly et al., 2022; Rauschenberger et al., 2022; Molenaar et al., 2023; Foldnes et al., 2024; Gao et al., 2024; Tsolia et al., 2026).

Όσον αφορά τη χρηστικότητα, οι περισσότερες μελέτες υπογράμμισαν ότι οι τεχνολογικές αυτές προσεγγίσεις προσφέρουν γρήγορη, αντικειμενική και αυτοματοποιημένη αξιολόγηση, μειώνοντας την εξάρτηση από χρονοβόρες ατομικές δοκιμασίες (Nilsson Benfatto et al., 2016; Smyrnakis et al., 2017; Hautala et al., 2020; Rello et al., 2020; Rauschenberger et al., 2022). Επιπλέον, επιτρέπουν τη συλλογή μεγάλου όγκου δεδομένων σε σύντομο χρόνο, διευκολύνουν την εφαρμογή μαζικών προγραμμάτων προσυμπτωματικού ελέγχου σε σχολικές μονάδες και μπορούν να υποστηρίξουν τους εκπαιδευτικούς και τους ειδικούς στην έγκαιρη παραπομπή μαθητών για πληρέστερη διαγνωστική αξιολόγηση (Andreadakis et al., 2022; Foldnes et al., 2024; Tsolia et al., 2026). Οι περισσότερες μελέτες, ωστόσο, επισημαίνουν ότι τα εργαλεία αυτά προορίζονται να λειτουργούν συμπληρωματικά και όχι ως υποκατάστατα της ολοκληρωμένης κλινικής ή εκπαιδευτικής αξιολόγησης (Nilsson Benfatto et al., 2016; Berns-Conner et al., 2026; Vajs et al., 2023).

Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, αναφέρθηκαν και αρκετοί περιορισμοί. Συχνά επισημάνθηκαν το μικρό μέγεθος των δειγμάτων, η περιορισμένη γλωσσική και πολιτισμική γενικευσιμότητα των μοντέλων, η ανάγκη εξωτερικής επικύρωσης σε

διαφορετικούς πληθυσμούς και εκπαιδευτικά συστήματα, καθώς και η έλλειψη κοινών πρωτοκόλλων αξιολόγησης μεταξύ των μελετών (Moiroud et al., 2018; Rello et al., 2020; Vajs et al., 2023; Cogan et al., 2025; Berns-Conner et al., 2026). Επιπλέον, αρκετές εφαρμογές βασίζονται σε εξειδικευμένο τεχνολογικό εξοπλισμό ή σε μοντέλα που απαιτούν περαιτέρω βελτίωση πριν από την ευρεία εφαρμογή τους στην εκπαιδευτική πράξη. Σε ορισμένες περιπτώσεις επισημάνθηκε επίσης ότι τα μοντέλα μηχανικής μάθησης επηρεάζονται από την ποιότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων εκπαίδευσης, γεγονός που μπορεί να περιορίσει τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων (Lakretz et al., 2015; Prabha & Bhargavi, 2020; Rauschenberger et al., 2022; Alrubaian, 2025).

Γενικά, τα ευρήματα δείχνουν ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι αποτελούν ιδιαίτερα ελπιδοφόρα εργαλεία για την πρώιμη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών, καθώς συνδυάζουν υψηλή ακρίβεια, ταχύτητα και αντικειμενικότητα. Ωστόσο, η αποτελεσματική ενσωμάτωσή τους στην εκπαιδευτική και κλινική πρακτική προϋποθέτει περαιτέρω έρευνα, μεγαλύτερες μελέτες επικύρωσης και συνεχή αξιολόγηση της αξιοπιστίας και της εφαρμοσιμότητάς τους σε διαφορετικά γλωσσικά και εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

6. Συζήτηση

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση είχε ως στόχο τη διερεύνηση των τεχνολογικά υποστηριζόμενων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την πρώιμη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού. Η σύνθεση των 30 πρωτογενών μελετών ανέδειξε ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική στροφή από τις αποκλειστικά παραδοσιακές διαδικασίες αξιολόγησης προς την αξιοποίηση ψηφιακών τεχνολογιών, οι οποίες προσφέρουν περισσότερο αντικειμενικές, αυτοματοποιημένες και ταχύτερες διαδικασίες προσυμπτωματικού ελέγχου.

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα της ανασκόπησης είναι η κυρίαρχη θέση των τεχνολογιών eye-tracking και των εφαρμογών μηχανικής μάθησης στην έγκαιρη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών. Οι περισσότερες μελέτες αξιοποίησαν δεδομένα από τις οφθαλμικές κινήσεις των παιδιών, όπως η διάρκεια των καθηλώσεων, οι σακκαδικές και οι παλίνδρομες κινήσεις, τα οποία σε συνδυασμό με αλγορίθμους τεχνητής νοημοσύνης επέτρεψαν την ανάπτυξη μοντέλων με υψηλή διαγνωστική και προγνωστική ακρίβεια. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι οι δυσκολίες στην ανάγνωση μπορούν να ανιχνευθούν μέσα από αντικειμενικούς βιοσυμπεριφορικούς δείκτες, ακόμη και πριν καταστούν εμφανείς μέσω της σχολικής επίδοσης.

Παράλληλα, ιδιαίτερη ανάπτυξη παρουσιάζουν τα ψηφιακά εργαλεία αξιολόγησης, τα εκπαιδευτικά παιχνίδια και οι τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας. Οι μέθοδοι αυτές αξιοποιούν δεδομένα που παράγονται κατά τη φυσική αλληλεπίδραση των παιδιών με το ψηφιακό περιβάλλον, όπως ο χρόνος απόκρισης, η ακρίβεια των απαντήσεων, τα πρότυπα λαθών, η αναγνωστική ευχέρεια και τα χαρακτηριστικά της προφορικής ανάγνωσης. Η προσέγγιση αυτή φαίνεται να ενισχύει τη δυνατότητα συνεχούς και λιγότερο παρεμβατικής αξιολόγησης, καθώς η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιείται χωρίς να διακόπτεται η μαθησιακή διαδικασία.

Ένα ακόμη σημαντικό εύρημα αφορά τη μετάβαση από τη χρήση μεμονωμένων δεικτών σε πολυπαραγοντικά μοντέλα αξιολόγησης. Οι περισσότερες πρόσφατες μελέτες δεν βασίζονται αποκλειστικά σε έναν γνωστικό ή γλωσσικό δείκτη, αλλά συνδυάζουν δεδομένα από διαφορετικές πηγές, όπως δείκτες οφθαλμικών κινήσεων, φωνολογικής επίγνωσης, γνώσης γραμμάτων, αναγνωστικής ευχέρειας, δεδομένα αλληλεπίδρασης με ψηφιακά παιχνίδια και χαρακτηριστικά της προφορικής ανάγνωσης. Η πολυδιάστατη αυτή προσέγγιση φαίνεται να ενισχύει την αξιοπιστία των μοντέλων πρόβλεψης, καθώς λαμβάνει υπόψη τη σύνθετη φύση των αναγνωστικών δυσκολιών.

Παρότι τα αποτελέσματα των περισσότερων μελετών ήταν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, προκύπτει ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι δεν προορίζονται να αντικαταστήσουν την ολοκληρωμένη διαγνωστική αξιολόγηση από εξειδικευμένους επαγγελματίες. Αντίθετα, ο βασικός τους ρόλος είναι να λειτουργήσουν ως εργαλεία πρώιμου προσυμπτωματικού ελέγχου, διευκολύνοντας τον έγκαιρο εντοπισμό των παιδιών που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση. Η δυνατότητα αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο σχολικό περιβάλλον, όπου η έγκαιρη αναγνώριση μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερη εφαρμογή στοχευμένων εκπαιδευτικών παρεμβάσεων και να μειώσει τον κίνδυνο καθυστέρησης στη διάγνωση.

Συνολικά, τα ευρήματα της παρούσας ανασκόπησης υποστηρίζουν ότι οι σύγχρονες τεχνολογίες μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της διαδικασίας ανίχνευσης αναγνωστικών δυσκολιών. Η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης, των συστημάτων eye-tracking, των ψηφιακών εργαλείων αξιολόγησης, των εκπαιδευτικών παιχνιδιών και των τεχνολογιών αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας διαμορφώνει ένα νέο πλαίσιο έγκαιρης αξιολόγησης, το οποίο χαρακτηρίζεται από αυξημένη αντικειμενικότητα, ταχύτητα και δυνατότητα εφαρμογής σε πραγματικές εκπαιδευτικές συνθήκες.

7. Συμπεράσματα

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση ανέδειξε ότι οι τεχνολογικά υποστηριζόμενες μέθοδοι αποτελούν μια ιδιαίτερα ελπιδοφόρα προσέγγιση για την πρώιμη ανίχνευση αναγνωστικών δυσκολιών και δυσλεξίας σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού. Η αξιοποίηση τεχνολογιών όπως το eye-tracking, η μηχανική μάθηση, τα ψηφιακά εργαλεία προσυμπτωματικού ελέγχου, τα εκπαιδευτικά παιχνίδια και οι τεχνολογίες αυτόματης αναγνώρισης ομιλίας επιτρέπει την αντικειμενική συλλογή και ανάλυση δεδομένων, συμβάλλοντας στον έγκαιρο εντοπισμό παιδιών που ενδέχεται να εμφανίσουν αναγνωστικές δυσκολίες.

Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι τεχνολογικές αυτές προσεγγίσεις αξιοποιούν ένα ευρύ φάσμα γλωσσικών, γνωστικών και συμπεριφορικών δεικτών και, σε αρκετές περιπτώσεις, επιτυγχάνουν υψηλή διαγνωστική ή προγνωστική ακρίβεια. Παράλληλα, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την ταχύτητα, την αντικειμενικότητα και τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε σχολικά περιβάλλοντα, λειτουργώντας ως εργαλεία έγκαιρου προσυμπτωματικού ελέγχου που μπορούν να υποστηρίξουν την εκπαιδευτική και κλινική αξιολόγηση.

Η παρούσα ανασκόπηση παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς. Αρχικά, συμπεριλήφθηκαν μόνο μελέτες που δημοσιεύθηκαν στην αγγλική γλώσσα και εντοπίστηκαν στις επιλεγμένες βάσεις δεδομένων, γεγονός που ενδέχεται να οδήγησε στον αποκλεισμό σχετικών ερευνών. Επιπλέον, παρατηρήθηκε σημαντική ετερογένεια ως προς τις τεχνολογίες, τους δείκτες και τα πρωτόκολλα αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν, γεγονός που δυσχέρανε την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων. Ακόμη, παρότι τα κριτήρια ένταξης επικεντρώθηκαν σε παιδιά προσχολικής ηλικίας και των πρώτων τάξεων του δημοτικού, ορισμένες μελέτες συμπεριλήφθηκαν επειδή περιλάμβαναν μικρό αριθμό συμμετεχόντων μεγαλύτερης ηλικίας ή ευρύτερο ηλικιακό εύρος, καθώς τα δεδομένα που αφορούσαν τις μικρότερες ηλικίες κρίθηκαν ιδιαίτερα σημαντικά για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων. Τέλος, δεν πραγματοποιήθηκε μετα-ανάλυση λόγω της ετερογένειας των μελετών ως προς τον σχεδιασμό, τα δείγματα και τις εκβάσεις.

Μελλοντικές έρευνες θα ήταν χρήσιμο να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη και την εξωτερική επικύρωση τεχνολογικών εργαλείων σε μεγαλύτερα και περισσότερο αντιπροσωπευτικά δείγματα, καθώς και στη διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς τους σε διαφορετικά γλωσσικά και εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάπτυξη πολυτροπικών συστημάτων που θα συνδυάζουν δεδομένα από

διαφορετικές τεχνολογίες, όπως το eye-tracking, την αυτόματη αναγνώριση ομιλίας και τη μηχανική μάθηση, με στόχο την περαιτέρω βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του πρώιμου προσυμπτωματικού ελέγχου.

Βιβλιογραφία

Alqahtani, S. S. (2020). Technology-based interventions for children with reading difficulties: a literature review from 2010 to 2020. *Educational Technology Research and Development*, *68*(6), 3495–3525. https://www.jstor.org/stable/48727600

Alqahtani, S. S. (2024). A meta-analysis of technology-based interventions for elementary students with reading difficulties. *Humanities and Social Sciences Communications*, *11*(1), 1629. https://doi.org/10.1057/s41599-024-04159-y

Alrubaian A. (2025). Exploring and Identifying Key Factors in Predicting Dyslexia in Children: Advanced Machine Learning Algorithms From Screening to Diagnosis. *Clinical psychology & psychotherapy*, *32*(3), e70077. https://doi.org/10.1002/cpp.70077

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

Araújo, S., Reis, A., Petersson, K.M., & Faísca, L. (2014). Rapid Automatized Naming and Reading Performance: A Meta-Analysis. *Journal of Educational Psychology*, *107*, 868-883. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/edu0000006

Asvestopoulou, T., Manousaki, V., Psistakis, A., Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Aslanides, I. M., & Papadopouli, M. (2019). Dyslexml: Screening tool for dyslexia using machine learning. *arXiv preprint arXiv:1903.06274*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1903.06274

Bai, Y., Tejedor-García, C., Hubers, F., Cucchiarini, C., & Strik, H. (2021, September). An ASR-based tutor for learning to read: How to optimize feedback to first graders. In *International Conference on Speech and Computer* (pp. 58-69). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.04190

Bailly, G., Godde, E., Piat-Marchand, A. L., & Bosse, M. L. (2022). Automatic assessment of oral readings of young pupils. *Speech Communication*, *138*, 67-79. https://doi.org/10.1016/j.specom.2022.01.008

Berns-Conner, M., Dieker, L., & Roberts, S. (2026, May). Identifying reading disabilities through eye movements: a validation study using Lexplore and AI-driven technology. In *Frontiers in Education* (Vol. 11, p. 1790777). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1790777

Boucher, A. N., Bhat, B. H., Clemens, N. H., Vaughn, S., & O'Donnell, K. (2024). Reading Interventions for Students in Grades 3-12 With Significant Word Reading Difficulties. *Journal of learning disabilities*, *57*(4), 203–223. https://doi.org/10.1177/00222194231207556

Bowers, J.S., & Bowers, P.N. (2017). Beyond Phonics: The Case for Teaching Children the Logic of the English Spelling System. *Educational Psychologist*, *52*, 124 - 141. http://dx.doi.org/10.1080/00461520.2017.1288571

Cadime, I., Ribeiro, I., Cruz, J., Cosme, M. D. C., Meira, D., Viana, F. L., & Santos, S. (2022). An Intervention in Reading Disabilities Using a Digital Tool During the COVID-19 Pandemic. *Frontiers in psychology*, *13*, 862383. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.862383

Caravolas, M., Lervåg, A., Defior, S., Seidlová Málková, G., & Hulme, C. (2013). Different patterns, but equivalent predictors, of growth in reading in consistent and inconsistent orthographies. *Psychological science*, *24*(8), 1398–1407. https://doi.org/10.1177/0956797612473122

Caravolas, M., Lervåg, A., Mousikou, P., Efrim, C., Litavsky, M., Onochie-Quintanilla, E., Salas, N., Schöffelová, M., Defior, S., Mikulajová, M., Seidlová-Málková, G., & Hulme, C. (2012). Common patterns of prediction of literacy development in different alphabetic orthographies. *Psychological science*, *23*(6), 678–686. https://doi.org/10.1177/0956797611434536

Catts, H. W., Nielsen, D. C., Bridges, M. S., Liu, Y. S., & Bontempo, D. E. (2015). Early Identification of Reading Disabilities Within an RTI Framework. Journal of Learning Disabilities, 48(3), 281–297. https://doi.org/10.1177/0022219413498115

Chyl K, Dębska A, Pokropek A, Szczerbiński M, Tanaś ŁL and Sitek M (2024) Assessment of adults with low literacy skills: a review of methods. *Front. Educ*. *9,* 1346073. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1346073

Cogan, K., Ngo, V. M., & Roantree, M. (2025, June). Developing a dyslexia indicator using eye tracking. In *International Conference on Artificial Intelligence in Medicine* (pp. 105-109). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.11004

Diamanti, V., Goulandris, N., Campbell, R., & Protopapas, A. (2018). Dyslexia Profiles Across Orthographies Differing in Transparency: An Evaluation of Theoretical Predictions Contrasting English and Greek. *Scientific Studies of Reading*, *22,* 55 - 69. https://doi.org/10.1080/10888438.2017.1338291

Donner K. (2021). Temporal vision: measures, mechanisms and meaning. *The Journal of experimental biology*, *224*(15), jeb222679. https://doi.org/10.1242/jeb.222679

Duque, R. I. T. A. (2024). The Impact of Digital Tools on The Learning of Students with Special Educational Needs. IOSR *Journal of Business and Management (IOSR-JBM) 26*(7), 22-29. https://doi.org/10.9790/487X-2607082229

Fitas, R. Inclusive education with AI: supporting special needs and tackling language barriers. *AI Ethics* 5, 5729–5757 (2025). https://doi.org/10.1007/s43681-025-00824-3

Foldnes, N., Uppstad, P. H., Grønneberg, S., & Thomson, J. M. (2024, November). School entry detection of struggling readers using gameplay data and machine learning. In *Frontiers in Education* (Vol. 9, p. 1487694). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1487694

Gao, L., Tejedor-Garcia, C., Strik, H., & Cucchiarini, C. (2024). Reading miscue detection in primary school through automatic speech recognition. *arXiv preprint arXiv:2406.07060*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.07060

Gijbels, L., Burkhardt, A., Ma, W. A., & Yeatman, J. D. (2024). Rapid online assessment of reading and phonological awareness (ROAR-PA). *Scientific reports*, *14*(1), 10249. https://doi.org/10.1038/s41598-024-60834-9

Gran Ekstrand, A. C., Nilsson Benfatto, M., & Öqvist Seimyr, G. (2021, March). Screening for reading difficulties: Comparing eye tracking outcomes to neuropsychological assessments. In *Frontiers in Education* (Vol. 6, p. 643232). Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/feduc.2021.643232

Hautala, J., Heikkilä, R., Nieminen, L., Rantanen, V., Latvala, J. M., & Richardson, U. (2020). Identification of reading difficulties by a digital game-based assessment

technology. *Journal of Educational Computing Research*, *58*(5), 1003-1028. https://doi.org/10.1177/0735633120905309

Israel, M., Huang, R., Bex II, R., Kale-Mokake, K., & Marino, M. (2025). *Supporting content learning through technology for K-12 students with disabilities (Document No. IC-10b)*. Retrieved from University of Florida, Collaboration for Effective Educator, Development, Accountability, and Reform Center. https://ceedar.education.ufl.edu/wp-content/uploads/2025/02/Technolgy-Content-IC-2.24.25.pdf

Jéldrez, E., Silva, M., & Cain, K. (2025). The relationship between specific reading difficulties and reading motivation dimensions. *Reading and Writing*, *38*(9), 2463-2482. https://doi.org/10.1007/s11145-024-10600-0?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

Jones, M. W., Snowling, M. J., & Moll, K. (2016). What automaticity deficit? Activation of lexical information by readers with dyslexia in a rapid automatized naming Stroop-switch task. Journal of experimental psychology. *Learning, memory, and cognition*, *42*(3), 465–474. https://doi.org/10.1037/xlm0000186

Kakoura E. and Drigas A. (2023). Digital Tools for Children with Reading Difficulties. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, *14*(03), 129–136. Article DOI: https://doi.org/10.30574/wjbphs.2023.14.3.0252

Laasonen, M., Sanduvete-Chaves, S., Chacón-Moscoso, S., Alves, D. C., Ozbič, M., Petinou, K., Tolonen, A. K., Zajdó, K., Frizelle, P., Murphy, C. A., Saldaña, D., & Kunnari, S. (2026). Intervention Effects on Phonological Processing in Children with Developmental Speech and/or Language Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies with Group Design. *International journal of language & communication disorders*, *61*(3), e70252. https://doi.org/10.1111/1460-6984.70252

Lakretz, Y., Chechik, G., Friedmann, N., & Rosen-Zvi, M. (2015, August). Probabilistic graphical models of dyslexia. In *Proceedings of the 21th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 1919-1928). http://dx.doi.org/10.1145/2783258.2788604

Landerl, K., Freudenthaler, H. H., Heene, M., De Jong, P. F., Desrochers, A., Manolitsis, G., Parrila, R., & Georgiou, G. K. (2019). Phonological awareness and rapid automatized naming as longitudinal predictors of reading in five alphabetic orthographies

with varying degrees of consistency. *Scientific Studies of Reading*, *23*(3), 220–234. https://doi.org/10.1080/10888438.2018.1510936

Mather N., Wendling B. J., 2016, *Chapter 6 - Instructional Implications from the Woodcock–Johnson IV Tests of Achievement*, Editor(s): Dawn P. Flanagan, Vincent C. Alfonso, WJ IV Clinical Use and Interpretation, *Academic Press*, Pages 151-190, ISBN 9780128020760. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802076-0.00006-2

Moiroud, L., Gerard, C. L., Peyre, H., & Bucci, M. P. (2018). Developmental Eye Movement test and dyslexic children: A pilot study with eye movement recordings. *PLoS One*, *13*(9), e0200907. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200907

Molenaar, B., Tejedor-Garcia, C., Strik, H., & Cucchiarini, C. (2023). Automatic assessment of oral reading accuracy for reading diagnostics. *arXiv preprint arXiv:2306.03444*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.03444

Nilsson Benfatto, M., Öqvist Seimyr, G., Ygge, J., Pansell, T., Rydberg, A., & Jacobson, C. (2016). Screening for dyslexia using eye tracking during reading. *PloS one*, *11*(12), e0165508. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165508

Nitz, J., Brack, F., Hertel, S., Krull, J., Stephan, H., Hennemann, T., & Hanisch, C. (2023). Multi-tiered systems of support with focus on behavioral modification in elementary schools: A systematic review. *Heliyon*, *9*(6), e17506. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17506

Niu, R., Ni, L., & Zhu, F. (2025). Emerging technologies and neuroscience-based approaches in dyslexia: a narrative review toward integrative and personalized solutions. *Frontiers in human neuroscience*, *19,* 1683924. https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1683924

Peng, P., Wei Wang, Marissa J. Filderman, Wenxiu Zhang, and Lifeng Lin (2024). The Active Ingredient in Reading Comprehension Strategy Intervention for Struggling Readers: A Bayesian Network Meta-analysis. *Review of Educational Research, 94*(2):228-267. https://doi.org/10.3102/00346543231171345

Perry, C., Zorzi, M., & Ziegler, J. C. (2019). Understanding Dyslexia Through Personalized Large-Scale Computational Models. *Psychological science*, *30*(3), 386–395. https://doi.org/10.1177/0956797618823540

Poulsen, M., Nielsen, A. V., Juul, H., & Elbro, C. (2017). Early Identification of Reading Difficulties: A Screening Strategy that Adjusts the Sensitivity to the Level of Prediction Accuracy. *Dyslexia (Chichester, England)*, *23*(3), 251–267. https://doi.org/10.1002/dys.1560

Prabha, A. J., & Bhargavi, R. (2020). Predictive model for dyslexia from fixations and saccadic eye movement events. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *195*, 105538. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105538

Protopapas, A., Altani, A., & Georgiou, G. K. (2013). Development of serial processing in reading and rapid naming. *Journal of experimental child psychology*, *116*(4), 914–929. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.004

Rauschenberger, M., Baeza-Yates, R., & Rello, L. (2022). A universal screening tool for dyslexia by a web-game and machine learning. *Frontiers in computer science*, *3*, 628634. https://doi.org/10.3389/fcomp.2021.628634

Rello, L., & Ballesteros, M. (2015, May). Detecting readers with dyslexia using machine learning with eye tracking measures. In *Proceedings of the 12th international web for all conference* (pp. 1-8). http://dx.doi.org/10.1145/2745555.2746644

Rello, L., Baeza-Yates, R., Ali, A., Bigham, J. P., & Serra, M. (2020). Predicting risk of dyslexia with an online gamified test. *Plos one*, *15*(12), e0241687. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241687

Share D. L., *Orthographic Learning, Phonological Recoding, and Self-Teaching*, Editor(s): Robert V. Kail, Advances in Child Development and Behavior. *JAI, 36*, 2008, Pages 31-82.

Silverman, R. D., McNeish, D., Speece, D. L., & Ritchey, K. D. (2021). Early screening for decoding-and language-related reading difficulties in first and third grades. *Assessment for Effective Intervention*, *46*(2), 99-109. https://doi.org/10.1177/1534508419857234

Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Selimis, V., Kalaitzakis, M., Bachourou, T., Kaloutsakis, G., ... & Aslanides, I. M. (2017). RADAR: A novel fast-screening method for reading difficulties with special focus on dyslexia. *PloS one*, *12*(8), e0182597. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182597

Szalma, J., Amora, K.K., Vidnyánszky, Z., Weiss, B. (2021). Investigating the Effect of Inter-letter Spacing Modulation on Data-Driven Detection of Developmental Dyslexia Based on Eye-Movement Correlates of Reading: A Machine Learning Approach. Pattern Recognition. *ICPR International Workshops and Challenges*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68796-0_34

Thomson, J. M., Foldnes, N., Uppstad, P. H., Njå, M., Solheim, O. J., & Lundetræ, K. (2020). Can children's instructional gameplay activity be used as a predictive indicator of reading skills?. *Learning and Instruction*, *68*, 101348. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101348

Toki, E. I. (2024). Using Eye-Tracking to Assess Dyslexia: A Systematic Review of Emerging Evidence. *Education Sciences*, *14*(11), 1256. https://doi.org/10.3390/educsci14111256

Tsolia, M., Zygouris, N. C., Kamnis, S., Styliaras, S. K., Beazidou, E., & Stamouli, V. (2026). AI-Assisted Screening of Oral Reading in Primary School: Using Short Recordings to Flag Reading Difficulty in Greek Pupils. *Digital*, *6*(1), 15. https://doi.org/10.3390/digital6010015

Vajs, I., Papić, T., Ković, V., Savić, A. M., & Janković, M. M. (2023). Accessible Dyslexia Detection with Real-Time Reading Feedback through Robust Interpretable Eye-Tracking Features. *Brain sciences*, 13(3), 405. https://doi.org/10.3390/brainsci13030405

Vanden Bempt, F., Economou, M., Van Herck, S., Vanderauwera, J., Glatz, T., Vandermosten, M., ... & Ghesquière, P. (2021). Digital game-based phonics instruction promotes print knowledge in pre-readers at cognitive risk for dyslexia. *Frontiers in Psychology*, *12*, 720548. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.720548

Vitthal, C., Sabu, K., & Rao, P. (2021). Predicting lexical skills from oral reading with acoustic measures. *arXiv preprint arXiv:2112.00635*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.00635

Wood, S. G., Moxley, J. H., Tighe, E. L., & Wagner, R. K. (2018). Does Use of Text-to-Speech and Related Read-Aloud Tools Improve Reading Comprehension for Students with Reading Disabilities? A Meta-Analysis. *Journal of learning disabilities, 51*(1), 73–84. https://doi.org/10.1177/0022219416688170

Yu, H., Li, M., Qian, G., Yue, S., Ossowski, Z., & Szumilewicz, A. (2024). A Systematic Review and Bayesian Network Meta-Analysis Comparing In-Person, Remote, and Blended Interventions in Physical Activity, Diet, Education, and Behavioral Modification on Gestational Weight Gain among Overweight or Obese Pregnant Individuals. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, *15*(7), 100253. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100253

Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory. *Psychological Bulletin*, *131*(1), 3–29. https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.3