



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΩΙΜΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΤΗ
ΔΥΣΓΡΑΦΙΑ**

Αβραμίδου Πολυξένη, AM 1201

Γριβάκη Μαρία – Ανθούλα, AM 1229

Επιβλέπουσα:

Τόκη Ευγενία, Καθηγήτρια, Τμήμα Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 2025



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΩΙΜΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΣΤΗ
ΔΥΣΓΡΑΦΙΑ**

Αβραμίδου Πολυξένη, AM 1201

Γριβάκη Μαρία – Ανθούλα, AM 1229

Επιβλέπουσα:

Τόκη Ευγενία, Καθηγήτρια, Τμήμα Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 2025

Technology and Early Screening of Dysgraphia

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Ιωάννινα, 01/09/2025

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. **Ευγενία Τόκη**, Καθηγήτρια Τμήματος Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων,
Επιβλέπουσα
2. **Ζακοπούλου Βικτώρια**, Αναπλ. Καθηγήτρια Τμήματος Λογοθεραπείας, Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων, Μέλος επιτροπής
3. **Παπαδοπούλου Σουλτάνα**, Επίκουρη Καθηγήτρια Τμήματος Λογοθεραπείας,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Μέλος επιτροπής

Ο/Η Προϊστάμενος/η του Τμήματος

Ναυσικά Ζιάβρα,

Δρ. Χειρουργός – ΩΡΛ, Καθηγήτρια

Υπογραφή

© Αβραμίδου, Πολυξένη, 2025, Γριβάκη, Μαρία – Ανθούλα, 2025.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνουμε υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μας ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

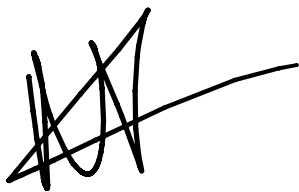
Αβραμίδου Πολυξένη

Υπογραφή

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, somewhat abstract shape with a loop and a series of vertical strokes at the bottom.

Γριβάκη Μαρία – Ανθούλα

Υπογραφή

A handwritten signature in black ink, featuring a series of sharp, intersecting diagonal strokes followed by a long horizontal line extending to the right.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μας, κα. Ευγενία Τόκη, για την καθοδήγηση, την επιστημονική υποστήριξη και την εποικοδομητική συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε τα μέλη ΔΕΠ του Τμήματος Λογοθεραπείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για τις γνώσεις και τα εφόδια που μας προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τα μέλη της ομάδας, για την αгаστή συνεργασία, την αφοσίωση και το πνεύμα ομαδικότητας που χαρακτήρισε την κοινή μας προσπάθεια.

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε την εκτίμησή μας προς όλους όσους συνέβαλαν άμεσα ή έμμεσα στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναπτυξιακή δυσγραφία είναι μια νευρολογική διαταραχή που επηρεάζει την ικανότητα γραφής, οδηγώντας σε δυσκολίες στην εκτέλεση γραφοκινητικών δεξιοτήτων. Η δυσγραφία ενδέχεται να επηρεάσει τα παιδιά σε ποικίλους βαθμούς και να συνυπάρχει με άλλες μαθησιακές δυσκολίες, όπως η δυσλεξία ή η ΔΕΠΥ. Παρά τις παραδοσιακές διαγνωστικές μεθόδους, οι οποίες εξαρτώνται από υποκειμενική παρατήρηση και χειρόγραφες αξιολογήσεις, γεγονός που συχνά οδηγεί σε καθυστερημένη αναγνώριση της διαταραχής, η πρόοδος στην τεχνολογία έχει ανοίξει νέες δυνατότητες για πρόωπη και αντικειμενική διάγνωση. Η παρούσα πτυχιακή εργασία, εξετάζει τις σύγχρονες τεχνολογικές μεθόδους ανίχνευσης και διάγνωσης, με έμφαση στη χρήση ψηφιακών εργαλείων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Τα αποτελέσματα αυτής της πτυχιακής εργασίας συγκαταλέγουν ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν συσκευές παρακολούθησης γραφής, όπως ψηφιακές ταμπλέτες και έξυπνα στυλό, τα οποία καταγράφουν παραμέτρους γραφής όπως η πίεση, η ταχύτητα, η ακρίβεια και η κίνηση. Επιπλέον, η συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της μηχανικής μάθησης για την ανάλυση μεγάλων δεδομένων γραφής, προσφέρει δυνατότητες για έγκαιρη διάγνωση και εξατομικευμένες παρεμβάσεις. Η ανασκόπηση υπογραμμίζει και έπειτα συγκρίνει την αποτελεσματικότητα των σύγχρονων μεθόδων με τις παραδοσιακές, εστιάζοντας στα πλεονεκτήματα και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών στην εκπαιδευτική και κλινική πράξη. Εν κατακλείδι, είναι σαφής η συνεισφορά της τεχνολογίας στο ότι μπορεί να αποτελέσει πολύτιμο εργαλείο για τη βελτίωση της διαγνωστικής διαδικασίας, καθώς και στην υποστήριξη νέων εξατομικευμένων στρατηγικών υποστήριξης.

Λέξεις – κλειδιά: “early screening dysgraphia”, “screening of dysgraphia”, “screening of dysgraphia with AI or computer or tablets or technology”

ABSTRACT

Developmental dysgraphia is a neurological disorder that affects the ability to write, resulting in difficulties with performing graphomotor skills. Dysgraphia may affect children to varying degrees and may coexist with other learning difficulties, such as dyslexia or ADHD. Despite traditional diagnostic methods, which rely on subjective observation and handwritten evaluations and often lead to delayed recognition of the disorder, advances in technology have opened up new possibilities for early and objective diagnosis. This undergraduate thesis examines modern technological approaches to the detection and diagnosis, with a focus on the use of digital tools and machine learning algorithms. The results of this thesis demonstrate technologies used, including writing monitoring devices such as digital tablets and smart pens, which record writing parameters such as pressure, speed, accuracy, and movement. Furthermore, the contribution of artificial intelligence (AI) and machine learning in the analysis of large writing data offers possibilities for early diagnosis and personalized interventions. This thesis highlights the key aspects and then compares the effectiveness of modern methods with traditional ones, focusing on the advantages and challenges that accompany the implementation of these technologies in educational and clinical practice. In conclusion, it is clear that technology can be a valuable tool for improving the diagnostic process, as well as supporting new personalized support strategies.

Keywords: “early screening dysgraphia”, “screening of dysgraphia”, “screening of dysgraphia with AI/ computer/ tablets/ technology”

Πίνακας Περιεχομένων

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1	Εννοιολογικές Αποσαφηνίσεις.....	5
1.1.1	Ιστορική Αναδρομή της Δυσγραφίας	5
1.1.2	Δυσγραφία.....	7
1.1.3	Μαθησιακές δυσκολίες.....	7
1.1.4	Δυσλεξία	8
1.1.5	Δυσορθογραφία.....	9
1.1.6	Δυσαριθμησία.....	9
1.1.7	Επιδημιολογικά Δεδομένα και Βασικά Χαρακτηριστικά Δυσγραφίας	9
1.1.8	Αντιμετώπιση της Δυσγραφίας.....	10
1.2	Ψηφιακές Τεχνολογίες - Δυσγραφία	11
1.3	Στόχος Πτυχιακής Εργασίας.....	12
2.	ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	14
2.1	Ερευνητικά ερωτήματα.....	14
2.2	Στρατηγική αναζήτησης και Κριτήρια Επιλεξιμότητας.....	14
2.2.1	Στρατηγική Αναζήτησης	15
2.2.2	Διαδικασία Επιλογής.....	15
2.2.3	Συμπεριφορικά Αποτελέσματα και Συλλογή Δεδομένων	16
2.2.4	Συμπεριλαμβανόμενες έρευνες.....	16
2.2.5	PRISMA 2020 flow diagram.....	17
2.3	Συμμετέχοντες.....	18
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	19
3.1	Τεχνολογικές μέθοδοι και εργαλεία.....	19
3.2	Κατηγορίες μεθόδων αξιολόγησης δυσγραφίας.....	21
3.3	Αποτελεσματικότητα τεχνολογικών προσεγγίσεων στη διάγνωση και υποστήριξη των παιδιών με δυσγραφία - Συμβολή τεχνητής νοημοσύνης.....	38
3.4	Κύρια Ευρήματα των Μελετών.....	39
3.5	Τεχνολογικές & παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης της δυσγραφίας.....	66
3.6	Σύγκριση Παραδοσιακών και Τεχνολογικών Μεθόδων Αξιολόγησης	68
3.7	Γενική εικόνα ευρημάτων.....	68
4.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	71
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	76

Πίνακας Εικόνων

1. Πειραματική διάταξη. Ένα παιδί προσχολικής ηλικίας εκτελεί μια από τις ασκήσεις στο τάμπλετ χρησιμοποιώντας S-Pen. (Dui LG. et. al. 2020)	23
2. Διεπαφή της εφαρμογής. A: παιχνίδι Copy· B: παιχνίδι Tunnel. (Dui LG. et. al., 2023)	24
3. Στιγμιότυπα από τα παιχνίδια Copy Square, Copy Sequence (επάνω σειρά) και Tunnel Square, Tunnel Word (κάτω σειρά) που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων. (Lumorno E. et al., 2023)	24
4. Φωτογραφία της συσκευής: Τα παιδιά σχεδιάζουν με μελανοδοχείο σε χαρτί πάνω στο tablet, όπως στο σχολείο. Η καταγραφή γίνεται μέσω του λογισμικού GraphLogger. (Devillaine L et. al. 2021).....	25
5. Devillaine L et. al. 2021	25
6. Devillaine L et. al. 2021	26
7. Devillaine L et. al. 2021	26
8. Devillaine L et. al. 2021	26
9. Devillaine L et. al. 2021	27
10. Devillaine L et. al. 2021	27
11. Δύο δείγματα γραφής από το πείραμα, ενός καλού αριστερόχειρα και ενός αδύναμου δεξιόχειρα. Στο σχήμα φαίνονται η περιοχή – στόχος και η περιοχή συμμόρφωσης. Παρουσιάζεται η συνθήκη με μεγάλο μέγεθος γράμματος και υψηλή ακρίβεια. (Smits – Engelsman BC et. al., 1997).....	28
12. SensoGrip: ένα καινοτόμο σύστημα που ανέπτυξε το FH Campus Wien (Αυστρία) κατά τα έτη 2020 – 2021	29
13. A: Παιδί με οφθαλμοκινητικό καταγραφέα κεφαλής. B: Εικόνα από την κάμερα του καταγραφέα (Positive Science) κατά τη διάρκεια του Τεστ Οπτικοκινητικού Συντονισμού Beery – Buktenica. Οι σταυροί δείχνουν το σημείο όπου εστιάζει το βλέμμα του παιδιού. (Fears NE, et al., 2019)	30
14. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	32
15. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	33
16. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	33
17. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	34
18. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	34
19. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023).....	35
20. Ένα tablet χρησιμοποιείται κοντά στην είσοδο του μαγνητικού τομογράφου (MRI). Το στυλό του είναι συνδεδεμένο με οπτική ίνα που διέρχεται μέσω ενός οπτικού αγωγού (waveguide) τοποθετημένου στον τοίχο του δωματίου του τομογράφου. (Reitz et al. 2013).....	36
21. Προβολή χρόνου εκτέλεσης. (Reitz et al. 2013).....	37
22. Απόκριση του εξεταζόμενου στο γράμμα “H”. (Reitz et al. 2013)	37
23. Έγχρωμη επιφάνεια RGB (Color Map Tablet) (Reitz et al. 2013)	38
24. Διάγραμμα διασποράς των z-βαθμολογιών του τεστ BVSCO – 2 για τα παιδιά που συμμετείχαν στη μελέτη. Οι έγχρωμες κουκκίδες κάτω από το καθορισμένο όριο δείχνουν τα άτομα που ο ταξινομητής Quasi – SVM προβλέπει ως «υψηλού κινδύνου» Lumorno E et al., 2023.	42
25. Απαντήσεις ερωτηματολογίου. Οι ερωτήσεις Q1 έως Q5 αντιστοιχούν στις πέντε ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Οι απαντήσεις παρουσιάζονται σε κυκλικά διαγράμματα, με χρωματική κωδικοποίηση που αντιστοιχεί στα εικονίδια συναισθημάτων της διεπαφής (σκούρο πράσινο: πιο θετική απάντηση, κόκκινο: πιο αρνητική) Dui LG et. al., 2020.....	44
26. Ερεθίσματα που εκτελέστηκαν από δύο παιδιά, με κάθε χρώμα να αντιστοιχεί σε διαφορετική πινακίδα. Επάνω παρουσιάζεται το Κύκλωμα 2 και κάτω οι Βρόχοι. Στα δεξιά παρατηρούνται περισσότεροι τρόμοι σε σύγκριση με τα αριστερά.	47
27. Το διάγραμμα απεικονίζει τη βαθμολογία γραφής όλων των παιδιών της μελέτης, διαχωρίζοντας τα τυπικώς αναπτυσσόμενα (κόκκινα σημεία) από εκείνα με δυσγραφία (πράσινα σημεία). Η βαθμολογία είναι αντιστρόφως ανάλογη της ποιότητας γραφής και χρησιμοποιείται για την κατάταξη των παιδιών σε πέντε επίπεδα σοβαρότητας (πολύ σοβαρή, σοβαρή, μέτρια, ελαφριά, φυσιολογική), βάσει προκαθορισμένων ποσοστιαίων ορίων (Asselborn et al 2020).	52
28. Οι περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται σε δυσγραφικά και δυσλεξικά άτομα.	55

29. Το μοντέλο για την πρόβλεψη της βαθμολογίας SEMS. (Bublin et al. 2023).....	56
30. Αποτελέσματα σύγκρισης των μοντέλων CNN-LSTM και WEL-XGB ως προς (a) Ειδικότητα, (b) Ευαισθησία και (c) Ακρίβεια, σε πέντε χαρακτηριστικά (Grid, Structural, Shape, Stroke και Texture). Το μοντέλο WEL – XGB παρουσιάζει σταθερά υψηλότερες επιδόσεις και στις τρεις μετρικές ($\geq 98\%$), σε αντίθεση με το CNN – LSTM που εμφανίζει χαμηλότερες και περισσότερο ασταθείς τιμές ($\approx 91-97\%$).	58
31. Ομαδοποιημένα σημεία κατεύθυνσης του βλέμματος κατά την παρατήρηση της μάσκας σε συνθήκη μέσης σταθερότητας σχήματος.	60

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εννοιολογικές Αποσαφηνίσεις

Η γραφή αποτελεί μια πολυσύνθετη δεξιότητα που αρχίζει να αναπτύσσεται από την πρώιμη παιδική ηλικία και προϋποθέτει τη σύζευξη γνωστικών και κινητικών ικανοτήτων, όπως η γλωσσική επεξεργασία, ο οπτικοχωρικός συντονισμός και η λεπτή κινητικότητα (Feder & Majnemer, 2007). Η διαδικασία αυτή ενεργοποιεί πολύπλοκα νευρωνικά δίκτυα, περιλαμβάνοντας τον μετωπιαίο λοβό για τον κινητικό σχεδιασμό, την παρεγκεφαλίδα για την ακρίβεια και τον συντονισμό των κινήσεων και τον βρεγματικό λοβό, για την επεξεργασία του χώρου και της θέσης των γραφημάτων (Barnett et al., 2013, Richards & Berninger, 2008). Η εμπλοκή πολλαπλών εγκεφαλικών περιοχών καθιστά τη γραφή ιδιαίτερα ευάλωτη σε λειτουργικές διαταραχές.

Η φυσιολογική εξέλιξή της, ξεκινά από το σκαρίφημα, μοντζούρες και γραμμές και μέσω της εξάσκησης, φτάνει σταδιακά σε επίπεδο αυτοματοποίησης κατά την εφηβεία (Graham & Harris, 2000). Για να επιτευχθεί η ομαλή ανάπτυξη της γραφής, πρέπει να έχουν κατακτηθεί βασικές δεξιότητες, όπως ο σωστός σχηματισμός των γραμμάτων, η σταθερή κίνηση των δακτύλων και η αναγνώριση γραφημάτων. Ελλείμματα σε οποιοδήποτε από αυτά τα στάδια μπορούν να οδηγήσουν σε δυσκολίες στη γραφή, δηλαδή στη λεγόμενη δυσγραφία (Mayes et al., 2009, Purcell et al., 2011).

Ωστόσο, στη διεθνή βιβλιογραφία παρατηρείται σημαντική ασυμφωνία σχετικά με τον ακριβή ορισμό και τη φύση της δυσγραφίας, γεγονός που αποδίδεται στη διαφορετική θεωρητική προσέγγιση και ποικιλία των ερμηνευτικών μοντέλων που έχουν προταθεί (McCloskey & Rapp, 2017).

1.1.1 Ιστορική Αναδρομή της Δυσγραφίας

Η έννοια της δυσγραφίας, όπως και γενικότερα των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών, δεν υπήρχε επίσημα μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Ωστόσο, οι πρώτες παρατηρήσεις για ανεξήγητες δυσκολίες στη γραφή έγιναν πολύ νωρίτερα, κυρίως στο πλαίσιο της μελέτης της δυσλεξίας και των νευρολογικών διαταραχών.

1900 – 1950: Οι πρώτες αναφορές

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ερευνητές όπως ο James Hinshelwood (1917), που ασχολήθηκαν με τη συγγενή λέξη – αγνωσία, περιέγραφαν παιδιά που παρουσίαζαν φυσιολογική νοημοσύνη, αλλά αντιμετώπιζαν ανεξήγητες δυσκολίες στη γραφή και την ανάγνωση (Βικιπαίδεια). Ο Edward Thorndike το 1910, μέσα από μελέτες σχετικά με τις δεξιότητες γραφής, άρχισε να θέτει τα πρώτα θεμέλια για συστηματική αξιολόγηση της γραφής, παρόλο που ο όρος «δυσγραφία» δεν είχε ακόμα διατυπωθεί. Κατά την περίοδο αυτή, οι δυσκολίες γραφής θεωρούνταν γενικά αποτέλεσμα τεμπελιάς, έλλειψης κινήτρων ή κακής διδασκαλίας.

1950 – 1970: Εμφάνιση των νευροψυχολογικών θεωριών

Με την πρόοδο της νευροεπιστήμης, αναγνωρίστηκε ότι κάποιες δυσκολίες στη γραφή έχουν βιολογική και νευρολογική βάση. Ο όρος «δυσγραφία», άρχισε να χρησιμοποιείται για να περιγράψει ειδικές κινητικές ή γνωστικές δυσκολίες στην παραγωγή γραπτού λόγου, ανεξάρτητα από τη γενική νοητική ικανότητα του ατόμου. Αναπτύχθηκαν θεωρίες που συνέδεαν τη δυσγραφία με ελλείμματα στον οπτικοχωρικό συντονισμό, στην εκτελεστική λειτουργία και στην κινητική οργάνωση (Berninger, V. W., & Richards, T. L. 2008).

1980 – 2000: Τυπολογία και διάγνωση

Τη δεκαετία του 1980, καθιερώθηκαν πιο δομημένα τεστ αξιολόγησης, όπως το Beery – Buktenica Developmental Test of Visual – Motor Integration (Beery VMI). Το 1995, η δυσγραφία άρχισε να διακρίνεται σε μορφές, σύμφωνα με τον Deuel, όπως:

1. Κινητική δυσγραφία: δυσκολία στον έλεγχο των κινήσεων.
2. Χωρική δυσγραφία: δυσκολία στην τοποθέτηση των γραμμάτων στον χώρο.
3. Δυσλεξική δυσγραφία: συνδυασμός με φωνολογικές δυσκολίες.

Στο DSM – IV αναγνωρίστηκε έμμεσα, ως μέρος των ειδικών μαθησιακών διαταραχών στην έκφραση ή κινητικότητα. (Chung, P. J., Patel, D. R., & Nizami, I. 2020).

2000 έως σήμερα: Τεχνολογικές προσεγγίσεις & νέα οπτική

Η ανάπτυξη της εργοθεραπείας, της γνωστικής νευροψυχολογίας και της τεχνολογίας καταγραφής κινήσεων, συνέβαλαν σημαντικά στη βαθύτερη κατανόηση της δυσγραφίας. Τα

τελευταία χρόνια, με την πρόοδο των ψηφιακών εργαλείων, όπως έξυπνες γραφίδες, tablets, AI λογισμικά κ.α., η αξιολόγηση της δυσγραφίας γίνεται πιο αντικειμενική και μετρήσιμη. Στο DSM – V (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, Fifth Edition 2013), η δυσγραφία αναφέρεται έμμεσα, ως «ειδική μαθησιακή διαταραχή στη γραπτή έκφραση», και στο ICD – 11 (*International Classification of Diseases 11th Revision*, 2022), εντάσσεται σε ένα ευρύτερο φάσμα αναπτυξιακών μαθησιακών δυσκολιών. Η σύγχρονη έρευνα εστιάζει πλέον όχι μόνο στην αξιολόγηση, αλλά και στην πρόωπη ανίχνευση και εξατομικευμένη παρέμβαση (Asselborn T et al. 2018) (Döhla, D., & Heim, S. 2016).

1.1.2 Δυσγραφία

Η δυσγραφία ορίζεται ως μια νευροαναπτυξιακή διαταραχή που εκδηλώνεται με επίμονες και σημαντικές δυσκολίες στην εκμάθηση, οργάνωση και αυτοματοποίηση των δεξιοτήτων γραφής. Η απόδοση του ατόμου στη γραπτή έκφραση είναι σαφώς χαμηλότερη από το αναμενόμενο για το ηλικιακό και σχολικό του επίπεδο, γεγονός που δε δικαιολογείται από εξωτερικούς παράγοντες, όπως ανεπαρκής φοίτηση, χαμηλή οπτική οξύτητα ή μειωμένη γενική νοητική ικανότητα. Η διαταραχή αυτή, παρουσιάζει συχνά αλληλεπικαλύψεις με την αναπτυξιακή δυσλεξία, η οποία αφορά την απόκτηση και αυτοματοποίηση των δεξιοτήτων ανάγνωσης, καθώς και με άλλες ειδικές μαθησιακές δυσκολίες, γεγονός που ενισχύει την άποψη ότι η δυσγραφία εγκαθίσταται σε συγκεκριμένα νευρογνωστικά ελλείμματα και όχι σε περιβαλλοντικά ή εκπαιδευτικά αίτια (Döhla, D., & Heim, S. 2016).

Επιπροσθέτως, η διαταραχή αυτή επηρεάζει την ικανότητα ενός ατόμου να γράφει με ευανάγνωστο, δομημένο και ρέοντα τρόπο και είναι μια διαταραχή που αφορά κυρίως δυσκολίες στο χειρόγραφο και όχι τόσο στη σύνταξη σκέψεων. Υπάγεται επίσης, στις μαθησιακές δυσκολίες, όπως και η **δυσλεξία**, η **δυσορθογραφία** και η **δυσαριθμησία**.

1.1.3 Μαθησιακές δυσκολίες

Συγκεκριμένα, οι μαθησιακές δυσκολίες αποτελούν ένα σύνολο νευροαναπτυξιακών διαταραχών που επηρεάζουν την ικανότητα του ατόμου να κατακτήσει και να εφαρμόσει βασικές ακαδημαϊκές δεξιότητες, όπως η ανάγνωση, η γραφή και τα μαθηματικά, με τον αναμενόμενο ρυθμό σε σύγκριση με τους συνομηλίκους του (Τρίγκα – Μερικά, Ε., 2010). Παρά την ύπαρξη επαρκών γνωστικών ικανοτήτων, κατάλληλης εκπαιδευτικής υποστήριξης και ενός υγιούς μαθησιακού περιβάλλοντος, τα άτομα που παρουσιάζουν τέτοιες δυσκολίες

συχνά αδυνατούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της σχολικής ζωής. Σύμφωνα με το DSM – V (American Psychiatric Association, 2013), οι μαθησιακές δυσκολίες περιγράφονται μέσα από τον όρο «ειδική μαθησιακή διαταραχή» (Specific Learning Disorder) και ταξινομούνται στην κατηγορία των νευροαναπτυξιακών διαταραχών. Η διάγνωση βασίζεται σε τέσσερα βασικά διαγνωστικά κριτήρια:

1. την επίμονη παρουσία ακαδημαϊκών δυσκολιών,
2. την ουσιαστική υστέρηση σε σχέση με το αναμενόμενο επίπεδο απόδοσης,
3. την εκδήλωση των δυσκολιών κατά τη διάρκεια της σχολικής ηλικίας, καθώς και
4. την απουσία άλλων παραγόντων που να εξηγούν τα συμπτώματα, όπως νοητική αναπηρία ή αισθητηριακά ελλείμματα.

Οι δυσκολίες αυτές, μπορεί να εκδηλώνονται με διάφορους τρόπους, όπως ο μαθητής ενδέχεται να διαβάζει με αργό ή ανακριβή ρυθμό, να εμφανίζει κακή γραπτή έκφραση, να κάνει επαναλαμβανόμενα ορθογραφικά λάθη ή να δυσκολεύεται να εκτελέσει βασικές αριθμητικές πράξεις. Παρόλο που οι πρώτες ενδείξεις εντοπίζονται συνήθως στις πρώτες σχολικές τάξεις, η διάγνωση μπορεί να καθυστερήσει έως ότου η μαθησιακή απαίτηση υπερβεί τη δυνατότητα αντιστάθμισης από το παιδί. Η ειδική μαθησιακή διαταραχή περιλαμβάνει τρεις βασικές μορφές: τη δυσλεξία, που αφορά κυρίως την ανάγνωση, τη δυσγραφία, που σχετίζεται με τη γραπτή έκφραση και ιδιαίτερα με τη μηχανική ή κινητική όψη της γραφής, και τη δυσαριθμησία, που αφορά δυσκολίες στην αριθμητική και τη μαθηματική λογική (Μπαφαλούκα, Μ. , 2011).

1.1.4 Δυσλεξία

Η Βρετανική Εταιρεία Δυσλεξίας, θεωρεί τη δυσλεξία ως μια σοβαρή και ιδιαίτερη μαθησιακή δυσκολία, η οποία δε συνδέεται με το εύρος ή την ποιότητα των μαθησιακών ευκαιριών που λαμβάνει το άτομο. Αντιθέτως, εκδηλώνεται ανεξάρτητα από αυτούς τους παράγοντες και εμφανίζεται κυρίως μέσα από δυσχέρειες στην ανάγνωση καθώς και στην ορθογραφικά ορθή γραφή (Στασινός, 2016). Επιπρόσθετα, η δυσλεξία αναγνωρίζεται ως ειδική μαθησιακή δυσκολία που οφείλεται σε ένα πολυπαραγοντικό σύνολο αιτιών, χωρίς ωστόσο να επηρεάζει άλλες νοητικές λειτουργίες ή γενικότερα τη νοημοσύνη του ατόμου (Παπαδάτος, 2003).

1.1.5 Δυσορθογραφία

Σύμφωνα με την Ελληνική Εταιρεία Δυσλεξίας, η δυσορθογραφία εντάσσεται στο φάσμα των Ειδικών Μαθησιακών Δυσκολιών και αποτελεί μια ειδική διαταραχή της μάθησης που αφορά αποκλειστικά την ορθογραφία και τους κανόνες που τη διέπουν. Πρόκειται για μια συγκεκριμένη μαθησιακή δυσκολία, η οποία εκδηλώνεται σε άτομα με φυσιολογική νοημοσύνη και επηρεάζει την ικανότητά τους να μάθουν και να εφαρμόζουν ορθογραφικούς κανόνες, τόσο σε επίπεδο λέξεων όσο και σε επίπεδο σύνταξης, πρότασης και παραγράφου. Τα ορθογραφικά λάθη που εντοπίζονται στα άτομα με δυσορθογραφία, ενδέχεται να οφείλονται σε ποικίλους παράγοντες, όπως δυσκολίες στην οπτική ή ακουστική αντίληψη, στην ικανότητα ακολουθίας, στην ανάπτυξη του προφορικού λόγου, καθώς και στην οργάνωση του χώρου και του χρόνου (Τρίγκα – Μερικά, 2010).

1.1.6 Δυσαριθμησία

Ορίζεται ως ειδική μαθησιακή δυσκολία που αφορά τις μαθηματικές δεξιότητες. Η δυσαριθμησία διακρίνεται σε δύο βασικούς τύπους: α) την αναπτυξιακή και β) την επίκτητη. Ο όρος *αναπτυξιακή δυσαριθμησία* αναφέρεται σε μία γνωστικού χαρακτήρα διαταραχή, που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της παιδικής ανάπτυξης και σχετίζεται με την ποιότητα της αρχικής μαθησιακής εμπειρίας του παιδιού (Μπαφαλούκα, 2011). Αντίθετα, ο όρος *επίκτητη δυσαριθμησία*, χρησιμοποιείται για να περιγράψει περιπτώσεις όπου το άτομο έχει ήδη αποκτήσει βασικές μαθηματικές γνώσεις, αλλά λόγω εγκεφαλικής βλάβης ή ασθένειας παρουσιάζει διαταραχές στις γνωστικές διεργασίες που σχετίζονται με τη μαθηματική σκέψη και ικανότητα (Μπαφαλούκα, 2011). Τέλος, ερευνητικά δεδομένα από διεθνείς μελέτες, καταδεικνύουν ότι η δυσαριθμησία επηρεάζει περίπου το 3,5% έως 6,5% του μαθητικού πληθυσμού, με την επίπτωσή της να παρουσιάζεται με παρόμοια συχνότητα τόσο στα αγόρια όσο και στα κορίτσια (Badian, 1983, Gross – Tsur, Manor & Shalev, 1996, Kosci, 1974).

1.1.7 Επιδημιολογικά Δεδομένα και Βασικά Χαρακτηριστικά Δυσγραφίας

Εν συνεχεία, σύμφωνα με ποικίλες έρευνες, έχει αποδειχθεί ότι περίπου 1 στα 4 παιδιά δυσκολεύεται σοβαρά με τη γραφή, ακόμη κι αν έχει υποστηριχθεί σωστά η μαθησιακή διαδικασία. Επίσης, επισημαίνεται ότι επηρεάζονται περισσότερο τα αγόρια (21 – 32%) σε σχέση με τα κορίτσια (11 – 12%) (Abed, S. N., Abbas, D. M., & Dawood, I. 2023). Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της δυσγραφίας είναι ο **κακός γραφικός**

χαρακτήρας, ανώμαλο μέγεθος γραμμάτων, ανομοιογενής απόσταση, ο **αργός ρυθμός γραφής** και η **δυσκολία στη διατήρηση της οργάνωσης του κειμένου**, η **δυσκολία στον συντονισμό χεριού – ματιού**, οδηγώντας σε αδέξιες ή ασταθείς κινήσεις, η **αυξημένη κόπωση κατά τη γραφή**, καθώς το άτομο καταβάλλει μεγάλη προσπάθεια και τα **συχνά ορθογραφικά λάθη**, ακόμα και σε γνωστές λέξεις. Αυτά τα χαρακτηριστικά, επηρεάζουν τόσο την εκπαίδευση όσο και την καθημερινότητα, και μπορεί να οδηγήσουν σε άγχος, χαμηλή αυτοεκτίμηση ή πρόωρη εγκατάλειψη του σχολείου (Hen Herbst L, et al. 2022). Στη συνέχεια, η δυσγραφία μπορεί να εμφανίζεται μόνη της ή σε συνδυασμό με άλλα προβλήματα, όπως **ΔΕΠ – Υ** (Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής ή/και Υπερκινητικότητα), **δυσλεξία** ή **δυσπραξία** (νευρολογική διαταραχή του κινητικού συντονισμού που επηρεάζει την ικανότητα ενός ατόμου να σχεδιάζει και να εκτελεί σύνθετες κινήσεις), (Rothi et al., 1991/1997) και έχει διάφορες μορφές (Chung PJ, et al. 2020). Η πιο γνωστή μορφή είναι η **αναπτυξιακή**, που εμφανίζεται από μικρή ηλικία, χωρίς να οφείλεται σε κάποιον τραυματισμό. Υπάρχει όμως και η **επίκτητη**, που προκαλείται από τραυματισμούς ή ασθένειες, όπως η νόσος του Πάρκινσον, που μπορεί να προκαλέσει ειδική μορφή δυσγραφίας. Χωρίζεται επίσης σε, **δυσλεξική** που είναι συχνά συννοσηρή με ελλειμματική προσοχή ή δυσλεξία, **χωρική** που είναι συνέπεια ελαττώματος στην κατανόηση του χώρου και **κινητική** που είναι συχνά συννοσηρή με διαταραχή κινητικής απόκτησης, σύμφωνα με το Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders 5 (DSM – V) (Chung PJ, et al. 2020).

1.1.8 Αντιμετώπιση της Δυσγραφίας

Η δυσγραφία αντιμετωπίζεται μέσω θεραπευτικών παρεμβάσεων, όπως εργοθεραπεία, εξειδικευμένες ασκήσεις γραφής και τεχνολογικά βοηθήματα. Όσον αφορά όμως την ανίχνευσή της, οι πρώτες προσπάθειες ξεκίνησαν ήδη από το 1910, με τον Thorndike και από τότε, δημιουργήθηκαν δύο βασικές μέθοδοι αξιολόγησης (Asselborn T. et al. 2020). Η **ολιστική προσέγγιση**, που βασίζεται στην υποκειμενική κρίση και θεωρείται πιο ξεπερασμένη, καθώς και η **κριτηριακή προσέγγιση**, που βασίζεται σε συγκεκριμένα μετρήσιμα χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος των γραμμάτων, η ευθυγράμμιση κ.ά. και είναι πιο αντικειμενική. Έτσι μέχρι και πρόσφατα, η δυσγραφία διαγιγνώσκεται κυρίως μέσω οπτικής παρατήρησης από εκπαιδευτικούς ή ειδικούς, χειρόγραφων τεστ αξιολόγησης γραφοκινητικών δεξιοτήτων και ανάλυσης γραπτών δειγμάτων από ειδικούς θεραπευτές. Σημειώνονται βέβαια, κάποια προβλήματα γύρω από αυτές τις μεθόδους διάγνωσης, που

χαρακτηρίζονται ως **παραδοσιακές**, όπως είναι η **καθυστερημένη διάγνωση**, καθώς τα συμπτώματα της δυσγραφίας γίνονται εμφανή σε μεγαλύτερες ηλικίες και η **έλλειψη ποσοτικών δεδομένων**, διότι δεν υπάρχουν μετρήσιμες τιμές για την ποιότητα της γραφής (Asselborn T. et al. 2020).

1.2 Ψηφιακές Τεχνολογίες - Δυσγραφία

Στις μέρες μας όμως, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη διάγνωση και αντιμετώπιση της δυσγραφίας, επιτρέποντας την αντικειμενική και ακριβή αξιολόγηση της ποιότητας της γραφής (Bublin et al. 2022). Πιο συγκεκριμένα, η τεχνολογία επιτρέπει την αυτόματη καταγραφή και ανάλυση της γραφής μέσω έξυπνων εργαλείων, όπως αναλύεται στη συνέχεια:

1. Ψηφιακές Ταμπλέτες (tablets) και Στυλό με Αισθητήρες

Χρησιμοποιούνται **ειδικές ταμπλέτες γραφής** που καταγράφουν με μεγάλη ακρίβεια στοιχεία όπως την **ταχύτητα γραφής**, καθυστερήσεις ή διακοπές στη γραφή που μπορεί να είναι ενδείξεις δυσγραφίας. Καταγράφουν επίσης και την **πίεση στο στυλό**, όπου εάν είναι υπερβολική ή πολύ μικρή, δείχνει δυσκολία στον κινητικό έλεγχο, αλλά και την **ακρίβεια κίνησης**, όπου οι ακανόνιστες ή τρεμάμενες γραμμές μπορεί να σχετίζονται με δυσγραφία (Asselborn et al. 2018, Bublin et al. 2023).

2. Μηχανική Μάθηση & Τεχνητή Νοημοσύνη (AI)

Χρησιμοποιούνται **Αλγόριθμοι Μηχανικής Μάθησης** που αναλύουν δεδομένα από εκατοντάδες δείγματα γραφής, αλλά και συστήματα **Τεχνητής Νοημοσύνης** που μπορούν να αναγνωρίσουν **πρότυπα δυσγραφίας** πολύ νωρίτερα από ότι ένας ειδικός. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν **ταχύτατη και ακριβή διάγνωση**, χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης αξιολόγησης (Arnaud et al. 2024, Drotár P et al. 2020).

3. Λογισμικά Ανάλυσης Γραφής

Υπάρχουν **εφαρμογές** που αναλύουν γραπτά κείμενα και εντοπίζουν δυσκολίες όπως κακή στοίχιση των γραμμάτων, μεταβλητό μέγεθος, απόσταση μεταξύ χαρακτήρων και δυσκολία στη σύνδεση γραμμάτων σε γραφή συνδεδεμένης μορφής (Danna et al. 2023, Piazzalunga et al. 2023).

Σήμερα, η τεχνολογία επιτρέπει πιο έγκαιρες και αντικειμενικές αξιολογήσεις και γι' αυτόν τον λόγο, οι μέθοδοι και τα εργαλεία που βασίζονται σε αυτήν, παρουσιάζουν πληθώρα πλεονεκτήματα. Μερικά από αυτά είναι η **αντικειμενικότητα**, δηλαδή ακριβείς μετρήσεις, χωρίς ανθρώπινη υποκειμενικότητα, η δυνατότητα **πρώιμης διάγνωσης**, καθώς μπορούν να εντοπιστούν δυσκολίες από πολύ μικρή ηλικία, η **εξατομικευμένη παρέμβαση**, που επιτρέπει τη δημιουργία προσαρμοσμένων προγραμμάτων υποστήριξης για κάθε μαθητή, αλλά και η **αυτοματοποιημένη διάγνωση**, όπου οι εκπαιδευτικοί μπορούν να χρησιμοποιούν τα εργαλεία αυτά χωρίς εξειδικευμένη εκπαίδευση (Asselborn et al. 2023, Arnaud et al. 2024, Bublin et al. 2023, Piazzalunga et al. 2023).

1.3 Στόχος Πτυχιακής Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στις σύγχρονες διαγνωστικές προσεγγίσεις για την αναπτυξιακή δυσγραφία, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών και προηγμένων υπολογιστικών μεθόδων, όπως οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Οι πρόσφατες μελέτες που συμπεριλήφθηκαν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εργαλείων αξιολόγησης, όπως αισθητήρες γραφής (π.χ. SensoGrip), tablets με εξειδικευμένο λογισμικό ανάλυσης γραφής, καθώς και πλατφόρμες τεχνητής νοημοσύνης, που επεξεργάζονται γραφοκινητικά δεδομένα με σκοπό την αναγνώριση προτύπων δυσγραφικής συμπεριφοράς. Η ανάλυση των δεδομένων επικεντρώνεται σε κρίσιμους δείκτες όπως η πίεση που ασκείται κατά τη γραφή, η ταχύτητα και ο ρυθμός κίνησης, η ακρίβεια στις καμπύλες, και ο βαθμός σταθερότητας στη χρήση των λεπτών μυών του χεριού. Οι τεχνολογίες αυτές, συμβάλλουν στην αντικειμενικοποίηση της διάγνωσης και την αποφυγή της υποκειμενικότητας που συχνά χαρακτηρίζει τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης. Επιπλέον, εξετάζονται καινοτόμες εφαρμογές που ενσωματώνουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας δυνατότητες για πρώιμη παρέμβαση και στοχευμένη αποκατάσταση. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στη συσχέτιση των γραφοκινητικών δυσκολιών με τις εκτελεστικές λειτουργίες και τις δεξιότητες λεπτής κινητικότητας, καθώς αυτά τα πεδία φαίνεται να αποτελούν κρίσιμους δείκτες για την έγκαιρη ανίχνευση της αναπτυξιακής δυσγραφίας. Τέλος, η εργασία επιχειρεί μία συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των παραδοσιακών διαγνωστικών εργαλείων και των νέων τεχνολογικών μεθόδων, προκειμένου να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία κάθε προσέγγισης. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων, καταδεικνύει ότι οι σύγχρονες τεχνολογίες, όταν εφαρμόζονται ορθά και σε συνδυασμό με παιδαγωγική τεκμηρίωση, μπορούν να προσφέρουν

ένα πιο ακριβές και πολυδιάστατο προφίλ του παιδιού, συμβάλλοντας καθοριστικά στην έγκαιρη διάγνωση και εξατομικευμένη παρέμβαση.

2. ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΣ

2.1 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα αυτής της πτυιακής εργασίας είναι τα ακόλουθα:

1. Ποιες τεχνολογικές μέθοδοι και εργαλεία χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της δυσγραφίας; Τι τεχνολογίες υπάρχουν και πώς βοηθούν;
2. Πόσο αποτελεσματικές είναι οι τεχνολογικές προσεγγίσεις στη διάγνωση και υποστήριξη των παιδιών με δυσγραφία και πώς η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση συμβάλλουν στην πρόβλεψη και ανίχνευση της δυσγραφίας;
3. Πώς συγκρίνονται οι τεχνολογικές μέθοδοι ανίχνευσης με τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης της δυσγραφίας;

2.2 Στρατηγική αναζήτησης και Κριτήρια Επιλεξιμότητας

Η παρούσα συστηματική ανασκόπηση διενεργήθηκε σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta – Analyses), με στόχο τη διασφάλιση της διαφάνειας, της πληρότητας και της αναπαραγωγιμότητας σε όλα τα στάδια της διαδικασίας. Συμπεριλήφθηκαν διεθνείς μελέτες διαχρονικού σχεδιασμού, που αφορούσαν παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας (4 – 12 ετών), με ή χωρίς διάγνωση δυσγραφίας. Αντιστοίχως, δε συμπεριλήφθηκαν έρευνες χωρίς διαθέσιμο πλήρες κείμενο και έρευνες με ελλιπή δεδομένα. Εν συνεχεία, δεν εφαρμόστηκαν περιορισμοί ως προς το φύλο, την εθνικότητα ή την προτίμηση χεριού κατά τη γραφή. Τα κριτήρια ένταξης επικεντρώθηκαν σε μελέτες που αξιολογούσαν μεθόδους ή εργαλεία πρώιμης ανίχνευσης της δυσγραφίας, ιδίως μέσω της χρήσης τεχνολογικών βοηθημάτων, ανεξάρτητα από την τεκμηριωμένη αποτελεσματικότητά τους. Έγινε αποδεκτό ένα ευρύ φάσμα τύπων μελετών, συμπεριλαμβανομένων συστηματικών ανασκοπήσεων, δημοσιευμένων ερευνών σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά με peer – review, τυχαιοποιημένων ελεγχόμενων δοκιμών (RCTs), πειραματικών μελετών, μελετών παρατήρησης, αναλυτικών και διαγνωστικών προσεγγίσεων, καθώς και ερευνών με στατιστική επεξεργασία κινηματικών και δυναμικών χαρακτηριστικών της γραφής. Τέλος,

λήφθηκαν υπόψιν, μόνο μελέτες που δημοσιεύτηκαν στην αγγλική γλώσσα, κατά την περίοδο 2000 – 2023.

2.2.1 Στρατηγική Αναζήτησης

Η στρατηγική αναζήτησης, βασίστηκε σε μια συστηματική προσέγγιση επιλογής πηγών που εξασφαλίζουν την εγκυρότητα, την πληρότητα και την ενημερότητα των επιστημονικών δεδομένων. Η αναζήτηση αυτή, πραγματοποιήθηκε σε ποικίλες βάσεις δεδομένων όπως το Pubmed, το GoogleScholar, το Scopus και το ScienceDirect. Για τον εντοπισμό των σχετικών μελετών, χρησιμοποιήθηκαν συνδυασμοί λέξεων – κλειδιών όπως “early screening dysgraphia”, “screening of dysgraphia”, “screening of dysgraphia with AI/computer/tablets/technology”. Αρχικά, εξετάστηκαν οι τίτλοι και οι περιλήψεις των μελετών, και στη συνέχεια, επιλέχθηκαν για ολοκληρωμένη ανάγνωση όσες πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ιδιαίτερη βάση και προσοχή δόθηκε στην κατάλληλη χρήση φίλτρων αναζήτησης, με σκοπό τον περιορισμό της έρευνας και την εστίαση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν μόνο μελέτες με πρόσβαση στο πλήρες κείμενο και που αφορούσαν αποκλειστικά παιδικό πληθυσμό, ώστε να διασφαλιστεί η συνάφεια με το αντικείμενο της παρούσας ανασκόπησης. Καταληκτικά, οι πηγές που προτιμήθηκαν καλύπτουν ένα μεγάλο δείγμα εργαλείων και μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την πρόωπη ανίχνευση της δυσγραφίας σε κλινικά, οικογενειακά και σχολικά περιβάλλοντα. Ο συνδυασμός των πηγών αυτών, διασφαλίζει μια συνολική, επιστημονικά τεκμηριωμένη παρουσίαση των δεδομένων, για την έγκυρη διάγνωση της δυσγραφίας, προσφέροντας παράλληλα πρακτικές κατευθύνσεις για την εφαρμογή τους.

2.2.2 Διαδικασία Επιλογής

Η επιλογή των μελετών πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια. Αρχικά, έγινε προκαταρκτικός έλεγχος των τίτλων και των περιλήψεων, με στόχο τον άμεσο αποκλεισμό των μελετών που δεν ανταποκρίνονταν στα κριτήρια ένταξης. Στη συνέχεια, τα άρθρα που κρίθηκαν εν δυνάμει κατάλληλα προχώρησαν σε εκτενή ανάγνωση του πλήρους κειμένου, ώστε να διαπιστωθεί εάν ανταποκρίνονταν στα καθορισμένα κριτήρια ένταξης (π.χ. εστίαση σε παιδικό πληθυσμό, χρήση τεχνολογίας κ.λ.π.). Η διαδικασία αξιολόγησης έγινε ανεξάρτητα από δύο αξιολογητές και σε περιπτώσεις διαφωνιών, διενεργήθηκε συζήτηση μέχρι την επίτευξη συμφωνίας. Οι τελικές επιλογές τεκμηριώθηκαν και καταγράφηκαν αναλυτικά. Κατά αυτήν τη διαδικασία, δε χρησιμοποιήθηκαν αυτοματοποιημένα εργαλεία

εξαγωγής ή ανάλυσης δεδομένων, καθώς η φύση των πληροφοριών απαιτούσε ποιοτική αξιολόγηση και κρίση περιεχομένου.

2.2.3 Συμπεριφορικά Αποτελέσματα και Σύλλογή Δεδομένων

Για την αποτύπωση των συμπεριφορικών αποτελεσμάτων, εξετάστηκαν στοιχεία που σχετίζονται με την ενίσχυση της αυτοπεποίθησης των παιδιών ως προς τη γραφή, καθώς και με τις αλλαγές στον τρόπο που επικοινωνούν με τους εκπαιδευτικούς ή τους γονείς τους. Τα δεδομένα αυτά, αφορούσαν κυρίως τις εκτιμήσεις των εκπαιδευτικών ή των γονέων για την αυτοεκτίμηση και τη συμπεριφορά των παιδιών, πριν και μετά την εφαρμογή των εργαλείων πρώιμης ανίχνευσης δυσγραφίας.

Σε ορισμένες μελέτες, αναζητήθηκαν δεδομένα για την αλλαγή στη συμπεριφορά του παιδιού και την προσαρμογή του στις δραστηριότητες γραφής σε διάφορους χρόνους μέτρησης (π.χ. άμεσος και μεσοπρόθεσμος χρόνος μετά την παρέμβαση). Σε περιπτώσεις που τα δεδομένα για τις συμπεριφορικές αλλαγές δεν ήταν πλήρη ή σαφή, επιλέχθηκαν οι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις που παρέχονταν από τους εκπαιδευτικούς ή άλλους υπεύθυνους φορείς. Εφόσον υπήρχε αμφιβολία για την αξιοπιστία των δεδομένων, αναζητήθηκαν επιπλέον πληροφορίες ή μελετήθηκε η βιβλιογραφία για να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα.

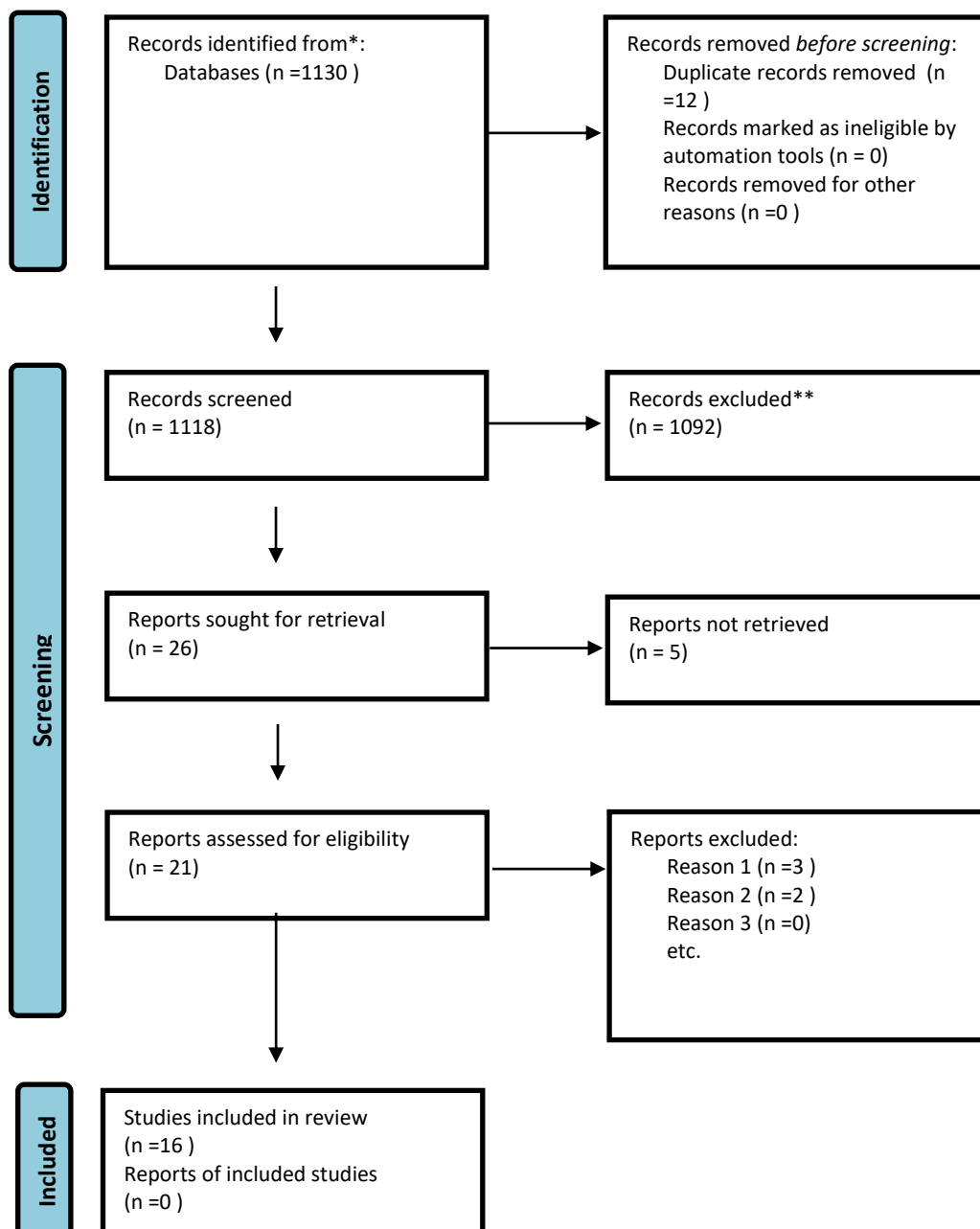
2.2.4 Συμπεριλαμβανόμενες έρευνες

Η αρχική ηλεκτρονική αναζήτηση ανέδειξε συνολικά 1.130 επιστημονικά άρθρα. Πιο συγκεκριμένα:

- 1^η αναζήτηση στο PubMed: “early screening dysgraphia” → 89 άρθρα
- 2^η αναζήτηση στο PubMed: “screening of dysgraphia” → 766 άρθρα
- 3^η αναζήτηση στο Science Direct: “screening of dysgraphia with computers” → 226 άρθρα
- 4^η αναζήτηση στο Google Scholar: “screening of dysgraphia with tablets” → 20 άρθρα
- 5^η αναζήτηση στο PubMed και στο Google Scholar: “screening of dysgraphia with AI” → 5 άρθρα
- 6^η αναζήτηση στο Science Direct και στο PubMed: “screening of dysgraphia with technology” → 24 άρθρα

Μετά την αφαίρεση 12 διπλότυπων εγγράφων, 1.118 άρθρα προχώρησαν στη διαδικασία αρχικής αξιολόγησης, η οποία περιλάμβανε εξέταση του τίτλου, του τύπου δημοσίευσης και της περίληψης. Από αυτά, 1.092 αποκλείστηκαν καθώς δεν πληρούσαν τα προκαθορισμένα κριτήρια ένταξης. Τα εναπομείναντα 26 άρθρα, αξιολογήθηκαν σε επίπεδο πλήρους κειμένου. Ωστόσο, για 5 εξ αυτών, δεν κατέστη δυνατή η πρόσβαση στο πλήρες κείμενο, με αποτέλεσμα να αποκλειστούν από την περαιτέρω ανάλυση. Από τα 21 άρθρα που παρέμειναν, 5 αποκλείστηκαν, 3 λόγω συγγραφής σε διαφορετική γλώσσα από αυτή που είχε οριστεί ως αποδεκτή και 2 λόγω μη επαρκώς τεκμηριωμένων δεδομένων. Τελικώς, 16 μελέτες πληρούσαν επαρκώς τα κριτήρια ένταξης και συμπεριλήφθηκαν στην πτυχιακή εργασία.

2.2.5 PRISMA 2020 flow diagram



2.3 Συμμετέχοντες

Οι μελέτες που συμπεριλήφθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα, εξέτασαν συνολικά 2.585 συμμετέχοντες, με ηλικίες που κυμαίνονταν από 4 έως 12 έτη, των τελευταίων τάξεων του νηπιαγωγείου ή των πρώτων του Δημοτικού. Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν για το φύλο των συμμετεχόντων, προκύπτει ότι τα 391 ήταν κορίτσια και τα 487 αγόρια, ενώ κάποιες άλλες μελέτες δεν παρείχαν επαρκή δεδομένα για αυτόν τον διαχωρισμό (Dui LG et al., 2020, Rosenblum S et al., 2003 κ.α.). Τα περισσότερα άρθρα διαχώριζαν τα άτομα σε δύο κύριες κατηγορίες, άτομα τυπικής ανάπτυξης τα οποία ήταν 1.133 και άτομα με δυσγραφία τα οποία ήταν 379. Τα άτομα με δυσγραφία, εντοπίστηκαν σε ορισμένες μελέτες (Rosenblum S. et al., 2006, Rosenblum S. et al., 2003 κ.α.) μέσω τυποποιημένων και επικυρωμένων ερωτηματολογίων, που συμπληρώθηκαν από τα ίδια τα παιδιά ή/και τους γονείς. Τα διαχώρισαν επίσης, και σε δεξιόχειρα, αριστερόχειρα και αμφίχειρα, εκ των οποίων τα 666 ήταν δεξιόχειρα, τα 87 αριστερόχειρα και τα 6 αμφίχειρα. Υπήρξαν επιπλέον, αυστηρά κριτήρια ένταξης όσον αφορά τα τυπικά αναπτυσσόμενα παιδιά, όπου έπρεπε να μην παρουσιάζουν κάποια μαθησιακή δυσκολία ή ΔΕΠ – Υ, ενώ ορισμένα κριτήρια αποκλεισμού για όλους τους συμμετέχοντες ήταν νευρολογικές ή αισθητικοκινητικές παθολογίες, κάποιος τραυματισμός στο χέρι ή σωματική αδυναμία γραφής, προβλήματα όρασης, ακοής κ.α. Επομένως, αυτές οι διαφορές στα χαρακτηριστικά των συμμετεχόντων μπορεί να επηρεάζουν τη γενίκευση των ευρημάτων.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Τεχνολογικές μέθοδοι και εργαλεία

Σε αυτή την ενότητα θα ασχοληθούμε με την απάντηση στο 1^ο ερευνητικό ερώτημα:

Ποιες τεχνολογικές μέθοδοι και εργαλεία χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση της δυσγραφίας; Τι τεχνολογίες υπάρχουν και πώς βοηθούν;

Για την ανίχνευση της δυσγραφίας, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

1. Οπτικοκινητική Ανάλυση και Παρακολούθηση Ματιών

Η οπτικοκινητική ανάλυση περιλαμβάνει τη μελέτη των κινήσεων των ματιών κατά τη διαδικασία της γραφής. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν τεχνολογία παρακολούθησης ματιών (eye trackers), για να καταγράψουν πώς μετακινείται και πού εστιάζει το βλέμμα των συμμετεχόντων την ώρα που γράφουν ή αντιγράφουν ένα κείμενο. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα παιδιά με δυσγραφία εμφανίζουν μεγαλύτερη αστάθεια στις κινήσεις των ματιών και καθυστερήσεις στην οπτικοκινητική ολοκλήρωση (Piazzalunga et al., 2023, Fears et al., 2019).

2. Ψηφιακή Καταγραφή Γραφής

Η καταγραφή της γραφής μέσω ψηφιακών συσκευών, όπως tablet και γραφομηχανές, επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Με τη χρήση γραφίδων (π.χ. Apple Pencil) και ειδικών εφαρμογών, καταγράφονται παράμετροι όπως, συντεταγμένες (x, y) των κινήσεων, πίεση που ασκείται στη γραφίδα, κλίση και γωνία αζιμουθίου. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν την ανάλυση της σταθερότητας της γραφής και την αναγνώριση χαρακτηριστικών που διακρίνουν τα παιδιά με δυσγραφία από τα τυπικά αναπτυσσόμενα παιδιά (Devillaine et al., 2021, Gargot et al., 2020 Bublin et al., 2023, Asselborn et al., 2018/2020).

3. Μαγνητική Τομογραφία Λειτουργικής Απεικόνισης (f - MRI)

Η χρήση λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας (f - MRI), επιτρέπει τη μελέτη της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά τη διάρκεια της γραφής. Οι έρευνες δείχνουν ότι τα

παιδιά με δυσγραφία παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στη δραστηριότητα περιοχών του εγκεφάλου, που σχετίζονται με τον οπτικοκινητικό έλεγχο και τη λεπτή κινητικότητα. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται διαφορές στη λειτουργικότητα του προκινητικού φλοιού και της παρεγκεφαλίδας (Reitz et al., 2013).

4. Ανάλυση μέσω Διαδραστικών Παιχνιδιών

Η χρήση διαδραστικών παιχνιδιών που είναι σχεδιασμένα σε ψηφιακές πλατφόρμες, όπως τα iPads ή tablets, έχει επιτρέψει τη δημιουργία διασκεδαστικών μεθόδων αξιολόγησης της δυσγραφίας. Αυτά τα παιχνίδια, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τις κινητικές δυσκολίες που συνδέονται με τη δυσγραφία (Lomurno et al., 2023, Dui et al., 2020).

5. Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και Μηχανικής Μάθησης (ML)

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μεγάλων συνόλων δεδομένων γραφής και την αυτόματη διάγνωση της δυσγραφίας. Οι αλγόριθμοι προγραμματίζονται να αναγνωρίζουν πρότυπα γραφής που συνδέονται με τη δυσγραφία, επιτρέποντας έτσι μια ακριβέστερη και πιο αντικειμενική διάγνωση (Vinçon et al., 2015, Danna et al., 2023).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των συμπεριλαμβανομένων στην πτυχιακή εργασία μελετών (Πίνακας 3.1.1)

3.1.1 Βασικά Χαρακτηριστικά των Μελετών

Εργαλεία/Μέθοδοι	Ηλικία Παιδιών	Δείκτες που αναλύθηκαν	Συγγραφείς
Ψηφιακή ανάλυση γραφής	7 – 12	Ακρίβεια, νευροκινητικός θόρυβος	Smits – Engelsman & Van Galen, 1997
Play – Draw – Write app, Quasi – SVM	5 – 6	Γραφοκινητικά & γνωστικά μοτίβα	Lomurno et al., 2023
Ψηφιακό τεστ, WEL – XGB	6 – 11	Χειρονομίες, quiz, γραφή	Alzahrani et al., 2025
Ψηφιακό tablet (tracing/copying)	6 – 10	Πίεση, ακρίβεια, οπτικοκινητικός συντονισμός	Devillaine et al., 2021
Παιχνίδια πλοήγησης & αντιγραφής	5	Ταχύτητα, ομοθεσία, ακρίβεια	Dui et al., 2020

Ψηφιακή ανάλυση με έξυπνη γραφίδα	7 – 12	Jerk, επιτάχυνση, μικρο – παλμοί	Asselborn et al., 2018/ 2020
BHK , Ψηφιακό tablet	6 – 11	Συγκριτική αξιολόγηση	Gargot et al., 2020
Eye – tracking, παιχνίδι σε iPad	6 – 10	Εστίαση, καθυστερήσεις	Piazzalunga et al., 2023
Beery VMI, eye – tracking	7 – 12	Σακκαδικές κινήσεις, χρόνος προετοιμασίας	Fears et al., 2019
fMRI	8 – 12	Εγκεφαλική ενεργοποίηση	Reitz et al., 2013
SensoGrip (γραφίδα με αισθητήρες)	7 – 11	Πίεση, γωνία, ομαλότητα	Bublin et al., 2023
WACOM tablet	6 – 10	Πίεση, επιτάχυνση, ταχύτητα	Deschamps et al., 2021
BVSCO – 2 test	7 – 12	Ακρίβεια, ταχύτητα, σταθερότητα	Tressoldi & Danna et al., 2013/ 2023
SEMS	6 – 12	Πίεση, ρυθμικότητα, προσανατολισμός	Vinçon et al., 2015
WACOM Intuos Pro	8 – 15	Χωρικά, χρονικά, δυναμικά, κινηματικά χαρακτηριστικά	Drotár et al., 2020
BVSCO – 2 test	7 – 12	Κορυφές ταχύτητας / θορύβου (signal – to – noise)	Danna et al., 2023

3.2 Κατηγορίες μεθόδων αξιολόγησης δυσγραφίας

1. BVSCO – 2 Test (Batteria per la Valutazione della Scrittura e della Competenza Ortografica)

Είναι ένα τυποποιημένο ιταλικό test που χρησιμοποιεί γραφίδα και συγκεκριμένα Apple Pencil, (Tressoldi P et al., 2013, Piazzalunga C, et al., 2023, Danna J, et al., 2023) και παρέχει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των γραπτών δεξιοτήτων εντοπίζοντας τις πιθανές δυσκολίες στη γραφή, όπως τη δυσγραφία στη σχολική ηλικία. Αποτελείται από τρεις βασικές ασκήσεις, οι οποίες αξιολογούν, αντίστοιχα, την ορθογραφική ικανότητα, την ικανότητα του παιδιού να παράγει γραπτό κείμενο και την ταχύτητα γραφής, με την αξιολόγηση να βασίζεται στην ακρίβεια και στην ταχύτητα εκτέλεσης των ασκήσεων (Lomurno E et al., 2023).

Άσκηση 1: Τα παιδιά καλούνται να γράψουν μια ακολουθία γραμμάτων (L και E), χωρίς να σηκώσουν το στυλό, για ένα λεπτό.

Άσκηση 2: Επαναλαμβάνουν τη λέξη "UNO" (ένα στα ιταλικά) για ένα λεπτό, στην προτιμώμενη περίπτωση (π.χ. κεφαλαία ή μικρά γράμματα).

Άσκηση 3: Γράφουν αριθμούς ως γράμματα, στην προτιμώμενη περίπτωση, για 1 λεπτό.

2. BHK (Concise Evaluation Scale for Children's Handwriting)

Το BHK ή αλλιώς Κλίμακα Συνοπτικής Αξιολόγησης για το Παιδικό Χειρόγραφο, είναι ένα τυποποιημένο εργαλείο αξιολόγησης που αναπτύχθηκε από τους Hamstra – Bletz και συνεργάτες (1987) (Anneloes Overvelde. et al., 2011), με στόχο την αντικειμενική εκτίμηση της ποιότητας και της ταχύτητας του χειρογράφου παιδιών, κυρίως της δευτέρας και τρίτης τάξης του δημοτικού. Το test πραγματοποιείται ατομικά και περιλαμβάνει την αντιγραφή ενός προκαθορισμένου κειμένου με τη χρήση έξυπνης πέννας, σε λευκό φύλλο χωρίς γραμμές, που τοποθετείται πάνω σε γραφική ταμπλέτα, π.χ. WACOM Tablet (Asselborn T. et al., 2018, Rosenblum S et al., 2006, Gargot T et al., 2020). Κατά τη διάρκεια του test, το παιδί καλείται να αντιγράψει ένα συγκεκριμένο κείμενο που αρχίζει με απλές μονοσύλλαβες λέξεις και εξελίσσεται σε πιο σύνθετες, μέσα σε 5 λεπτά ή τουλάχιστον πέντε προτάσεις για παιδιά με αργό ρυθμό γραφής (Louis Deschamps, et al., 2021, Gargot T, et al., 2020, Asselborn T. et al., 2020, Devillaine L et al., 2021, Asselborn T. et al., 2018). Η αξιολόγηση της ποιότητας της γραφής βασίζεται σε 13 επιμέρους χαρακτηριστικά, με τη συνολική βαθμολογία να κυμαίνεται από 0 έως 65. Οι βαθμολογίες αυτές κατηγοριοποιούνται ως εξής: 0 – 21 θεωρούνται εντός φυσιολογικών ορίων, 22 – 28 υποδεικνύουν πιθανό κίνδυνο εμφάνισης γραφοκινητικών δυσκολιών, ενώ βαθμολογίες από 29 και άνω είναι ενδεικτικές δυσγραφίας, σύμφωνα με τα πρότυπα της αρχικής κλίμακας δυσγραφίας των De Ajuriaguerra et al. (1979). Η ταχύτητα γραφής μετριέται από τον συνολικό αριθμό γραμμάτων συμπεριλαμβανομένων των διορθώσεων, που παράγει το παιδί εντός του χρονικού ορίου και μετατρέπεται σε δεκαδική βαθμολογία ανάλογη με την τάξη φοίτησης, με βάση τις πρότυπες τιμές των Hamstra – Bletz et al. (1987).

3. Play – Draw – Write

Εφαρμογή που χρησιμοποιείται μέσω tablet (π.χ Samsung Galaxy Tab A & iPad 6), με τη χρήση Apple Pencil και S – Pen για την ανίχνευση της δυσγραφίας σε παιδιά προσχολικής ηλικίας, τα οποία μπορεί να εμφανίσουν μελλοντικές δυσκολίες στη γραφή,

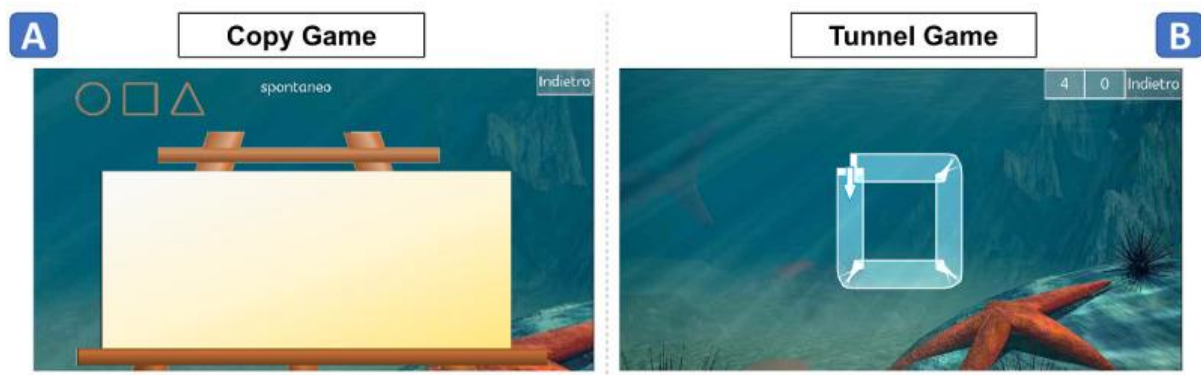
πριν ακόμα μάθουν να γράφουν (Dui LG et al., 2020, Dui LG et al., 2020, Lomurno E. et al., 2023). Πιο συγκεκριμένα, αυτή η εφαρμογή δημιουργήθηκε για να μελετήσει τους νόμους ισοχρονίας, ικανότητα να προσαρμόζει το παιδί την ταχύτητα γραφής ανάλογα με το μέγεθος του σχεδίου και ομοθεσίας, σταθερότητα στον χρόνο που αφιερώνεται σε κάθε στοιχείο του σχήματος σε σύμβολα και αποτελείται από 2 παιχνίδια **Αντιγραφής** και 2 παιχνίδια **Σήραγγας** (Tunnel Games), που έχουν σχεδιαστεί με διαφορετικούς στόχους και τεχνικές, με σκοπό να μελετηθούν διάφορες γνωστικές λειτουργίες. Τα **παιχνίδια αντιγραφής** περιλαμβάνουν 2 επιμέρους ασκήσεις, Copy Square, όπου ο χρήστης καλείται να αντιγράψει ένα σύμβολο (π.χ. ένα τετράγωνο) σε έναν άδειο καμβά και Αντιγραφή Ακολουθίας, όπου ο χρήστης καλείται να αντιγράψει μια ακολουθία συμβόλων.



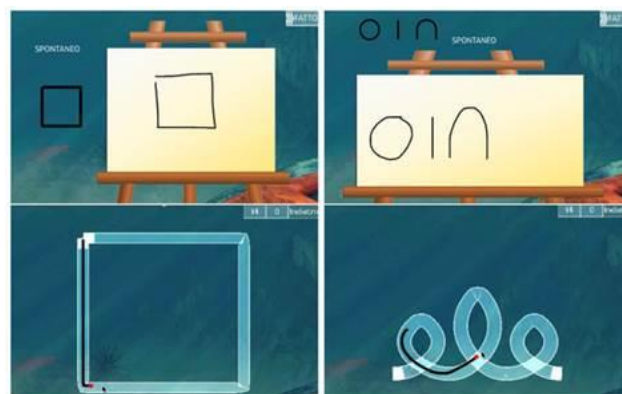
1. Πειραματική διάταξη. Ένα παιδί προσχολικής ηλικίας εκτελεί μια από τις ασκήσεις στο τάμπλετ χρησιμοποιώντας S-Pen. (Dui LG. et. al. 2020)

Για παράδειγμα, μπορεί να κληθεί να αντιγράψει έναν κύκλο, μια γραμμή και ένα αντίστροφο U. Οι παραπάνω ασκήσεις μελετούν την ακρίβεια και την ταχύτητα της αντιγραφής συμβόλων, συνδέοντας την ικανότητα του ατόμου να συντονίζει τις γνωστικές του λειτουργίες. Στα παιχνίδια αυτά, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι αντιγραφής: α) Αυθόρμητος, β) Μεγάλος και γ) Μικρός. Για ό,τι αφορά τα **παιχνίδια Σήραγγας (Tunnel)**, εξετάζουν την ικανότητα του ατόμου να προσέχει και να διαχειρίζεται τον χώρο γρήγορα, ενώ περνά μέσα από σήραγγες με ποικιλία πλάτους και μήκους, με στόχο τη μέτρηση της ταχύτητας και της ακρίβειας στον προσανατολισμό, χωρίς να περάσει τα εξωτερικά σύνορα. Σε περίπτωση λάθους, το άτομο παροτρύνεται να συνεχίσει χωρίς να διακόψει την εκτέλεση της άσκησης (Dui LG et al., 2020). Αντίστοιχα κι αυτά, αποτελούνται από 2 επιμέρους

ασκήσεις, Tunnel Square, όπου ο χρήστης καλείται να περάσει μέσα από 15 διαφορετικές σήραγγες σε σχήμα τετραγώνου και Tunnel Word, όπου ο χρήστης καλείται να περάσει μέσα από 15 σήραγγες με σχήμα "ele", σχήμα που μοιάζει με το γράμμα "E" ή το γράμμα "L" σε κανονική μορφή (Lomurno E et al., 2023).



2. Διεπαφή της εφαρμογής. A: παιχνίδι Copy· B: παιχνίδι Tunnel. (Dui LG. et. al., 2023)

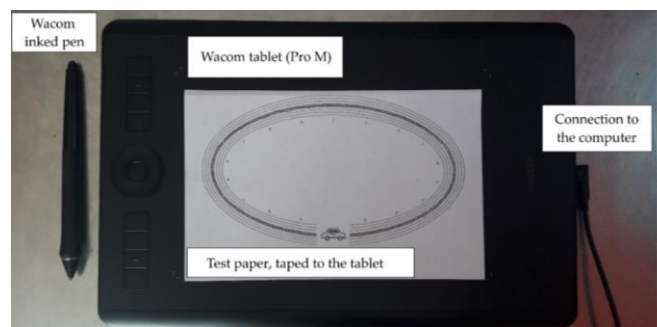


3. Στιγμιότυπα από τα παιχνίδια Copy Square, Copy Sequence (επάνω σειρά) και Tunnel Square, Tunnel Word (κάτω σειρά) που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων. (Lumorno E. et al., 2023)

4. Γραφοκινητικά Tests

4.1. Σύμφωνα με τους Devillaine L. et al., 2021, πρόκειται για tests σχεδιασμένα να αξιολογούν τις γραφοκινητικές δεξιότητες παιδιών με φυσικό και ψηφιακό τρόπο. Για να προσομοιωθεί το φυσικό περιβάλλον γραφής και να διασφαλιστεί η άνεση των παιδιών χρησιμοποιείται tablet , στη συγκεκριμένη περίπτωση WACOM Pro M & WACOM Pro L, με φύλλο χαρτιού τοποθετημένο πάνω του, ώστε να διατηρείται η αίσθηση της γραφής στο χαρτί και δίνεται στυλό με μελάνι (Wacom inked pen), όχι ψηφιακή πένα, για να ταιριάζει

στις οικείες συνθήκες γραφής. Με αυτόν τον τρόπο, τα παιδιά γράφουν στο χαρτί, αλλά ταυτόχρονα η κίνησή τους καταγράφεται ψηφιακά από το tablet.



4. Φωτογραφία της συσκευής: Τα παιδιά σχεδιάζουν με μελανοδοχείο σε χαρτί πάνω στο tablet, όπως στο σχολείο. Η καταγραφή γίνεται μέσω του λογισμικού GraphLogger. (Devillaine L et. al. 2021)

Στη συνέχεια, τα συγκεκριμένα ttests αποτελούνται από **6 δοκιμασίες γραφής**, χωρισμένες σε δύο βασικές κατηγορίες (Δοκιμές Επισήμανσης και Δοκιμές Αντιγραφής), οι οποίες βασίζονται σε **τεστ οπτικής αντίληψης** και αξιολογούν την **οπτικοκινητική ολοκλήρωση**, στοιχείο βασικό για τη διάγνωση της δυσγραφίας. Καθώς τα παιδιά εκτελούσαν τις δοκιμασίες, το tablet κατέγραφε δεδομένα κίνησης σε πραγματικό χρόνο, όπως πίεση, ταχύτητα, απόσταση, επιτάχυνση, ανασηκώσεις στυλό κ.ά. (Devillaine L. et al., 2021).

A. Δοκιμές Επισήμανσης (Tracing Tasks)

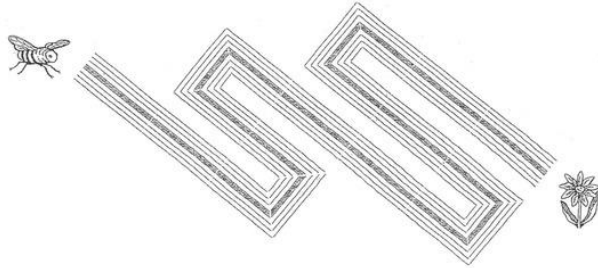
Τα παιδιά ακολουθούν ένα σχέδιο πάνω στο χαρτί:

- **Κύκλωμα 1 (Γραμμές):** Παρακολούθηση και σύνδεση σχεδίων με προοδευτικά δυσκολότερες γραμμές.



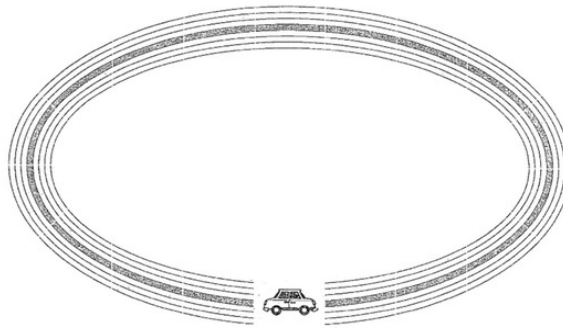
5. Devillaine L et. al. 2021

- **Κύκλωμα 2 (Λαβύρινθος):** Σύνδεση μέλισσας και λουλουδιού με αυξημένες στροφές.



6. Devillaine L et. al. 2021

- **Κύκλωμα 3 (Οβάλ):** Παρακολούθηση διαδρομής αυτοκινήτου στη δεξιά πλευρά.

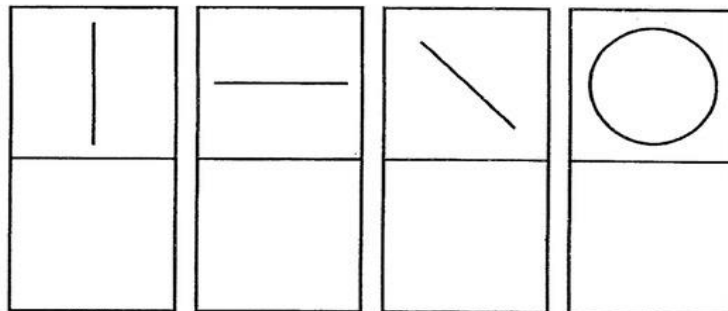


7. Devillaine L et. al. 2021

B. Δοκιμές Αντιγραφής (Copying Tasks)

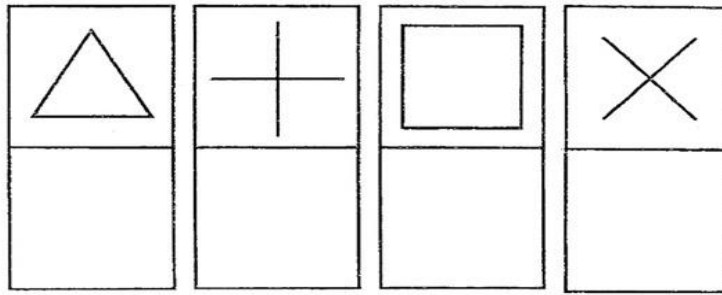
Τα παιδιά **αντιγράφουν** συγκεκριμένα σχήματα χωρίς χρονικό περιορισμό:

- **Σχήματα 1:** Βασικά γεωμετρικά σχήματα (γραμμές, κύκλος).



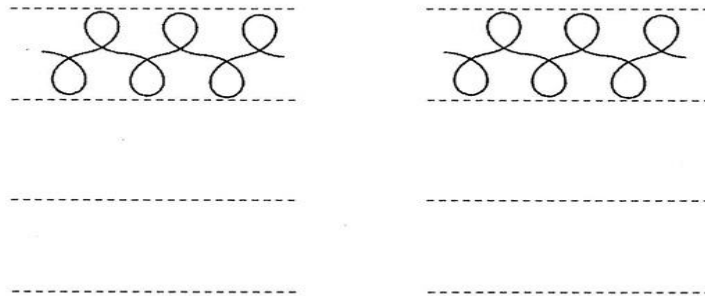
8. Devillaine L et. al. 2021

- **Σχήματα 2:** Πιο σύνθετα σχήματα (τετράγωνο, τρίγωνο, σταυρός).



9. Devillaine L et. al. 2021

- **The Loops:** Εναλλασσόμενοι βρόχοι, απαιτητικοί σε οπτικοκινητικό συντονισμό.



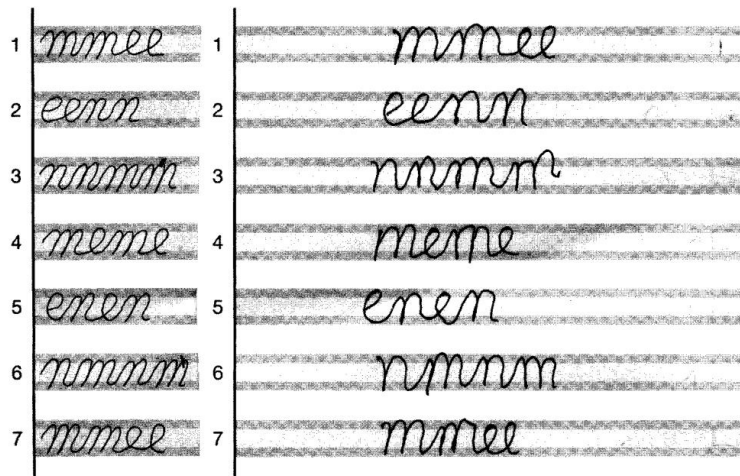
10. Devillaine L et. al. 2021

4.2. Στην έρευνα των **Smits – Engelsman BC et al., 1997**, η καταγραφή των δεδομένων έγινε με χρήση ψηφιοποιητικού tablet (**CALCOMP 2300**), το οποίο ήταν συνδεδεμένο μέσω **AD/DA interface** σε υπολογιστή **MS-DOS PC (80386)** που χειριζόταν τη δειγματοληψία και αποθήκευση δεδομένων. Χρησιμοποιήθηκε επίσης, ειδικό στυλό με αισθητήρα πίεσης, το οποίο κατέγραφε τις κινήσεις σε δύο διαστάσεις (X και Y) με συχνότητα δειγματοληψίας 100 Hz και ακρίβεια 0,2 mm. Το στυλό αυτό, κατέγραφε και την πίεση που ασκούσαν στη ψηφιακή επιφάνεια, ώστε να μετρηθεί η ακρίβεια στη γραφή. Οι μαθητές 6 – 7 ετών, εξετάστηκαν ατομικά σε συνεδρίες διάρκειας περίπου 30 λεπτών, ενώ κάθονταν άνετα σε καρέκλα προσαρμοσμένη στο ύψος τους. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εξάσκησης για εξοικείωση με τον εξοπλισμό. Στη συνέχεια, κάθε μαθητής εκτέλεσε διαφορετικές εργασίες γραφής, που σχεδιάστηκαν για να εστιάσουν σε διαφορετικά στάδια της κινητικής επεξεργασίας, σύμφωνα με το **μοντέλο του Van Galen (1991)**, οι οποίες περιλάμβαναν:

1. **Ανάκτηση αλλογράμματος:** Μέτρηση ικανότητας ανάκλησης κινητικών μοτίβων γραφής των παιδιών. Η δοκιμασία αυτή, αποτελείται από απλές ακολουθίες ("eee",

"mmm"), οι οποίες συγκρίνονται με την παραγωγή αλυσίδων γραμμάτων διαφορετικής πολυπλοκότητας ("eenn", "meme").

2. **Έλεγχος μεγέθους γραφής:** Αξιολόγηση ικανότητας της παραμετροποίησης της κίνησης. Η δοκιμασία αυτή, αποτελείται από γραφή με μικρά γράμματα, μεγέθους 3 mm, ή μεγάλα 6 mm.
3. **Αξιολόγηση ακρίβειας γραφής:** Μέτρηση της ικανότητας μυϊκής ακρίβειας και ελέγχου. Τα γράμματα έπρεπε να παραμένουν μέσα σε ζώνες στόχου (compliance zones) και όχι ακριβώς πάνω σε γραμμές.



11. Δύο δείγματα γραφής από το πείραμα, ενός καλού αριστερόχειρα και ενός αδύναμου δεξιόχειρα. Στο σχήμα φαίνονται η περιοχή – στόχος και η περιοχή συμμόρφωσης. Παρουσιάζεται η συνθήκη με μεγάλο μέγεθος γράμματος και υψηλή ακρίβεια. (Smits – Engelsman BC et. al., 1997)

Πριν από κάθε πειραματική συνεδρία, δόθηκαν οδηγίες προς τους μαθητές να προσέχουν τη σωστή τοποθέτηση των γραμμάτων μέσα στις ζώνες στόχου, ενώ δε δόθηκαν καθόλου οδηγίες σχετικά με την ταχύτητα γραφής. Πιο αναλυτικά, η συνεδρία ξεκινούσε με την παρουσίαση ερεθίσματος, δηλαδή ένα γράμμα ή ακολουθία γραμμάτων παρουσιαζόταν στην οθόνη υπολογιστή για 2 δευτερόλεπτα. Έπειτα ακολουθούσε ηχητικό σήμα έναρξης, όπου ένας ήχος σήμαινε ότι έπρεπε να ξεκινήσουν να γράφουν. Οι μαθητές έγραφαν για 10 δευτερόλεπτα, αντιγράφοντας το ερέθισμα μέσα στα οριζόμενα όρια (target zones). Τέλος, ακολουθούσε και δεύτερο ηχητικό σήμα, όπου σηματοδοτούσε το τέλος της προσπάθειας.

5. SensoGrip

Η μελέτη **Bublin M. et al., 2023**, χρησιμοποίησε τη **συσκευή SensoGrip**, ένα έξυπνο στυλό που διαθέτει ενσωματωμένους αισθητήρες για την καταγραφή δυναμικών γραφής. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά εργαλεία αξιολόγησης γραφής που βασίζονται σε tablet ή γραφικές εφαρμογές, το SensoGrip επιτρέπει την ανάλυση της πραγματικής διαδικασίας

γραφής, συμπεριλαμβανομένων της πίεσης, της γωνίας και της ταχύτητας του στυλό κατά τη διάρκεια της γραφής. Το συγκεκριμένο στυλό, αποτελείται από 7 εξαρτήματα εκ των οποίων είναι το εξωτερικό κέλυφος, το άκρο της πέννας (pen tip), ο οδηγός φωτός (light guide), ο ορατός δακτύλιος LED, η λαβή (grip section) κ.α. Καταγράφει επίσης και δεδομένα όπως, πίεση στο χαρτί (άκρο πέννας), πίεση των δακτύλων στη λαβή, κίνηση και προσανατολισμό της πέννας (μέσω IMU), καθώς και χρονισμό γραφής (timestamps). Έτσι, κατά τη διαδικασία εγγραφής, οι διαφορετικές ροές δεδομένων που παρέχονται από τους αισθητήρες καταγράφονται από τη γραφίδα και προωθούνται στη συσκευή Android μέσω από αντίστοιχες χρονικές σημάνσεις. Στη συγκεκριμένη μελέτη, η συσκευή SensoGrip χρησιμοποιήθηκε από κάθε παιδί 2 φορές, γράφοντας για τουλάχιστον 5 λεπτά. Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιήθηκε μέσω αντιγραφής προτάσεων από την αξιολόγηση SEMS (Systematic Evaluation of Motor Skills) (Vinçon S., et al., 2015). Πιο συγκεκριμένα, αυτό είναι ένα εργαλείο ή σύστημα αξιολόγησης που χρησιμοποιείται για τη συστηματική εκτίμηση των κινητικών δεξιοτήτων ενός ατόμου, κυρίως παιδιών και εφήβων. Στόχος του είναι να εντοπίσει τυχόν δυσκολίες στην κινητική ανάπτυξη και να συμβάλλει στη διαμόρφωση παρεμβάσεων ή προγραμμάτων ενίσχυσης των δεξιοτήτων αυτών.



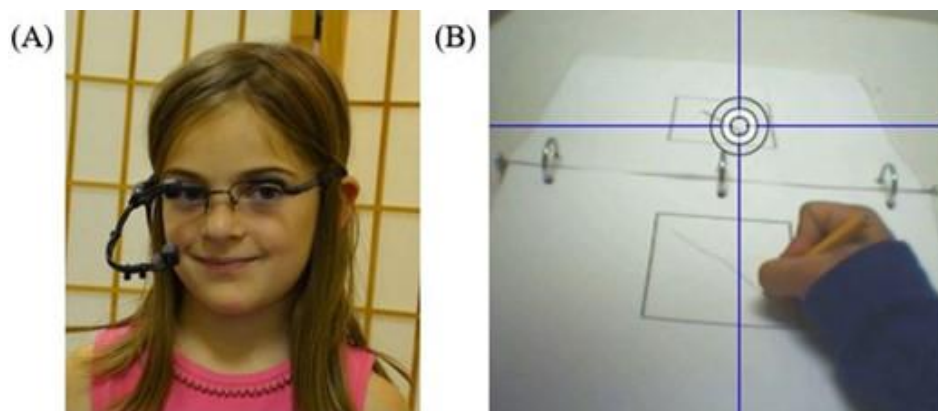
12. SensoGrip: ένα καινοτόμο σύστημα που ανέπτυξε το FH Campus Wien (Αυστρία) κατά τα έτη 2020 – 2021

6. Οπτικοκινητική Ανάλυση και Παρακολούθηση Ματιών

6.1. Beery VMI (Beery – Buktenica Developmental Test of Visual – Motor Integration)

Στο πλαίσιο της μελέτης **Fears NE, et al., 2019**, εφαρμόστηκε μια συνδυαστική μέθοδος ψυχομετρικής αξιολόγησης και καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων, με στόχο τη διερεύνηση των οπτικοκινητικών δεξιοτήτων σε παιδιά προσχολικής και σχολικής ηλικίας.

Αρχικά, η καταγραφή οφθαλμικών κινήσεων πραγματοποιήθηκε με τεχνολογία eye – tracking, μέσω του μονοοφθαλμικού συστήματος ανίχνευσης PSLive Capture της εταιρείας Positive Science. Ο ανιχνευτής ήταν ελαφρύς και τοποθετούνταν στο κεφάλι του συμμετέχοντος, παρακολουθώντας την κίνηση του δεξιού ματιού του συμμετέχοντος. Το σύστημα διαθέτει κάμερα, η οποία καταγράφει την όψη του ατόμου και τις κινήσεις του ματιού του και παρέχει οπτικό πεδίο 54,4° οριζόντια και 42,2° κατακόρυφα. Στη συνέχεια, ο πειραματιστής χρησιμοποίησε σελίδες βαθμονόμησης με 12 πιθανά σημεία και κατηύθυνε το παιδί να εντοπίσει κάθε σημείο. Η διαδικασία αυτή, βοήθησε στη διασφάλιση της ακρίβειας της παρακολούθησης. Τα δεδομένα των κινήσεων του ματιού καταγράφηκαν με τη χρήση του λογισμικού PSLiveCapture της Positive Science και ενσωματώθηκαν στο λογισμικό Yarbus για να δημιουργήσουν βίντεο, όπου οι θέσεις του βλέμματος απεικονίζονται με σταυρουδάκια.



13. A: Παιδί με οφθαλμοκινητικό καταγραφέα κεφαλής. B: Εικόνα από την κάμερα του καταγραφέα (Positive Science) κατά τη διάρκεια του Τεστ Οπτικοκινητικού Συντονισμού Beery – Buktenica. Οι σταυροί δείχνουν το σημείο όπου εστιάζει το βλέμμα του παιδιού. (Fears NE, et al., 2019)

Έπειτα ακολούθησε μία πειραματική συνεδρία, όπου κάθε συμμετέχων συμπλήρωνε ένα τροποποιημένο Αναπτυξιακό Τεστ Beery – Buktenica (Beery VMI), (Beery Visual – Motor Integration) για Οπτική – Κινητική Ολοκλήρωση, το οποίο περιελάμβανε 24 ερεθίσματα και για να αυξήσει την εγκυρότητα των δεδομένων σχετικά με τις κινήσεις των ματιών, το Beery VMI τροποποιήθηκε, ώστε κάθε ερέθισμα να παρουσιάζεται σε μία μόνο σελίδα του βιβλίου εργασίας. Τα ερεθίσματα παρουσιάστηκαν σε ένα μαύρο τετράγωνο 8,26 × 8,26 εκ. πάνω σε λευκό χαρτί μεγέθους 21,59 × 27,94 εκ. και οι συμμετέχοντες έπρεπε να αντιγράψουν κάθε ερέθισμα σε ένα ξεχωριστό κομμάτι λευκού χαρτιού. Ο συμμετέχων καθόταν σε μια καρέκλα, με το τροποποιημένο βιβλίο εργασίας Beery VMI να

παρουσιάζεται μπροστά του. Ο κλινικός καθόταν δίπλα και παρουσίαζε κάθε ερέθισμα αφαιρώντας το εξώφυλλο από το βιβλίο, και το παιδί έπρεπε να το αντιγράψει στο λευκό χαρτί που του είχε δοθεί. Η πειραματική αυτή διαδικασία διήρκεσε 15 λεπτά, μέχρι να ολοκληρωθεί η αντιγραφή του ερεθίσματος. Η διαδικασία της δοκιμής χωρίστηκε σε δύο βασικές φάσεις:

- 1. Φάση Συλλογής Πληροφοριών:** Αυτή η φάση αναφέρεται στην περίοδο από την έναρξη της δοκιμής, μέχρι τη στιγμή που το παιδί αρχίζει να γράφει.
- 2. Φάση Συγγραφής:** Αυτή η φάση αρχίζει όταν το παιδί ξεκινάει να γράφει και ολοκληρώνεται όταν το παιδί σηκώνει το μολύβι από το χαρτί.

Μετά την ολοκλήρωση του Beery VMI, ακολούθησαν τα συμπληρωματικά αναπτυξιακά test οπτικής αντίληψης και κινητικού συντονισμού. Όσον αφορά το test οπτικής αντίληψης, ο συμμετέχων καλείται να επιλέξει από ένα σύνολο ερεθισμάτων, ποιο από αυτά αντιστοιχεί με το παράδειγμα που του δίνεται. Τέλος, το test κινητικού συντονισμού, καλεί τον συμμετέχοντα να εντοπίσει και σημειώσει με το μολύβι κάθε μορφή ερεθίσματος, χωρίς να παρεκκλίνει από τις γραμμές του.

6.2. Serious game: 2D Παιχνίδι παζλ

Πρόκειται για ένα παιχνίδι – εφαρμογή που προορίζεται για έναν παίκτη, το οποίο απευθύνεται σε παιδιά δημοτικού σχολείου και χρησιμοποιείται σε iPad, με κύριο εργαλείο εισόδου το Apple Pencil 2, ενισχύοντας την αλληλεπίδραση και την ακρίβεια για τα παιδιά, ειδικά στα παιχνίδια που απαιτούν σχέδιο ή ακριβή κίνηση (Piazzalunga C, et. al., 2023). Η εφαρμογή ξεκινά με τη συμπλήρωση καρτέλας στην οθόνη, όπου ο εξεταστής εισάγει τα στοιχεία του συμμετέχοντα και το φύλο του. Έπειτα, παρουσιάζεται μια σύντομη εισαγωγή στους χαρακτήρες και το περιβάλλον του παιχνιδιού. Με τη βοήθεια των χαρακτήρων, γίνεται η ρύθμιση του eye tracker (Pupils Lab), που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις κινήσεις των ματιών κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Πιο συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες φορούν τα ακουστικά Pupil Core που παρακολουθούν τις κινήσεις των ματιών, μέσω δύο καμερών ματιών και μιας παγκόσμιας κάμερας, παρέχοντας ακριβή δεδομένα για την παρακολούθηση των οπτικών αντιδράσεων των παιδιών. Ο eye tracker, συνοδεύεται από ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα, Pupil Core, δηλαδή, μια εφαρμογή που χρησιμεύει στη βαθμονόμηση και την εγγραφή. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα 6 κύρια επίπεδα του παιχνιδιού. Πριν από κάθε τύπο άσκησης οπτικής αντίληψης, προβάλλεται ένα σύντομο επεξηγηματικό βίντεο. Τέλος, κάθε άσκηση πρέπει να ολοκληρωθεί σε τρία επίπεδα

δυσκολίας: εύκολο, μεσαίο και δύσκολο και όταν ολοκληρωθούν όλα τα επίπεδα, το παιχνίδι τερματίζει.

Επίπεδα Παιχνιδιού:

1ο επίπεδο:

Σταθερότητα φόρμας: περιλαμβάνει την ικανότητα αναγνώρισης ενός σχήματος, ακόμα κι όταν αλλάζει το μέγεθος, το χρώμα ή ο προσανατολισμός του. Στο επίπεδο αυτό, ο παίκτης καλείται να εντοπίσει το σωστό σχήμα και να το σύρει στο κέντρο ενός λευκού περιγράμματος. Με την αύξηση της δυσκολίας, τα σχήματα υφίστανται περιστροφή, κάνοντάς τα πιο απαιτητικά, καθώς μεταβάλλεται ταυτόχρονα το χρώμα, το μέγεθος και ο προσανατολισμός τους. Κατά τη διάρκεια της άσκησης, καταγράφονται ο χρόνος ολοκλήρωσης και τα πιθανά λάθη.



14. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

2ο επίπεδο:

Σταθερότητα φόρμας με μάσκα: Παρόμοια με τη σταθερότητα φόρμας, η συγκεκριμένη άσκηση εστιάζει στην ικανότητα αναγνώρισης ενός σχήματος ως μέρους μιας μεγαλύτερης εικόνας. Ο παίκτης πρέπει να επιλέξει το σωστό κομμάτι και να το σύρει στο κενό σημείο μιας σύνθετης εικόνας που εμφανίζεται στα αριστερά. Με την αύξηση της δυσκολίας, τόσο οι επιλογές όσο και η εικόνα – στόχος περιστρέφονται, κάνοντας την αναγνώριση πιο απαιτητική. Καταγράφεται ο χρόνος ολοκλήρωσης και τα πιθανά λάθη.



15. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

3ο επίπεδο:

Αντιγραφή: Η άσκηση αξιολογεί την ικανότητα του παίκτη να αναπαράγει με ακρίβεια μια εικόνα. Ο παίκτης καλείται να αντιγράψει το προτεινόμενο σχέδιο που εμφανίζεται στο αριστερό πλαίσιο, σχεδιάζοντάς το στο δεξί. Καθώς αυξάνεται η δυσκολία, οι εικόνες αναφοράς, γίνονται πιο σύνθετες και απαιτητικές ως προς τη λεπτομέρεια και τη δομή. Καταγράφεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της αναπαραγωγής, καθώς και οι συντεταγμένες (x, y) των σημείων που χρησιμοποιούνται κατά τη σχεδίαση.



16. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

4ο επίπεδο:

Tracing: Η άσκηση αξιολογεί την ικανότητα του παίκτη να αναπαράγει μια εικόνα ακολουθώντας το περίγραμμά της, όσο το δυνατόν πιστότερα. Ο παίκτης πρέπει να εντοπίσει και να «αντιγράψει» την προτεινόμενη εικόνα, παραμένοντας εντός των ορίων της γραμμής αναφοράς. Με την αύξηση της δυσκολίας, οι εικόνες αναφοράς γίνονται πιο σύνθετες και απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια. Κατά την εκτέλεση, καταγράφονται ο χρόνος ολοκλήρωσης, οι συντεταγμένες (x, y) των σημείων του σχεδίου, καθώς και τα σφάλματα. Επιπλέον, για κάθε σημείο σχεδίασης, καταγράφεται μια μεταβλητή που δηλώνει εάν βρίσκεται εντός του ίχνους.



17. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

5ο επίπεδο:

Αντίληψη εικόνας – εδάφους: Η άσκηση αξιολογεί την ικανότητα του παίκτη να εντοπίζει ένα συγκεκριμένο σχήμα ή εικόνα σε ένα συγκεχυμένο φόντο. Ο παίκτης πρέπει να βρει την εικόνα αναφοράς, που εμφανίζεται στην κάτω αριστερή γωνία, ανάμεσα σε άλλες εικόνες. Με την αύξηση της δυσκολίας, ο αριθμός και η ποικιλία των εικόνων αυξάνονται, καθιστώντας το έργο πιο απαιτητικό. Καταγράφεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της άσκησης καθώς και τα πιθανά λάθη που έγιναν κατά την αναγνώριση.



18. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

6ο επίπεδο:

Οπτικό κλείσιμο: η ικανότητα αναγνώρισης ενός μερικώς κρυμμένου σχήματος. Ο παίκτης πρέπει να αναγνωρίσει και να επιλέξει την εικόνα που αντιστοιχεί στην εικόνα αναφοράς. Το παιχνίδι παρουσιάζεται με δύο τρόπους: πρώτα, η αναφορά είναι μερικώς κρυμμένη και στη συνέχεια, οι επιλογές είναι κρυφές. Καταγράφεται ο χρόνος ολοκλήρωσης και τα πιθανά σφάλματα.



19. Στιγμιότυπο οθόνης του παιχνιδιού. (Piazzalunga C, et. al., 2023)

7. Quiz με χρήση tablet και ειδικού στυλό

Στην παρούσα μελέτη **Alzahrani S. et al., 2025**, η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω ενός ψηφιακού tablet εξοπλισμένου με ασύρματο στυλό ευαίσθητο στην πίεση, ικανό να καταγράφει με ακρίβεια χρονικά, κινηματικά και δεδομένα πίεσης, ακόμη και όταν το στυλό δε βρισκόταν σε επαφή με την επιφάνεια. Το εργαλείο αυτό, παρακολουθούσε και τις κινήσεις του καρπού και του χεριού στον αέρα, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη διάγνωση μαθησιακών δυσκολιών. Τα πειράματα βασίστηκαν σε δύο σύνολα δεδομένων που αφορούσαν τη δυσλεξία και τη δυσγραφία. Κάθε συμμετέχων συμπλήρωσε ένα κουίζ με πολλαπλές ερωτήσεις, που αξιολογούσαν τη γλωσσική επάρκεια, τη μνήμη, την ταχύτητα απόκρισης και τη διακριτική ικανότητα σε ακουστικά και οπτικά ερεθίσματα. Οι επιδόσεις τους μεταφράστηκαν σε επιμέρους σκορ, ενώ επιπλέον συλλέχθηκε και ένα σκορ έρευνας μέσω συμπληρωματικού ερωτηματολογίου. Από τα δεδομένα αυτά, προέκυψαν κατηγορίες ταξινόμησης (Label) με τιμές από 0 έως 2: 0 για χαμηλή, 1 για μέτρια και 2 για υψηλή πιθανότητα εμφάνισης δυσλεξίας ή δυσγραφίας. Στη συνέχεια, τα δεδομένα, επεξεργάστηκαν από τον αλγόριθμο μηχανικής μάθησης **Weighted Ensemble Learning – XGBoost (WEL – XGB)**, ώστε να διεξαχθούν τα αποτελέσματα των αποδόσεων των μαθητών στα κουίζ. Πιο λεπτομερείς πληροφορίες για αυτόν τον αλγόριθμο, παρατίθενται παρακάτω.

8. Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (f – MRI)

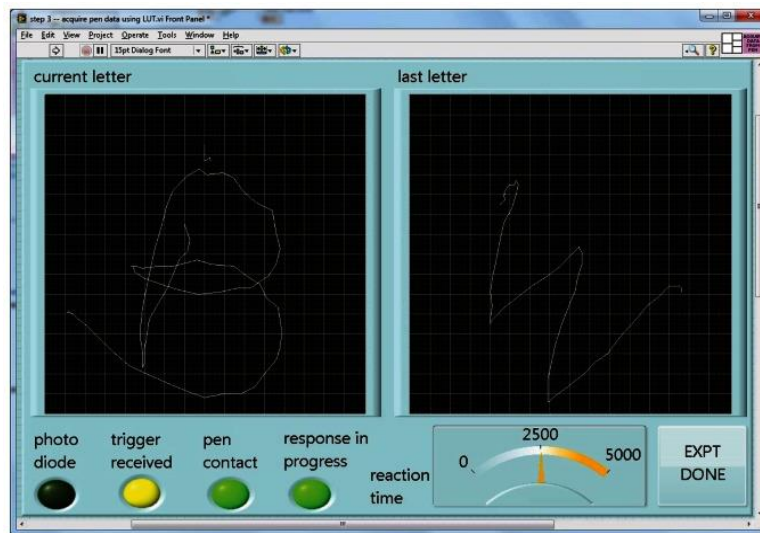
Στη μελέτη των **Reitz et al. 2013**, χρησιμοποιήθηκε λειτουργική μαγνητική τομογραφία (f – MRI) για τη διερεύνηση των νευρωνικών διαφορών μεταξύ ατόμων με και χωρίς δυσγραφία, κατά την εκτέλεση λεξιλογικών εργασιών γραπτής παραγωγής. Η f – MRI, καταγράφει την αλλαγή στην εγκεφαλική δραστηριότητα μέσω της μέτρησης των αλλαγών

στην αιματική ροή στον εγκέφαλο, προσδιορίζοντας τις περιοχές του εγκεφάλου που εμπλέκονται στην αναγνώριση και την αναπαραγωγή λεξιλογικών ακολουθιών. Τα άτομα βρίσκονται σε ημιξαπλωμένη θέση μέσα στον μαγνητικό τομογράφο, με την πλάτη τους υποστηριζόμενη από σφήνα αφρού σε κλίση περίπου 30 μοιρών, ώστε να επιτυγχάνεται άνεση κατά τη διάρκεια της γραφής. Ένα ειδικά διαμορφωμένο μαξιλάρι είναι τοποθετημένο με το «πάνω μέρος» στραμμένο προς τα πόδια των συμμετεχόντων, διευκολύνοντας τη σωστή θέση των χεριών. Πάνω τους έχει τοποθετηθεί μια εργονομική ταμπλέτα συμβατή με την fMRI, πάνω στην οποία έγραφαν χρησιμοποιώντας ειδικό εργονομικό στυλό (pen assembly), σχεδιασμένο να λειτουργεί μέσα στο μαγνητικό περιβάλλον.

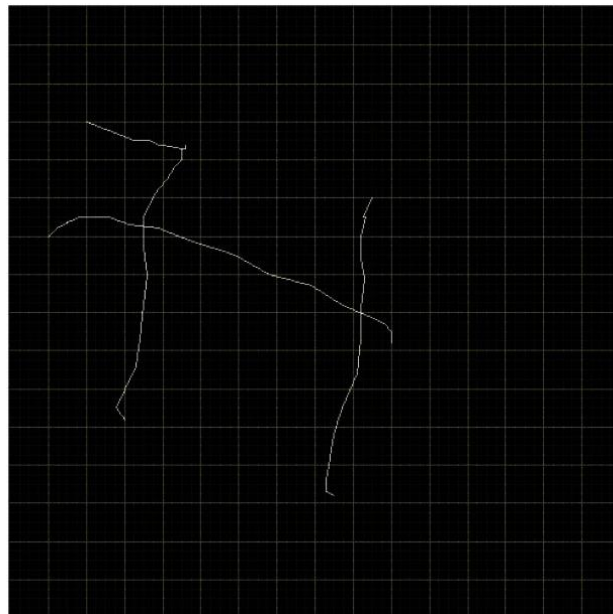


20. Ένα tablet χρησιμοποιείται κοντά στην είσοδο του μαγνητικού τομογράφου (MRI). Το στυλό του είναι συνδεδεμένο με οπτική ίνα που διέρχεται μέσω ενός οπτικού αγωγού (waveguide) τοποθετημένου στον τοίχο του δωματίου του τομογράφου. (Reitz et al. 2013)

Με περισσότερη ακρίβεια, η εργονομική αυτή ταμπλέτα, είναι μια ειδικά σχεδιασμένη συσκευή ψηφιακής γραφής που επιτρέπει στον χρήστη να γράφει ή να σχεδιάζει με φυσικό τρόπο, μιμούμενη την εμπειρία της γραφής σε χαρτί, χωρίς να προκαλεί καταπόνηση στο χέρι ή στον καρπό ακόμα και σε πολύωρη χρήση. Οι συμμετέχοντες εκτελούσαν δύο είδη γλωσσικών εργασιών, αλφαβητική ακολουθία και συμπλήρωση λέξης. Στην πρώτη εργασία, οι συμμετέχοντες έπρεπε να γράψουν το επόμενο γράμμα από το γράμμα που εμφανιζόταν στην οθόνη, ενώ στη δεύτερη εργασία, οι συμμετέχοντες έπρεπε να γράψουν το κατάλληλο γράμμα για να συμπληρώσουν λέξεις.



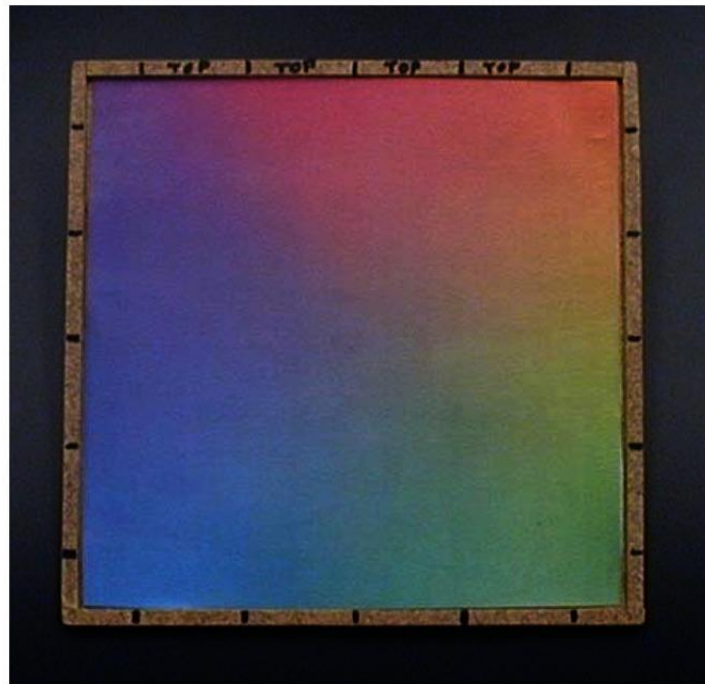
21. Προβολή χρόνου εκτέλεσης. (Reitz et al. 2013)



22. Απόκριση του εξεταζόμενου στο γράμμα "H". (Reitz et al. 2013)

Οι εργασίες αυτές, ήταν κατανεμημένες σε μπλοκ διάρκειας τεσσάρων λεπτών εντός του σαρωτή f - MRI. Επιπροσθέτως, η παρουσίαση των ερεθισμάτων γινόταν μέσω του λογισμικού E - Prime®, το οποίο συγχρονιζόταν με το σύστημα συλλογής δεδομένων LabVIEW, για ακριβή χρονική αντιστοίχιση ανάμεσα στην εμφάνιση κάθε λέξης και την εγκεφαλική απόκριση. Η πρόοδος καθοριζόταν από την κίνηση του συμμετέχοντα, επιτρέποντας φυσική ολοκλήρωση κάθε απάντησης πριν εμφανιστεί το επόμενο ερέθισμα. Αναπτύχθηκε επίσης, και μια οικονομική συσκευή σχεδίασης που κατέγραφε τις κινητικές παραμέτρους της γραφής, όπως η ταχύτητα, η ακρίβεια και η κατεύθυνση, ενώ τα δεδομένα

προβάλλονταν σε πραγματικό χρόνο στον υπολογιστή εκτός σαρωτή. Η συσκευή κατέγραφε κάθε κίνηση, δίνοντας στους συμμετέχοντες την ευκαιρία να επαναλάβουν τις ασκήσεις και να βελτιώσουν την απόδοσή τους. Βασιζόταν επίσης, και σε ένα ειδικά σχεδιασμένο στυλό (**Pen Assembly**), με δύο οπτικές ίνες και έγχρωμη επιφάνεια RGB (**Color Map Tablet**), επιτρέποντας τον υπολογισμό της θέσης του στυλό μέσω της απόχρωσης που αγγίζει, με την ανίχνευση να πραγματοποιείται από αισθητήρα TAOS TCS230. Καταληκτικά, η χρήση αυτής της τεχνολογίας, επέτρεψε την ακριβή συσχέτιση των γραπτών κινήσεων με τις εγκεφαλικές απαντήσεις, διευκολύνοντας την κατανόηση των νευρολογικών μηχανισμών που εμπλέκονται στις κινητικές και γνωστικές διεργασίες της γραφής και αποκαλύπτοντας διαφορές στην εγκεφαλική ενεργοποίηση ανάμεσα σε υγιή άτομα και άτομα με δυσγραφία.



23. Έγχρωμη επιφάνεια RGB (*Color Map Tablet*) (Reitz et al. 2013)

3.3 Αποτελεσματικότητα τεχνολογικών προσεγγίσεων στη διάγνωση και υποστήριξη των παιδιών με δυσγραφία - Συμβολή τεχνητής νοημοσύνης

Μέσα από τη συγκριτική αυτή επισκόπηση, συγκεντρώνονται και αναλύονται δεδομένα από 16 επιλεγμένες μελέτες που εστιάζουν στη διάγνωση της αναπτυξιακής

δυσγραφίας σε παιδιά ηλικίας 5 έως 12 ετών, αξιοποιώντας τεχνολογικά εργαλεία και μεθόδους ψηφιακής ανάλυσης γραφής. Οι μελέτες διερευνούν τη γραφοκινητική απόδοση μέσω ποσοτικών δεικτών, νευροφυσιολογικών παραμέτρων και γνωστικό – αισθητικοκινητικών διεργασιών, συμβάλλοντας στην κατανόηση της δυσγραφίας ως μιας σταθερής νευροαναπτυξιακής διαταραχής, και όχι ως παροδικής καθυστέρησης δεξιοτήτων.

Οι παρακάτω τεχνολογικές παρεμβάσεις, αποδεικνύονται ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη διάγνωση και υποστήριξη των παιδιών με δυσγραφία, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα πρώιμης, ακριβούς και αντικειμενικής ανίχνευσης των δυσκολιών στη γραφή, ήδη από την προσχολική ηλικία. Σύγχρονα εργαλεία, όπως ψηφιακές ταμπλέτες με ευαίσθητες γραφίδες, συσκευές όπως το SensoGrip, εφαρμογές παιχνιδιών, όπως το Play – Draw – Write και προηγμένοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, όπως οι Quasi – SVM, WEL – XGB κ.α., καταγράφουν και αναλύουν δυναμικά χαρακτηριστικά της γραφής με υψηλή ακρίβεια, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην έγκαιρη διάγνωση και στην εξατομικευμένη παρέμβαση. Παράλληλα, οι τεχνολογίες αυτές, συμβάλλουν στη μείωση της υποκειμενικότητας κατά την αξιολόγηση και καθιστούν τη διάγνωση πιο αξιόπιστη και επαναλαμβανόμενη σε διαφορετικά πλαίσια, ξεπερνώντας έτσι τους περιορισμούς της παραδοσιακής παρατήρησης. Ακολουθεί αναλυτική αναφορά στα αποτελέσματα κάθε μεθόδου και εργαλείου, όπως καταγράφηκαν στις έρευνες που συμπεριλήφθηκαν.

3.4 Κύρια Ευρήματα των Μελετών

Εργαλεία/Μέθοδοι	Ηλικία Παιδιών	Κύρια Ευρήματα
Ψηφιακή ανάλυση γραφής	7 – 12	Καθιέρωσαν τη δυσγραφία ως σταθερή ψυχοκινητική διαταραχή με επίμονα σφάλματα και αυξημένο κινητικό «θόρυβο».
Play – Draw – Write app, Quasi – SVM	5 – 6	Πέτυχε υψηλή ακρίβεια στην πρώιμη πρόβλεψη της δυσγραφίας με βάση τη συμπεριφορά κατά τη γραφή, ήδη από το νηπιαγωγείο.
Ψηφιακό τεστ, WEL – XGB	6 – 11	Ακριβής ταξινόμηση παιδιών με/χωρίς μαθησιακές δυσκολίες, οι κινητικές παράμετροι λειτούργησαν ως διαγνωστικοί δείκτες.
Ψηφιακό tablet (tracing/copying)	6 – 10	Τα παιδιά με δυσγραφία εμφάνισαν μειωμένη ακρίβεια, αστάθεια πίεσης και διαταραχές οπτικοκινητικής ολοκλήρωσης.
Παιχνίδια πλοήγησης & αντιγραφής	5	Κατάλληλο εργαλείο καθολικού ελέγχου σε σχολικό περιβάλλον, διακριτοί δείκτες κινητικών δυσκολιών.
Ψηφιακή ανάλυση με έξυπνη γραφίδα	7 – 12	>90% ακρίβεια στη διάγνωση· σημαντική η συμβολή μικρο – κινητικών χαρακτηριστικών.

BHK , Ψηφιακό tablet	6 – 11	Υψηλή συμφωνία ανάμεσα στα παραδοσιακά και ψηφιακά εργαλεία, τα ψηφιακά δεδομένα θεωρούνται αξιόπιστα κριτήρια.
Eye – tracking, παιχνίδι σε iPad	6 – 10	Τα παιδιά με δυσγραφία εμφάνισαν αυξημένες διασπάσεις προσοχής και καθυστερήσεις, επιβεβαιώνεται η σημασία των μηχανισμών εστίασης.
Beery VMI, eye – tracking	7 – 12	Αυξημένος χρόνος προετοιμασίας και αστάθεια στο βλέμμα στα παιδιά με δυσγραφία.
fMRI	8 – 12	Μειωμένη ενεργοποίηση στον προκινητικό φλοιό και την παρεγκεφαλίδα, ενδείξεις νευρολογικής βάσης της διαταραχής.
SensoGrip (γραφίδα με αισθητήρες)	7 – 11	Ακανόνιστα μοτίβα πίεσης και γωνίας, χαμηλή ομαλότητα στην κίνηση των παιδιών με δυσγραφία.
WACOM tablet	6 – 10	Χαμηλή μεταβιβασιμότητα δεξιοτήτων μεταξύ φυσικής και ψηφιακής γραφής.
BVSCO – 2 test	7 – 12	Εγκυρότητα και ευαισθησία εργαλείου, για διακριτική ταξινόμηση παιδιών με δυσκολίες.
SEMS	6 – 12	Αξιόπιστοι δείκτες πρόβλεψης της δυσγραφίας με καταγραφή δυναμικών χαρακτηριστικών της γραφής.
WACOM Intuos Pro	8 – 15	>80% ακρίβεια μέσω μηχανικής μάθησης, κρίσιμοι δείκτες: πίεση και σημεία ανύψωσης γραφίδας.
BVSCO – 2 test	7 – 12	Ανάπτυξη νέου δείκτη αξιολόγησης ρευστότητας γραφής και συμβολή στην κατανόηση της δυναμικής της δυσγραφίας.

1. Play – Draw – Write: Συγκριτική παρουσίαση τριών μελετών

Ειδικότερα, τρεις πρόσφατες μελέτες αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής **Play – Draw – Write**, μιας καινοτόμου πλατφόρμας ψηφιακής ανάλυσης γραφοκινητικών δεξιοτήτων, για την πρόωπη ανίχνευση παιδιών σε κίνδυνο δυσγραφίας. Και οι τρεις μελέτες εστίασαν στη χρήση ψηφιακών εργαλείων και τεχνικών μηχανικής μάθησης, για την αυτόματη επεξεργασία δεδομένων που συλλέγονται μέσω tablet, κατά την εκτέλεση κινητικών ή προγραφικών δραστηριοτήτων.

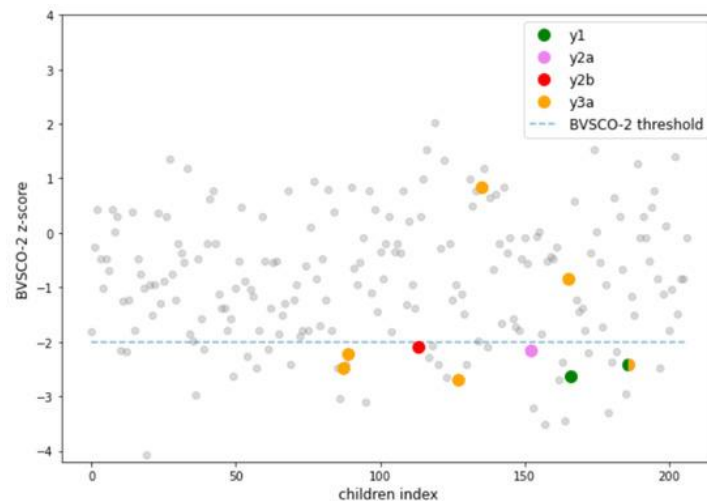
Η πρώτη μελέτη των **Lomurno E et al., 2023** αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα ενός λογισμικού πρόωπης ανίχνευσης δυσγραφίας βασισμένου σε μηχανική μάθηση, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Play – Draw – Write για tablets. Η μελέτη ακολούθησε διαχρονική προσέγγιση με πέντε χρονικά σημεία (y1, y2a, y2b, y3a, y3b) και συμμετοχή παιδιών προσχολικής και πρόωπης σχολικής ηλικίας. Τα παιδιά ολοκλήρωσαν τέσσερα διαδραστικά «σοβαρά παιχνίδια» για την καταγραφή δεξιοτήτων λεπτής κινητικότητας και

προγραφής. Αυτά τα παιχνίδια (Copy Square, Copy Sequence, Tunnel Word, Copy Word) έχουν σχεδιαστεί για να ενισχύουν και να καταγράφουν τις κινητικές και προγραφικές δεξιότητες των παιδιών, χρησιμοποιώντας διαδοχικές ενέργειες για την ανάλυση των κινήσεων και τη μέτρηση της ακριβούς απόδοσής τους. Η χρήση αυτών των παιχνιδιών παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τις κινήσεις του χεριού και τη στρατηγική που ακολουθούν τα παιδιά κατά την αντιγραφή και γραφή, ενισχύοντας την κατανόηση των δεξιοτήτων λεπτής κινητικότητας και προγραφής, οι οποίες σχετίζονται στενά με την ανάπτυξη της γραφής και τις δυσκολίες της (δυσγραφία).

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με εξελιγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης όπως, Procrustes Analysis, Time2Vec και Autoencoders, και ακολούθησε ταξινόμηση με Quasi – SVM meta – model (Support Vector Machine), που εκπαιδεύτηκε μέσω της nested stratified 5 – fold cross – validation για τη βέλτιστη παραμετροποίηση του μοντέλου σε κάθε χρονικό σημείο. Η τεχνική Procrustes Analysis, χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση και αντιστοίχιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των κινήσεων του χεριού των παιδιών, παρέχοντας έτσι μια ποσοτική μέτρηση της ακρίβειας και της στρατηγικής τους κατά την εκτέλεση των κινήσεων. Το Time2Vec, από την άλλη πλευρά, ενσωμάτωσε πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο κατά τη διάρκεια των εκτελέσεων, επιτρέποντας την ανάλυση της εξέλιξης των δεξιοτήτων σε κάθε χρονική στιγμή. Οι Autoencoders χρησιμοποιήθηκαν για τη μείωση της διάστασης των δεδομένων, επιτρέποντας την αναγνώριση κρυμμένων μοτίβων και την αποδοτική ανάλυση των κινητικών και προγραφικών δεδομένων.

Από αυτήν την ανάλυση, προκύπτει ότι το Quasi – SVM (Support Vector Machine) ξεπέρασε σε απόδοση όλα τα άλλα μοντέλα, με εξαίρεση το τελευταίο χρονικό σημείο (y3b), όπου το μοντέλο απέτυχε να εντοπίσει παιδιά σε κίνδυνο, λόγω της ομογενοποίησης των παιδικών δεξιοτήτων κατά τη μετάβαση στην Α΄ τάξη δημοτικού. Αυτό σημαίνει ότι καθώς τα παιδιά περνούσαν στην πρώτη τάξη, οι δεξιότητές τους διαμορφώνονταν όλο και πιο ομοιόμορφα, δηλαδή τα αποτελέσματα των κινήσεών τους γίνονταν πιο συνεπή και πιο όμοια μεταξύ τους, γεγονός που καθιστούσε δυσκολότερο για το μοντέλο να διακρίνει τα παιδιά με δυσκολίες στη γραφή. Η μέθοδος Quasi – SVM επέδειξε αξιοσημείωτη ικανότητα στην πρόβλεψη της εμφάνισης δυσγραφίας, επιτυγχάνοντας έγκαιρη ανίχνευση έως και δύο χρόνια νωρίτερα από τη διάγνωση με το παραδοσιακό εργαλείο BVSCO – 2. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος κατέστησε δυνατό τον εντοπισμό παιδιών με αυξημένο κίνδυνο δυσγραφίας, τα οποία δεν παρουσίαζαν ακραίες αποκλίσεις στις μετρήσεις z – score, μια στατιστική διαδικασία που

χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απόκλισης από τον μέσο αναπτυξιακό ρυθμό. Αυτό σημαίνει, ότι το Quasi – SVM υπερέχει στην αναγνώριση περιπτώσεων με ήπιες ή οριακές δυσκολίες, οι οποίες συνήθως διαφεύγουν της ανίχνευσης με τις συμβατικές διαγνωστικές μεθόδους. Επιπλέον, ο αλγόριθμος αποδείχθηκε αποτελεσματικός στην ανάδειξη δυσκολιών σε δεξιότητες που σχετίζονται με τη δυσγραφία ή άλλες αναπτυξιακές διαταραχές, ακόμα και όταν τα παιδιά εμφάνιζαν επιδόσεις κοντά στο διαγνωστικό όριο του BVSCO – 2.



24. Διάγραμμα διασποράς των z-βαθμολογιών του τεστ BVSCO – 2 για τα παιδιά που συμμετείχαν στη μελέτη. Οι έγχρωμες κουκκίδες κάτω από το καθορισμένο όριο δείχνουν τα άτομα που ο ταξινομητής Quasi – SVM προβλέπει ως «υψηλού κινδύνου» Lomurno E et al., 2023.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το λογισμικό αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο πρώιμης ανίχνευσης δυσγραφίας, ιδίως σε πρώιμα στάδια προσχολικής ηλικίας, προσφέροντας σημαντικό διαγνωστικό πλεονέκτημα που επιτρέπει την έγκαιρη παρέμβαση πριν την εκδήλωση ορατών προβλημάτων στη γραφή.

Η δεύτερη μελέτη που παρουσιάζεται από τους **Dui LG et. al., 2020**, εξετάζει διεξοδικά την αποτελεσματικότητα της εφαρμογής Play – Draw – Write στην κινηματική ανάλυση της σχεδίασης γεωμετρικών σχημάτων και όχι στην παραδοσιακή γραφή λέξεων. Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται στην απόδοση παιδιών που είχαν χαρακτηριστεί ως «σε κίνδυνο» από τους παιδαγωγούς τους και συγκρίθηκαν με συνομηλίκους τους, τυπικής ανάπτυξης. Η βασική καινοτομία της μελέτης είναι η αξιολόγηση δύο βασικών ρυθμικών αρχών της γραφής, ισοχρονία και ομοθεσία, ως δείκτες κινητικής ωριμότητας. Η ισοχρονία αφορά την ικανότητα του παιδιού να προσαρμόζει την ταχύτητα της γραφής όταν αλλάζει το μέγεθος του σχήματος. Στα παιδιά τυπικής ανάπτυξης, παρατηρήθηκε ότι τροποποιούσαν

αναλόγως την ταχύτητα για να διατηρήσουν σταθερό τον χρόνο σχεδίασης, κάτι που δε συνέβη στην ομάδα κινδύνου, υποδεικνύοντας περιορισμένη κινητική ευελιξία.

Αντίστοιχα, η ομοθεσία, δηλαδή η σταθερότητα στον χρονικό καταμερισμό του κάθε μέρους της κίνησης, παραβιαζόταν επίσης πιο συχνά από την ομάδα των παιδιών σε κίνδυνο, ιδίως σε μεγαλύτερου μεγέθους σχήματα. Αυτό δείχνει μια βασική δυσκολία στον ρυθμικό και σταθερό έλεγχο της κίνησης, στοιχείο κρίσιμο για τη μελλοντική επιτυχή απόκτηση δεξιοτήτων γραφής. Παράλληλα, μετρήθηκαν και άλλες παράμετροι, όπως πίεση της πένας, ακρίβεια κίνησης, αριθμός επανατοποθετήσεων της πένας, συχνότητα αλλαγής κατεύθυνσης και χρονικά διαστήματα παύσεων. Όλα τα παραπάνω έδειξαν διακριτές αποκλίσεις ανάμεσα στις δύο ομάδες. Χαρακτηριστικά, η ομάδα κινδύνου παρουσίασε πιο «ανοργάνωτα» κινητικά μοτίβα, ασυνεπείς κινήσεις, μεγαλύτερες αποκλίσεις από την ιδανική πορεία και αδυναμία σταθεροποίησης της ροής της σχεδίασης.

Για την επεξεργασία των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε ταξινομητής λογιστικής παλινδρόμησης, με στόχο την πρόβλεψη κινδύνου εμφάνισης της δυσγραφίας, ο οποίος κάνει χρήση 10 – πλής διασταύρωσης (cross – validation) και επιλεγμένων χαρακτηριστικών μέσω forward stepwise correlation-based feature subset selection. Ο παραπάνω ταξινομητής είχε AUPRC (Area Under the Precision – Recall Curve, δείκτης απόδοσης) ίσο με 0,819, γεγονός που δείχνει καλή διακριτική ικανότητα για την κατάσταση κινδύνου. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το εύρημα ότι η προβλεπτική ικανότητα επιτεύχθηκε χωρίς να χρειάζεται το παιδί να γράψει λέξεις, αλλά μόνο με τη σχεδίαση γραφικών μοτίβων. Αυτό υποδεικνύει, πώς τα κινητικά πρότυπα κατά τη σχεδίαση περιέχουν επαρκή πληροφορία για την εκτίμηση της γραφοκινητικής ανάπτυξης. Επιπλέον, τα παιδιά αξιολόγησαν μέσω ενός ερωτηματολογίου την εμπειρία τους από τη συμμετοχή τους σε αυτό το παιχνίδι. Ανταποκρίθηκαν θετικά και τα αποτελέσματα έδειξαν μέσο όρο 4,96/5 στην ευχαρίστηση από το παιχνίδι, και 89,4/100 στο SUS (System Usability Scale), ερωτηματολόγιο για την ευχρηστία της εφαρμογής. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει εξαιρετική αποδοχή και χρηστικότητα από τα παιδιά, τα οποία τη βρήκαν εύκολη, φιλική και διασκεδαστική στη χρήση.

Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης παιχνιδιού:

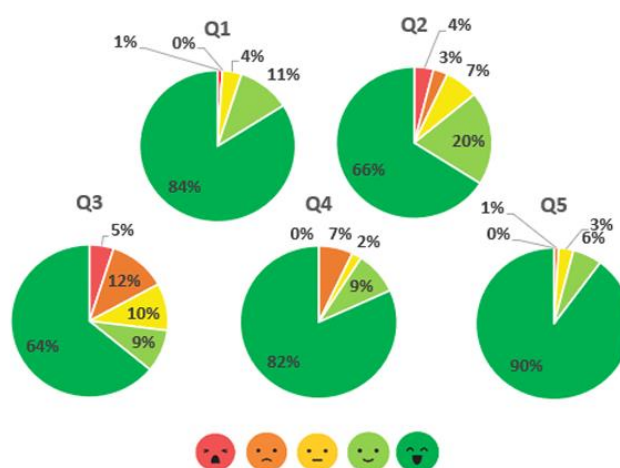
Q1: Ήταν το στυλό άνετο στη χρήση;

Q2: Ήταν το στυλό ελαφρύ;

Q3: Προτιμάτε αυτό το στυλό από τα στυλό που χρησιμοποιείτε συνήθως;

Q4: Απολάυσате το παιχνίδι και θα θέλατε να το χρησιμοποιείτε στο σπίτι;

Q5: Είστε ικανοποιημένοι από την εμπειρία;



25. Απαντήσεις ερωτηματολογίου. Οι ερωτήσεις Q1 έως Q5 αντιστοιχούν στις πέντε ερωτήσεις του ερωτηματολογίου. Οι απαντήσεις παρουσιάζονται σε κυκλικά διαγράμματα, με χρωματική κωδικοποίηση που αντιστοιχεί στα εικονίδια συναισθημάτων της διεπαφής (σκούρο πράσινο: πιο θετική απάντηση, κόκκινο: πιο αρνητική) Dui LG et. al., 2020.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν πως η εφαρμογή Play – Draw – Write, μέσω της προσεκτικής καταγραφής και ανάλυσης λεπτών κινητικών χαρακτηριστικών σε μη γλωσσικές δραστηριότητες, μπορεί να αποτελέσει ένα εύχρηστο, έγκυρο και προσιτό εργαλείο για την έγκαιρη και προληπτική ανίχνευση της δυσγραφίας. Η μελέτη προσφέρει ισχυρά τεκμήρια για τη σημασία της νευροκινητικής αξιολόγησης, πριν ακόμη ξεκινήσει η συστηματική διδασκαλία της γραφής, επιτρέποντας την έγκαιρη στόχευση και την προσαρμοσμένη υποστήριξη των παιδιών που παρουσιάζουν πρώιμες δυσκολίες.

Η τρίτη και τελευταία μελέτη “**A Tablet App for Handwriting Skill Screening at the Preliteracy Stage**” των Dui LG et al., 2020, διερεύνησε τη δυνατότητα πρώιμου ελέγχου δεξιοτήτων γραφής μέσω εφαρμογής tablet, που περιλάμβανε το σύνολο δραστηριοτήτων του **Play – Draw – Write**. Παρουσιάζει επίσης, αναλυτικά αποτελέσματα που καταδεικνύουν ότι βασικές κινητικές αρχές της γραφής όπως η ισοchronία, η ομοθεσία και η ισορροπία ταχύτητας – ακρίβειας (speed – accuracy tradeoff) εφαρμόζονται από τα παιδιά ήδη από το προαναγνωστικό στάδιο, ακόμη και κατά τη σχεδίαση απλών σχημάτων σε ψηφιακό περιβάλλον. Τα πειράματα περιλάμβαναν τρεις κατηγορίες δραστηριοτήτων του Play – Draw – Write, τις οποίες τα παιδιά εκτελούσαν σε διαφορετικά επίπεδα δυσκολίας, αξιολογώντας παραμέτρους όπως η ταχύτητα, η ακρίβεια και η ομαλότητα της κίνησης. Για

την ανάλυση δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δοκιμές Mann – Whitney ώστε να γίνει σύγκριση της επίδρασης της ηλικίας στις επιδόσεις των παιδιών και η δοκιμή Friedman αξιολόγησε τις διαφορές στις επιδόσεις ανάλογα με τα σύμβολα. Από τα δεδομένα και τη στατιστική ανάλυση, έγινε η εκτίμηση της σχέσης ταχύτητας και ακρίβειας στις γραφικές ικανότητες των παιδιών, καθώς και η διαφοροποίηση αυτών των ικανοτήτων μεταξύ παιδιών νηπιαγωγείου και δημοτικού σχολείου.

Καταρχάς, η αρχή της ισοχρονίας, που αφορά την εξίσωση του χρόνου εκτέλεσης μεταξύ διαφορετικών μερών μιας λέξης ή συμβόλου, επιβεβαιώθηκε και στις δύο ηλικιακές ομάδες. Τα παιδιά τόσο του νηπιαγωγείου όσο και του δημοτικού εκτελούσαν τις μεγαλύτερες μορφές, λέξεις ή σύμβολα, με μεγαλύτερη ταχύτητα, ενώ οι μικρότερες και πιο αργές μορφές απαιτούσαν περισσότερο χρόνο, στοιχείο που καταδεικνύει φυσιολογική κινητική προσαρμογή. Η ομοιογένεια, δηλαδή η σταθερότητα του χρόνου που αφιερώνεται σε κάθε στοιχείο της γραφής, διατηρήθηκε με συνέπεια στα παιδιά του δημοτικού ιδίως στην αντιγραφή συμβόλων, με μεμονωμένες αποκλίσεις. Η σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ηλικιακών ομάδων αναδείχθηκε στον τομέα της αντιστάθμισης ταχύτητας – ακρίβειας, όπου τα παιδιά του δημοτικού είχαν σαφώς καλύτερη προσαρμοστικότητα, επιτυγχάνοντας υψηλότερη ακρίβεια σε μεγαλύτερες ταχύτητες, ενώ τα παιδιά του νηπιαγωγείου εμφάνιζαν βραδύτερες και λιγότερο ακριβείς κινήσεις, ιδίως σε πιο απαιτητικά σχήματα. Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων αντιγραφής, παρατηρήθηκε επίσης ότι η συμμόρφωση με τις οδηγίες ήταν υψηλότερη όταν τα παιδιά καλούνταν να γράψουν μεγαλύτερα στοιχεία, γεγονός που πιθανόν σχετίζεται με την αυξημένη ευκολία ελέγχου της κίνησης σε πιο εκτεταμένες τροχιές. Παράλληλα, έγινε χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης, η οποία έδειξε ότι τα παιδιά του δημοτικού εμφάνισαν σαφέστερη συμμόρφωση με το μοντέλο ταχύτητας – ακρίβειας. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι τα σύμβολα, όπως κύκλοι ή τετράγωνα, ακολουθούν τους ίδιους κινητικούς κανόνες με τις λέξεις, ενισχύοντας την ιδέα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά για την αξιολόγηση γραφικών δεξιοτήτων, ακόμη και σε παιδιά που δεν γνωρίζουν γραφή. Αυτό είναι ιδιαιτέρως σημαντικό, καθώς υποδηλώνει ότι παιδιά με χαμηλή απόδοση στις σχεδιαστικές δραστηριότητες μπορεί να βρίσκονται σε κίνδυνο εμφάνισης δυσγραφίας, κάτι που μπορεί να ανιχνευθεί έγκαιρα.

Τα υποκειμενικά δεδομένα από την εμπειρία των χρηστών ήταν επίσης εξαιρετικά θετικά, το SUS (System Usability Scale) της εφαρμογής έφτασε το 92,86 με απόκλιση $\pm 5,08$, κάτι που αντικατοπτρίζει εξαιρετική ευχρηστία και αποδοχή της εφαρμογής από τα παιδιά. Το γεγονός

αυτό ενισχύει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης της εφαρμογής σε σχολικά ή κλινικά πλαίσια χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερη εξοικείωση ή καθοδήγηση.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή Play – Draw – Write μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αποτελεσματικό, αντικειμενικό και φιλικό προς τα παιδιά εργαλείο πρώιμου εντοπισμού γραφοκινητικών δυσκολιών, το οποίο βασίζεται σε επιστημονικά τεκμηριωμένες κινητικές αρχές και είναι κατάλληλο για χρήση ακόμη και στο προσχολικό στάδιο. Η ενσωμάτωση συμβόλων στην αξιολόγηση προσφέρει ένα πολύτιμο εργαλείο για την έγκαιρη ανίχνευση δυσγραφικών δυσκολιών, ανεξάρτητα από το επίπεδο γλωσσικής κατάρτισης του παιδιού.

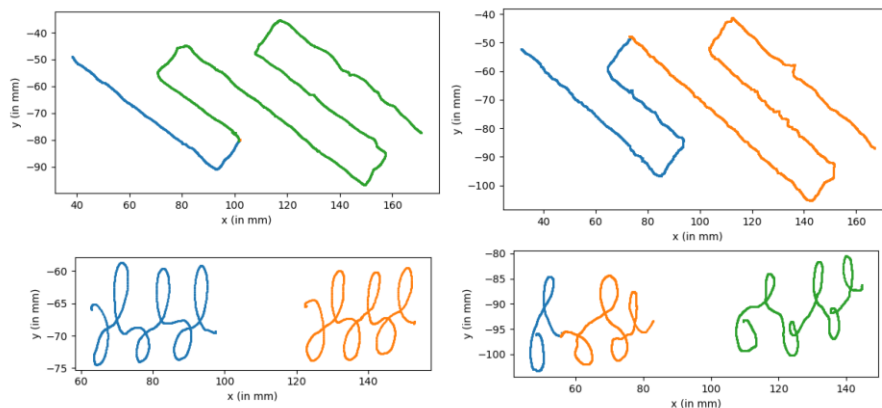
Καταληκτικά, τα δεδομένα των τριών μελετών, **Lomurno E et al., 2023** και **Dui LG et. al., 2020/2020**, υποστηρίζουν την αποτελεσματικότητα και την ευχρηστία της εφαρμογής Play – Draw – Write ως εργαλείου πρώιμης ανίχνευσης γραφοκινητικών δυσκολιών και δυσγραφίας. Η εφαρμογή παρουσιάζει χαρακτηριστικά καινοτομίας και αξιοπιστίας, ενώ η θετική αποδοχή της από τα παιδιά υποδεικνύει τη δυνατότητα ένταξής της σε εκπαιδευτικά και κλινικά πλαίσια. Ωστόσο, απαιτούνται περαιτέρω έρευνες με μεγαλύτερα δείγματα και διαφοροποιημένα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, ώστε να επιβεβαιωθούν τα ευρήματα και να διερευνηθεί η γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων.

2. Η συμβολή της ψηφιακής γραφοκινητικής ανάλυσης στη διάγνωση της δυσγραφίας: Δύο Μελέτες – Μία Κοινή Πορεία

Εν συνεχεία της παράθεσης των ευρημάτων, παρουσιάζονται δύο έρευνες, οι οποίες προσέγγισαν τη δυσγραφία ως νευροκινητική διαταραχή, η οποία μπορεί να εντοπιστεί μέσω της ανάλυσης λεπτομερών γραφοκινητικών δεικτών. Η πρώτη μελέτη των **Devillaine et al. 2021**, παρουσιάζει τη δυνατότητα αντικειμενικής και πρώιμης ανίχνευσης της δυσγραφίας σε παιδιά, μέσα από την ανάλυση γραφοκινητικών δεδομένων και την εφαρμογή αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, με κορυφαίο μοντέλο το γραμμικό Support Vector Machine (SVM), το οποίο πέτυχε ακρίβεια ταξινόμησης 73,4%. Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε, έπειτα από προσεκτικό ταίριασμα ηλικίας και φύλου, αξιοποιήθηκε για την εκπαίδευση και αξιολόγηση των μοντέλων. Πιο αναλυτικά, τα γραφοκινητικά τεστ περιλάμβαναν τόσο αντιγραφή όσο και επισήμανση σχημάτων, καταγράφοντας λεπτομερή χαρακτηριστικά κίνησης μέσω γραφικών tablets (WACOM), όπως η καμπυλότητα των γραμμών, οι γωνίες, η πίεση της πένα, και η ομαλότητα της διαδρομής. Βάσει αυτής της έρευνας, επιβεβαιώνεται

ότι tests όπως το “Loops”, έχουν ιδιαίτερη διαγνωστική αξία, καθώς παρείχαν μεγάλο μέρος των διακριτικών χαρακτηριστικών, ενώ η χρήση τέτοιων γεωμετρικών δεδομένων καθιστά τη μέθοδο ανεξάρτητη από γλωσσικούς παράγοντες, επιτρέποντας την ευρεία εφαρμογή της σε διαφορετικά εκπαιδευτικά και πολιτισμικά περιβάλλοντα. Επιπλέον, η αυστηρή διαδικασία επιλογής χαρακτηριστικών και η αποφυγή υπερπροσαρμογής διασφαλίζουν την αξιοπιστία και γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Παρά τους περιορισμούς, όπως το σχετικά μικρό δείγμα παιδιών με δυσγραφία και τις διαφοροποιήσεις στον εξοπλισμό καταγραφής, τα ευρήματα υποστηρίζουν έντονα τη χρησιμότητα της γραφοκινητικής ανάλυσης ως ένα γρήγορο, μη παρεμβατικό και γλωσσικά ουδέτερο εργαλείο προ διάγνωσης.

Συνολικά, η μελέτη αποδεικνύει ότι τα γραφοκινητικά δεδομένα, όταν συνδυάζονται με κατάλληλους υπολογιστικούς αλγορίθμους, μπορούν να αποτυπώσουν με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της δυσγραφίας και να προσφέρουν πολύτιμα διαγνωστικά εργαλεία για μια έγκαιρη παρέμβαση.



26. Ερεθίσματα που εκτελέστηκαν από δύο παιδιά, με κάθε χρώμα να αντιστοιχεί σε διαφορετική πινελιά. Επάνω παρουσιάζεται το Κύκλωμα 2 και κάτω οι Βρόχοι. Στα δεξιά παρατηρούνται περισσότεροι τρόμοι σε σύγκριση με τα αριστερά.

Η δεύτερη μελέτη των **Smits – Engelsman και Van Galen 1997**, αποτελεί ένα από τα πλέον τεκμηριωμένα ερευνητικά παραδείγματα σχετικά με τις διαφορές στη γραφοκινητική απόδοση μεταξύ παιδιών με δυσγραφία και παιδιών με τυπική ανάπτυξη. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ψηφιακά μέσα υψηλής ακρίβειας για την καταγραφή και ανάλυση των γραφοκινητικών χαρακτηριστικών, γεγονός που επέτρεψε μια λεπτομερή και αντικειμενική αποτύπωση των κινήσεων κατά τη διαδικασία της γραφής. Με τη βοήθεια εξειδικευμένου υπολογιστικού λογισμικού, καταγράφηκαν κρίσιμοι παράγοντες, όπως η χρονική διάρκεια

και η ακρίβεια των κινήσεων, η ομαλότητα των γραφοκινητικών μοτίβων και η παρουσία κινητικών σφαλμάτων.

Τα ευρήματα της έρευνας ανέδειξαν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των δύο ομάδων. Τα παιδιά με δυσγραφία παρουσίασαν σαφώς μειωμένη γραφοκινητική ευχέρεια σε σχέση με τους συνομηλίκους τους με τυπική ανάπτυξη. Αναλυτικότερα, οι κινήσεις τους ήταν αισθητά πιο αργές και λιγότερο ευθύγραμμες, χαρακτηρίζονταν από αυξημένο μήκος τροχιάς, μεγαλύτερη καμπυλότητα και έλλειψη συνοχής. Επιπλέον, παρατηρήθηκε αυξημένος αριθμός «δυσχρονιών», δηλαδή απότομων διακοπών ή μη ομαλών μεταβολών στην ταχύτητα της γραφής, στοιχείο που φανερώνει διαταραχές στη χρονική ρύθμιση της κινητικής δράσης. Συγχρόνως, τα παιδιά αυτά υπέπεσαν σε περισσότερα χωρικά λάθη, όπως υπερβολική επέκταση (overshoot) ή ανεπαρκή προσέγγιση του στόχου (undershoot), γεγονός που καταδεικνύει ελλείψεις στον έλεγχο της ακρίβειας της κίνησης.

Επεκτείνοντας την ανάλυση σε βαθύτερο επίπεδο, οι ερευνητές εξέτασαν και τη συμβολή νευροφυσιολογικών παραμέτρων στις γραφοκινητικές επιδόσεις. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη μέτρηση του λεγόμενου νευροκινητικού θορύβου, μικρές, απρόβλεπτες αποκλίσεις στις κινήσεις, που δε σχετίζονται με το επιθυμητό κινητικό αποτέλεσμα και αποτελούν ένδειξη έλλειψης ελέγχου του κινητικού συστήματος. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι οι «φτωχοί» γραφείς εμφάνιζαν σημαντικά υψηλότερα επίπεδα κινητικού «θορύβου», κυρίως σε διαστάσεις που σχετίζονται με διορθωτικές κινήσεις, κάτι που υποδηλώνει μειωμένη ικανότητα σταθεροποίησης των κινήσεων κατά τη γραφή.

Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων επιβεβαίωσε την ύπαρξη ουσιαστικών διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων σχεδόν σε όλες τις μετρήσιμες μεταβλητές: χρόνος κίνησης, μήκος διαδρομής, καμπυλότητα, αριθμός δυσχρονιών και επίπεδο κινητικού θορύβου. Αξιοσημείωτο είναι, ότι τα παιδιά με δυσγραφία διατήρησαν χαμηλότερες επιδόσεις ανεξάρτητα από τη φύση των πειραματικών συνθηκών (όπως το μέγεθος των γραμμών, ο τύπος των γραφηματικών συμβόλων ή οι απαιτήσεις ακρίβειας), στοιχείο που ενισχύει την υπόθεση ύπαρξης μιας ευρύτερης και σταθερής λειτουργικής δυσκολίας.

Συνοψίζοντας, η μελέτη παρέχει ισχυρά ερευνητικά τεκμήρια υπέρ της άποψης ότι η δυσγραφία δε συνιστά απλώς μια αισθητική ή επιφανειακή αδυναμία στη γραφή, αλλά συνδέεται με βαθύτερες νευροκινητικές δυσλειτουργίες που επηρεάζουν την οργάνωση, τον χρονισμό και τον έλεγχο των εκτελεστικών κινήσεων. Η χρήση ψηφιακής τεχνολογίας

υψηλής ανάλυσης και η συστηματική ανάλυση των γραφοκινητικών παραμέτρων, προσφέρουν ένα ισχυρό διαγνωστικό εργαλείο για την κατανόηση και έγκαιρη αναγνώριση των δυσκολιών αυτών στην παιδική ηλικία.

Τόσο η παλαιότερη μελέτη των **Smits – Engelsman και Van Galen (1997)**, όσο και η πιο πρόσφατη των **Devillaine et al. (2021)**, αξιοποίησαν ψηφιακά μέσα υψηλής ακρίβειας για την καταγραφή των κινήσεων της γραφής, επιτρέποντας μια αντικειμενική και ποσοτικοποιημένη ανάλυση. Παρά τη χρονική και τεχνολογική απόσταση μεταξύ τους, συγκλίνουν σε μια κρίσιμη διαπίστωση. Η δυσγραφία δεν αποτελεί απλώς ένα πρόβλημα αισθητικής ή ελλειμματικής εξάσκησης, αλλά μια σαφώς προσδιορίσιμη νευροκινητική διαταραχή με αντικειμενικά μετρήσιμα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, αμφότερες υποστηρίζουν τη χρήση της γραφοκινητικής ανάλυσης ως ένα αξιόπιστο διαγνωστικό εργαλείο για την πρόωπη αναγνώριση των μαθητών που χρήζουν παρέμβασης, καθιστώντας τη μεθοδολογία αυτή ιδιαιτέρως χρήσιμη τόσο σε ερευνητικά όσο και σε εκπαιδευτικά και κλινικά περιβάλλοντα.

3. Από το Χαρτί στο Ψηφιακό Ίχνο: Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης και Ψηφιακής Καταγραφής

Δύο μελέτες των **Asselborn et al. (2018, 2020)** ανέδειξαν τη σημασία της αξιοποίησης σύγχρονων τεχνολογιών και μεθόδων τεχνητής νοημοσύνης στη διαδικασία της διάγνωσης της δυσγραφίας, επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα έγκαιρης, έγκυρης και ακριβούς αξιολόγησης της δυσγραφίας μέσω της ανάλυσης δεδομένων ψηφιακής γραφής.

Η μελέτη του 2018, αποτελεί ένα σημαντικό παράδειγμα εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης και της γραφοκινητικής ανάλυσης στη διάγνωση της δυσγραφίας, αξιοποιώντας την παρούσα διαθέσιμη τεχνολογία. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε ένα αυτοματοποιημένο διαγνωστικό εργαλείο, χρησιμοποιώντας tablet Wacom και γραφίδα, με στόχο την καταγραφή δεδομένων γραφής υψηλής ακρίβειας, ενώ ταυτόχρονα εφάρμοσε σύγχρονους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για τη διαχωριστική ταξινόμηση μεταξύ παιδιών με δυσγραφία και παιδιών με τυπική ανάπτυξη. Όλα τα παιδιά συμπλήρωσαν τη δοκιμασία BHK (Concise Evaluation Scale for Children's Handwriting) πάνω σε χαρτί, το οποίο είχε τοποθετηθεί πάνω στην επιφάνεια του γραφικού tablet. Κατά την εκτέλεση της γραφής, το σύστημα κατέγραφε με πολύ μεγάλη λεπτομέρεια δεδομένα όπως οι x – y συντεταγμένες της

πένας, η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η πίεση, καθώς και η κλίση της πένας στον άξονα x και y, με συχνότητα 200Hz.

Από τα δεδομένα, αυτά εξήχθησαν σε 53 μετρικές γραφοκινητικής συμπεριφοράς, οι οποίες οργανώθηκαν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες: (α) στατικά χαρακτηριστικά (π.χ. απόσταση μεταξύ λέξεων), (β) κινηματικά χαρακτηριστικά (π.χ. μέση ταχύτητα, μέγιστη επιτάχυνση), (γ) χαρακτηριστικά πίεσης και (δ) χαρακτηριστικά σχετιζόμενα με την κλίση της πένας. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τον αλγόριθμο Random Forest για την ταξινόμηση των δεδομένων και την πρόβλεψη της ύπαρξης δυσγραφίας. Αυτός ο ταξινομητής, επιλέχθηκε λόγω της ικανότητάς του να χειρίζεται μεγάλα και πολύπλοκα δεδομένα, ενώ παράλληλα παρέχει καλή γενίκευση και ακριβή διάκριση ανάμεσα στις κατηγορίες. Η απόδοση του μοντέλου ήταν εξαιρετικά υψηλή, με ευαισθησία 96,6%, δηλαδή ικανότητα ανίχνευσης των πραγματικών περιστατικών δυσγραφίας, ειδικότητα 99,2%, σωστή απόρριψη των μη – δυσγραφικών περιπτώσεων, ακρίβεια 98,18%, και F1 – score 97,98%, τιμές που ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες τιμές της παραδοσιακής αξιολόγησης με BHK από εκπαιδευτικούς ή κλινικούς.

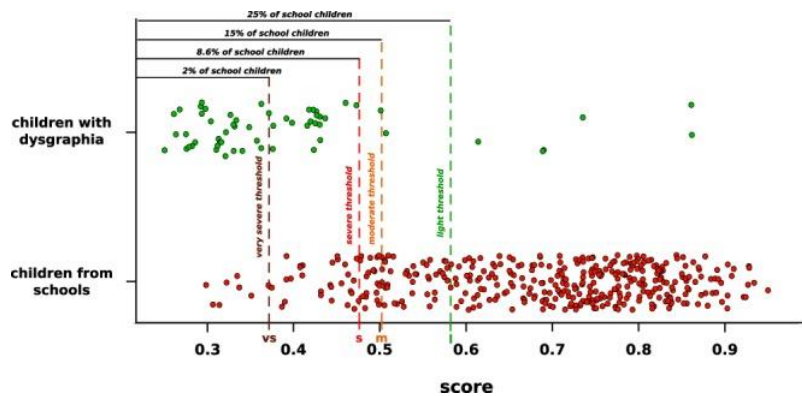
Επιπλέον, οι ερευνητές απέδειξαν ότι ακόμα και με λιγότερα δεδομένα (μόλις 15 – 50 δευτερόλεπτα γραφής), η ακρίβεια του μοντέλου διατηρούνταν πολύ υψηλή, στοιχείο που καθιστά τη μέθοδο ιδανική για γρήγορη διαλογή (screening) στον πληθυσμό. Ένα από τα πλέον κρίσιμα χαρακτηριστικά για τη διάγνωση, ήταν η μέση φασματική πυκνότητα ταχύτητας (Median of Power Spectral Density of Speed Frequencies), ένα σύνθετο κινηματικό χαρακτηριστικό που αποτυπώνει τη μεταβλητότητα της ταχύτητας κατά τη γραφή. Επίσης, σημαντικό ρόλο έπαιξαν η ταχύτητα αλλαγής πίεσης και η κατανομή της πίεσης ανά γράφημα, καθώς και οι μεταβολές στην κλίση της πένας, ιδίως στον άξονα y, που βρέθηκαν περιορισμένες στα παιδιά με δυσγραφία, υποδηλώνοντας έλλειμμα στον κινητικό έλεγχο.

Τέλος, η χρήση των τιμών SHAP (Shapley Additive Explanations), επέτρεψε στους ερευνητές να εξηγήσουν τη συμβολή κάθε χαρακτηριστικού στην απόφαση του μοντέλου, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την ερμηνευσιμότητα του συστήματος. Η τεχνολογική αυτή προσέγγιση απέδειξε ότι η αντικειμενική, αυτοματοποιημένη και ταχύτατη αξιολόγηση της γραφής με χρήση εμπορικού εξοπλισμού είναι όχι μόνο εφικτή, αλλά και εξαιρετικά ακριβής, ανοίγοντας νέους δρόμους για την πρόωπη ανίχνευση της δυσγραφίας σε σχολικά και κλινικά πλαίσια.

Μέσω της έρευνας του 2020, αναδείχθηκε η σημασία της πολυπαραμετρικής ανάλυσης δεδομένων ψηφιακής γραφής για τη διάγνωση και αξιολόγηση της δυσγραφίας στον παιδικό πληθυσμό. Μέσω της καταγραφής και ανάλυσης 63 χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τις κινήσεις της πέννας (x, y συντεταγμένες, πίεση, γωνία κλίσης, κατεύθυνση άξονα), αναπτύχθηκε ένα σύστημα αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη την ηλικιακή και φυλετική διαφοροποίηση, εφαρμόζοντας πολυωνμική παλινδρόμηση τρίτου βαθμού, για την κανονικοποίηση των δεδομένων και τον υπολογισμό Z – score για κάθε χαρακτηριστικό. Η διαδικασία αυτή, επέτρεψε την αξιόπιστη εκτίμηση της απόκλισης κάθε παιδιού από τον πληθυσμιακό του μέσο όρο.

Ο αλγόριθμος για την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA), συνέβαλε καθοριστικά στη μείωση της διαστασιμότητας των δεδομένων και στην ανάδειξη των πλέον διακριτών χαρακτηριστικών που διαφοροποιούν τα παιδιά με δυσγραφία από εκείνα χωρίς. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι τα κιναισθητικά και πιεστικά χαρακτηριστικά συνεισφέρουν ουσιαστικά στη διακύμανση των δεδομένων, ενώ τα στατικά χαρακτηριστικά και οι γωνίες κλίσης φαίνεται να έχουν περιορισμένη διαγνωστική αξία. Η ταξινόμηση μέσω του αλγορίθμου K – means, βασισμένη στις κυριότερες συνιστώσες της PCA, παρουσίασε υψηλό ποσοστό ορθής κατάταξης των παιδιών με δυσγραφία (92%), με ευαισθησία 91% και ειδικότητα 90%, ενισχύοντας την αξιοπιστία του μεθοδολογικού πλαισίου.

Ιδιαίτερη σημασία είχε και η δημιουργία μιας πολυεπίπεδης κλίμακας αξιολόγησης της ποιότητας γραφής, η οποία επιτρέπει τη συνεχή και διαφοροποιημένη αποτίμηση της γραφοκινητικής ικανότητας κάθε παιδιού, βασισμένη στη σχετική απόστασή του από τον πυρήνα της ομάδας αναφοράς (παιδιά χωρίς δυσγραφία). Η κλίμακα αυτή, με τις πέντε βαθμίδες (από πολύ σοβαρή έως καλή ποιότητα γραφής), καθιστά δυνατή την ποσοτικοποίηση της δυσκολίας και τη δυναμική παρακολούθηση της προόδου μέσω στοχευμένων παρεμβάσεων.



27. Το διάγραμμα απεικονίζει τη βαθμολογία γραφής όλων των παιδιών της μελέτης, διαχωρίζοντας τα τυπικώς αναπτυσσόμενα (κόκκινα σημεία) από εκείνα με δυσγραφία (πράσινα σημεία). Η βαθμολογία είναι αντιστρόφως ανάλογη της ποιότητας γραφής και χρησιμοποιείται για την κατάταξη των παιδιών σε πέντε επίπεδα σοβαρότητας (πολύ σοβαρή, σοβαρή, μέτρια, ελαφριά, φυσιολογική), βάσει προκαθορισμένων ποσοστίων ορίων (**Asselborn et al 2020**).

Συνοψίζοντας, οι μελέτες των **Asselborn et al.** τεκμηριώνουν τη δυναμική της συνδυαστικής χρήσης τεχνολογίας, υπολογιστικών μοντέλων και στατιστικής ανάλυσης για την έγκαιρη και αξιόπιστη διάγνωση της δυσγραφίας. Η εφαρμογή τέτοιων εργαλείων, όχι μόνο ενισχύει την ακρίβεια της διάγνωσης, αλλά και ανοίγει τον δρόμο για προσαρμοσμένες, τεκμηριωμένες εκπαιδευτικές και θεραπευτικές παρεμβάσεις, βελτιώνοντας την καθημερινή εμπειρία και τις επιδόσεις των παιδιών με δυσγραφία σε ποικίλα πλαίσια.

Στο ίδιο πνεύμα, η μελέτη των **Gargot T. et al., 2020**, έρχεται να ενισχύσει και να παρουσιάσει μια σε βάθος ανάλυση της δυσγραφίας, αναδεικνύοντας τόσο τη δυνατότητα χρήσης ψηφιακών χαρακτηριστικών για τη διάγνωση όσο και την ποικιλομορφία της διαταραχής. Η έρευνα χρησιμοποίησε μια σειρά από 12 ψηφιακά χαρακτηριστικά της γραφής, συμπεριλαμβανομένων στατικών (όπως το μήκος των λέξεων και η ευθυγράμμιση), κινηματικών (όπως η ταχύτητα και η επιτάχυνση του χεριού), χαρακτηριστικών πίεσης και γωνίας (κλίσης του εργαλείου γραφής). Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι, μόνο τρία από αυτά τα χαρακτηριστικά συνδέθηκαν με την ποιότητα γραφής σε παιδιά τυπικής ανάπτυξης. Στα παιδιά με δυσγραφία, τα ίδια χαρακτηριστικά διαφοροποιούνταν σημαντικά, αποκαλύπτοντας έντονα πρότυπα απόκλισης. Έτσι, παρατηρήθηκε ότι τα παιδιά αυτά, παρουσίασαν ελλείψεις στον τομέα της γνωστικής επεξεργασίας, όπως η εκτελεστική λειτουργία και η μνήμη εργασίας, οι οποίες σχετίζονται με τη γραπτή έκφραση. Στη συνέχεια, μέσω συσταδοποίησης (K – means clustering), αναγνωρίστηκαν τρεις υποομάδες δυσγραφικών παιδιών. Η πρώτη χαρακτηριζόταν από ήπια δυσγραφία και περιλάμβανε κυρίως κορίτσια μεγαλύτερης ηλικίας, που παρουσίαζαν λιγότερο έντονες δυσκολίες. Η

δεύτερη, εμφάνιζε σοβαρά κινηματικά ελλείμματα και αστάθεια στην πίεση γραφής και η τρίτη χαρακτηριζόταν από έντονες αποκλίσεις στην κλίση του εργαλείου γραφής, υποδεικνύοντας διαταραχή στον έλεγχο του καρπού ή των δαχτύλων. Η ταξινόμηση αυτή, καταδεικνύει την ετερογένεια της δυσγραφίας και προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση από τις παραδοσιακές κατηγοριοποιήσεις που βασίζονται σε συνοσηρότητες. Ιδιαίτερης σημασίας ήταν επίσης, το εύρημα ότι τα κινηματικά και αισθησιοκινητικά χαρακτηριστικά αποκτούν διαγνωστική ισχύ κυρίως όταν η γραφή είναι ήδη προβληματική, κάτι που ενισχύει την ανάγκη πρώιμης ανίχνευσης μέσα από τεχνολογικά εργαλεία.

Συμπερασματικά, η μελέτη αυτή όπως και οι προαναφερθείσες, προτείνουν τη χρήση τέτοιων ψηφιακών δεικτών στο πλαίσιο σοβαρών παιγνίων και διαδραστικών εφαρμογών, για την υποστήριξη της αξιολόγησης και ενίσχυσης δεξιοτήτων γραφής όπως η πίεση και η σταθερότητα στην κλίση, προσφέροντας έτσι νέες προοπτικές στην πρόληψη και αποκατάσταση της δυσγραφίας.

4. Η Δυσγραφία στην f - MRI: Τεχνολογία, Ακρίβεια και Εγκεφαλική Συνδεσιμότητα

Συμπληρωματικά προς τις παραπάνω συμπεριφορικές και τεχνολογικές προσεγγίσεις, η εν λόγω μελέτη των **Reitz F. et. al., 2013** αξιολόγησε την ακρίβεια, τη λειτουργία και τις εγκεφαλικές αντιδράσεις κατά την εκτέλεση δραστηριοτήτων γραφής με τη χρήση ενός καινοτόμου συστήματος στυλό σε φασματική απεικόνιση (f - MRI). Η αξιολόγηση εστίασε σε τέσσερις βασικούς τομείς: την ακρίβεια του συστήματος γραφής, την κίνηση του κεφαλιού κατά τη διάρκεια της συγγραφής, την ποιότητα της γραφής, και τη λειτουργική συνδεσιμότητα του εγκεφάλου σε άτομα με δυσγραφία και δυσλεξία.

1. Ακρίβεια του Συστήματος Γραφής

Η ακρίβεια του συστήματος γραφής αξιολογήθηκε μέσω της καταγραφής της κίνησης του στυλό πάνω σε έναν ειδικό χρωματικό χάρτη. Στο άκρο του στυλό υπήρχε ένας δίσκος – αισθητήρας που κατέγραφε την κίνηση μέσα στο κεντρικό τμήμα του χάρτη, το οποίο ήταν χωρισμένο σε 32 εικονοστοιχεία (pixels) ανά άξονα, αποδίδοντας περίπου 4,5 mm ανά pixel. Το σύστημα παρουσίασε υψηλή ακρίβεια, με μικρές αποκλίσεις κατά την καταγραφή λεπτών κινήσεων. Η μέση τυπική απόκλιση ήταν 2,7 mm στο κεντρικό 50% της επιφάνειας και αυξανόταν σε 5,4 mm στα άκρα. Επιπλέον, η καθυστέρηση ανάμεσα στην κίνηση του στυλό και στην εμφάνιση του αντίστοιχου αποτελέσματος στην οθόνη, ήταν περίπου 130 χιλιοστά

του δευτερολέπτου (ms), χρόνος αρκετά μικρός ώστε να μην επηρεάζει την ποιότητα της γραφής ή την εμπειρία του χρήστη.

2. Κίνηση του Κεφαλιού κατά τη Συγγραφή

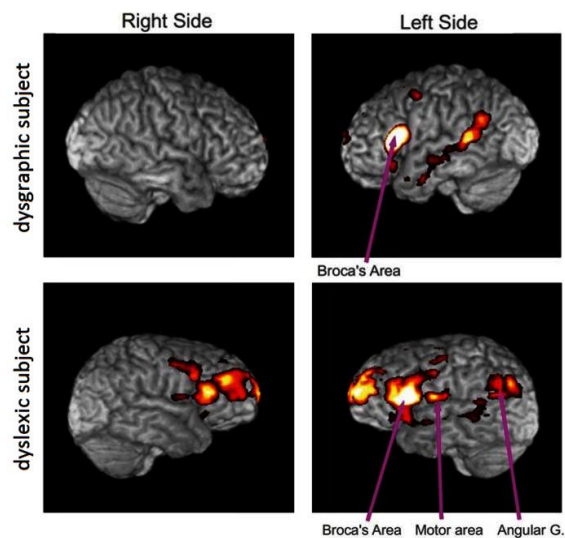
Η κίνηση του κεφαλιού κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων ανάγνωσης και γραφής αξιολογήθηκε με τη χρήση του λογισμικού FSL MCFLIRT, το οποίο μέτρησε την απόλυτη και τη σχετική μετατόπιση της κεφαλής κατά τη διάρκεια των ασκήσεων μέσα στο MRI. Τα αποτελέσματα, έδειξαν αμελητέες διαφορές στην κίνηση του κεφαλιού μεταξύ των δύο δραστηριοτήτων. Για το πρώτο άτομο, η απόλυτη μετατόπιση ήταν 0,45 mm στην ανάγνωση και 0,47 mm στη συγγραφή, ενώ για το δεύτερο άτομο οι αντίστοιχες τιμές ήταν 0,19 mm και 0,22 mm. Τα δεδομένα αυτά, υποδεικνύουν ότι η χρήση του στυλό δεν προκαλεί αυξημένη κίνηση της κεφαλής, υποστηρίζοντας τη δυνατότητα ακριβών μετρήσεων κατά τη διάρκεια των fMRI εξετάσεων.

3. Ποιότητα Γραφής

Αξιολογήθηκε μέσω του παραδείγματος του γράμματος “Η”, το οποίο γραφόταν κατά τη διάρκεια της σάρωσης MRI. Η ποιότητα της γραφής ήταν αναγνώσιμη, αν και λιγότερο ακριβής σε σχέση με τη χειρόγραφη γραφή σε συμβατικό περιβάλλον. Η απόδοση επηρεάστηκε από την ατελή βαθμονόμηση του συστήματος, το οποίο προκάλεσε μικρές παραμορφώσεις στις γραμμές, καθώς και από τη χρήση ενός περιορισμένου αριθμού σημείων για τη σύνθεση των γραμμών, προκαλώντας ένα «μπλοκώδες» αποτέλεσμα. Η εφαρμογή του μαθηματικού αλγορίθμου, κυλιόμενου μέσου πέντε σημείων, βελτίωσε σημαντικά την ποιότητα της γραφής. Ωστόσο, η ξαπλωμένη θέση του συμμετέχοντα και η συγγραφή υπερμεγέθων γραμμάτων, σε συνδυασμό με την έλλειψη εξοικείωσης, αποτελούσαν προκλήσεις για την επίτευξη ακριβούς και φυσικής γραφής.

4. Λειτουργική Συνδεσιμότητα του Εγκεφάλου

Εξετάστηκε σε άτομα με δυσγραφία και δυσλεξία κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων γραφής. Οι χάρτες συνδεσιμότητας δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας την περιοχή του Broca στον αριστερό εγκέφαλο, γνωστή για τη συμμετοχή της στη γλωσσική παραγωγή. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα, έδειξαν περισσότερες συνδέσεις από την περιοχή Broca στον εγκέφαλο των ατόμων με δυσλεξία σε σύγκριση με τα άτομα με δυσγραφία. Οι ενεργοποιημένες περιοχές περιλάμβαναν την περιοχή Broca, τη κινητική περιοχή, τον γωνιώδη γυρό και περιοχές του μετωπιαίου λοβού.



28. Οι περιοχές του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται σε δυσγραφικά και δυσλεξικά άτομα.

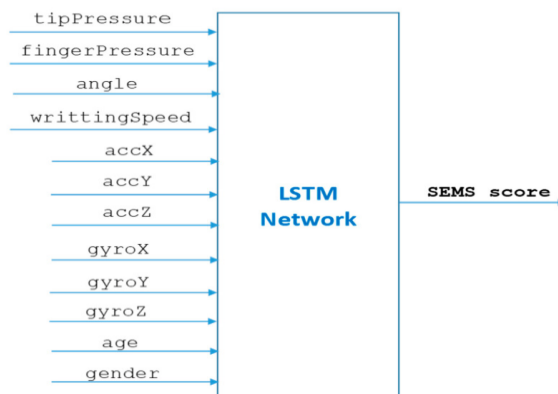
Καταληκτικά, η έρευνα υποδεικνύει ότι το καινοτόμο αυτό σύστημα γραφής προσφέρει υψηλή ακρίβεια, χωρίς να προκαλεί σημαντική κίνηση της κεφαλής κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας. Επιπλέον, παρά τις μικρές παραμορφώσεις στην ποιότητα της γραφής, το σύστημα αποδείχθηκε χρήσιμο για την αξιολόγηση εγκεφαλικών αντιδράσεων και λειτουργικών συνδέσεων, ιδίως σε άτομα με δυσγραφία και δυσλεξία. Η μελέτη υποδεικνύει επίσης, ότι οι διαφορές στη συνδεσιμότητα του εγκεφάλου μεταξύ των δύο αυτών ομάδων απαιτούν, περαιτέρω έρευνα για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών πίσω από τις διαταραχές γραφής.

5. Στη Διασταύρωση Τεχνολογίας, Εκπαίδευσης και Νευροεπιστήμης: Προσεγγίσεις AI για τη Δυσγραφία

Οι μελέτες των **Bublin et al. 2023** και **Alzahrani et al. 2025** εξετάζουν την αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογικών εργαλείων και αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, για την έγκαιρη και αντικειμενική αξιολόγηση μαθησιακών δυσκολιών, με έμφαση στη δυσγραφία. Παρότι βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογικές υλοποιήσεις και υπολογιστικές μεθοδολογίες, αμφότερες παρουσιάζουν συγκλίνοντα ευρήματα ως προς την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και τη χρηστικότητα των προτεινόμενων λύσεων σε παιδιατρικά ή εκπαιδευτικά περιβάλλοντα.

Καταρχάς, η μελέτη των **Bublin et al.** επικεντρώνεται στο **SensoGrip**, ένα «έξυπνο στυλό» που σε αντίθεση με παραδοσιακά συστήματα αξιολόγησης, επιτρέπει φυσική γραφή σε χαρτί, καταγράφοντας πολυτροπικά δεδομένα όπως πίεση, γωνία και χρονισμός κίνησης. Κατέδειξε με λεπτομέρεια την αποτελεσματικότητα του έξυπνου στυλό, σε συνδυασμό με τεχνικές βαθιάς μάθησης (deep learning) για την αξιολόγηση της ποιότητας γραφής.

Για την ανάλυση αυτών των δεδομένων, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν νευρωνικά δίκτυα, Long Short – Term Memory (LSTM), τα οποία είναι ιδανικά για την επεξεργασία χρονοσειρών. Το μοντέλο (LSTM) περιλάμβανε δύο κρυφά επίπεδα με 70 και 50 μονάδες και dropout, στρώματα για την αποφυγή υπερπροσαρμογής. Για τη βελτιστοποίηση χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Adam. Στο μοντέλο παρέχονταν δεδομένα από 10 αισθητήρες, καθώς και μεταδεδομένα όπως η ηλικία και το φύλο κάθε παιδιού. Το κάθε παιδί συνεισέφερε περίπου 20 επιμέρους χρονοσειρές, ενώ τα δεδομένα χωρίστηκαν σε σύνολα εκπαίδευσης, επικύρωσης και δοκιμής.



29. Το μοντέλο για την πρόβλεψη της βαθμολογίας SEMS. (Bublin et al. 2023)

Τα αποτελέσματα που διεξήχθησαν ήταν εντυπωσιακά. Το LSTM μοντέλο πέτυχε μέγιστη ακρίβεια 99,8% στην πρόβλεψη της βαθμολογίας SEMS και ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE) μικρότερη από 1, υποδεικνύοντας εξαιρετικά μικρή απόκλιση από τις εκτιμήσεις των εργοθεραπευτών. Επιπλέον, συγκρίθηκε με πιο «παραδοσιακούς» αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, όπως SVM, Decision Trees και Fully Connected Neural Networks, αλλά το LSTM αποδείχθηκε πιο αποδοτικό. Για την ερμηνευσιμότητα των αποτελεσμάτων, ενσωματώθηκε μηχανισμός προσοχής, ο οποίος ανέδειξε ποιοι αισθητήρες (π.χ. πίεση, επιτάχυνση) και ποιες χρονικές στιγμές, συνέβαλαν περισσότερο στη διαμόρφωση της τελικής εκτίμησης για την εξαγωγή των συμπερασμάτων.

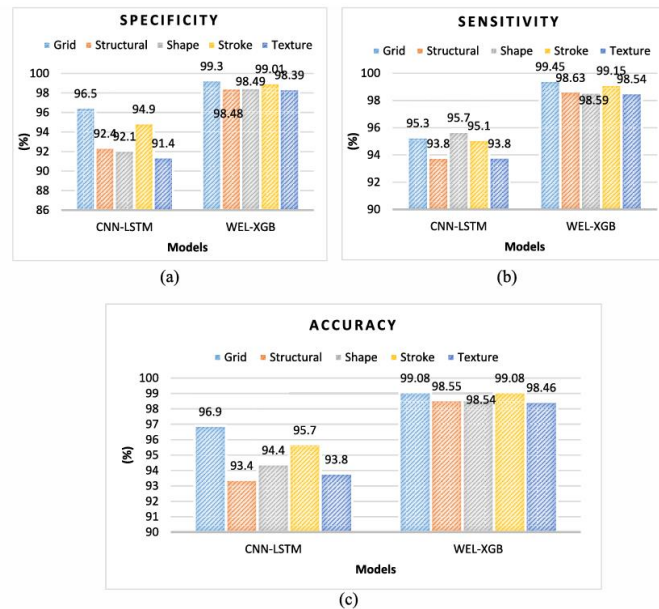
Η αξιολόγηση της γραφής βασίστηκε όχι σε απλή διάγνωση της δυσγραφίας, ναι ή όχι, αλλά σε συνεχή κλίμακα απόδοσης (SEMS score 0 – 12), προσφέροντας πιο ευαίσθητη και ακριβή εικόνα των δεξιοτήτων γραφής. Το σύστημα επέτρεψε την πρόωμη ανίχνευση γραφοκινητικών δυσκολιών, ενισχύοντας τη δυνατότητα για στοχευμένη παρέμβαση, και καθιστώντας την τεχνολογία ιδανική για σχολικές εφαρμογές και κλινικές αξιολογήσεις. Το γεγονός ότι η αξιολόγηση γίνεται με «φυσική» πένα και όχι με tablet, κάνει τη διαδικασία πιο φιλική προς τα παιδιά, ενισχύοντας την αξιοπιστία και τη συμμετοχή τους.

Αντίθετα, οι **Alzahrani et al.** αξιοποιούν ψηφιακό tablet με ασύρματο στυλό, ικανό να ανιχνεύει τόσο την επί χαρτώ δραστηριότητα, όσο και την εναέρια κίνηση του χεριού, παρέχοντας δεδομένα υψηλής ανάλυσης για γραφοκινητικά μοτίβα, ενισχύοντας την πληρότητα και την ευαισθησία των παραγόμενων χαρακτηριστικών. Η προσέγγισή τους, παρουσιάζει μια καινοτόμο στρατηγική βασισμένη στην τεχνητή νοημοσύνη (AI) για την έγκαιρη ανίχνευση και υποστήριξη παιδιών με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες (SLDs), όπως η δυσλεξία και η δυσγραφία. Καταδεικνύει επίσης, ιδιαίτερα ενθαρρυντικά αποτελέσματα τόσο ως προς την ακρίβεια της πρόβλεψης, όσο και ως προς τη δυνατότητα απομόνωσης κρίσιμων διαγνωστικών χαρακτηριστικών. Η εν λόγω μέθοδος, εφαρμόστηκε σε δύο διακριτά σύνολα δεδομένων, τα οποία αφορούσαν αντίστοιχα άτομα με δυσλεξία και δυσγραφία.

Η διαδικασία μοντελοποίησης οργανώθηκε σε πέντε διαδοχικά στάδια: (1) προεπεξεργασία των δεδομένων για τη διασφάλιση της ποιότητας και της καταλληλότητάς τους, (2) καθορισμός της φύσης του προβλήματος ταξινόμησης (δυαδικό ή πολυκατηγορικό), (3) εκπαίδευση του μοντέλου με WEL – XGB, ενσωματώνοντας σταθμισμένες συναρτήσεις κόστους και τεχνικές βελτιστοποίησης, (4) διαχείριση ανισόρροπων δεδομένων και επιλογή βέλτιστων υπερπαραμέτρων μέσω πολυεπίπεδης K – fold Cross – Validation και (5) εφαρμογή μηχανισμών ανίχνευσης μεταβολής (concept drift) και επανεκπαίδευσης του μοντέλου για διατήρηση της προσαρμοστικότητας και της ακρίβειας σε βάθος χρόνου. Επιπλέον, αξιοποιούνται υποστηρικτικές τεχνικές, όπως η ενσωμάτωση πολυδιάστατων δεδομένων και η δυναμική επιλογή χαρακτηριστικών, για την περαιτέρω ενίσχυση της γενίκευσης και της ευαισθησίας του συστήματος.

Τα αποτελέσματα υπήρξαν ιδιαίτερα ενθαρρυντικά, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα της WEL – XGB έναντι υφιστάμενων προσεγγίσεων μηχανικής και βαθιάς μάθησης. Στη διάγνωση της δυσλεξίας, η μέθοδος πέτυχε ακρίβεια 99,08%, υπερέχοντας σαφώς έναντι του XGBoost (93,07%) και του CNN – LSTM. Στη δυσγραφία, η

απόδοση ήταν εξίσου εντυπωσιακή, με ακρίβεια 98,53% σε γραφοκινητικά απαιτητική εργασία (π.χ. “hpačkárstvo”), έναντι μόλις 90,6% του CNN – LSTM. Η ειδικότητα και η ευαισθησία ξεπέρασαν επίσης το 95% σε αμφότερες τις περιπτώσεις, γεγονός που υποδηλώνει υψηλή διαγνωστική ισχύ με ελαχιστοποίηση ψευδώς θετικών και αρνητικών προβλέψεων.



30. Αποτελέσματα σύγκρισης των μοντέλων CNN-LSTM και WEL-XGB ως προς (a) Ειδικότητα, (b) Ευαισθησία και (c) Ακρίβεια, σε πέντε χαρακτηριστικά (Grid, Structural, Shape, Stroke και Texture). Το μοντέλο WEL – XGB παρουσιάζει σταθερά υψηλότερες επιδόσεις και στις τρεις μετρικές ($\geq 98\%$), σε αντίθεση με το CNN – LSTM που εμφανίζει χαμηλότερες και περισσότερο ασταθείς τιμές ($\approx 91-97\%$).

Καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της μεθόδου διαδραμάτισε η διαδικασία επιλογής των διαγνωστικά σημαντικών χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση της δυσγραφίας, από τα 1.176 διαθέσιμα χαρακτηριστικά, επιλέχθηκαν τα 150 με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στην ακρίβεια της ταξινόμησης. Μεταξύ αυτών ξεχώρισαν η συχνότητα ανασηκώσεων της πέννας, η μέγιστη κατακόρυφη διάσταση των γραμμάτων, η πολυπλοκότητα της τροχιάς και δυναμικές παράμετροι όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση και η μεταβλητότητα της γραφής. Για τη δυσλεξία, αξιοποιήθηκαν δεδομένα από γλωσσικές αξιολογήσεις, test ακουστικής επεξεργασίας και ερωτηματολόγια, με ιδιαίτερη έμφαση στους χρόνους απόκρισης και στη διαφοροποίηση των συμμετεχόντων ως προς την πιθανότητα εμφάνισης δυσλεξίας (χαμηλή, μέτρια, υψηλή). Η ενσωμάτωση τεχνικών επαναλαμβανόμενης επικύρωσης και

σταθμισμένων συναρτήσεων κόστους, ενίσχυσε περαιτέρω την ακρίβεια και την ανθεκτικότητα του μοντέλου.

Τα συνδυαστικά ευρήματα των μελετών των Bublin et al. (2023) και Alzahrani et al. (2025) επιβεβαιώνουν ότι η ενσωμάτωση τεχνολογιών έξυπνης καταγραφής γραφοκινητικών δεδομένων με προηγμένους αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης, μπορεί να προσφέρει υψηλής ακρίβειας, αντικειμενικά και επεκτάσιμα εργαλεία αξιολόγησης μαθησιακών δυσκολιών, με έμφαση στη δυσγραφία.

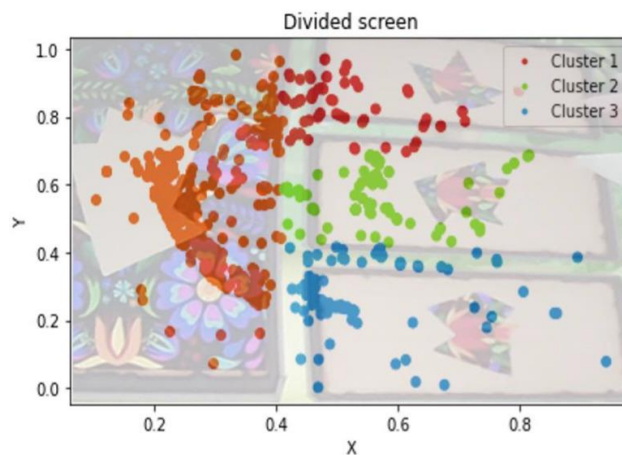
Συνολικά, οι δύο μέθοδοι είναι συμπληρωματικές. Η πρώτη δίνει έμφαση στην εμπειρική φυσικότητα και τη λεπτομερή χρονική ανάλυση της γραφής, ενώ η δεύτερη προσφέρει ευελιξία, δυναμική μάθηση και δυνατότητα εντοπισμού κρίσιμων χαρακτηριστικών σε μεγάλης κλίμακας δεδομένα. Ο συνδυασμός τους, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη υβριδικών, πολυπαραγοντικών εργαλείων αξιολόγησης, ικανών να εντοπίζουν εξατομικευμένα προφίλ μαθησιακών δυσκολιών με ακρίβεια, αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα σε ποικίλα εκπαιδευτικά και κλινικά πλαίσια.

6. Serious Gaming και Eye – Tracking: Συνδυαστική Ανάλυση Γνωστικών και Οπτικο – Κινητικών Δεικτών

Βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης **Piazzalunga C. et. al., 2023**, προκύπτει ότι η χρήση διαδραστικών παιχνιδιών και τεχνολογιών παρακολούθησης ματιών (eye – tracking), μπορεί να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό μέσο για την πρόβλεψη δυσγραφίας σε παιδιά προσχολικής και πρώιμης σχολικής ηλικίας. Μέσα από αυτές τις δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν, καταγράφηκαν δεδομένα τόσο απόδοσης όσο και κινήσεων του βλέμματος, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι σε μοντέλα μηχανικής μάθησης.

Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τις εκδόσεις Python και R, χρησιμοποιώντας πακέτα όπως τα scikit – learn, catboost και shap για ταξινομήσεις, προβλέψεις και ανάλυση της σημασίας των χαρακτηριστικών. Μέσω συσχετίσεων μεταξύ των αποτελεσμάτων των παιγνίων, των δεδομένων παρακολούθησης ματιών και των ατομικών χαρακτηριστικών των παιδιών, αναδείχθηκαν σημαντικοί παράγοντες που σχετίζονται με την απόδοση. Τα δεδομένα αναλύθηκαν στατιστικά με t – test και πίνακες συσχέτισης, ενώ η ακρίβεια του μοντέλου ενισχύθηκε με τον αλγόριθμο Nested Cross – Validation για την αποφυγή υπερεκπαίδευσης. Τα μοντέλα κατηγοριοποίησης όπως το

CatBoost και το SVM χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν αν ένα παιδί είναι σε κίνδυνο δυσγραφίας, με βάση επιδόσεις σε παιχνίδια και στοιχεία από eye – tracking. Στη συνέχεια, οι τιμές **Shapley** χρησιμοποιήθηκαν για την εξήγηση του τρόπου που κάθε χαρακτηριστικό επηρεάζει την πρόβλεψη του κινδύνου δυσγραφίας. Αυτές οι τιμές, ενίσχυσαν την κατανόηση των επιπτώσεων, των επιδόσεων του παιχιδιού και των παρατηρήσεων της παρακολούθησης ματιών στην απόφαση του αλγορίθμου. Η τεχνική SHAP ανέδειξε επίσης, τις σημαντικότερες μεταβλητές, όπως οι επιδόσεις στα παιχνίδια “Visual closure” και “Masked form constancy” και τα πρότυπα των κινήσεων του βλέμματος. Παράλληλα, έγινε καθαρισμός και ομαδοποίηση των δεδομένων με κριτήρια ποιότητας. Τα παιδιά με καλή απόδοση παρουσίασαν οργανωμένα μονοπάτια παρακολούθησης, ενώ εκείνα με δυσκολίες έδειξαν ακατάστατες κινήσεις ματιών. Η ανάλυση των προσηλώσεων έδωσε περαιτέρω πληροφορίες για τη στρατηγική εστίασης.



31. Ομαδοποιημένα σημεία κατεύθυνσης του βλέμματος κατά την παρατήρηση της μάσκας σε συνθήκη μέσης σταθερότητας σχήματος.

Τα πιο σημαντικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι δείκτες απόδοσης των παιδιών στα παιχνίδια ήταν ισχυρότεροι προγνωστικοί παράγοντες για δυσγραφία σε σύγκριση με τα δεδομένα του eye – tracking. Συγκεκριμένα, τα μοντέλα ταξινόμησης κατάφεραν να προβλέψουν με ακρίβεια την ύπαρξη δυσκολιών στη γραφή, με F1 – score 0.77 κατά την εκπαίδευση και 0.71 στο test, χρησιμοποιώντας μόνο δεδομένα από την αλληλεπίδραση με τα παιχνίδια. Η ανάλυση σημαντικότητας χαρακτηριστικών (μέσω SHAP) ανέδειξε πώς βασικοί παράγοντες ήταν η ταχύτητα αντίδρασης, ο αριθμός επιτυχιών/αποτυχιών και η συνέπεια στην επιλογή σωστών στοιχείων. Αντίθετα, τα δεδομένα από το eye – tracking, αν και πρόσφεραν επιπλέον πληροφορίες, είχαν μικρότερη προγνωστική βαρύτητα. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η μελέτη είχε πολύ υψηλό ποσοστό αποδοχής από τα παιδιά, με τη μέση βαθμολογία χρήσης να φτάνει

το 89,4%, υποδεικνύοντας ότι οι δραστηριότητες ήταν ευχάριστες. Επιπλέον, τα παιχνίδια αποδείχθηκαν ικανά να διαφοροποιήσουν την επίδοση παιδιών με και χωρίς δυσγραφία, χωρίς την ανάγκη για άμεση γραφή ή γραφοκινητικές δοκιμές, καθιστώντας τα κατάλληλα για πρόωμη ανίχνευση, ακόμα και πριν το παιδί μάθει να γράφει πλήρως.

Συνολικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η συνδυαστική χρήση σοβαρών παιχνιδιών (serious games) και μη επεμβατικής τεχνολογίας, μπορεί να οδηγήσει σε έγκαιρη, ακριβή και διασκεδαστική ανίχνευση δυσγραφικών δυσκολιών. Η μελέτη ανοίγει νέους δρόμους για την ανάπτυξη εργαλείων αξιολόγησης βασισμένων στην τεχνολογία, τα οποία μπορούν να εφαρμοστούν σε εκπαιδευτικά πλαίσια ή ακόμα και στο σπίτι, ενισχύοντας την πρόληψη και έγκαιρη παρέμβαση.

Συμπληρωματικά προς την προσέγγιση των Piazzalunga et al., οι **Fears et al. 2019** διερεύνησαν την πορεία της γραφικής εκτέλεσης σε ένα πιο ελεγχόμενο και παραδοσιακό περιβάλλον, χρησιμοποιώντας το Beery VMI. Αν και οι μέθοδοι διαφέρουν, και οι δύο μελέτες καταλήγουν στο κοινό εύρημα ότι οι οφθαλμικές κινήσεις και οι στρατηγικές προσέγγισης του έργου αποτελούν κρίσιμους δείκτες γραφοκινητικής ικανότητας. Διερευνήθηκαν οι στρατηγικές που υιοθέτησαν τα παιδιά κατά την αντιγραφή γεωμετρικών σχημάτων στο πλαίσιο του Beery – Buktenica Developmental Test of Visual Motor Integration (Beery VMI). Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκε η απόδοσή τους στις πρώτες 15 δοκιμασίες της σύντομης μορφής του, οι οποίες αυξάνονται προοδευτικά σε επίπεδο δυσκολίας, με σκοπό την εκτίμηση της ικανότητας οπτικο – κινητικού συντονισμού. Τα σχήματα που παρουσιάζονται στα παιδιά, κυμαίνονται από απλές γραμμές και γωνίες έως πιο σύνθετα γεωμετρικά πρότυπα που απαιτούν ακριβή χωρική και αναλογική αναπαραγωγή.

Στις πρώτες 9 δοκιμές, οι οποίες θεωρούνται χαμηλότερης δυσκολίας, τα παιδιά παρουσίασαν πολύ υψηλά ποσοστά επιτυχίας. Πιο συγκεκριμένα, στις δοκιμές 1 έως 4 και 6 έως 7 η επιτυχία άγγιξε το 100%, γεγονός που φανερώνει ικανότητα αντιγραφής βασικών σχημάτων από το σύνολο των συμμετεχόντων. Ελαφρώς μειωμένα ποσοστά καταγράφηκαν στις δοκιμές 5 (90%), 8 (80%) και 9 (85%), χωρίς όμως να υποδηλώνουν σημαντική απόκλιση. Αντιθέτως, στις δοκιμές 10 έως 15, όπου η μορφή των ερεθισμάτων γίνεται πιο σύνθετη, τα ποσοστά επιτυχίας μειώθηκαν σταδιακά αλλά αισθητά. Στη δοκιμή 10, η επιτυχία περιορίστηκε στο 60%, στη δοκιμή 11 στο 45%, ενώ στη δοκιμή 12 μόλις το 10% των παιδιών κατάφερε να την ολοκληρώσει επιτυχώς. Αντίστοιχα χαμηλά ποσοστά παρατηρήθηκαν και στις δοκιμές 13 (55%), 14 (25%) και 15 (10%). Συνολικά, τα παιδιά

ήταν επιτυχή στο 70,67% των δοκιμασιών (212/300 συνολικές προσπάθειες), ποσοστό που μειωνόταν συστηματικά με την αύξηση της πολυπλοκότητας των ερεθισμάτων.

Αναλύοντας τη σχέση ηλικίας και απόδοσης, βρέθηκε ότι οι μεγαλύτεροι σε ηλικία συμμετέχοντες είχαν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας συγκριτικά με τους μικρότερους. Επιπλέον, η αυξημένη δυσκολία των δοκιμών συνδέθηκε με μειωμένα ποσοστά επιτυχίας ανεξαρτήτως ηλικίας, ενώ η απότομη πτώση μεταξύ της 9ης και της 10ης δοκιμής ήταν ιδιαίτερα χαρακτηριστική.

Όσον αφορά τις οπτικές στρατηγικές, οι συμμετέχοντες παρουσίασαν στατιστικώς σημαντική αύξηση στις οπτικές καθηλώσεις κατά τη φάση της γραφής, καθώς η δυσκολία των δοκιμών αυξανόταν. Το αποτέλεσμα αυτό, φανερώνει ότι τα παιδιά χρειάζονταν περισσότερο χρόνο και οπτική ανατροφοδότηση για να αντιγράψουν τα πιο σύνθετα σχήματα.

Αντίστοιχα, η ανάλυση των κινήσεων του χεριού αποκάλυψε αύξηση στον αριθμό των ανυψώσεων του μολυβιού κατά την αντιγραφή των πιο σύνθετων σχημάτων. Συγκεκριμένα, σε δυσκολότερες δοκιμές, ο μέσος αριθμός ανυψώσεων αυξήθηκε από σχεδόν μηδενικός σε έως και 10 ανά δοκιμή, γεγονός που αντανakλά την ανάγκη για αυξημένο σχεδιασμό της κίνησης και διορθωτικές κινήσεις. Τέλος, εξετάστηκε η συσχέτιση μεταξύ οπτικών και κινητικών στρατηγικών. Διαπιστώθηκε, ότι όσο περισσότερες ήταν οι ανυψώσεις του μολυβιού, τόσο αυξάνονταν και οι καθηλώσεις στο ερέθισμα κατά τη διάρκεια της γραφής, γεγονός που υποδηλώνει τη συνεργασία μεταξύ των δύο συστημάτων για την προσαρμογή στην αυξημένη απαίτηση των ερεθισμάτων.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η επιτυχής εκτέλεση των δοκιμασιών του Beery VMI εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία των παιδιών και τη δυσκολία του κάθε ερεθίσματος. Καθώς τα σχήματα καθίστανται πιο περίπλοκα, παρατηρείται σημαντική αύξηση τόσο στις οπτικές όσο και στις κινητικές στρατηγικές, υποδεικνύοντας την ανάγκη για μεγαλύτερη γνωστική προσπάθεια και λεπτομερή σχεδιασμό κινήσεων. Τα ευρήματα αυτά, αναδεικνύουν τη σημασία της δυναμικής αξιολόγησης στην κατανόηση της οπτικο – κινητικής ανάπτυξης.

7. Η Δυναμική των Ψηφιακών Δεδομένων και της Μηχανικής Μάθησης: Ανασκόπηση, Συγκριτική Ανάλυση και Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Γενικότερα, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για ολοκληρωμένα και συνδυαστικά διαγνωστικά εργαλεία στη δυσγραφία, τα οποία να υπερβαίνουν τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων αξιολόγησης. Βασιζόμενοι σε αυτήν την ανάγκη, η μελέτη των **Drotár P et al. 2020**, καταδεικνύει υψηλή αποτελεσματικότητα στις τεχνικές μηχανικής μάθησης για την ανίχνευση της διαταραχής. Από στατιστική άποψη, η κατανομή φύλου στο δείγμα δεν ήταν ισομερής, ενώ όσον αφορά την ηλικία, ακολουθούσε φυσιολογική κατανομή. Δεν παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά ηλικίας μεταξύ των παιδιών με και χωρίς δυσγραφία. Η ακρίβεια του προτεινόμενου μοντέλου ταξινόμησης με χρήση του αλγορίθμου AdaBoost, έφτασε το 79,5%, υπερέχοντας των Random Forest (77,6%) και Support Vector Machines (78,8%). Η αξιολόγηση των αλγορίθμων πραγματοποιήθηκε με στρωματοποιημένη 10 – πλή διασταυρωμένη επικύρωση, ενώ η εκπαίδευση περιλάμβανε πάνω από 1.100 χαρακτηριστικά γραφής που εξήχθησαν από ψηφιογραφικές ασκήσεις. Οι πιο κρίσιμες μεταβλητές για την πρόβλεψη της δυσγραφίας, όπως αναδείχθηκαν μέσω της τεχνικής επιλογής χαρακτηριστικών WkNN – FS, περιλάμβαναν τον αριθμό ανυψώσεων της πέννας, την κάθετη έκταση της γραφής, το ύψος και το μήκος των επιμέρους τμημάτων της, καθώς και την πίεση και επιτάχυνση της πέννας.

Οι αλγόριθμοι εκπαιδεύτηκαν με βάση χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από τις γραφικές κινήσεις των μαθητών κατά την εκτέλεση διαφόρων εργασιών γραφής σε ψηφιακό tablet. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι οι πιο αποδοτικές προβλέψεις επιτεύχθηκαν κατά την ανάλυση δύσκολων λεξικών εργασιών, όπως η λέξη “hračkárstvo”, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα πιο απαιτητικά καθήκοντα ενισχύουν την εκδήλωση των χαρακτηριστικών της δυσγραφίας και επομένως ενισχύουν τη διακριτική ικανότητα του συστήματος. Αντίθετα, απλές ασκήσεις όπως η γραφή του γράμματος "I", είχαν σημαντικά χαμηλότερη απόδοση. Παρά την προσπάθεια μείωσης της διάστασης του συνόλου χαρακτηριστικών, το πλήρες σετ επέφερε την υψηλότερη ακρίβεια, επισημαίνοντας ότι η απώλεια πληροφοριών μέσω περιορισμού χαρακτηριστικών μπορεί να επηρεάσει την προβλεπτική ισχύ.

Η αξιολόγηση των μοντέλων έγινε μέσω τεχνικών διασταυρωμένης επικύρωσης (cross – validation), γεγονός που διασφαλίζει τη γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Η συνολική απόδοση του μοντέλου AdaBoost, καταδεικνύει τη δυνατότητα αξιοποίησης της μηχανικής μάθησης ως ενός αξιόπιστου, αυτοματοποιημένου και επεκτάσιμου εργαλείου για τη διάγνωση της δυσγραφίας. Η μεθοδολογία μπορεί να ενσωματωθεί σε εμπορικά διαθέσιμες ψηφιακές συσκευές και να εφαρμοστεί ευρέως σε σχολικά περιβάλλοντα, διευρύνοντας την

πρόσβαση σε διαγνωστικά εργαλεία και ενισχύοντας τις δυνατότητες πρώιμης και αντικειμενικής ανίχνευσης για παιδιά που ενδέχεται να παρουσιάζουν τη διαταραχή χωρίς την απαίτηση συνεχούς παρέμβασης ειδικών.

Συνδυαστικά με τα προηγούμενα δεδομένα, η επισκόπηση των **Danna J. et al., 2023** έρχεται να ενισχύσει αυτήν την ανάγκη δημιουργίας διαγνωστικών εργαλείων. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρει ότι τα εργαλεία που βασίζονται στο τελικό προϊόν γραφής, όπως τα TOLH, ETCH – M, MMHAP και DASH, εστιάζουν στην αναγνωσιμότητα, την ταχύτητα και τη χωρική οργάνωση των λέξεων και χαρακτήρων, μέσω εργασιών όπως αντιγραφή, υπαγόρευση και αυθόρμητη γραφή. Παρά το γεγονός ότι τα εργαλεία αυτά είναι εύχρηστα, ευρέως διαθέσιμα και έχουν αξία στη σχολική πράξη, παρουσιάζουν περιορισμένη διαγνωστική ευαισθησία, καθώς δεν καταγράφουν τη δυναμική της ίδιας της διαδικασίας γραφής. Αντίθετα, τα ψηφιακά εργαλεία που αναλύουν τη διαδικασία γραφής, βασίζονται σε ψηφιακές ταμπλέτες και έξυπνες γραφίδες, οι οποίες καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο σύνθετα κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η πίεση της πένας, η γωνία κλίσης και οι μικροκινήσεις του χεριού. Η ποσοτική καταγραφή των δεδομένων αυτών, επιτρέπει τον εντοπισμό λεπτών γραφοκινητικών διαταραχών που συχνά δεν ανιχνεύονται με την απλή οπτική αξιολόγηση του τελικού γραπτού.

Περαιτέρω, η ενσωμάτωση μεθόδων μηχανικής μάθησης, όπως οι Support Vector Machines (SVM), Random Forest, Long Short – Term Memory (LSTM) και AdaBoost, ενισχύει σημαντικά την ικανότητα αυτόματης πρόβλεψης και ταξινόμησης της δυσγραφίας. Πιο αναλυτικά:

1. Support Vector Machine (SVM)

Δημιουργεί ένα όριο (υπερεπίπεδο) που διαχωρίζει τις κατηγορίες δυσγραφία/μη δυσγραφία, με το μεγαλύτερο δυνατό περιθώριο. Είναι ιδανικό για περιπτώσεις όπου τα δεδομένα είναι διαχωρίσιμα σε 2 ή περισσότερες κατηγορίες. Χρησιμοποιείται ευρέως για διάκριση «φυσιολογικής» και «μη φυσιολογικής» γραφής.

2. Random Forest (RF)

Δημιουργεί πολλά «δέντρα απόφασης» και παίρνει τη μέση τιμή/ψήφο τους. Μπορεί και αντιμετωπίζει καλά τα «θορυβώδη» δεδομένα και περιορίζει την υπερπροσαρμογή. Όσον

αφορά τη δυσγραφία, μπορεί και αναγνωρίζει πολύπλοκα πρότυπα σε πολλά γραφοκινητικά χαρακτηριστικά.

3. AdaBoost (Adaptive Boosting)

Λειτουργεί συνδυάζοντας πολλούς απλούς ή «ασθενείς» ταξινομητές, όπως βασικά decision stumps, και εκπαιδεύεται σταδιακά δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στα λάθη που κάνει, ώστε να βελτιώνεται συνεχώς. Χάρη σε αυτή τη διαδικασία, μπορεί να πετυχαίνει υψηλή ακρίβεια ακόμα και όταν εφαρμόζεται σε μικρά ή ετερογενή δείγματα, όπως είναι τα παιδιά με διαφορετικές ηλικίες ή επίπεδα γραφής. Στη μελέτη, εμφάνισε κορυφαία ακρίβεια (79,5%) στην ανίχνευση δυσγραφίας.

4. LSTM (Long Short – Term Memory) - Deep Learning

Επεξεργάζεται χρονικά εξαρτώμενα δεδομένα, όπως η σειρά strokes σε γραφή. Είναι ιδανικό, για αναγνώριση μοτίβων μέσα στον χρόνο, όπως η διαδοχική κίνηση γραφής. Εξαιρετικό σε δυναμικά χαρακτηριστικά όπως ρυθμός, διακοπές, επιτάχυνση. Στην αξιολόγηση γραφής, πρόκειται για ένα πολύ ισχυρό μοντέλο, που χρησιμοποιείται συχνά για πρόβλεψη βαθμολογιών (π.χ. SEMS).

Αλγόριθμος	Πλεονέκτημα	Μειονέκτημα
SVM	Υψηλή ακρίβεια σε γραμμικά όρια	Δύσκολη παραμετροποίηση σε μεγάλα σύνολα
Random Forest	Ανθεκτικό σε θόρυβο, ευέλικτο	Όχι πάντα αναλυτικό
AdaBoost	Υψηλή ακρίβεια, δυναμικό	Ευαίσθητο σε ακραίες τιμές
LSTM	Χειρίζεται χρονική πληροφορία	Χρειάζεται μεγάλο όγκο δεδομένων

Οι τεχνικές αυτές, έχουν χρησιμοποιηθεί για να επεξεργαστούν τα πολυδιάστατα δεδομένα που προέρχονται από τις ψηφιακές συσκευές, επιτυγχάνοντας πολύ υψηλά ποσοστά ακρίβειας, συχνά άνω του 90%, στην ανίχνευση μαθητών με δυσγραφικές τάσεις. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός, ότι η συνδυαστική χρήση πολλαπλών χαρακτηριστικών (π.χ. πίεση, ταχύτητα, σταθερότητα strokes), οδηγεί σε σημαντική ενίσχυση της διαγνωστικής ισχύος, κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα μεμονωμένα tests.

Ωστόσο, παρά τις εντυπωσιακές δυνατότητες των ψηφιακών μέσων, η έρευνα τονίζει ότι ούτε τα εργαλεία προϊόντος ούτε αυτά της διαδικασίας, επαρκούν από μόνα τους. Η ανάγκη για ανάπτυξη ενός καθολικού, τυποποιημένου και προσαρμοσμένου διαγνωστικού εργαλείου, είναι η κεντρική πρόταση των συγγραφέων. Ένα τέτοιο εργαλείο θα συνδυάζει παραδοσιακές και ψηφιακές μεθόδους, θα περιλαμβάνει ποικιλία γραφικών εργασιών (αντιγραφή, υπαγόρευση, αυθόρμητη παραγωγή) και θα προσαρμόζεται στην ηλικία και στο επίπεδο γραφής κάθε παιδιού. Θα παρέχει τόσο στατικά δεδομένα (τελικό αποτέλεσμα γραφής) όσο και δυναμικά (δεδομένα από την ίδια τη διαδικασία γραφής), προσφέροντας έτσι πολυδιάστατη και εξατομικευμένη αξιολόγηση. Επιπλέον, η επισκόπηση επισημαίνει την ανάγκη για ανάπτυξη μεγάλων διεθνών βάσεων δεδομένων, που να περιλαμβάνουν γραφοκινητικά δεδομένα από παιδιά διαφορετικών ηλικιών, γλωσσών και πολιτισμικών πλαισίων. Η αξιοποίηση αυτών των δεδομένων μέσω τεχνητής νοημοσύνης, θα επιτρέψει τη γενίκευση των διαγνωστικών προτύπων, τη βελτίωση των αλγορίθμων και την ανάπτυξη εργαλείων έγκαιρης παρέμβασης σε σχολικά και κλινικά περιβάλλοντα.

Συνολικά, και οι δύο μελέτες, συγκλίνουν στην ανάγκη για ανάπτυξη ενός συνδυαστικού διαγνωστικού συστήματος που θα ενσωματώνει παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης, γραφικές εργασίες ποικίλης δυσκολίας και προηγμένα υπολογιστικά μοντέλα (SVM, Random Forest, LSTM, AdaBoost), προσφέροντας πολυδιάστατη, προσαρμοσμένη και έγκυρη εκτίμηση. Η ενίσχυση της διαγνωστικής ισχύος μέσω της ανάλυσης πολύπλοκων γραφικών δεδομένων, η ανάγκη για τυποποίηση εργαλείων και η δημιουργία διεθνών βάσεων δεδομένων, τονίζονται ως κρίσιμα βήματα προς την κατεύθυνση ενός αξιόπιστου, ευέλικτου και γενικευμένου διαγνωστικού μοντέλου για τη δυσγραφία.

3.5 Τεχνολογικές & παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης της δυσγραφίας

Η δυσγραφία αποτελεί μια νευροαναπτυξιακή διαταραχή που επηρεάζει τις γραφοκινητικές δεξιότητες και μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ακαδημαϊκή πορεία και την αυτοεκτίμηση των παιδιών. Η αποτελεσματική ανίχνευσή της, είναι κρίσιμη για την έγκαιρη παρέμβαση. Στο πλαίσιο αυτό, οι παραδοσιακές μέθοδοι αξιολόγησης και οι σύγχρονες τεχνολογικές προσεγγίσεις συγκρίνονται ως προς την εγκυρότητα, την ακρίβεια, τον χρόνο ανίχνευσης και τη δυνατότητα εξατομίκευσης (Asselborn, T. et al. 2019).

Οι **παραδοσιακές μέθοδοι**, όπως η οπτική παρατήρηση, η ανάλυση γραπτών δειγμάτων και η χρήση τυποποιημένων tests (όπως BHK), βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην κρίση του αξιολογητή, γεγονός που ενέχει κινδύνους υποκειμενικότητας και περιορίζει την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές, συχνά οδηγούν σε καθυστερημένη διάγνωση, καθώς τα συμπτώματα της δυσγραφίας συνήθως αναγνωρίζονται σε μεγαλύτερη ηλικία (Gargot et al., 2020).

Αντιθέτως, οι **τεχνολογικές μέθοδοι** προσφέρουν αντικειμενικά και ποσοτικά δεδομένα, χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένα tablets με αισθητήρες πίεσης, οι «έξυπνες» γραφίδες, τα eye – tracking συστήματα, τα οποία καταγράφουν δυναμικές παραμέτρους της γραφής, όπως η πίεση, η ταχύτητα, η επιτάχυνση και οι μικροκινήσεις κατά τη γραφή (Asselborn et al., 2018/ 2020, Fears et al., 2019). Τα δεδομένα αυτά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναζήτηση μοτίβων που δεν είναι εμφανή κατά τη χρήση παραδοσιακών tests με στυλό και χαρτί. Με αυτόν τον τρόπο, αποδεικνύεται η υπεροχή των ψηφιακών μέσων στην αποτύπωση πολυδιάστατων και διαχρονικών χαρακτηριστικών της γραφοκινητικής δεξιότητας. Οι μέθοδοι αυτές, διευκολύνουν την πρώιμη ανίχνευση δυσκολιών ήδη από την προσχολική ηλικία, επιτρέπουν την εξατομικευμένη παρέμβαση και συμβάλλουν στη μείωση των διαγνωστικών λαθών μέσω αυτοματοποιημένων διαδικασιών και προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Vinson et al., 2015). Επιπλέον, παρέχουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της προόδου και της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων σε βάθος χρόνου.

Η αξιοποίηση αλγορίθμων όπως οι Quasi – SVM και WEL – XGB, προσφέρει τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης και γρήγορης διάγνωσης, μειώνοντας τον ανθρώπινο παράγοντα και τα ενδεχόμενα σφάλματα (Lomurno et al., 2023, Alzahrani et al., 2025). Συμπληρωματικά, νευροαπεικονιστικές τεχνικές (f – MRI) έχουν επιβεβαιώσει την ύπαρξη βιολογικών διαφορών στα παιδιά με δυσγραφία, όπως μειωμένη ενεργοποίηση σε περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με την κινητική οργάνωση (π.χ. προκινητικός φλοιός, παρεγκεφαλίδα) (Reitz et al., 2013). Αυτό ενισχύει την επιστημονική εγκυρότητα των τεχνολογικών μεθόδων, καθώς συνδέουν τα συμπεριφορικά δεδομένα με το νευροφυσιολογικό υπόβαθρο της δυσγραφίας.

Συμπερασματικά, οι τεχνολογικές μέθοδοι ανίχνευσης της δυσγραφίας, φαίνεται να υπερέχουν των παραδοσιακών ως προς την εγκυρότητα, την ακρίβεια, τη δυνατότητα πρώιμης διάγνωσης και τη μείωση της υποκειμενικότητας, προσφέροντας ένα πιο

ολοκληρωμένο και αξιόπιστο πλαίσιο αξιολόγησης (Asselborn et al., 2018, Rosenblum, 2018). Τα αποτελέσματα δείχνουν, ότι τα ψηφιακά αυτά εργαλεία παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία (70 – 95%) και ειδικότητα (65 – 90%) στην ανίχνευση παιδιών με αυτήν την πιθανή δυσλειτουργία, σε σύγκριση με παραδοσιακά εργαλεία αξιολόγησης, όπως χειρονακτικά test ή παρατήρηση από ειδικούς παιδαγωγούς (Alzahrani et al., 2025).

3.6 Σύγκριση Παραδοσιακών και Τεχνολογικών Μεθόδων Αξιολόγησης

Κριτήριο	Παραδοσιακές Μέθοδοι	Τεχνολογικές Μέθοδοι
Βασική προσέγγιση	Ανάλυση τελικού προϊόντος γραφής, παρατήρηση, BHK test	Καταγραφή δυναμικών παραμέτρων μέσω αισθητήρων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης
Τύπος δεδομένων	Ποιοτικά – υποκειμενικά (π.χ. καθαρότητα γραφής)	Ποσοτικά – αντικειμενικά (π.χ. πίεση, ταχύτητα, επιτάχυνση, μικροκινήσεις)
Ανάλυση/Ακρίβεια	Περιορισμένη από την υποκειμενικότητα του αξιολογητή	Υψηλή: επιβεβαιώνεται από συμπεριφορικά και νευροφυσιολογικά δεδομένα (π.χ. fMRI)
Χρόνος Ανίχνευσης	Συνήθως καθυστερημένη (σε σχολική ηλικία)	Πρώιμη ανίχνευση, δυνατή ήδη από την προσχολική ηλικία
Εξατομίκευση Παρέμβασης	Περιορισμένη	Υψηλή: χάρη στην ανάλυση ατομικών μοτίβων γραφής και συνεχή παρακολούθηση
Υποκειμενικότητα	Υψηλή: βασίζεται στην κρίση του ειδικού	Ελάχιστη: βασισμένη σε αυτοματοποιημένη επεξεργασία και στατιστικά πρότυπα
Επαναληψιμότητα αξιολόγησης	Μέτρια: επηρεάζεται από διαφορετικούς αξιολογητές	Υψηλή: ίδιες συνθήκες και αποτελέσματα ανεξαρτήτως χειριστή
Προβλεπτική ικανότητα	Περιορισμένη: κυρίως περιγραφική	Ικανή να εντοπίσει τάσεις και αναπτυξιακά μοτίβα μέσω αλγορίθμων
Τεχνολογικά μέσα	Χαρτί, στυλό, παρατήρηση	Tablets, έξυπνες γραφίδες, eye – tracking, αλγόριθμοι (Quasi – SVM, WEL – XGB), fMRI
Ευαισθησία/Ειδικότητα	Χαμηλότερη: μη ποσοτικοποιημένη	Υψηλή: 70 – 95% ευαισθησία/65 – 90% ειδικότητα (ανάλογα με το σύστημα και την ηλικία)

3.7 Γενική εικόνα ευρημάτων

Τα ευρήματα των παραπάνω ερευνών, καταδεικνύουν σαφώς την υπεροχή των ψηφιακών και τεχνολογικά προηγμένων μεθόδων στην ανίχνευση και αξιολόγηση της δυσγραφίας, σε

σύγκριση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις. Οι τεχνικές αυτές, επιτρέπουν την αντικειμενική και λεπτομερή καταγραφή πολλαπλών κινητικών και νευροφυσιολογικών παραμέτρων, όπως η πίεση, η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η οπτικοκινητική ακρίβεια και η εγκεφαλική ενεργοποίηση, συμβάλλοντας στην πολυδιάστατη κατανόηση της διαταραχής.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα πρώιμου εντοπισμού των δυσκολιών, ακόμη και πριν την επίσημη εκμάθηση της γραφής, με ακρίβεια που φτάνει ή και ξεπερνά το 90%, μέσω εργαλείων όπως οι έξυπνες γραφίδες, τα tablets με αισθητήρες και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης (π.χ. WEL – XGB, Quasi – SVM) (Asselborn et al., 2020, Drotár P et al., 2020). Η πρώιμη ανίχνευση, έως και δύο χρόνια πριν από τη διάγνωση με παραδοσιακά εργαλεία, ενισχύει τη δυνατότητα έγκαιρης και στοχευμένης παρέμβασης, πριν οι δυσκολίες παγιωθούν και επηρεάσουν σημαντικά την εκπαιδευτική και ψυχοκοινωνική πορεία του παιδιού.

Παράλληλα, τα ψηφιακά εργαλεία μειώνουν την υποκειμενικότητα των παραδοσιακών μεθόδων παρατήρησης και συμβάλλουν στον περιορισμό διαγνωστικών σφαλμάτων. Επιπλέον, παρουσιάζουν υψηλή συμφωνία με αναγνωρισμένα tests, όπως το BHK και το BVSCO – 2, ενώ η δυνατότητα εφαρμογής τους σε σχολικά περιβάλλοντα καθιστά την αξιολόγηση πιο πρακτική και προσβάσιμη (Gargot et al., 2020, Tressoldi & Danna et al., 2013/ 2023).

Σε αυτό το πλαίσιο, η εξατομικευμένη παρέμβαση αναδεικνύεται ως βασική συνιστώσα της σύγχρονης προσέγγισης στη διαχείριση της δυσγραφίας. Καθώς η διαταραχή παρουσιάζει ποικίλες μορφές και επίπεδα βαρύτητας, η γενικευμένη εφαρμογή ενιαίων παρεμβάσεων συχνά αποτυγχάνει να καλύψει τις εξατομικευμένες ανάγκες των μαθητών (Graham et al., 2008). Η τεχνολογία, μέσω της συλλογής και ανάλυσης ποσοτικών δεδομένων, καθιστά δυνατή την ακριβή αποτύπωση του προφίλ κάθε παιδιού και την κατάρτιση στοχευμένων θεραπευτικών και εκπαιδευτικών στρατηγικών.

Επιπλέον, νευροαπεικονιστικές μελέτες (π.χ. f – MRI), ενισχύουν την κατανόηση της βιολογικής βάσης της δυσγραφίας, αποκαλύπτοντας μειωμένη ενεργοποίηση σε περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με την κινητική οργάνωση και την οπτικοκινητική ολοκλήρωση (Richards et al., 2011). Η διασύνδεση των συμπεριφορικών και νευροφυσιολογικών δεδομένων, προσδίδει επιστημονική εγκυρότητα στις εξατομικευμένες παρεμβάσεις.

Τέλος, τα ψηφιακά εργαλεία παρέχουν δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης της προόδου, με δυναμικά δεδομένα που επιτρέπουν την προσαρμογή των παρεμβάσεων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό όχι μόνο αυξάνει την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων, αλλά ενισχύει και τη συμμετοχή του παιδιού μέσα από διαδραστικές, παιγνιώδεις τεχνολογίες (π.χ. Play – Draw – Write, παιχνίδια πλοήγησης και αντιγραφής) (Dui et al., 2020, Lomurno et al., 2023).

Συνοψίζοντας, οι ψηφιακές μέθοδοι και η εξατομικευμένη παρέμβαση δεν υποκαθιστούν τις παραδοσιακές προσεγγίσεις, αλλά τις συμπληρώνουν ουσιαστικά, προσφέροντας ένα αξιόπιστο, ακριβές και εξελισσόμενο εργαλείο για τη διάγνωση και διαχείριση της δυσγραφίας. Η ενσωμάτωσή τους στην εκπαιδευτική και κλινική πράξη, μπορεί να συμβάλει αποφασιστικά στην έγκαιρη αντιμετώπιση της διαταραχής, με άμεσο θετικό αντίκτυπο στη σχολική επίδοση, την αυτοεκτίμηση και τη συνολική ποιότητα ζωής των παιδιών που την αντιμετωπίζουν.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποίησε την συστηματική ανασκόπηση PRISMA 2020 και κατέγραψε τις σύγχρονες μεθόδους που αξιοποιούν την τεχνολογία για αναπτυξιακή αξιολόγηση, εστιάζοντας σε δεξιότητες όπως η λεπτή κινητικότητα, η γραφοκινητικότητα και οι εκτελεστικές λειτουργίες. Βάσει των αναλυθέντων δεδομένων, εντοπίστηκαν τα βασικά ευρήματα που συμβάλλουν στην πρόωπη και ακριβή ανίχνευση της δυσγραφίας.

Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι η οπτικοκινητική ανάλυση μέσω συστημάτων παρακολούθησης οφθαλμικών κινήσεων (eye – tracking), η ψηφιακή καταγραφή γραφής με τη χρήση συσκευών όπως τα tablets και οι εξειδικευμένες γραφίδες (π.χ SensoGrip), καθώς και η λειτουργική μαγνητική τομογραφία (f - MRI), προσφέρουν αξιόπιστες ενδείξεις για τις δυσκολίες στον κινητικό και οπτικό συντονισμό. Επιπλέον, διαδραστικές εφαρμογές αξιολόγησης σε ψηφιακές πλατφόρμες, όπως τα iPad (π.χ Play – Draw – Write, γραφοκινητικά tests κ.α.), σε συνδυασμό με προηγμένους αλγόριθμους Τεχνητής Νοημοσύνης και Μηχανικής Μάθησης, αναδείχθηκαν ως ιδιαίτερα αποτελεσματικές στην αναγνώριση παιδιών με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης δυσγραφίας ήδη από την προσχολική ηλικία. Τα εργαλεία αυτά κρίθηκαν εύχρηστα, αντικειμενικά και ευαίσθητα, καθώς μπορούν να εντοπίσουν με ακρίβεια ήπιες ή μη ορατές δυσκολίες στον γραφοκινητικό συντονισμό παιδιών ηλικίας 5 έως 12 ετών, πριν αυτές εξελιχθούν σε σημαντικά μαθησιακά ελλείμματα.

Συνεπώς, καθίσταται σαφές ότι η συμβολή της τεχνολογίας, και ιδιαίτερα της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Μηχανικής Μάθησης, δύναται να λειτουργήσει ως αξιόπιστος διαγνωστικός σύμμαχος, προσφέροντας στα εκπαιδευτικά και θεραπευτικά πλαίσια ένα νέο επίπεδο πρόβλεψης και στοχευμένης παρέμβασης. Η σύγχρονη τεχνολογία, δεν έρχεται να αντικαταστήσει τους ειδικούς, αλλά να ενισχύσει την κλινική και παιδαγωγική τους κρίση με επιστημονικά τεκμηριωμένα και ποσοτικώς μετρήσιμα δεδομένα, επιτρέποντας έτσι πιο αποτελεσματική υποστήριξη ήδη από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης.

Η σύγκριση των παραδοσιακών και των τεχνολογικών μεθόδων ανίχνευσης της διαταραχής, ανέδειξε ότι η ανίχνευσή της επί σειρά ετών βασιζόταν σε παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης, οι οποίες περιλάμβαναν την οπτική παρατήρηση, την αξιολόγηση γραπτών δειγμάτων και τη χρήση δομημένων τεστ όπως το BHK. Αν και αυτές οι μέθοδοι αποτέλεσαν

τη βάση της διαγνωστικής πρακτικής, η αξιοπιστία και η ευαισθησία τους αμφισβητείται, καθώς δεν επαρκούν πλέον ως αυτόνομες στρατηγικές αξιολόγησης, ιδίως σε περιπτώσεις πρώιμων ή ήπιων εκδηλώσεων της διαταραχής. Αντιθέτως, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχει φέρει στο προσκήνιο νέες, αντικειμενικές μεθόδους αξιολόγησης που επιτρέπουν την αποτύπωση της γραφοκινητικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας εις βάθος ανάλυση της γραφής ως πολυπαραγοντικής ψυχοκινητικής δεξιότητας, ακόμη και χωρίς την άμεση παρουσία ειδικού. Τέλος, η σύγκριση αυτή, αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα, τους περιορισμούς και τη συμπληρωματικότητα των μεθόδων στο πλαίσιο της πρώιμης ανίχνευσης της δυσγραφίας. Συμπερασματικά, τα σύγχρονα εργαλεία φάνηκαν να υπερτερούν σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους, προσφέροντας πιο ακριβή, πρώιμα και εξατομικευμένα αποτελέσματα.

Παρά τη σημαντική πρόοδο που καταγράφεται στην ενσωμάτωση της τεχνολογίας στην πρώιμη ανίχνευση της δυσγραφίας, η παρούσα ανασκόπηση ανέδειξε ορισμένους σημαντικούς περιορισμούς που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των ευρημάτων. Αρχικά, αρκετές από τις συμπεριληφθείσες μελέτες βασίστηκαν σε μικρά ή μη αντιπροσωπευτικά δείγματα παιδιών, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η πλειονότητα των ερευνών περιορίστηκε σε αποσπασματικά δεδομένα, χωρίς επαναλαμβανόμενες μετρήσεις των παιδιών στον χρόνο, με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη η αποτίμηση της μακροπρόθεσμης αποτελεσματικότητας των διαγνωστικών τεχνολογιών. Παράλληλα, η χρήση ψηφιακών εργαλείων προϋποθέτει την ύπαρξη εξειδικευμένου μηχανολογικού εξοπλισμού (όπως tablets με γραφίδες, συστήματα eye – tracking ή f - MRI), ο οποίος δεν είναι πάντα προσβάσιμος σε όλα τα σχολικά ή θεραπευτικά περιβάλλοντα, ιδίως σε υποεξυπηρετούμενες περιοχές, ενώ συχνά απαιτεί και ειδική κατάρτιση για την αποτελεσματική αξιοποίησή του. Επιπλέον, η εφαρμογή αυτών των εργαλείων συχνά καθιστά αναγκαία την εξοικείωση των παιδιών με τεχνολογικά μέσα και τη συνεργασία τους κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης, παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων, ειδικά σε παιδιά με συννοσηρότητες ή πολύ μικρής ηλικίας. Αξίζει επίσης να σημειωθεί, ότι ορισμένα τεχνολογικά εργαλεία και αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση, δεν έχουν ακόμη ευρέως επικυρωθεί ή τυποποιηθεί με βάση διεθνή πρότυπα, γεγονός που εγείρει ερωτήματα για την αξιοπιστία και την πρακτική τους εφαρμογή. Οι παραπάνω περιορισμοί, καταδεικνύουν την

ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, τυποποίηση και ηθική θωράκιση των τεχνολογικών μεθόδων ώστε να καταστούν ευρέως εφαρμόσιμες, ασφαλείς και αξιόπιστες.

Οι προοπτικές μελλοντικής έρευνας στον τομέα της πρώιμης ανίχνευσης της δυσγραφίας, επικεντρώνονται στην περαιτέρω ανάπτυξη προηγμένων διαγνωστικών εργαλείων, τα οποία θα ενσωματώνουν τεχνικές μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης για την αυτοματοποιημένη και υψηλής ακρίβειας ανάλυση γραφοκινητικών δεδομένων. Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται στη δημιουργία πολυπαραγοντικών μοντέλων πρόβλεψης, τα οποία θα συνδυάζουν κινητικά, οπτικοχωρικά και νευρογνωστικά χαρακτηριστικά, επιτρέποντας τη διάγνωση της διαταραχής σε προκλινικά ή υποκλινικά στάδια. Επιπλέον, προτείνεται να επεκταθούν τα ερευνητικά πρωτόκολλα ώστε να παρακολουθείται η πορεία των δυσκολιών στη γραφή σε βάθος χρόνου. Παράλληλα, προτείνεται τα εργαλεία αξιολόγησης να χρησιμοποιούνται σε αυθεντικά, καθημερινά μαθησιακά περιβάλλοντα, προκειμένου οι μετρήσεις να αντανακλούν με μεγαλύτερη ακρίβεια την πραγματικότητα, καθώς και να χρησιμοποιούνται εργαλεία φιλικά προς τους εκπαιδευτικούς, ώστε να οδηγήσουν στην πιο άμεση αναγνώριση μαθησιακών δυσκολιών και στην υιοθέτηση εξατομικευμένων παρεμβάσεων.

Ένα άλλο κρίσιμο ζήτημα που αναδεικνύεται ως προτεραιότητα για τη βελτιστοποίηση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας των μελλοντικών ερευνών είναι η ανάγκη για συνδυαστική προσέγγιση μεταξύ παραδοσιακών και τεχνολογικά υποστηριζόμενων μεθόδων αξιολόγησης. Παρά την αυξανόμενη αξιοπιστία και ευαισθησία των ψηφιακών εργαλείων και αλγορίθμων, η ενσωμάτωσή τους σε ένα ευρύτερο ερευνητικό πλαίσιο αξιολόγησης που λαμβάνει υπόψη ποιοτικά δεδομένα, κλινική παρατήρηση και συμβατικά tests χειρόγραφης απόδοσης (όπως το BHK ή το BVSCO – 2), μπορεί να ενισχύσει τη διαγνωστική ακρίβεια και να προσφέρει μια πολυεπίπεδη κατανόηση της διαταραχής. Ως εκ τούτου, η ερευνητική σύζευξη παραδοσιακών και καινοτόμων τεχνολογικών προσεγγίσεων, συνιστά αναγκαία προϋπόθεση για την ενίσχυση της αξιοπιστίας, της γενικευσιμότητας και της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων. Εν κατακλείδι, προτείνεται η διερεύνηση της διαπολιτισμικής εγκυρότητας των τεχνολογικών παρεμβάσεων, καθώς και η ανάπτυξη προσαρμοσμένων μεθοδολογιών για την υποστήριξη διαφορετικών γλωσσικών και εκπαιδευτικών πλαισίων.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανασκόπηση και η ανάλυση αυτών των σύγχρονων ερευνητικών μελετών, επιβεβαιώνει την ανάγκη ανάπτυξης ολοκληρωμένων και πολυδιάστατων διαγνωστικών εργαλείων για τη διαταραχή που έχει αναλυθεί, τα οποία συνδυάζουν τόσο τις παραδοσιακές μεθόδους αξιολόγησης όσο και τις σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες.

Ωστόσο, οι τεχνολογικές παρεμβάσεις αποδεικνύονται ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη διάγνωση και υποστήριξη παιδιών με δυσγραφία, καθώς επιτρέπουν την αντικειμενική, πολυδιάστατη και δυναμική ανάλυση της γραφικής λειτουργίας, η οποία συχνά δε μπορεί να καταγραφεί με παραδοσιακές μεθόδους. Ψηφιακές συσκευές όπως tablets και έξυπνες γραφίδες καταγράφουν σε πραγματικό χρόνο σύνθετα κινηματικά και δυναμικά χαρακτηριστικά της γραφής, όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η πίεση της πένας και η γωνία κλίσης, προσφέροντας μια λεπτομερή εικόνα της διαδικασίας της γραφής πέρα από το τελικό αποτέλεσμα.

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση φαίνεται να συμβάλλουν ουσιαστικά στην πρόβλεψη και ανίχνευση, μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσης μεγάλου όγκου πολύπλοκων δεδομένων. Αλγόριθμοι όπως, οι AdaBoost, Support Vector Machines (SVM), Random Forest και Long Short – Term Memory (LSTM), αξιοποιούν τα καταγεγραμμένα γραφοκινητικά χαρακτηριστικά για να εντοπίσουν πρότυπα που συνδέονται με τη διαταραχή. Η χρήση αυτών των μοντέλων, επιτρέπει την αυτόματη ταξινόμηση μαθητών με δυσγραφία, ακόμη και σε ετερογενή και μικρά δείγματα, και βελτιώνει σημαντικά την ταχύτητα και την αντικειμενικότητα της διάγνωσης.

Επιπλέον, η ανάλυση δυσκολότερων και απαιτητικότερων γραφικών εργασιών, ενισχύει τη διαγνωστική ικανότητα των συστημάτων, ενώ η ενσωμάτωση πολλαπλών χαρακτηριστικών (π.χ. πίεση, ταχύτητα, επιτάχυνση) αυξάνει την αξιοπιστία της διάγνωσης σε σύγκριση με τα μεμονωμένα tests. Παρ' όλα αυτά, για την επίτευξη ολοκληρωμένης και αξιόπιστης διάγνωσης, είναι απαραίτητη η συνδυαστική χρήση παραδοσιακών και ψηφιακών μεθόδων, καθώς και η ανάπτυξη τυποποιημένων εργαλείων που προσαρμόζονται στις ατομικές ανάγκες των παιδιών. Καθώς επίσης και η δημιουργία και η αξιοποίηση διεθνών βάσεων δεδομένων, που θα επιτρέψουν τη βελτίωση και την προσαρμογή των αλγορίθμων σε διαφορετικές γλωσσικές και πολιτισμικές συνθήκες.

Εν κατακλείδι, οι τεχνολογικές παρεμβάσεις και η εφαρμογή μεθόδων μηχανικής μάθησης, αναδεικνύονται ως ισχυρά εργαλεία για την πρόιμη, ακριβή και ευρεία διάγνωση της δυσγραφίας. Τα ευρήματα των μελετών καταδεικνύουν ότι η διαταραχή μπορεί να εντοπιστεί ακόμη και πριν από την πλήρη ανάπτυξη της ικανότητας γραφής, ανοίγοντας τον δρόμο για έγκαιρη και στοχευμένη παρέμβαση. Η δυνατότητα αυτή, μέσω εξατομικευμένης υποστήριξης, συμβάλλει ουσιαστικά στην πρόληψη μελλοντικών δυσκολιών, τόσο στο σχολικό όσο και στο κλινικό περιβάλλον.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abed, S. N., Abbas, D. M., & Dawood, I. (2023). Lifetime prevalence of dysgraphia and associated family environment characteristics in primary schools. *International Journal of Public Health Science*, 12(3), 1243-1248. <http://doi.org/10.11591/ijphs.v12i3.22526>
- Alzahrani, S., & Algahtani, F. (2025). Implications and Identification of Specific Learning Disability Using Weighted Ensemble Learning Model. *Child: care, health and development*, 51(1), e70026. <https://doi.org/10.1111/cch.70026>
- Asselborn, T., Chapatte, M. & Dillenbourg, P. Extending the Spectrum of Dysgraphia: A Data Driven Strategy to Estimate Handwriting Quality. *Sci Rep* 10, 3140 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60011-8>
- Asselborn, T., Gargot, T., Kidziński, Ł., Johal, W., Cohen, D., Jolly, C., & Dillenbourg, P. (2018). Automated human-level diagnosis of dysgraphia using a consumer tablet. *NPJ digital medicine*, 1, 42. <https://doi.org/10.1038/s41746-018-0049-x>
- Badian, N. A. (1983). Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. In Myklebust, H. R. *Progress in Learning Disabilities* (5), σσ. 235 – 264.
- Berninger, V. W., & Richards, T. L. (2008). Neural correlates of strategic memory retrieval: Differentiating between spatial-associative and temporal-associative strategies *Human Brain Mapping*, 29(9), 1001-1109. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/hbm.20445>
- Bublin, M., Werner, F., Kerschbaumer, A., Korak, G., Geyer, S., Rettinger, L., Schönthaler, E., & Schmid-Kietreiber, M. (2023). Handwriting Evaluation Using Deep Learning with SensoGrip. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(11), 5215. <https://doi.org/10.3390/s23115215>
- Chung, P. J., Patel, D. R., & Nizami, I. (2020). Disorder of written expression and dysgraphia: definition, diagnosis, and management. *Translational pediatrics*, 9 (Suppl 1), S46–S54. <https://doi.org/10.21037/tp.2019.11.01>
- Chung, P. J., Patel, D. R., & Nizami, I. (2020). Disorder of written expression and dysgraphia: definition, diagnosis, and management. *Translational pediatrics*, 9(Suppl 1), S46–S54. <https://doi.org/10.21037/tp.2019.11.01>
- Danna, J., Puyjarinet, F., & Jolly, C. (2023). Tools and Methods for Diagnosing Developmental Dysgraphia in the Digital Age: A State of the Art. *Children*, 10(12), 1925. <https://doi.org/10.3390/children10121925>
- Devillaine, L., Lambert, R., Boutet, J., Aloui, S., Brault, V., Jolly, C., & Labyt, E. (2021). Analysis of Graphomotor Tests with Machine Learning Algorithms for an Early and Universal Pre – Diagnosis of Dysgraphia. *Sensors*, 21(21), 7026. <https://doi.org/10.3390/s21217026>
- Döhla, D., & Heim, S. (2016). Developmental Dyslexia and Dysgraphia: What can We Learn from the One About the Other?. *Frontiers in psychology*, 6, 2045. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.02045>
- Drotár, P., & Dobeš, M. (2020). Dysgraphia detection through machine learning. *Scientific reports*, 10(1), 21541. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78611-9>
- Dui, L. G., Lunardini, F., Termine, C., Matteucci, M., & Ferrante, S. (2020). A Tablet-Based App to Discriminate Children at Potential Risk of Handwriting Alterations in a Preliteracy Stage. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2020*, 5856 – 5859. <https://doi.org/10.1109/EMBC44109.2020.9176041>

- Dui, L. G., Lunardini, F., Termine, C., Matteucci, M., Stucchi, N. A., Borghese, N. A., & Ferrante, S. (2020). A Tablet App for Handwriting Skill Screening at the Preliteracy Stage: Instrument Validation Study. *JMIR serious games*, 8(4), e20126. <https://doi.org/10.2196/20126>
- Fears, N. E., Bailey, B. C., Youmans, B., & Lockman, J. J. (2019). An eye-tracking method for directly assessing children's visual-motor integration. *Physical Therapy*, 99(6), 797–806. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz027>
- Gargot, T., Asselborn, T., Pellerin, H., Zammouri, I., M Anzalone, S., Casteran, L., Johal, W., Dillenbourg, P., Cohen, D., & Jolly, C. (2020). Acquisition of handwriting in children with and without dysgraphia: A computational approach. *PloS one*, 15(9), e0237575. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237575>
- Graham, S., Harris, K. R., & Mason, L. (2005). Improving the writing performance, knowledge, and self-efficacy of struggling young writers: The effects of self-regulated strategy development. *Contemporary educational psychology*, 30(2), 207–241. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2004.08.001>
- Han, W., & Wang, T. (2025). From Motor Skills to Digital Solutions: Developmental Dysgraphia Interventions over Two Decades. *Children (Basel, Switzerland)*, 12(5), 542. <https://doi.org/10.3390/children12050542>
- Hen-Herbst L, Rosenblum S. Handwriting and Motor – Related Daily Performance among Adolescents with Dysgraphia and Their Impact on Physical Health-Related Quality of Life. *Children (Basel)*. 2022 Sep 21;9(10):1437. doi: 10.3390/children9101437. PMID: 36291371; PMCID: PMC9600430.
- Lomurno, E., Dui, L. G., Gatto, M., Bollettino, M., Matteucci, M., & Ferrante, S. (2023). Deep Learning and Procrustes Analysis for Early Dysgraphia Risk Detection with a Tablet Application. *Life*, 13(3), 598. <https://doi.org/10.3390/life13030598>
- Martins, M. R. I., Bastos, J. A., Cecato, A. T., Araujo, M. de L. S., Magro, R. R., & Alaminos, V. (2013). Screening for motor dysgraphia in public schools. *Jornal de Pediatria*, 89(1), 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.jped.2013.02.011>
- McCloskey, M., & Rapp, B. (2017). Αναπτυξιακή δυσγραφία: Μια επισκόπηση και ένα πλαίσιο για την έρευνα. *Cognitive Neuropsychology*, 34 (3 – 4), 65 – 82. <https://doi.org/10.1080/02643294.2017.1369016>
- Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. (2020). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Piazzalunga, C., Dui, L. G., Termine, C., Bortolozzo, M., Matteucci, M., & Ferrante, S. (2023). Investigating Visual Perception Impairments through Serious Games and Eye Tracking to Anticipate Handwriting Difficulties. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23(4), 1765. <https://doi.org/10.3390/s23041765>
- Reitz, F., Richards, T., Wu, K., Boord, P., Askren, M., Lewis, T., & Berninger, V. (2013). A low – cost, computer – interfaced drawing pad for FMRI studies of dysgraphia and dyslexia. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 13(4), 5099 – 5108. <https://doi.org/10.3390/s130405099>
- Rosenblum, S., Dvorkin, A. Y., & Weiss, P. L. (2006). Automatic segmentation as a tool for examining the handwriting process of children with dysgraphic and proficient handwriting. *Human movement science*, 25 (4 – 5), 608 – 621. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2006.07.005>
- Rosenblum, S., Parush, S., & Weiss, P. L. (2003). Computerized temporal handwriting characteristics of proficient and non-proficient handwriters. *The American journal of occupational therapy : official publication of the American Occupational Therapy Association*, 57(2), 129–138. <https://doi.org/10.5014/ajot.57.2.129>

- Smits – Engelsman, B. C. M., & Van Galen, G. P. (1997). Dysgraphia in children: Lasting psychomotor deficiency or transient developmental delay? *Journal of Experimental Child Psychology*, 67(2), 164–184. <https://doi.org/10.1006/jecp.1997.2400>
- Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Dysgraphia?utm_source
- Μπαφαλούκα, Μ. (2011). Μαθησιακές Δυσκολίες. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Π.Ε. Πετράκης.
- Παπαγεωργίου, Δ. (2019). Μαθησιακές δυσκολίες σε Δημοτικό και Γυμνάσιο: Δυσγραφία – Δυσορθογραφία.
- Παπαδάτος, Γ. (2003). Προλεγόμενα. Στο: G. Reid (επιμ.), *Δυσλεξία - Εγχειρίδιο για ειδικούς*. Αθήνα: Εκδόσεις Παρισιανού, 23 – 38.
- Στασινός, Δ. Π. (2016). Η ειδική εκπαίδευση 2020 plus. Για μια συμπεριληπτική ή ολική εκπαίδευση το νέο-ψηφιακό σχολείο με ψηφιακούς πρωταθλητές. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση, 88-95.
- Τρίγκα-Μερίκα, Ε. (2010). Μαθησιακές δυσκολίες. Αθήνα: Γρηγόρης.