

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ
ΠΜΣ: ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΑΘΗΣΗΣ ΤΩΝ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΑΤΩΝ ΦΥΣΙΚΗΣ ΜΕΣΩ
ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΒΛΕΜΜΑΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Μικρόπουλος Αναστάσιος

ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ

ΑΜ:94



Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, με τίτλο «Διερεύνηση της οπτικής προσοχής και της εννοιολογικής κατανόησης μαθητών Β΄ Γυμνασίου κατά την ερμηνεία γραφικών παραστάσεων θέσης-χρόνου: Μια μελέτη με τη χρήση της τεχνολογίας ανίχνευσης βλέμματος», εκπονήθηκε από εμένα προσωπικά στο πλαίσιο των σπουδών μου για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στο Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και συγκεκριμένα στο Μεταπτυχιακό «Διδακτική και τεχνολογίες μάθησης των φυσικών επιστημών».

Βεβαιώνω ότι η εργασία είναι προϊόν δικής μου πνευματικής προσπάθειας, οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται πλήρως και δεν έχει γίνει χρήση κειμένων, ιδεών ή δεδομένων άλλων δημιουργών χωρίς τη δέουσα αναφορά.

Επίσης, παραχωρώ στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων τη δυνατότητα ανάρτησης της εργασίας μου στο Ψηφιακό Αποθετήριο «Ολυμπιάς», καθώς και τη διάθεσή της για ακαδημαϊκή, ερευνητική και μη κερδοσκοπική χρήση.»



Στα παιδιά μου
Αναστασία,
Κωνσταντίνα,
Δημήτρη
Μάριο
τα πιο φωτεινά μάτια της ζωής μου



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθηγητή Κωνσταντίνο Κώστη και κα. Ιωάννα Μπέλλου ΕΔΙΠ για την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην αξιολόγηση της εργασίας μου και για τις καίριες υποδείξεις τους που συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επίκουρους καθηγητές του Τμήματος Φιλοσοφίας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, κ. Κώστα Γκαραβέλα και κα. Αικατερίνη Αλίκη Μίχου για τον δανεισμό του εξοπλισμού καταγραφής της οφθαλμοκίνησης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Θεόδωρο Στραγάλη, ο οποίος με την προθυμία του να με καλύψει στις επαγγελματικές μου υποχρεώσεις, μου πρόσφερε τον απαραίτητο χρόνο και την ηρεμία για να ανταποκριθώ με επιτυχία στις απαιτήσεις αυτού του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Ένα βαθύ και ειλικρινές ευχαριστώ στον σύζυγό μου Βασίλη Καλτσή, για την αμέριστη συμπαράσταση, την υπομονή και την πίστη που έδειξε σε μένα καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Η παρούσα εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την καθοριστική συμβολή του επιβλέποντος καθηγητή μου, Αναστάσιου Μικρόπουλου. Τον ευχαριστώ θερμά όχι μόνο για την επιστημονική του αρτιότητα και την καθοδήγηση που μου πρόσφερε απλόχερα, αλλά κυρίως για την ανεξάντλητη υπομονή και την επιμονή του. Η ανοχή του στις ανησυχίες μου και η συνεχής ενθάρρυνσή του ήταν οι καταλύτες για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. *Êtes-vous prêts ? Allez !*



Περίληψη

Η παρούσα μελέτη διερευνά τη σχέση μεταξύ της οπτικής προσοχής και της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών κατά την ερμηνεία γραφημάτων θέσης-χρόνου στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση. Με θεωρητικό υπόβαθρο το μοντέλο των Carpenter και Shah, εξετάστηκε πώς 21 μαθητές της Β' Γυμνασίου επεξεργάζονται οπτικά το εκπαιδευτικό υλικό (κείμενο και διαγράμματα σχολικού εγχειριδίου. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία ανίχνευσης βλέμματος (Eye-tracking) με τη συσκευή Tobii Pro Spark, ενώ οι αποκρίσεις των μαθητών συλλέχθηκαν μέσω προφορικών απαντήσεων οι οποίες ηχογραφήθηκαν και κωδικοποιήθηκαν.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα έδειξαν ότι στην ερμηνεία σημείων γραφικής παράστασης, οι μαθητές που απάντησαν σωστά αφιέρωσαν στατιστικά σημαντικά περισσότερο χρόνο στο διάγραμμα, υποδηλώνοντας εντονότερη επεξεργασία στο στάδιο της κωδικοποίησης. Στη δεύτερο ερευνητικό ερώτημα σχετικά με την έννοια της ακινησίας, η ποιοτική ανάλυση μέσω θερμικών χαρτών αποκάλυψε ότι οι μαθητές που απάντησαν σωστά εστίασαν με ακρίβεια στα κρίσιμα σημεία της θεωρίας, ενώ οι μαθητές που απάντησαν λάθος εμφάνισαν έλλειμμα στη νοητική αντιστοίχιση.

Κατά τη συγκριτική ερμηνεία φαινομένων κίνησης και ακινησίας, η ανάλυση των λανθασμένων απαντήσεων ανέδειξε «γνωστική διολίσθηση» καθώς αυξανόταν η πολυπλοκότητα των ερωτημάτων. Οι μαθητές παρουσίασαν συστηματικές παρανοήσεις, όπως η σύγχυση μεταξύ γραφημάτων θέσης - χρόνου και ταχύτητας - χρόνου, η εστίαση σε γεωμετρικά χαρακτηριστικά αντί για τη σχέση μεταβλητών και η αδυναμία μετάβασης στο ανώτερο στάδιο εξαγωγής συμπερασμάτων

Συμπερασματικά, η έρευνα καταδεικνύει ότι η επιτυχής ερμηνεία δεν εξαρτάται μόνο από τη στρατηγική σάρωσης, αλλά από την ικανότητα του μαθητή να χρησιμοποιεί τη θεωρία ως εργαλείο νοηματικής πλαισίωσης της οπτικής πληροφορίας. Τα ευρήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για διδακτικές παρεμβάσεις που εστιάζουν στη γεφύρωση του κενού μεταξύ οπτικής αναγνώρισης και εννοιολογικής ενσωμάτωσης.

Λέξεις-κλειδιά: Οπτική προσοχή, Οφθαλμοκίνηση, Γραφήματα θέσης-χρόνου, Μοντέλο Carpenter & Shah, Φυσική.



Abstract

The present study investigates the relationship between visual attention and students' conceptual understanding when interpreting position-time graphs in uniform linear motion. Based on the theoretical framework of the Carpenter and Shah model, the study examined how 21 second-grade lower secondary students process visual educational material (text and diagrams from a school textbook).

Data were collected using eye-tracking technology (Tobii Pro Spark device), while students' responses were gathered through oral answers, which were recorded and coded. The results of the statistical analysis of the first research question showed that, in interpreting points on a graph, students who answered correctly spent significantly more time on the diagram, indicating more intensive processing at the encoding stage. Regarding the second research question on the concept of rest, qualitative analysis through heatmaps revealed that students who answered correctly focused accurately on critical points of the theory, whereas students who answered incorrectly showed deficiencies in mental mapping.

In the comparative interpretation of motion and rest phenomena, the analysis of incorrect responses revealed a "cognitive slippage" as the complexity of the questions increased. Students demonstrated systematic misconceptions, such as confusion between position-time and velocity-time graphs, focusing on geometric features rather than the relationship between variables, and difficulty transitioning to higher-level stages of inference.

In conclusion, the study demonstrates that successful interpretation depends not only on scanning strategies but also on the student's ability to use theory as a tool for framing visual information meaningfully. The findings highlight the need for instructional interventions that focus on bridging the gap between visual recognition and conceptual integration.

Keywords: Visual attention, Eye-tracking, Position-time graphs, Carpenter & Shah model, Physics education.



Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	7
Θεωρητικό πλαίσιο.....	8
<i>Εισαγωγή στο Θεωρητικό Πλαίσιο.....</i>	<i>8</i>
<i>Θεωρία Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory).....</i>	<i>8</i>
<i>Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης (Multimedia Learning Theory).....</i>	<i>9</i>
<i>Το Μοντέλο Κατανόησης Γραφημάτων των Carpenter και Shah.....</i>	<i>10</i>
<i>Οπτική Προσοχή.....</i>	<i>10</i>
<i>Τεχνολογία Οφθαλμοκίνησης.....</i>	<i>11</i>
<i>Βασικοί δείκτες μελέτης οφθαλμοκίνησης.....</i>	<i>11</i>
<i>Μετρήσεις Καθηλώσεων (Fixation Metrics).....</i>	<i>12</i>
<i>Μετρήσεις Μετακίνησης και Διαδρομής (Saccadic & Path Metrics).....</i>	<i>12</i>
<i>Μετρήσεις Κόρης (Pupillary Metrics).....</i>	<i>12</i>
<i>Θερμικοί χάρτες (Heat maps).....</i>	<i>12</i>
<i>Διαδρομές Σάρωσης (Scan Paths).....</i>	<i>13</i>
<i>Στατική και Μεταβατική Εντροπία ως Δείκτης Κατανομής Προσοχής.....</i>	<i>13</i>
<i>Θεωρητικές Αρχές και Σχεδιασμός Δοκιμασίας.....</i>	<i>13</i>
Η οφθαλμοκίνηση στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες: βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	15
Μεθοδολογία.....	24
<i>Σκοπός.....</i>	<i>24</i>
<i>Ερευνητικά ερωτήματα.....</i>	<i>24</i>
<i>Επιστημονικό περιεχόμενο.....</i>	<i>24</i>
<i>Πιλοτική μελέτη.....</i>	<i>26</i>
<i>Δείγμα.....</i>	<i>27</i>
<i>Πειραματική διάταξη-Eye tracker.....</i>	<i>27</i>
<i>Διαδικασία.....</i>	<i>28</i>
<i>Συλλογή δεδομένων και ανάλυση.....</i>	<i>28</i>
Αποτελέσματα.....	30
<i>Πρώτο ερευνητικό ερώτημα.....</i>	<i>30</i>
<i>Διάγραμμα και βαθμολογία Q1.....</i>	<i>30</i>
<i>Θεωρία και βαθμολογία Q1.....</i>	<i>32</i>
<i>Στατική Εντροπία Q1-Βάθμολογία Q1.....</i>	<i>33</i>
<i>Δεύτερο Ερευνητικό Ερώτημα.....</i>	<i>34</i>
<i>Διάγραμμα Q2-Βαθμολογία Q2.....</i>	<i>35</i>
<i>Θεωρία-Βαθμολογία Q2.....</i>	<i>36</i>
<i>Στατική Εντροπία- Βαθμολογία Q2.....</i>	<i>37</i>
<i>Τρίτο Ερευνητικό Ερώτημα.....</i>	<i>40</i>
<i>Συνολική ερμηνεία των γνωστικών δυσκολιών.....</i>	<i>41</i>
Συζήτηση και Συμπεράσματα.....	45
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	47
Παράρτημα.....	51
<i>Γονική Συγκατάθεση.....</i>	<i>51</i>
<i>Πίνακες.....</i>	<i>53</i>
<i>Πίνακες Αποτελεσμάτων Ελέγχου Mann-Whitney U Ερευνητικό ερώτημα 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Πίνακες Αποτελεσμάτων Ελέγχου Mann-Whitney U Ερευνητικό ερώτημα 2.....</i>	<i>57</i>



Εισαγωγή

Η ικανότητα ερμηνείας και χρήσης γραφικών παραστάσεων αποτελεί θεμελιώδη δεξιότητα στο πεδίο των φυσικών επιστημών, καθώς τα γραφήματα λειτουργούν ως πυκνά οπτικά εργαλεία που αναπαριστούν σύνθετες σχέσεις μεταξύ φυσικών μεγεθών (Leinhardt et al., 1990). Ιδιαίτερα στο πλαίσιο της Μηχανικής, τα γραφήματα θέσης-χρόνου συνιστούν το πρώτο στάδιο μετάβασης των μαθητών από την εμπειρική αντίληψη της κίνησης στην αφηρημένη συμβολική απεικόνιση (McDermott et al., 1987). Ωστόσο, η διεθνής βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι οι μαθητές συχνά αντιμετωπίζουν σοβαρές δυσκολίες στην αποκωδικοποίηση αυτών των αναπαραστάσεων, αναπτύσσοντας επίμονες παρανοήσεις (Leinhardt et al., 1990).

Παραδοσιακά, η μελέτη αυτών των δυσκολιών βασιζόταν αποκλειστικά στην ανάλυση των τελικών απαντήσεων των μαθητών. Η παρούσα εργασία επιδιώκει να εισχωρήσει βαθύτερα στη γνωστική διαδικασία, χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της ανίχνευσης βλέμματος (Eye-tracking). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την καταγραφή της οπτικής προσοχής σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα για τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές προσλαμβάνουν και επεξεργάζονται την πληροφορία, πριν καταλήξουν σε μια προφορική διατύπωση.

Σκοπός της έρευνας είναι να διερευνήσει τη δυναμική σχέση μεταξύ της οπτικής συμπεριφοράς και της εννοιολογικής κατανόησης, εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο μαθητές της Β' Γυμνασίου κατανέμουν την προσοχή τους μεταξύ θεωρίας με τη μορφή κειμένου και διαγράμματος με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Μέσα από την ανάλυση οφθαλμοκινητικών δεικτών, όπως η συνολική διάρκεια καθήλωσης, η στατική εντροπία και η ποσοστιαία συνολική καθήλωση επιχειρείται η χαρτογράφηση των γνωστικών διαδρομών που οδηγούν είτε στην επιτυχή ενσωμάτωση της γνώσης είτε στην εμφάνιση συστηματικών σφαλμάτων ερμηνείας.



Θεωρητικό πλαίσιο

Εισαγωγή στο Θεωρητικό Πλαίσιο

Η εκπαίδευση στη σχολική ηλικία αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την ανάπτυξη δεξιοτήτων κατανόησης και επεξεργασίας πληροφοριών σε πολυτροπικά περιβάλλοντα μάθησης. Η συνδυαστική χρήση κειμένου και γραφικών παραστάσεων έχει αναδειχθεί ως βασική στρατηγική για τη διδασκαλία εννοιών στις φυσικές επιστήμες, τα μαθηματικά και άλλες σχολικές περιοχές γνώσης, καθώς διευκολύνει την εννοιολογική κατανόηση, την οπτικοποίηση διαδικασιών και την ενσωμάτωση νέων γνώσεων (Mayer & Fiorella, 2022; Schnotz & Bannert, 2003). Στο πλαίσιο της ανάγνωσης γραφημάτων, η γνωστική αυτή διαδρομή αποκτά μια ιεραρχική δομή, η οποία περιγράφεται από τους Carpenter and Shah (1998). Το μοντέλο αυτό αναλύει τη μετάβαση από την επιφανειακή αναγνώριση των οπτικών στοιχείων στην ανώτερη νοητική συσχέτιση των φυσικών μεγεθών μιας γραφικής παράστασης.

Η ανάπτυξη δεξιοτήτων οπτικού εγγραμματισμού, και ειδικότερα η ανάγνωση γραφικών παραστάσεων, αναγνωρίζεται από τον OECD (2023) ως απαραίτητο εφόδιο για τον μαθηματικό εγγραμματισμό των παιδιών. Στο ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα, η ανάγκη αυτή καλύπτεται πλέον θεσμικά μέσα από τα Εργαστήρια Δεξιοτήτων του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΙΕΠ, 2021), τα οποία στοχεύουν στην καλλιέργεια κριτικής σκέψης και την ανάλυση δεδομένων.

Η αποτελεσματικότητα της μάθησης από πολυμεσικό υλικό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο παρουσίασης των πληροφοριών και την ικανότητα των μαθητών να συνδέουν οπτικές και λεκτικές πληροφορίες χωρίς υπερβολικό γνωστικό φόρτο. Η κατανόηση των υποκείμενων γνωστικών μηχανισμών μπορεί να επιτευχθεί με ποικίλες μεθόδους. Η τεχνολογία οφθαλμοκίνησης (eye-tracking) παρέχει ένα έγκυρο εργαλείο για την παρατήρηση των στρατηγικών προσοχής και της επεξεργασίας πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση φαινομένων όπως οι μετακινήσεις βλέμματος μεταξύ κειμένου και διαγράμματος, η διάρκεια καθηλώσεων και η διαδρομή του βλέμματος.

Στόχος του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου της μάθησης από κείμενο και γραφική παράσταση στη σχολική ηλικία, με έμφαση στις βασικές θεωρίες της πολυμεσικής μάθησης και του γνωστικού φόρτου, τον καθορισμό της οπτικής προσοχής καθώς και τη παρουσίαση της τεχνολογίας της καταγραφής της οφθαλμοκίνησης.

Θεωρία Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory)

Η Θεωρία Γνωστικού Φορτίου (Cognitive Load Theory - CLT) αναπτύχθηκε από τον Sweller (1988) και τους συνεργάτες του, και εστιάζει στην ικανότητα επεξεργασίας νέων πληροφοριών από τον εγκέφαλο. Η βασική υπόθεση είναι ότι οι μαθητές διαθέτουν περιορισμένους γνωστικούς πόρους για την επεξεργασία νέων πληροφοριών, και ότι η υπερφόρτωση αυτού του συστήματος μπορεί να περιορίσει την αποτελεσματικότητα της μάθησης. Στην CLT διακρίνονται τρεις τύποι γνωστικού φορτίου:

Το Ενδογενές γνωστικό φορτίο (Intrinsic Load), το οποίο σχετίζεται με την πολυπλοκότητα της ίδιας της γνώσης την οποία πρέπει να μάθει ο μαθητής και



εξαρτάται από την αλληλεπίδραση της φύσης του περιεχομένου και της πρότερης γνώσης του μαθητή.

Το Εξωγενές γνωστικό φορτίο (Extraneous Load), το οποίο αναφέρεται στην επιβάρυνση που δημιουργείται από τον τρόπο παρουσίασης του υλικού και όχι από την ίδια τη γνώση. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι η διάταξη κειμένου και διαγράμματος που απαιτεί συνεχείς μετακινήσεις βλέμματος μεταξύ των πηγών πληροφορίας, δηλαδή το φαινόμενο της διασπασμένης προσοχής (Chandler & Sweller, 1992). Το εξωγενές φορτίο μπορεί να μειωθεί μέσω στρατηγικών σχεδιασμού, όπως η εγγύτητα κειμένου-διαγράμματος και η σωστή οργάνωση των πληροφοριών.

Το συναφές γνωστικό φορτίο (Germane Load) το οποίο αφορά στην καλλιέργεια μαθησιακών στρατηγικών για την ενεργητική επεξεργασία και τον σχηματισμό συνεκτικών γνωστικών μοντέλων (σχήμα). Με λίγα λόγια είναι η ωφέλιμη προσπάθεια που οδηγεί στην οικοδόμηση σχημάτων και τη βαθιά μάθηση.

Η θεωρία γνωστικού φορτίου (Sweller, 1988) υποστηρίζει ότι η μείωση του εξωγενούς φορτίου απελευθερώνει πόρους για την ενίσχυση του συναφούς γνωστικού φορτίου, βελτιώνοντας τη μάθηση.

Στο σχολικό περιβάλλον, η εφαρμογή της, συνδέεται άμεσα με τη μάθηση από πολυμεσικό υλικό. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παρουσίαση κειμένου και γραφικών παραστάσεων σε χωριστές περιοχές αυξάνει τον αριθμό μετακινήσεων βλέμματος και τη διάρκεια νοητικής ενσωμάτωσης, επιβεβαιώνοντας την αρχή του διασπασμένης προσοχής (Florax & Ploetzner, 2010; Mayer & Moreno, 1998). Αντίθετα, η ορθολογική χωρική διάταξη, όπου τα λεκτικά σχόλια βρίσκονται κοντά στα αντίστοιχα στοιχεία του διαγράμματος, μειώνει τις αναγκαίες μετακινήσεις και ενισχύει την κατανόηση, όπως καταδεικνύουν σύγχρονες μελέτες οφθαλμοκίνησης σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου (Schüler, Arndt & Scheiter, 2015; Rop et al., 2021).

Η θεωρία γνωστικού φορτίου παρέχει επομένως ένα λειτουργικό πλαίσιο για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η χωρική διάταξη του υλικού, η πολυπλοκότητα της γνώσης και οι μαθησιακές στρατηγικές αλληλεπιδρούν για την αποτελεσματική μάθηση στη σχολική ηλικία.

Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης (Multimedia Learning Theory)

Η Θεωρία Πολυμεσικής Μάθησης του Mayer (2005) αποτελεί βασικό θεωρητικό πλαίσιο για τη μελέτη της μάθησης από κείμενο και γραφική παράσταση. Σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, ο μαθητής δεν προσλαμβάνει παθητικά πληροφορίες, αλλά οικοδομεί ενεργά τη γνώση συνθέτοντας νοήματα από λέξεις και εικόνες. Η ιστορική εξέλιξη της θεωρίας διακρίνει τρεις θεμελιώδεις οπτικές για τη μάθηση: την Ενίσχυση της Αντίδρασης (Response Strengthening) στην οποία ο μαθητής αντιμετωπίζεται ως έναν παθητικός δέκτης που ενισχύει τις συνδέσεις μεταξύ ερεθίσματος και απάντησης μέσω επιβράβευσης (συμπεριφοριστική προσέγγιση), την Πρόσκτηση Πληροφοριών εστιάζει στην αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων από τον εκπαιδευτικό στον μαθητή, με τον τελευταίο να λειτουργεί ως «άδειο δοχείο» που αποθηκεύει πληροφορίες. Αντιθέτως, η επικρατούσα σύγχρονη οπτική της Οικοδόμησης της Γνώσης (Knowledge Construction) αναδεικνύει τον μαθητή σε ενεργό συμμετοχο, ο οποίος χρησιμοποιεί τα πολυμέσα ως εργαλεία για να επιλέξει, να οργανώσει και να ενσωματώσει τις νέες πληροφορίες στις προϋπάρχουσες γνωστικές του δομές. Αυτή η μετάβαση υπογραμμίζει ότι ο σχεδιασμός πολυμέσων δεν πρέπει να στοχεύει στην απλή παροχή πληροφοριών, αλλά στη διευκόλυνση των νοητικών διαδικασιών που οδηγούν σε μια βαθιά και ουσιαστική κατανόηση.



Πιο συγκεκριμένα, η θεωρία του Mayer (2005) εξειδικεύει την Οικοδόμηση της Γνώσης στηριζόμενη σε τρεις βασικές υποθέσεις της γνωστικής ψυχολογίας:

Υπόθεση Διπλού Καναλιού (Dual Channels): Το ανθρώπινο γνωστικό σύστημα επεξεργάζεται τις οπτικές/εικονογραφικές και τις ακουστικές/λεκτικές πληροφορίες μέσω δύο διακριτών καναλιών (οπτικό-ακουστικό).

Υπόθεση Περιορισμένης Χωρητικότητας (Limited Capacity): Κάθε κανάλι έχει περιορισμένα όρια επεξεργασίας πληροφοριών στη μνήμη εργασίας ανά χρονική στιγμή.

Υπόθεση Ενεργού Επεξεργασίας (Active Processing): Η ουσιαστική μάθηση συμβαίνει όταν ο εκπαιδευόμενος εμπλέκεται σε γνωστικές διεργασίες όπως η επιλογή των σχετικών πληροφοριών, η οργάνωσή τους σε συνεκτικές νοητικές αναπαραστάσεις και η ενσωμάτωσή τους με την προϋπάρχουσα γνώση.

Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνολογία της οφθαλμοκίνησης (eye-tracking) αναδεικνύεται σε ένα πολύτιμο μεθοδολογικό εργαλείο, καθώς επιτρέπει στους ερευνητές να "παρατηρήσουν" σε πραγματικό χρόνο τις παραπάνω γνωστικές διεργασίες. Μέσω των μετρικών της οφθαλμοκίνησης, η Υπόθεση της Ενεργού Επεξεργασίας παύει να είναι μια θεωρητική παραδοχή και γίνεται ορατή: οι καθηλώσεις (fixations) του βλέμματος αποκαλύπτουν ποιες πληροφορίες επιλέγει ο μαθητής ως σχετικές, ενώ οι διαδρομές σάρωσης (scan paths) μεταξύ κειμένου και διαγράμματος φανερώνουν την προσπάθεια οργάνωσης και ενσωμάτωσης των δύο πηγών πληροφορίας. Έτσι, η ανάλυση της οφθαλμικής δραστηριότητας δεν καταγράφει απλώς πού κοιτάζει ο μαθητής, αλλά παρέχει αντικειμενικές ενδείξεις για το πώς η διάταξη των πολυμέσων επηρεάζει την αντιληπτική επεξεργασία (Mayer, 2010) και, τελικά, την ποιότητα της οικοδόμησης της γνώσης

Το Μοντέλο Κατανόησης Γραφημάτων των Carpenter και Shah

Το Μοντέλο Κατανόησης Γραφημάτων των Carpenter and Shah (1998) αναλύει την γνωστική διαδικασία για την ανάγνωση γραφημάτων σε τρία στάδια. Το πρώτο, η κωδικοποίηση (encoding), είναι η αναγνώριση όπου ουσιαστικά ο μαθητής σαρώνει το σχήμα (άξονες, καμπύλη). Το δεύτερο, η συσχέτιση (informational identification), είναι η κατανόηση του ώστε να το εμπεδώσει ως αντικατοπτρισμό μιας φυσικής έννοιας (π.χ., κίνηση, ακινησία), δηλαδή η πορεία από το αφηρημένο στο συγκεκριμένο όπου και κατανοείται η ποσοτική του ερμηνεία. Το τρίτο στάδιο, η ερμηνεία (situational interpretation), πρόκειται για το στάδιο διεξαγωγής συμπερασμάτων. Οι μη εκπαιδευμένοι μαθητές δεν αντιμετωπίζουν το γράφημα ως μια μαθηματική σχέση μεταξύ μεταβλητών, αλλά ως μια φωτογραφία της κίνησης (Janvier, 1981), σταματάνε δηλαδή στο πρώτο στάδιο του μοντέλου. Στη μεταγενέστερη ανάλυσή της, οι Shah and Hoeffner (2002) αναφέρουν αυτά τα στάδια ως κωδικοποίηση (encoding), αντιστοίχιση (mapping) και ερμηνεία (inference), δίνοντας έμφαση στο πώς οι μαθητές συχνά αποτυγχάνουν ερμηνεύοντας το γράφημα ως κυριολεκτική εικόνα (graph-as-picture).

Οπτική Προσοχή

Η οπτική προσοχή είναι η διαδικασία με την οποία το γνωστικό σύστημα επιλέγει ένα υποσύνολο από τις διαθέσιμες οπτικές πληροφορίες για περαιτέρω επεξεργασία



(Carrasco, 2011). Όπως σημειώνουν οι Evans et al. (2011) επειδή ο εγκέφαλος έχει περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ, δεν μπορεί να αναλύσει ταυτόχρονα κάθε λεπτομέρεια που προσπίπτει στον αμφιβληστροειδή. Η προσοχή λειτουργεί, λοιπόν, ως ένας «επιλογέας» που δίνει προτεραιότητα σε ό,τι είναι σχετικό με τον στόχο μας. Σύμφωνα με τον Wolfe (2000) η μελέτη της προσοχής οργανώνεται σε τέσσερα λειτουργικά στάδια:

1. Όραση πριν από την προσοχή: αφορά τις βασικές πληροφορίες που λαμβάνουμε ακαριαία, πριν εστιάσουμε σε ένα συγκεκριμένο αντικείμενο.
2. Όραση με την παρουσία προσοχής: εξετάζει πώς η συνειδητή εστίαση μεταβάλλει και εμπλουτίζει την αρχική οπτική αναπαράσταση.
3. Όραση μετά την προσοχή: διερευνά αν η προσοχή αφήνει κάποιο "ίχνος" ή μνημονικό αποτύπωμα σε ένα ερέθισμα αφού το βλέμμα μας μετακινηθεί αλλού.
4. Όραση χωρίς προσοχή: αναλύει την τύχη των ερεθισμάτων που υπάρχουν στο οπτικό πεδίο αλλά δεν γίνονται ποτέ αντικείμενο εστιασμένης προσοχής.

Η οπτική προσοχή πραγματοποιεί τέσσερις βασικές λειτουργίες: τη μείωση των ερεθισμάτων, την ενίσχυση συγκεκριμένου ερεθίσματος, την σύνδεση χαρακτηριστικών και την αναγνώριση (Evans et al., 2011). Η μείωση των ερεθισμάτων είναι το φιλτράρισμα που κάνει ο εγκέφαλος έτσι ώστε να κρατάει μόνο τα σχετικά ερεθίσματα από όσα βλέπει. Η ενίσχυση του ερεθίσματος, είναι η διαδικασία όπου ο εγκέφαλος μας δέχεται συνεχώς πάρα πολλές οπτικές πληροφορίες, αλλά δεν μπορεί να τις επεξεργαστεί όλες με την ίδια προσοχή. Όταν εστιάζουμε σε κάτι συγκεκριμένο, ο εγκέφαλος «δυναμώνει» τα σήματα που σχετίζονται με αυτό και «χαμηλώνει» τα υπόλοιπα. Η σύνδεση των χαρακτηριστικών είναι η διαδικασία συλλογής των χαρακτηριστικών του αντικείμενου και η δημιουργία νοητικού σχήματος στον εγκέφαλό μας. Η «κόλλα» αυτής της σύνδεσης είναι ουσιαστικά η προσοχή. Τέλος η αναγνώριση είναι το σημείο στο οποίο η οπτική πληροφορία αποκτά νόημα. Αυτό στο οποίο έχουμε στρέψει την προσοχή μας δεν είναι κάτι αόριστο αλλά συγκεκριμένο. Σύμφωνα με του Just and Carpenter (1980), εκεί σταματάει το βλέμμα εκεί γίνεται γνωστική επεξεργασία (eye-mind hypothesis).

Τεχνολογία Οφθαλμοκίνησης

Σύμφωνα με τους Poole and Ball (2006) οι σύγχρονες συσκευές παρακολούθησης του βλέμματος λειτουργούν κυρίως μέσω μιας τεχνικής που βασίζεται σε κάμερα υπέρυθρων και στην ανάκλαση του υπέρυθρου φωτός στον κερατοειδή χιτώνα και στην κόρη του ματιού. Η διαδικασία ξεκινά με μια πηγή αόρατου φωτός που φωτίζει το μάτι, δημιουργώντας μια μικρή λάμψη στην επιφάνειά του, η οποία χρησιμεύει ως σταθερό σημείο αναφοράς. Μια ειδική κάμερα καταγράφει συνεχώς τη σχετική απόσταση από το κέντρο της κόρης και το σημείο ανάκλασης του κερατοειδή και υπολογίζει την κατεύθυνση της ματιάς. Κατάλληλο λογισμικό μεταφέρει τις μεταβολές σε συγκεκριμένες συντεταγμένες πάνω στην οθόνη, προσδιορίζοντας με ακρίβεια το σημείο όπου εστιάζει ο χρήστης, ενώ παράλληλα επιτρέπει μια σχετική ελευθερία κινήσεων του κεφαλιού χωρίς να χάνεται η ακρίβεια της μέτρησης. Η τεχνολογία αυτή θεωρείται ιδιαίτερα πολύτιμη καθώς στηρίζεται στην υπόθεση ότι υπάρχει άμεση σύνδεση ανάμεσα στο βλέμμα και το μυαλό, δηλαδή στην παραδοχή ότι το αντικείμενο στο οποίο εστιάζει το μάτι μια συγκεκριμένη στιγμή ταυτίζεται με αυτό που επεξεργάζεται νοητικά ο άνθρωπος εκείνη την ώρα (Just & Carpenter, 1980).

Βασικοί δείκτες μελέτης οφθαλμοκίνησης



Μετρήσεις Καθηλώσεων (Fixation Metrics)

Οι καθηλώσεις αφορούν τα χρονικά διαστήματα όπου το βλέμμα παραμένει σταθερό σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Μέτρα καθήλωσης αποτελούν τα παρακάτω:

- Αριθμός Καθηλώσεων (Fixation Count): Καταγράφει το συνολικό πλήθος των στάσεων που έκανε το βλέμμα πάνω σε ένα ερέθισμα ή σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Διάρκεια Καθήλωσης (Fixation Duration): Μετρά το χρόνο (συνήθως σε ms) που διήρκεσε μια μεμονωμένη στάση του βλέμματος σε ένα σημείο.
- Συνολικός Χρόνος Καθήλωσης (Total Fixation Duration): Το άθροισμα της διάρκειας όλων των καθηλώσεων που πραγματοποιήθηκαν μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest - AOI).
- Χρόνος μέχρι την πρώτη καθήλωση (Time to First Fixation): Μετρά πόσος χρόνος μεσολάβησε από τη στιγμή που εμφανίστηκε το οπτικό ερέθισμα μέχρι το βλέμμα να σταματήσει για πρώτη φορά σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Μετρήσεις Μετακίνησης και Διαδρομής (Saccadic & Path Metrics)

Αφορούν τον τρόπο με τον οποίο τα μάτια κινούνται από το ένα σημείο στο άλλο. Αναφέρονται σε:

- Σακκαδικές Κινήσεις (Saccades): Μετρούν τις γρήγορες μεταπηδήσεις του βλέμματος ανάμεσα σε δύο διαδοχικές καθηλώσεις.
- Πλάτος Σακκαδικής Κίνησης (Saccadic Amplitude): Μετρά την απόσταση που διανύει το βλέμμα σε μία μετακίνηση (συνήθως σε μοίρες οπτικής γωνίας).
- Διαδρομή Σάρωσης (Scanpath): Καταγράφει την πλήρη οπτική αλληλουχία, δηλαδή τη σειρά (το "μονοπάτι") με την οποία το βλέμμα επισκέφθηκε διάφορα σημεία στο χώρο.
- Παλινδρομήσεις (Regressions): Καταγράφουν τις κινήσεις του βλέμματος που επιστρέφουν σε ένα σημείο το οποίο είχε ήδη εξεταστεί προηγουμένως.
- Μεταβάσεις (Transitions): Μετρούν πόσες φορές το βλέμμα μετακινήθηκε ανάμεσα σε δύο ή περισσότερες διακριτές περιοχές (π.χ. από την περιοχή Α στην περιοχή Β).

Μετρήσεις Κόρης (Pupillary Metrics)

Διαστολή της Κόρης (Pupil Dilation): Καταγράφει τις μεταβολές στη διάμετρο της κόρης του οφθαλμού κατά τη διάρκεια της έκθεσης στο ερέθισμα. Η διάμετρος της κόρης λειτουργεί ως δείκτης της νοητικής προσπάθειας. Όπως έδειξαν οι Kahneman and Beatty (1966), η κόρη του ματιού διαστέλλεται αναλογικά με την ποσότητα των πληροφοριών που υφίστανται ενεργή επεξεργασία, γεγονός που επιτρέπει στους ερευνητές να μετρούν το γνωστικό φορτίο και τη δυσκολία μιας εργασίας σε πραγματικό χρόνο.

Θερμικοί χάρτες (Heat maps)

Οι θερμικοί χάρτες είναι οπτικές αναπαραστάσεις που δείχνουν την αθροιστική κατανομή της προσοχής του χρήστη πάνω σε ένα ερέθισμα. Χρησιμοποιούν χρωματική κλίμακα, όπου τα θερμά χρώματα (κόκκινο, πορτοκαλί) υποδεικνύουν τα σημεία που δέχθηκαν τις περισσότερες ή τις μεγαλύτερης διάρκειας καθήλωση του βλέμματος, ενώ τα ψυχρά χρώματα (πράσινο, μπλε) δείχνουν περιοχές που παρατηρήθηκαν λιγότερο. Είναι το ιδανικό εργαλείο για να αναγνωρίσουμε άμεσα



ποια στοιχεία ενός διαγράμματος ή μιας σελίδας είναι πιο ελκυστικά ή κυρίαρχα οπτικά.

Διαδρομές Σάρωσης (Scan Paths)

Οι διαδρομές σάρωσης αναπαριστούν τη γραμμική και χρονική πορεία της ματιάς ενός χρήστη. Αποτελούνται από κύκλους, που συμβολίζουν τις καθηλώσεις (fixations), και ευθείες γραμμές που τους συνδέουν, οι οποίες συμβολίζουν τις γρήγορες κινήσεις των ματιών (saccades). Το μέγεθος κάθε κύκλου αντιστοιχεί στη διάρκεια της παραμονής του βλέμματος σε εκείνο το σημείο, ενώ η αρίθμηση τους δείχνει τη σειρά με την οποία εξερευνήθηκε η πληροφορία. Οι διαδρομές σάρωσης είναι απαραίτητες για να κατανοήσουμε τη στρατηγική που ακολουθεί κάποιος κατά την επίλυση ενός προβλήματος ή την ανάγνωση ενός σύνθετου γραφήματος.

Στατική και Μεταβατική Εντροπία ως Δείκτης Κατανομής Προσοχής

Η στατική εντροπία αποτελεί έναν δείκτη που περιγράφει τη συνολική κατανομή της προσοχής του χρήστη στον χώρο, λειτουργώντας ως μέτρο της διασποράς της καθήλωσης μεταξύ των διαθέσιμων περιοχών ενδιαφέροντος (Krejtz et al., 2015). Όταν η τιμή της στατικής εντροπίας είναι υψηλή η οπτική προσοχή μοιράστηκε ισομερώς στις διάφορες περιοχές, γεγονός που υποδηλώνει εκτεταμένη εξερευνητική συμπεριφορά ή μια κατάσταση αβεβαιότητας κατά την επεξεργασία των ερεθισμάτων. Αντίθετα, μια χαμηλή τιμή υποδεικνύει ότι ο χρήστης εστίασε επιλεκτικά σε μία ή πολύ λίγες περιοχές, αγνοώντας τις υπόλοιπες πληροφορίες.

Η μεταβατική εντροπία επικεντρώνεται στη δυναμική της οπτικής διαδρομής, εξετάζοντας πόσο προβλέψιμη ή χασοτική είναι η σειρά με την οποία το μάτι μετακινείται από τη μία περιοχή στην άλλη (Krejtz et al., 2015). Υψηλή τιμή μεταβατικής εντροπίας φανερώνει μια τυχαία και λιγότερο οργανωμένη στρατηγική σάρωσης, όπου οι εναλλαγές της ματιάς δεν ακολουθούν κάποιο σταθερό μοτίβο, στοιχείο που συχνά συνδέεται με αυξημένο γνωστικό φορτίο ή δυσκολία στην εύρεση της πληροφορίας. Στον αντίποδα, η χαμηλή μεταβατική εντροπία αντικατοπτρίζει μια συστηματική και δομημένη οπτική πορεία, όπου οι μεταβάσεις μεταξύ των περιοχών επαναλαμβάνονται με σταθερότητα, υποδηλώνοντας μια πιο αποτελεσματική και ξεκάθαρη στρατηγική αναζήτησης.

Θεωρητικές Αρχές και Σχεδιασμός Δοκιμασίας

Ξεκινώντας από τη θεωρία του Sweller, δόθηκε προτεραιότητα στην αποφυγή υπερφόρτωσης της μνήμης εργασίας των μαθητών. Στο πλαίσιο αυτό, αξιοποιήθηκαν οι αρχές πολυμεσικής μάθησης του Mayer, ώστε να σχεδιαστεί μια δοκιμασία στην οποία η θεωρία, το διάγραμμα και η ερώτηση παρουσιάζονται σε χωρική εγγύτητα, διασφαλίζοντας την αρχή της χωρικής συνάφειας.

Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός αποσκοπούσε στην αποδέσμευση γνωστικών πόρων, προκειμένου οι μαθητές να μπορέσουν να εμπλακούν αποτελεσματικά στα τρία στάδια επεξεργασίας που προτείνουν οι Carpenter και Shah: την αναγνώριση μοτίβου, τη σύνδεση των μεταβλητών και την τελική ερμηνεία. Για τον λόγο αυτό, διαμορφώθηκαν τρεις ερωτήσεις, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα από τα παραπάνω επίπεδα.

Για τη διερεύνηση της διαδικασίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν δύο συμπληρωματικά εργαλεία: (α) η τεχνολογία ανίχνευσης βλέμματος (eye-tracking), για την καταγραφή της οπτικής προσοχής, και (β) η ηχογράφηση των αυθόρμητων προφορικών



απαντήσεων των μαθητών, ώστε να καταγραφεί η σκέψη τους χωρίς τους περιορισμούς κλειστών τύπων ερωτήσεων.

Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η διερεύνηση της πορείας επεξεργασίας της πληροφορίας, αποκαλύπτοντας εάν οι μαθητές αντλούν πληροφορίες κυρίως από τη θεωρία ή από το διάγραμμα, και φωτίζοντας τη γνωστική διαδρομή που ακολουθούν κατά την ερμηνεία.



Η οφθαλμοκίνηση στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η παρούσα βιβλιογραφική ανασκόπηση πραγματοποιήθηκε με σκοπό τον αρχικό προσανατολισμό της ερευνητικής διαδικασίας, την ανίχνευση υφιστάμενων ερευνητικών τάσεων και τη διαμόρφωση κατάλληλου θέματος και μεθοδολογικής προσέγγισης σχετικά με τη χρήση της οφθαλμοκίνησης (eye tracking) στον χώρο της εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών. Η αναζήτηση του σχετικού επιστημονικού υλικού διεξήχθη στη διεθνώς αναγνωρισμένη βάση δεδομένων Scopus, αξιοποιώντας ως βασικούς όρους αναζήτησης τις λέξεις-κλειδιά “eye tracking” και “science education” συνδεδεμένους με τον λογικό τελεστή AND. Η επιλογή των συγκεκριμένων όρων στόχευε στον εντοπισμό ερευνών που συνδέουν τη μελέτη της οφθαλμοκίνησης με τις φυσικές επιστήμες, προκειμένου να διερευνηθούν οι τρόποι αξιοποίησης της τεχνολογίας αυτής στη διδακτική και μαθησιακή διαδικασία και στη μελέτη της γνωστικής εμπλοκής των μαθητών.

Η αρχική αναζήτηση απέδωσε 58 δημοσιεύσεις. Για την επιλογή των κειμένων εφαρμόστηκαν κριτήρια συνάφειας, εστίασης και θεματικού προσανατολισμού. Συγκεκριμένα, αποκλείστηκαν άρθρα που επικεντρώνονταν αποκλειστικά στη διδασκαλία των μαθηματικών, καθώς και μελέτες που πραγματοποίησαν συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ εικονικής πραγματικότητας και άλλων τεχνολογικών μέσων, λόγω περιορισμένης συνάφειας με τον κεντρικό στόχο της παρούσας ανασκόπησης. Μετά την εφαρμογή των κριτηρίων αποκλεισμού και την προσεκτική εξέταση της περιληψης και του πλήρους κειμένου των προτεινόμενων μελετών, επιλέχθηκαν τελικά 19 άρθρα προς ανάλυση, εκ των οποίων τα δύο είχαν τη μορφή συστηματικών ανασκοπήσεων. Η ανάλυση των επιλεγμένων μελετών συνέβαλε στον εντοπισμό βασικών θεματικών αξόνων, μεθοδολογικών επιλογών και ερευνητικών κενών, στοιχεία τα οποία αξιοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση του πλαισίου και των πιθανών κατευθύνσεων της υπό εξέταση εργασίας. Η παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση επέτρεψε την καταγραφή της υπάρχουσας γνώσης και των σύγχρονων τάσεων στον τομέα, διασφαλίζοντας τη σύνδεση της παρούσας έρευνας με τεκμηριωμένα ευρήματα και δοκιμασμένες πρακτικές.

Οι έρευνες για την ανίχνευση της οφθαλμοκίνησης στην εκπαίδευση φυσικών επιστημών επικεντρώνονται κυρίως σε μαθησιακά περιβάλλοντα και καλύπτουν θέματα όπως οι ατομικές διαφορές μεταξύ συμμετεχόντων, οι διδακτικές μέθοδοι, οι διαδικασίες επιστημονικής συλλογιστικής, η επίδραση διαφορετικών μαθησιακών περιβαλλόντων, η συνεργατική μάθηση, τα κίνητρα και το ενδιαφέρον για μάθηση, καθώς και ο ρόλος των συναισθημάτων στην κατανόηση επιστημονικών κειμένων (Guan et al., 2025). Για την αποτίμηση της προσοχής των μαθητών και του γνωστικού τους φόρτου χρησιμοποιούνται κυρίως δείκτες από την ιχνηλάτηση οφθαλμικών κινήσεων, όπως ο χρόνος καθήλωσης του βλέμματος, ο συνολικός χρόνος παραμονής και τα μοτίβα μετακίνησης του βλέμματος (Τόθονά & Rusek, 2025).

Η μελέτη των Harsh et al. (2019) ασχολήθηκε με τον τρόπο με τον οποίο άτομα διαφορετικών επιπέδων επιστημονικής εξειδίκευσης, από φοιτητές χωρίς υπόβαθρο φυσικών επιστημών μέχρι επαγγελματίες στις θετικές επιστήμες, διαβάζουν και ερμηνεύουν γραφήματα. Οι ερευνητές θέλησαν να κατανοήσουν όχι μόνο τις διαφορές ανάμεσα σε ειδικούς και αρχάριους, αλλά και πώς αυτές εξελίσσονται σταδιακά μέσα από τη μαθησιακή πορεία και την απόκτηση εμπειρίας. Για να το διερευνήσουν, χρησιμοποίησαν δεδομένα από την παρακολούθηση των οφθαλμικών κινήσεων των συμμετεχόντων, καθώς και συνεντεύξεις. Οι δείκτες οφθαλμοκίνησης που συλλέχθηκαν ήταν: ο συνολικός αριθμός καθηλώσεων και ο συνολικός χρόνος



καθηλώσεων μέσα στα όρια κάθε περιοχής ενδιαφέροντος, καθώς και ο συνολικός αριθμός και η σειρά των οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ των περιοχών ενδιαφέροντος. Οι δείκτες αυτοί αξιοποιήθηκαν για την αποτύπωση τόσο του σημείου εστίασης της προσοχής των συμμετεχόντων όσο και του τρόπου με τον οποίο κατηύθυναν την προσοχή τους κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων με γραφήματα. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να ερμηνεύσουν γραφήματα που σχετιζόνταν με επιστημονικές πληροφορίες από καθημερινές πηγές, όπως ιατρικά φυλλάδια. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η μελέτη εξέτασε τις στρατηγικές τις οποίες χρησιμοποιούν οι διαφορετικές ομάδες για να βρουν ουσιαστικές πληροφορίες και να πάρουν αποφάσεις. Στόχος δεν ήταν να αποδειχθεί ότι οι ειδικοί έχουν δεξιότητες οι οποίες λείπουν από τους αρχάριους, αλλά να εντοπιστούν οι διαφορές που προκύπτουν από την επιστημονική εκπαίδευση και που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στη διδασκαλία. Η μελέτη έδειξε ότι το επίπεδο επιστημονικής εξειδίκευσης επηρεάζει ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι κοιτάζουν και ερμηνεύουν γραφήματα. Οι λιγότερο έμπειροι, όπως οι φοιτητές εκτός επιστημονικών κλάδων, αφιέρωναν περισσότερο χρόνο κοιτάζοντας την εκφώνηση της ερώτησης και λιγότερο χρόνο στα δεδομένα, τις μεταβλητές, τον τίτλο και τον υπόμνημα του γραφήματος. Αντίθετα, οι πιο έμπειροι, όπως τα μέλη ΔΕΠ και οι επαγγελματίες STEM, εστίαζαν γρηγορότερα και περισσότερο στα ουσιαστικά στοιχεία του γραφήματος, ακολουθώντας μια πιο στοχευμένη και οργανωμένη στρατηγική ανάγνωσης. Παρατηρήθηκε επίσης, ότι, οι αρχάριοι είχαν πιο αποσπασματικές και τυχαίες οφθαλμικές κινήσεις, ενώ οι ειδικοί κατεύθυναν το βλέμμα τους με μεγαλύτερη συνέπεια στα σημαντικά μέρη. Αν και οι διαφορές ανά τύπο γραφήματος δεν ήταν πάντοτε στατιστικά σημαντικές, η γενική τάση έδειξε πως η αύξηση της εμπειρίας συνδέεται με πιο ουσιαστική εστίαση στα κρίσιμα σημεία. Όταν μάλιστα τα στοιχεία όπως οι μεταβλητές, οι τίτλοι και τα υπομνήματα εξετάστηκαν ως ενιαία κατηγορία, προέκυψαν σημαντικές διαφορές, με τους ειδικούς να αφιερώνουν περισσότερο χρόνο και προσοχή εκεί.

Στην έρευνα των Ho et al. (2014) διερευνήθηκε ο τρόπος με τον οποίο τελειόφοιτοι φοιτητές από διάφορες ειδικότητες και με διαφορετικά επίπεδα προϋπάρχουσας γνώσης (με τεστ πριν την παρέμβαση) επεξεργάζονται κείμενο και διαγράμματα σε διαδικτυακές επιστημονικές αναφορές. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν την τεχνική ιχνηλάτησης οφθαλμικών κινήσεων, ώστε να κατανοήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές κατανέμουν την προσοχή τους και πώς συνδυάζουν πληροφορίες από κείμενο και γραφήματα. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές όρισαν συνολικά εννέα περιοχές ενδιαφέροντος (Areas of Interest - AOs), πέντε για το κείμενο και τέσσερις για τα διαγράμματα. Για κάθε περιοχή ενδιαφέροντος συλλέχθηκαν τέσσερις βασικοί δείκτες οφθαλμοκίνησης: ο συνολικός χρόνος ανάγνωσης, η συνολική διάρκεια καθηλώσεων, ο αριθμός παλινδρομήσεων και ο αριθμός μεταβάσεων μεταξύ των περιοχών ενδιαφέροντος. Οι δείκτες αυτοί αξιοποιήθηκαν με σκοπό να διερευνηθεί ο βαθμός προσοχής των συμμετεχόντων, η γνωστική επεξεργασία του υλικού και ο τρόπος με τον οποίο συνέδεαν τις πληροφορίες ανάμεσα στο κείμενο και τα γραφικά. Η μελέτη έδειξε ότι όλοι οι μαθητές δίνουν περισσότερη προσοχή στο κείμενο παρά στα διαγράμματα, αλλά ο τρόπος με τον οποίο το κάνουν εξαρτάται από το επίπεδο προϋπάρχουσας γνώσης τους. Οι μαθητές με χαμηλή γνώση βασίζονται κυρίως στο κείμενο και δυσκολεύονται να ερμηνεύσουν ή να συνδυάσουν τις πληροφορίες των γραφικών παραστάσεων. Αντίθετα, οι μαθητές με υψηλότερη γνώση είναι σε θέση να συνδυάζουν το κείμενο με τα γραφήματα και να συγκρίνουν δεδομένα μεταξύ διαφορετικών διαγραμμάτων. Αυτό δείχνει ότι η αποτελεσματική ανάγνωση επιστημονικών αναφορών απαιτεί σχετική εμπειρία ή γνώση και επιπλέον οι μαθητές



με χαμηλή εξειδίκευση χρειάζονται περισσότερη υποστήριξη για να αξιοποιήσουν συνδυαστικά το κείμενο και τα γραφήματα.

Στην μελέτη των Klein et al. (2021) εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι φοιτητές (Γερμανοί και Κροάτες) από διαφορετικά γνωστικά πεδία (φυσική, ψυχολογία, οικονομικά) κατανοούν τα διαγράμματα γραμμών, χρησιμοποιώντας την τεχνική της ιχνηλάτησης οφθαλμικών κινήσεων. Οι ερευνητές συνέκριναν την απόδοση φοιτητών φυσικής, ως ειδικών, με φοιτητές ψυχολογίας και οικονομικών, ως μη ειδικών, σε προβλήματα που αφορούσαν την κλίση και το εμβαδόν κάτω από μια καμπύλη. Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν δείκτες όπως ο συνολικός αριθμός καθηλώσεων, ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, ο συνολικός αριθμός οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, καθώς και η εμφάνιση μικροσάκκαδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φοιτητές φυσικής είχαν καλύτερη απόδοση σε όλες τις έννοιες, αλλά δυσκολεύονταν να μεταφέρουν αυτήν την ικανότητα σε ισάξιο βαθμό σε προβλήματα άλλου πεδίου, όπως η χρηματοοικονομική.

Στην έρευνα των Ban et al. (2024) οι ερευνητές συνέλεξαν δεδομένα οπτικής προσοχής μέσω οφθαλμοκίνησης, αποτελέσματα από τεστ κατανόησης επιστημονικού άρθρου (PSL), και αυτοαναφερόμενες βαθμολογίες στρατηγικών ανάγνωσης μέσω του ερωτηματολογίου *PSL Strategies Assessment* σε φοιτητές Βιολογίας. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων επέτρεψε τη διερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στον τρόπο με τον οποίο οι φοιτητές κατανέμουν την προσοχή τους κατά την ανάγνωση, στις στρατηγικές που δηλώνουν ότι χρησιμοποιούν και στα αποτελέσματα κατανόησης που επιτυγχάνουν. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε αν οι φοιτητές που αναφέρουν υψηλότερα επίπεδα στρατηγικής ανάγνωσης παρουσιάζουν διαφορετικά μοτίβα οπτικής προσοχής και αν αυτά τα μοτίβα συνδέονται με καλύτερη κατανόηση του κειμένου. Οι δείκτες οφθαλμοκίνησης που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη περιλάμβαναν τον συνολικό αριθμό καθηλώσεων, τον συνολικό χρόνο καθηλώσεων, καθώς και τις οφθαλμικές μεταβάσεις μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, ενώ εξετάστηκε και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνταν οι μεταβάσεις αυτές από τους συμμετέχοντες. Η μελέτη έδειξε ότι οι φοιτητές με υψηλότερες αυτοαναφερόμενες στρατηγικές ανάγνωσης πέτυχαν καλύτερα αποτελέσματα κατανόησης. Οι φοιτητές της “υψηλής” ομάδας αφιέρωσαν περισσότερη οπτική προσοχή στα αποτελέσματα και συνέδεσαν ενεργά το κείμενο με τα γραφήματα, κάτι που δεν παρατηρήθηκε στην “χαμηλή” ομάδα. Η μελέτη τονίζει τη σημασία της οπτικής προσοχής και προτείνει την ενίσχυση της διδασκαλίας στρατηγικών ανάγνωσης επιστημονικών κειμένων.

Στη μελέτη των Fleischer et al. (2023), 10 μαθητές με μέσο όρο ηλικίας 14,5 χρόνων εκτέλεσαν ένα πείραμα ηλεκτρόλυσης διαλύματος ιωδιδίου ψευδαργύρου χρησιμοποιώντας διαδοχικά ψηφιακά βοηθήματα για την υποστήριξη της προετοιμασίας. Το πείραμα χωρίστηκε σε δύο στάδια: αρχικά μερική προετοιμασία μέσω επαυξημένης πραγματικότητας και στη συνέχεια πλήρης προετοιμασία. Κατά τη διαδικασία, η οπτική προσοχή των μαθητών καταγράφηκε με φορητά γυαλιά παρακολούθησης οφθαλμοκίνησης, ώστε να αναλυθούν τα μοτίβα χρήσης των βοηθημάτων (hints) και η μετακίνηση του βλέμματος μεταξύ τους και του πειράματος. Στην ανάλυση μετρήθηκαν οι δείκτες οφθαλμοκίνησης, δηλαδή ο συνολικός αριθμός καθηλώσεων, ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, ο συνολικός αριθμός οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και η σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, κατά τη διάρκεια της αλλαγής του βλέμματος από τα βοηθήματα στο πείραμα, ξεκινώντας με τη χρήση του βοηθήματος και σταματώντας με την ολοκλήρωση της ρύθμισης του πειράματος. Οι περισσότεροι μαθητές πρώτα παρατηρούσαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία στα βοηθήματα και στη συνέχεια προχωρούσαν στην πρακτική εγκατάσταση του πειράματος, χωρίς συνεχείς εναλλαγές



βλέμματος. Ένας μαθητής αποτέλεσε εξαίρεση, καθώς δεν κατάλαβε πώς να στήσει το πείραμα και χρησιμοποίησε τα βοηθήματα επαναλαμβανόμενα. Τα δεδομένα παρακολούθησης οφθαλμοκίνησης και οι συνεντεύξεις έδειξαν ότι οι μαθητές κατανόησαν τα βοηθήματα και τα χρησιμοποίησαν σωστά για τη στήριξη και τον έλεγχο της εγκατάστασης. Η μελέτη δείχνει ότι τα διαδοχικά βοηθήματα με επαυξημένη πραγματικότητα μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά την αυτοκατευθυνόμενη μάθηση σε πειράματα επιστημονικών εργαστηρίων.

Η πιλοτική έρευνα των Upadhyaya et al. (2023) εξέτασε κατά πόσο η πλατφόρμα Learnweb μπορεί να παρακολουθήσει τη συμπεριφορά των φοιτητών κατά την αναζήτηση πληροφοριών σε πλατφόρμες κοινωνικής δικτύωσης, με στόχο να αξιολογηθεί η χρησιμότητα αυτών των δεδομένων για την έρευνα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και της εκπαίδευσης σχετικά με την κλιματική αλλαγή. Η Learnweb είναι ένα ψηφιακό περιβάλλον μάθησης που παρέχει στους χρήστες δυνατότητα αναζήτησης, οργάνωσης και κοινοποίησης αυθεντικών διαδικτυακών πηγών, όπως βίντεο από το YouTube, σε μαθησιακό πλαίσιο. Εγινε καταγραφή του συνολικού αριθμού καθηλώσεων, του συνολικού χρόνου καθηλώσεων, του συνολικού αριθμού οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και της σειράς οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, δείχνοντας τη σειρά με την οποία οι φοιτητές κοιτούσαν τον τίτλο του βίντεο, την περιγραφή της πηγής, τα σχόλια και τα προτεινόμενα βίντεο. Τα δεδομένα έδειξαν ότι η πλατφόρμα μπορεί να παρακολουθεί την αναζήτηση πληροφοριών, τους όρους αναζήτησης και τα βίντεο που είδαν οι μαθητές, ενώ η παρακολούθηση της οφθαλμοκίνησης και οι χάρτες θερμότητας έδωσαν εικόνα των στοιχείων της πλατφόρμας στα οποία εστίασαν. Οι αλληλεπιδράσεις με χαρακτηριστικά κοινωνικής δικτύωσης και η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των βίντεο καταγράφηκαν μέσω κλικ, κινήσεων του δείκτη και σχολίων των μαθητών. Η πιλοτική έρευνα έδειξε ότι η πλατφόρμα μπορεί να υποστηρίξει την έρευνα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και στην εκπαίδευση για την κλιματική αλλαγή, ενώ ανέδειξε επιπλέον μεθοδολογικές ανάγκες και επισημάνθηκε ότι η ακρίβεια της παρακολούθησης της οφθαλμοκίνησης μέσω κάμερας εξαρτάται από τις συνθήκες φωτισμού.

Η μελέτη των Tóthonyá and Rusek (2022) βασίστηκε σε μικτή μεθοδολογία και είχε προπειραματικό σχεδιασμό, με συμμετοχή πρωτοετών μεταπτυχιακών φοιτητών χημείας και τριών ειδικών στη διδακτική της χημείας. Οι φοιτητές έλυσαν προβλήματα χημείας και γενικών επιστημών, ενώ καταγραφόταν η οφθαλμοκίνησή τους, και στη συνέχεια εφαρμόστηκε η αναστοχαστική μέθοδος ομιλούντων υποκειμένων και ημιδομημένες συνεντεύξεις για την κατανόηση των νοητικών διαδικασιών τους. Για την ανάλυση της διαδικασίας επίλυσης της εργασίας των συμμετεχόντων μετρήθηκαν ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων και η αναλογία χρόνου καθηλώσεων σε προκαθορισμένες περιοχές ενδιαφέροντος, που περιλάμβαναν την ίδια την εργασία, την περιοχή επιλογής απαντήσεων, τα οπτικά μέρη και τα συμφραζόμενα ή πληροφορίες, προκειμένου να εκτιμηθεί η προσοχή και η στρατηγική επίλυσης των συμμετεχόντων. Τα δεδομένα έδειξαν ότι οι ειδικοί ήταν πιο αποδοτικοί, χρειάστηκαν λιγότερο χρόνο για να λύσουν τα προβλήματα και εστίασαν στα κρίσιμα σημεία των εργασιών. Οι επιτυχημένοι φοιτητές αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο και προσοχή στην επίλυση, όπως οι ειδικοί, οδηγώντας σε σωστά αποτελέσματα, ενώ οι ανεπιτυχείς φοιτητές προσπάθησαν να δώσουν γρήγορες λύσεις, αφιερώνοντας χρόνο παρόμοιο με των ειδικών αλλά χωρίς επιτυχία. Συμπερασματικά, η παρακολούθηση της οφθαλμοκίνησης και οι συνεντεύξεις κατέδειξαν ότι η προσεκτική εστίαση και η αφοσίωση χρόνου σχετίζονται με καλύτερη κατανόηση και επιτυχή επίλυση επιστημονικών προβλημάτων.



Στη μελέτη των Lämsä et al. (2022) εξετάστηκε η συλλογική κατασκευή γνώσης (collaborative knowledge construction) σε περιβάλλον μάθησης με προσομοιώσεις, χρησιμοποιώντας συνδυασμένη ανάλυση βίντεο και παρακολούθηση οφθαλμοκίνησης για να κατανοηθεί πώς οι φοιτητές εστιάζουν την προσοχή τους και συνεργάζονται κατά τη μάθηση. Η μελέτη ανέδειξε ένα κενό στη βιβλιογραφία, καθώς ελάχιστες προηγούμενες έρευνες είχαν διερευνήσει τη συλλογική κατασκευή γνώσης σε συνδυασμό με παρακολούθηση οφθαλμοκίνησης. Οι μετρούμενοι δείκτες οφθαλμοκίνησης ήταν ο συνολικός αριθμός καθηλώσεων, ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, ο συνολικός αριθμός οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και η σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος σε προκαθορισμένες περιοχές ενδιαφέροντος, αποκλείοντας τις καθηλώσεις εκτός οθόνης και τις περιοχές που σπάνια προσέλκυαν την προσοχή των μαθητών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ακόμη και κατά τις στιγμές σιωπής ή μη σχετικού λόγου, το βλέμμα των μαθητών αποκάλυπτε τις μαθησιακές τους δραστηριότητες. Επιπλέον, η παρατήρηση του βλέμματος ανέδειξε τον τρόπο που επέλεγαν για να οικοδομήσουν γνώση σχετικά με φυσικά φαινόμενα, καθώς και τις περιπτώσεις όπου δεν επιχειρούσαν να συλλέξουν υποστηρικτικά ή αντιθετικά στοιχεία για τις αρχικές τους ιδέες. Συνολικά, η συμπεριφορά του βλέμματος παρείχε πολύτιμες πληροφορίες για την ποσότητα, την ποιότητα και τη χρονική διάσταση της συλλογικής μάθησης, υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό παιδαγωγικών πρακτικών στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και τον τρόπο καθοδήγησης της συλλογικής μάθησης.

Στην έρευνα των Li et al. (2022) εξετάστηκε ο τρόπος με τον οποίο οι υποψήφιοι εκπαιδευτικοί φυσικής πραγματοποιούν προβλέψεις και πώς η διαδικασία αυτή αντικατοπτρίζει τη παιδαγωγική τους γνώση περιεχομένου. Συγκεκριμένα, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να επιλύσουν προβλήματα φυσικής πολλαπλής επιλογής υπό δύο διαφορετικές συνθήκες. Στην πρώτη, τη συνθήκη χωρίς πρόβλεψη (nonprediction condition), οι συμμετέχοντες έλυναν τα προβλήματα από τη δική τους οπτική, ενώ στη δεύτερη, τη συνθήκη πρόβλεψης (prediction condition), τους ζητήθηκε να προβλέψουν πώς πιθανότατα θα τα έλυναν οι μαθητές. Για να εντοπιστούν οι διαφορές στη γνωστική και οπτική τους συμπεριφορά, εφαρμόστηκε τεχνολογία ανίχνευσης κίνησης των ματιών, η οποία κατέγραψε δείκτες όπως ο χρόνος καθήλωσης και η πορεία του βλέμματος. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες ανάλογα με τις προβλέψεις τους: εκείνους που θεωρούσαν ότι οι μαθητές θα απαντούσαν σωστά (θετική πρόβλεψη) και εκείνους που θεωρούσαν ότι οι μαθητές θα απαντούσαν λανθασμένα (αρνητική πρόβλεψη). Τέλος, διερευνήθηκε αν οι επιτυχημένοι και οι μη επιτυχημένοι λύτες διαφοροποιούνταν ως προς τον τρόπο επίλυσης των προβλημάτων στη συνθήκη χωρίς πρόβλεψη, με στόχο την κατανόηση των διαφορών στη γνωστική επεξεργασία και στην οπτική προσοχή μεταξύ των ομάδων. Οι περιοχές ενδιαφέροντος που ορίστηκαν ήταν η περιοχή της ερώτησης, η οποία περιλάμβανε το κείμενο και το γράφημα, οι περιοχές των πέντε επιλογών απάντησης, η περιοχή της σωστής απάντησης και η περιοχή των λανθασμένων απαντήσεων. Οι μετρούμενοι δείκτες οφθαλμοκίνησης περιλάμβαναν τον συνολικό χρόνο καθηλώσεων σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος, τον αριθμό επισκέψεων σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος και την ανάλυση της πορείας του βλέμματος (scan path) για κάθε περιοχή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι υποψήφιοι εκπαιδευτικοί στις δύο συνθήκες (πρόβλεψης και χωρίς πρόβλεψη) διέφεραν στον τρόπο απόκρισής τους. Συγκεκριμένα, όσοι συμμετείχαν στη συνθήκη πρόβλεψης εστίαζαν την προσοχή τους σε διαφορετικές περιοχές του προβλήματος και έκαναν διαφορετικές εκτιμήσεις για τις επιδόσεις των μαθητών. Τα αποτελέσματα των προβλέψεών τους συνδέθηκαν με



την ικανότητά τους να αντιλαμβάνονται τις ιδέες των μαθητών, γεγονός που αντανακλά το επίπεδο της διδακτικής τους γνώσης περιεχομένου.

Η έρευνα των Nahlik and Daubenmire (2022) είχε στόχο να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο οι φοιτητές προσεγγίζουν προβλήματα εισαγωγικής χημείας, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της καταγραφής της οφθαλμοκίνησης ως πιο αντικειμενικό και λιγότερο παρεμβατικό μέσο καταγραφής της σκέψης τους. Στο πρώτο πείραμα, 25 φοιτητές και 7 διδάσκοντες απάντησαν σε τέσσερα προβλήματα γενικής χημείας, ενώ καταγραφόταν η οφθαλμοκίνηση τους και παράλληλα τηρήθηκε πρωτόκολλο ομιλούντων υποκειμένων. Στόχος ήταν η σύγκριση προτύπων οπτικής προσοχής μεταξύ φοιτητών και ειδικών. Στο δεύτερο πείραμα, 18 φοιτητές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες με διαφορετικά εποπτικά εργαλεία (περιοδικός πίνακας και παραλλαγές του) και έλυσαν προ- και μετα-τεστ πέντε ερωτήσεων για τις περιοδικές τάσεις, ενώ καταγραφόταν η οφθαλμοκίνησή τους για ανάλυση στρατηγικών επίλυσης. Για την ανάλυση των δεδομένων υπολογίστηκαν η σταθερή εντροπία και η εντροπία μεταβάσεων για να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα και η πολυπλοκότητα της οφθαλμικής κίνησης των συμμετεχόντων μεταξύ των περιοχών ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ανάλυση εντροπίας μπορεί να αναδείξει σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων συμμετεχόντων, ανάλογα με το είδος της ερώτησης και το επίπεδο εμπειρίας τους. Επιπλέον, η εντροπία, σε συνδυασμό με οπτικοποιήσεις όπως heat maps, προσφέρει ένα επιπλέον εργαλείο για στατιστικές συγκρίσεις και πιο βαθιά κατανόηση των στρατηγικών επίλυσης προβλημάτων, συμπληρώνοντας τις παραδοσιακές μετρήσεις της οφθαλμοκίνησης, όπως οι μετρήσεις καθήλωσης.

Η έρευνα των Zang et al. (2022) εξέτασε τις διαφορές στην οπτική προσοχή και τις γνωστικές διαδικασίες μεταξύ μαθητών ηλικίας 12-13 χρόνων, υψηλής και χαμηλής επίδοσης στις φυσικές επιστήμες, χρησιμοποιώντας μια αξιολόγηση επίλυσης προβλημάτων με δραστηριότητες και οφθαλμοκίνηση. Συμμετείχαν δεκατρείς μαθητές υψηλής και δεκατέσσερις χαμηλής επίδοσης, οι οποίοι ολοκλήρωσαν τρεις ενότητες: επιλογή εξοπλισμού, σχεδίαση πειράματος και κατασκευή πειραματικού μοντέλου. Για την ανάλυση καταγράφηκαν η συνολική διάρκεια ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, η μέση διάρκεια καθηλώσεων, το ποσοστό διάρκειας καθηλώσεων και η τυποποιημένη τιμή της διαμέτρου της κόρης των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές υψηλής επίδοσης είχαν καλύτερη συνολική απόδοση, μεγαλύτερη διάρκεια καθήλωσης και μέση διάρκεια καθήλωσης, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη συγκέντρωση και βαθύτερη επεξεργασία πληροφοριών, ενώ οι μαθητές χαμηλής επίδοσης ήταν πιο ευάλωτοι σε εξωτερικούς περισπασμούς. Επιπλέον, οι μαθητές υψηλής επίδοσης παρουσίασαν μικρότερο αριθμό καθηλώσεων αλλά μεγαλύτερη διάρκειά τους, γεγονός που συνδέεται με πιο ουσιαστική γνωστική επεξεργασία και χρήση ήδη διαμορφωμένων νοητικών μοντέλων για την επίλυση των προβλημάτων. Η διάμετρος της κόρης ήταν υψηλότερη στην ομάδα υψηλής επίδοσης, δείχνοντας μεγαλύτερη επένδυση γνωστικού κόστους σε απαιτητικές δραστηριότητες, ιδιαίτερα στην τρίτη ενότητα, αν και δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων σε αυτό το στάδιο, καθώς και οι δύο ομάδες κατέβαλαν μεγαλύτερη προσπάθεια.

Η έρευνα των Pavlin and Slarnicar (2021) πραγματοποιήθηκε με στόχο τη μελέτη των μετρήσεων οφθαλμοκίνησης Σλοβένων μαθητών διαφορετικών εκπαιδευτικών βαθμίδων (δημοτικού, λυκείου και πανεπιστημίου) κατά την επίλυση ενός προβλήματος με μακροσκοπικές και υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Συνολικά συμμετείχαν 79 μαθητές ηλικίας 12, 16 και 23 ετών αντίστοιχα, όλοι φυσικοί ομιλητές της σλοβενικής, με φυσιολογική ή διορθωμένη όραση. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με



ανάλυση των περιοχών ενδιαφέροντος (AOIs) στην οθόνη, ενώ ελήφθη υπόψη και η αντιλαμβανόμενη δυσκολία του προβλήματος, οι ικανότητες οπτικοποίησης και το επίπεδο λογικής σκέψης με το τεστ TOLT. Για την ανάλυση καταγράφηκαν ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, ο αριθμός επισκέψεων σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος, η διάμετρος της κόρης και οι οφθαλμικές μεταβάσεις μεταξύ καθηλώσεων των συμμετεχόντων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το εκπαιδευτικό επίπεδο επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο παραμονής στη μακροσκοπική αναπαράσταση, καθώς οι μεγαλύτεροι σε ηλικία φοιτητές επεξεργάζονται τα οικεία ερεθίσματα ταχύτερα. Αντίθετα, δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση για τις υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις. Επιπλέον, υπήρξαν διαφορές στη διάμετρο της κόρης του ματιού, δείχνοντας διαφορετικά επίπεδα γνωστικού φόρτου ανά ηλικιακή ομάδα. Η υποκειμενική αντίληψη της δυσκολίας του προβλήματος δεν σχετίστηκε με τα αποτελέσματα της οφθαλμοκίνησης, ενώ οι ικανότητες οπτικοποίησης δεν επηρέασαν τον τρόπο παρατήρησης των AOIs. Τέλος, οι επιδόσεις στη δοκιμασία λογικής σκέψης (TOLT) συσχετίστηκαν με τον χρόνο και τις επιστροφές στις μακροσκοπικές περιοχές, καθώς και με τη διάμετρο της κόρης, υποδεικνύοντας συσχέτιση μεταξύ τους.

Στην έρευνα των Jin and Yu (2019) αναλύθηκε η σχέση που υπάρχει μεταξύ μαθητών που έχουν πετύχει γνωστική σύγκρουση και αυτών που δεν έχουν πετύχει. Πραγματοποιήθηκε πείραμα όπου συμμετέχοντες έπρεπε να απαντήσουν για τον λόγο ύπαρξης των εποχών το οποίο είναι ένα πεδίο όπου υπάρχουν πολλές παρανοήσεις. Οι συμμετέχοντες ήταν απόφοιτοι όπου μετά την πραγματοποίηση της παρέμβασης και τις προφορικές και γραπτές απαντήσεις τους χωρίστηκαν στις εκάστοτε ομάδες. Οι ερευνητές μέτρησαν τους δείκτες οφθαλμοκίνησης συνολικός χρόνος καθηλώσεων, συνολικός αριθμός οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, καθώς και το ποσοστό διάρκειας καθηλώσεων σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος. Οι γνωστική αλλαγή και μη γνωστική αλλαγή φαίνεται στα σημεία στατικής οπτικής κατανομής της προσοχής κάθε ομάδας, όπου εστίαζαν σε σημεία με πληροφορίες σχετικές με την επιστημονική αντίληψη και πληροφορίες παρανοήσεων αντίστοιχα. Όταν οι μαθητές αντιμετώπιζαν πληροφορίες που διαφώνουσαν με τις αντιλήψεις τους, οι μετακινήσεις της οπτικής προσοχής ανάμεσα στις περιοχές ενδιαφέροντος και τον υπόλοιπο χώρο ήταν αμφίδρομες· όταν οι πληροφορίες συμφωνούσαν, οι μετακινήσεις ήταν μονόδρομες.

Στην εμπειρική μελέτη των Hsieh et al. (2019) εξετάστηκε η συνεργατική επίλυση προβλήματος. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με δύο ζευγάρια φοιτητών, που δεν είχαν προηγούμενη σχέση μεταξύ τους, όπου εξ αποστάσεως προσπάθησαν να λύσουν συνεργατικά ένα πρόβλημα φυσικής. Οι ερευνητές ασχολήθηκαν με τον συνολικό αριθμό καθηλώσεων, το συνολικό χρόνο καθηλώσεων, το συνολικό αριθμό οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και τη σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, με σκοπό την ανάλυση της κοινής προσοχής των συμμετεχόντων. Το πρώτο ζευγάρι απέδειξε μεγαλύτερη επιτυχία συνεργασίας λόγω του ότι ενημέρωναν ο ένας τον άλλον για την πορεία και τις κινήσεις τους οπότε υπήρχαν περισσότερα σημεία κοινής προσοχής. Αντίθετα, το δεύτερο ζευγάρι παρουσίασε έλλειψη συντονισμού, γεγονός που οδήγησε σε παρεξηγήσεις τόσο στη διαδικασία όσο και στην εστίαση της προσοχής. Με αυτή την έρευνα επίσης αναδόθηκαν μειονεκτήματα όσων αφορά στην έλλειψη συντονισμού, στην παρεξήηση της συνεργασίας και στην παρεξήηση της προσοχής του συνεργάτη. Στην έρευνα των Stott and Beelders (2019) εξετάστηκε ο ρόλος της κατανόησης κειμένου στην αποτελεσματικότητα εξωσχολικών, κειμενοκεντρικών παρεμβάσεων



στις φυσικές επιστήμες. Συλλέχθηκαν δεδομένα οφθαλμοκίνησης από 65 μαθητές της 8ης και 9ης τάξης, καθώς διάβαζαν κείμενα και απαντούσαν ηλεκτρονικά κουίζ για τα ηλεκτρικά κυκλώματα και τους κεραυνούς. Στην ανάλυση καταγράφηκε ο συνολικός αριθμός καθηλώσεων, ο συνολικός χρόνος καθηλώσεων, ο συνολικός αριθμός οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και η σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των διαγραμμάτων βλέμματος (gaze plots) για να γίνει περιγραφή της αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων με τα ερεθίσματα. Από τα δεδομένα υπολογίστηκε ένας σύνθετος δείκτης κατανόησης επιστημονικών και τεχνολογικών κειμένων στα αγγλικά ο οποίος συσχετίστηκε με τις επιδόσεις των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες και σε προηγούμενα προγράμματα παρέμβασης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές μπορούσαν να ανταποκριθούν σε ένα κουίζ με λιγότερο και γνώριμο κείμενο, ενώ σε πιο απαιτητικά κείμενα υπήρχε αποφυγή ανάγνωσης, εικασίες και προσκόλληση σε επιφανειακά στοιχεία. Διαπιστώθηκαν μέτριες έως ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ του δείκτη κατανόησης επιστημονικών κειμένων και των επιδόσεων, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι μαθητές με υψηλότερες δεξιότητες κατανόησης μπορούν να ωφεληθούν περισσότερο από κειμενοκεντρικές παρεμβάσεις, ενώ η πλειονότητα χρειάζεται υποστήριξη για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων.

Στην περιγραφική έρευνα των Torkar et al. (2018) μαθητές πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας αλλά και υποψήφιοι εκπαιδευτικοί Βιολογίας και Χημείας έλαβαν μέρος λύνοντας προβλήματα όσμωσης των φυτών. Θέλησαν να επεκτείνουν προηγούμενη μελέτη και να εξετάσουν τις διαφορές στην οπτική κατανομή όταν ένα φαινόμενο παρουσιάζεται με πολλαπλές αναπαραστάσεις (μικροσκοπικά, μακροσκοπικά και υπομικροσκοπικά). Για να έχουν καλύτερη εικόνα της γνωστικής λειτουργίας των συμμετεχόντων κατά την επίλυση της δραστηριότητας για την ώσμωση, οι μετρήσεις ιχνηλάτησης ματιών (χρόνοι καθηλώσεων) συνδυάστηκαν με συμπεριφορικές μετρήσεις (χρόνος απόκρισης, ακρίβεια και περιεχόμενο). Οι ερευνητές μέτρησαν τον συνολικό χρόνο καθηλώσεων σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος και τις οφθαλμικές μεταβάσεις ώστε να αναλύσουν την οπτική προσοχή των μαθητών κατά την επίλυση των δραστηριοτήτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αρχάριοι δεν επιτυγχάνουν τα ίδια αποτελέσματα όπως οι προχωρημένοι μαθητές όταν αντιμετωπίζουν πολλαπλές αναπαραστάσεις και επομένως οι οπτικοποιήσεις θα πρέπει να γίνονται σταδιακά καθώς ο μαθητής θα πρέπει να έχει κατακτήσει ένα ικανοποιητικό επίπεδο γνώσης έτσι ώστε να μπορέσει να εμβαθύνει στο επόμενο.

Στην πειραματική έρευνα των Wiebe et al. (2007) εξετάστηκαν οι διαφορές στην παρουσίαση ενός μαθήματος φυσική σε δύο καταστάσεις, παρουσίαση με ηχητική αφήγηση του καθηγητή και χωρίς. Οι συμμετέχοντες ήταν υποψήφιοι εκπαιδευτικοί πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι είχαν εξειδίκευση στις Φυσικές επιστήμες ή εκδήλωσαν ενδιαφέρον για την διδακτική των Φυσικών επιστημών. Χωρίστηκαν σε δύο ομάδες με και χωρίς ηχητική ακρόαση της παρουσίασης και τους δόθηκαν τεστ πριν και μετά την παρέμβαση. Οι ερευνητές κατέγραψαν τον συνολικό αριθμό καθηλώσεων, τη σειρά οφθαλμικών μεταβάσεων μεταξύ περιοχών ενδιαφέροντος και τη χωρική θέση του σημείου βλέμματος, ώστε να αναλυθούν οι αντιδράσεις των συμμετεχόντων στα ψηφιακά ερεθίσματα. Τα αποτελέσματα της οφθαλμοκίνησης έδειξαν ότι η ομάδα με την ηχητική ακρόαση ξοδεύει περισσότερο χρόνο σε κάθε διαφάνεια. Παραταύτα τα τεστ μετά την παρέμβαση δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων.

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι η μορφή παρουσίασης του επιστημονικού περιεχομένου επηρεάζει καθοριστικά την κατανόηση και την επίδοση



των μαθητών σε δραστηριότητες μάθησης. Τα διαγράμματα και οι οπτικές αναπαραστάσεις μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση όταν οι μαθητές διαθέτουν τις απαραίτητες δεξιότητες ερμηνείας και εννοιολογικής σύνδεσης (Ögren et al., 2017), ωστόσο η κατανόηση αυτών των αναπαραστάσεων απαιτεί γνωστικά και μεταγνωστικά εργαλεία που δεν είναι εξίσου ανεπτυγμένα σε όλες τις ηλικιακές ομάδες (Ho et al., 2014)

Παρά τα ενδιαφέροντα ευρήματα των προηγούμενων ερευνών, βλέπουμε ότι οι πλειονότητα των μελετών ασχολούνται με φοιτητές και εκπαιδευτικούς. Επιπλέον, οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται είτε στην επίδοση είτε στην οπτική προσοχή, χωρίς να συνδυάζουν δεδομένα οφθαλμοκίνησης με ποιοτικά δεδομένα μεταγνωστικού στοχασμού, όπως αυτά που προκύπτουν από την καταγραφή των απαντήσεων των μαθητών και όχι από απαντήσεις πολλαπλής επιλογής. Υπάρχει επίσης ένα κενό όσον αφορά τους Έλληνες μαθητές.

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να καλύψει αυτό το κενό, διερευνώντας την επίδοση, τα μοτίβα οπτικής προσοχής και το επίπεδο ερμηνείας διαγραμμάτων μαθητών Γυμνασίου κατά την επίλυση προβλημάτων Φυσικής που περιλαμβάνουν κείμενο και διαγράμματα. Τα αποτελέσματα αναμένεται να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης επεξεργάζονται επιστημονικό περιεχόμενο και να προσφέρουν πρακτικές κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό πιο αποτελεσματικού διδακτικού υλικού.



Μεθοδολογία

Σκοπός

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη διερεύνηση της σχέσης της οπτικής προσοχής με τα μαθησιακά αποτελέσματα, με σκοπό να αναδειχθούν οι τρόποι με τους οποίους οι μαθητές επεξεργάζονται πληροφορίες κατά την ερμηνεία γραφημάτων θέσης-χρόνου και πώς αυτή η επεξεργασία σχετίζεται με την εννοιολογική τους κατανόηση. Ο σχεδιασμός των ερωτήσεων βασίστηκε στο μοντέλο κατανόησης γραφημάτων των Carpenter and Shah (1998).

Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα που σχηματίστηκαν είναι τα εξής:

Διερεύνηση της κατανομής της οπτικής προσοχής μεταξύ κειμένου και σχετικής γραφικής παράστασης κατά την ερμηνεία σημείων σε γραφική παράσταση θέσης-χρόνου, σχετικά με το επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης.

Το ερώτημα αυτό στοχεύει να αποσαφηνίσει πώς οι μαθητές κατανέμουν την προσοχή τους ανάμεσα στις διαφορετικές πηγές πληροφοριών και κατά πόσο αυτή η κατανομή σχετίζεται με την ικανότητά τους να κατανοούν τα φυσικά φαινόμενα που περιγράφονται από το γράφημα.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα έχει ως εξής:

Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της κατανομής και της συγκέντρωσης της οπτικής προσοχής και της κατανόησης της έννοιας της ακινησίας μέσω κατάλληλης γραφικής παράστασης.

Μέσα από το ερώτημα αυτό επιδιώκεται η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η εστίαση της προσοχής επηρεάζει την αντίληψη συγκεκριμένων εννοιών, όπως η ακινησία, που αποτελούν βασικό στοιχείο της εννοιολογικής κατανόησης της κίνησης. Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα έχει ως εξής:

Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των ιεραρχικών σταδίων κατανόησης γραφικών παραστάσεων κατά το μοντέλο των Carpenter και Shah και της ικανότητας των μαθητών να προβαίνουν σε συγκριτική ερμηνεία φαινομένων κίνησης και ακινησίας.

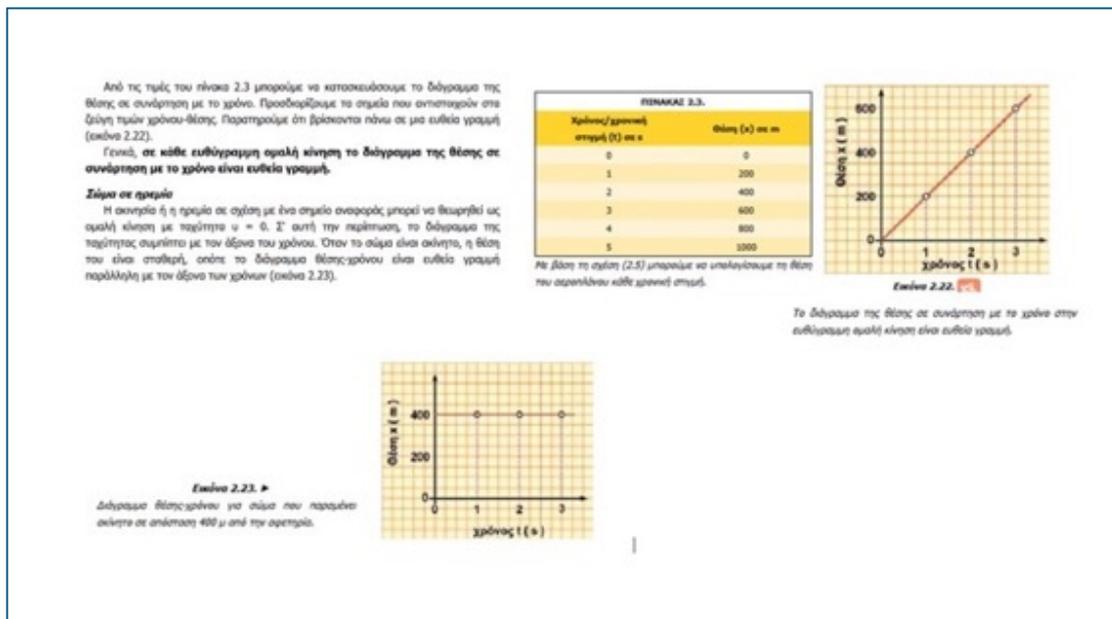
Ειδικότερα, εξετάζεται ο βαθμός στον οποίο η επιτυχής μετάβαση στο ανώτερο επίπεδο της εννοιολογικής ενσωμάτωσης (integration) εξαρτάται από την ορθή ολοκλήρωση των προπαρασκευαστικών σταδίων της οπτικής αναγνώρισης και της ταυτοποίησης μεταβλητών, όπως αυτό τεκμηριώνεται μέσα από την ανάλυση των οφθαλμοκινητικών δεδομένων και των προφορικών ηχογραφημένων απαντήσεων που αποκαλύπτουν λάθη εικονικής ερμηνείας.

Επιστημονικό περιεχόμενο

Το επιστημονικό περιεχόμενο αντλήθηκε από το εγκεκριμένο από το Υπουργείο Παιδείας σχολικό εγχειρίδιο Φυσικής της Β' Γυμνασίου. Επιλέχθηκε το κεφάλαιο 2 «Κινήσεις» και συγκεκριμένα η ενότητα «Κίνηση με σταθερή ταχύτητα».

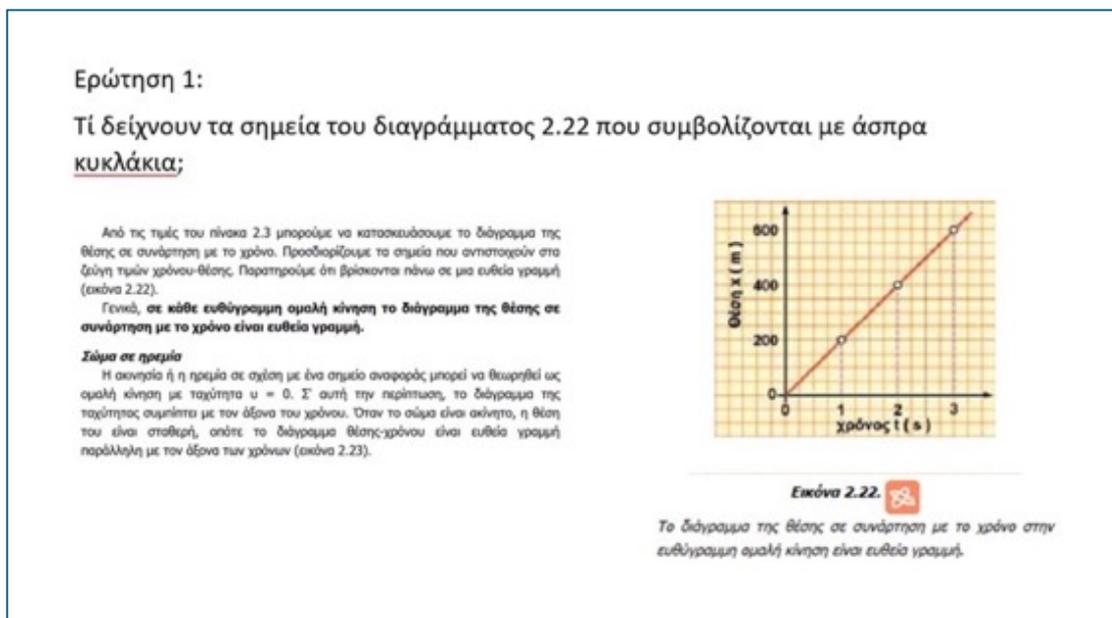
Αρχικά, στην πρώτη διαφάνεια, οι μαθητές κλήθηκαν να μελετήσουν το θεωρητικό πλαίσιο και τα σχετικά διαγράμματα (Σχήμα 1).





Σχήμα 1: Το επιστημονικό περιεχόμενο της μελέτης

Στις επόμενες τρεις διαφάνειες, ακολουθούν οι τρεις ερωτήσεις κλιμακούμενης δυσκολίας που δόθηκαν στους μαθητές. Η πρώτη ερώτηση αντιστοιχεί στο πρώτο στάδιο του μοντέλου και αφορά καθαρά το δομικό μέρος του διαγράμματος, εστιάζοντας στην ερμηνεία των σημείων πάνω στην **γραφική παράσταση** (Σχήμα 2). Η δεύτερη αναπτύχθηκε με βάση το δεύτερο στάδιο, διερευνώντας την κατανόηση της ακινησίας μέσω του διαγράμματος (Σχήμα 3). Η τρίτη ερώτηση είναι σύνθετη και στοχεύει στην ανάδειξη της εννοιολογικής κατανόησης και εξαγωγής συμπερασμάτων, συγκρίνοντας δύο γραφήματα κίνησης και ακινησίας (Σχήμα 4).



Σχήμα 2: Ερώτηση 1: ερμηνεία σημείων σε γραφική παράσταση



Ερώτηση 2:

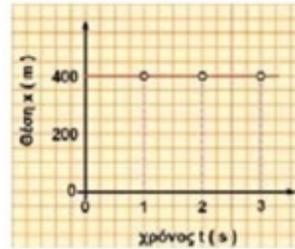
Τί είδους κίνηση κάνει το αυτοκίνητο στο διάγραμμα 2.23;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (εικόνα 2.22).

Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σώμα σε ηρεμία

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Σ' αυτή την περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.23. ►

Διάγραμμα θέσης-χρόνου για σώμα που παραμένει ακίνητο σε απόσταση 400 μ από την αρχηίδα.

Σχήμα 3: ερώτηση 2: μελέτη ακινησίας

Ερώτηση 3:

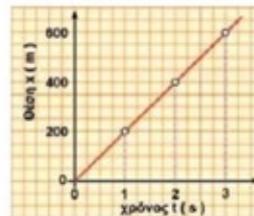
Τα δύο διαγράμματα θέσης χρόνου έχουν διαφορετική μορφή. Που οφείλεται αυτό;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (εικόνα 2.22).

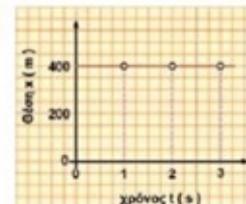
Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σώμα σε ηρεμία

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Σ' αυτή την περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.22



Εικόνα 2.23

Σχήμα 4: Ερώτηση 3: εννοιολογική κατανόηση κίνησης

Πιλοτική μελέτη

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε πιλοτικά σε δύο μαθητές της Β' Γυμνασίου, προκειμένου να εντοπιστούν πιθανά προβλήματα και να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις τόσο στην παρουσίαση των πληροφοριών όσο και στη διαδικασία υλοποίησης της έρευνας. Κατά το πιλοτικό στάδιο, έπειτα από συζήτηση με τους μαθητές και συστηματική παρατήρηση της συμπεριφοράς τους, κρίθηκε αναγκαία η αναδιαμόρφωση των διαφανειών που περιλάμβαναν τις ερωτήσεις, καθώς αυτές ήταν τοποθετημένες στο



τέλος της σελίδας. Η συγκεκριμένη διάταξη είχε ως αποτέλεσμα οι μαθητές να εστιάζουν εκ νέου στη θεωρία, η οποία εμφανιζόταν πρώτη στην οθόνη, επηρεάζοντας ενδεχομένως τον τρόπο επεξεργασίας της πληροφορίας και των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, διαπιστώθηκε η σημασία των συνθηκών φωτισμού, καθώς και η αναγκαιότητα σταθεροποίησης της θέσης του κεφαλιού κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Παρατηρήθηκε ότι οι έφηβοι, παρότι ήταν προσηλωμένοι στην οθόνη, παρουσίαζαν αυξημένη κινητικότητα, γεγονός που θα μπορούσε να επηρεάσει την ακρίβεια των καταγραφών και, κατ' επέκταση, τα αποτελέσματα της έρευνας.

Δείγμα

Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 21 μαθητές της Β' τάξης Γυμνασίου εκ των οποίων 8 κορίτσια και 13 αγόρια. Οι 16 από τους μαθητές φοιτούσαν στο Ιδιωτικό Σχολείο Αρσάκειο Ιωαννίνων και 5 μαθητές σε διάφορα σχολεία των Ιωαννίνων. Καταρχήν ζητήθηκε άδεια από το σχολείο για την διεξαγωγή της έρευνας και στην συνέχεια ζητήθηκε γραπτή συναίνεση από τους γονείς των μαθητών. Οι μαθητές που συμμετείχαν είχαν κανονική ή διορθωμένη όραση.

Πειραματική διάταξη-Eye tracker

Για την καταγραφή των δεδομένων της έρευνας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Tobii Pro Spark, καθώς και το αντίστοιχο λογισμικό της ίδιας εταιρείας, Tobii Pro Lab Version 25.19.1151 (x64), στο οποίο δημιουργήθηκε και οργανώθηκε το ερευνητικό έργο. Για την επεξεργασία των οφθαλμοκινητικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος ταξινόμησης Tobii I-VT Fixation Filter. Ως κατώφλι γωνιακής ταχύτητας για τον διαχωρισμό των καθηλώσεων (fixations) από τις σακκαδικές κινήσεις (saccades) ορίστηκαν οι 30°/s. Η ελάχιστη διάρκεια καθήλωσης ορίστηκε στα 60 ms, ενώ για τη συγχώνευση γειτονικών καθηλώσεων χρησιμοποιήθηκε μέγιστη γωνιακή απόσταση 0.5°. Ο φωτισμός της αίθουσας διατηρήθηκε σταθερός για όλους τους συμμετέχοντες και μετρήθηκε με την εφαρμογή Lux Version 2.0.3 μέσω κινητής συσκευής, προκειμένου να εξασφαλιστούν ίδιες συνθήκες καταγραφής. Η απόσταση των συμμετεχόντων από την οθόνη ορίστηκε στα 65 εκ., ενώ για κάθε συμμετέχοντα πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση εννέα σημείων της συσκευής, με έγκυρα αποτελέσματα.

Το κεφάλι των συμμετεχόντων σταθεροποιήθηκε με τη χρήση απλής ρυθμιζόμενης βάσης για το πηγούνι (Σχήμα 5), η οποία προσαρμοζόταν ανάλογα με το ύψος του κάθε μαθητή, ώστε να περιοριστούν οι μετακινήσεις του κεφαλιού που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ακρίβεια των μετρήσεων. Η φωτεινότητα της οθόνης ρυθμίστηκε στο μέγιστο επίπεδο για όλους τους συμμετέχοντες, διασφαλίζοντας ομοιομορφία στις οπτικές συνθήκες. Τέλος, οι απαντήσεις των μαθητών καταγράφηκαν μέσω της εφαρμογής ηχογράφησης σε φορητή συσκευή.





Σχήμα 5: Πειραματική διάταξη: βάση στήριξης κεφαλής, φορητός υπολογιστής με το περιεχόμενο και προσαρμοσμένο το σύστημα ανίχνευσης οφθαλοκίνησης

Διαδικασία

Δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός για την απάντηση των τριών ερωτήσεων από τους συμμετέχοντες, ενώ χρειάστηκαν 7 λεπτά κατά μέσο όρο για να τα ολοκληρώσουν. Πριν από την εξέταση, κάθε συμμετέχων/ουσα ενημερώθηκε ατομικά για τον σκοπό της μελέτης, τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε και τον ρόλο του σε αυτήν. Κάθονταν σε απόσταση περίπου 65 εκατοστών από την οθόνη (απόσταση από τα μάτια) και έπρεπε να τοποθετήσουν το κεφάλι τους στην ειδική βάση στήριξης, ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα και να συλλεχθούν οι βέλτιστες δυνατές καταγραφές.

Μετά την αρχική βαθμονόμηση και επικύρωση (μέσω του αλγορίθμου εννέα σημείων), οι συμμετέχοντες έλυσαν όλα τα προβλήματα φωναχτά: έδιναν προφορικές απαντήσεις (με την ίδια σειρά για όλους τους συμμετέχοντες), ενώ η ερευνήτρια ηχογράφησε τις απαντήσεις τους. Για να αποκλειστούν παράγοντες που αλλοιώνουν τη διαστολή της κόρης του οφθαλμού, οι συνθήκες φωτισμού διατηρήθηκαν σταθερές.

Συλλογή δεδομένων και ανάλυση

Από τα δεδομένα οφθαλμοκίνησης χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες Total Fixation Duration και Fixation Count, προκειμένου να διερευνηθεί η κατανομή και η συγκέντρωση της οπτικής προσοχής. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Windows Excel για τον υπολογισμό της Στατικής Εντροπίας και του εκατοστιαίου ποσοστού για το Total fixation duration (%fixation).

Οι απαντήσεις των μαθητών καταγράφηκαν μέσω της εφαρμογής ηχογράφησης και, μετά την απομαγνητοφώνησή τους, κωδικοποιήθηκαν ως εξής: μηδέν η λάθος απάντηση και ένα η σωστή απάντηση.

Λόγω του μικρού μεγέθους του δείγματος, επιλέχθηκαν μη παραμετρικά στατιστικά τεστ (Μπασιδής et al., 2022). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό τεστ Mann-Whitney για ανεξάρτητα δείγματα. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εξαγωγή χαρτών θερμότητας (heat maps) για την οπτικοποίηση της κατανομής της



οπτικής προσοχής, τόσο για το σύνολο των ερωτήσεων όσο και διακριτά για τις σωστές και τις λανθασμένες απαντήσεις.

Για την αξιολόγηση της γνωστικής προσπάθειας των μαθητών κατά την αλληλεπίδραση με το διάγραμμα, χρησιμοποιήθηκε ως κύριος δείκτης η Συνολική Διάρκεια Καθήλωσης (Total Fixation Duration - TFD). Η επιλογή αυτή βασίζεται στην υπόθεση "Eye-Mind" των Just and Carpenter (1980). Σύμφωνα με αυτή την αρχή, η διάρκεια της οπτικής καθήλωσης αντανακλά άμεσα τη διάρκεια και την ένταση της γνωστικής επεξεργασίας που απαιτείται για την κατανόηση ενός ερεθίσματος.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το TFD χρησιμοποιήθηκε για να ποσοτικοποιηθεί το γνωστικό φορτίο (cognitive load). Μεγαλύτερες τιμές TFD υποδεικνύουν πιο απαιτητικές διαδικασίες επεξεργασίας και ερμηνείας, καθώς ο εγκέφαλος χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να "μεταφράσει" τα οπτικά χαρακτηριστικά σε νοητικές αναπαραστάσεις.

Για τη στατιστική σύγκριση της κατανομής της οπτικής προσοχής, τα δεδομένα της διάρκειας μετατράπηκαν σε ποσοστά επί του συνολικού χρόνου (% Total Fixation Duration) για κάθε Περιοχή Ενδιαφέροντος βάσει της έκφρασης (1):

$$P_i = \frac{TFD_i}{TFD_{total}} \times 100 \quad (1)$$

όπου P_i είναι το ποσοστό (%) της συνολικής διάρκειας καθήλωσης που αντιστοιχεί στην περιοχή ενδιαφέροντος i , TFD_i είναι η συνολική διάρκεια καθήλωσης σε αυτήν την περιοχή και TFD_{total} η συνολική διάρκεια καθήλωσης σε όλες τις περιοχές. Η μετατροπή σε ποσοστιαίες μονάδες επιλέχθηκε προκειμένου να είναι εφικτή η άμεση σύγκριση μεταξύ συμμετεχόντων με διαφορετικούς χρόνους ολοκλήρωσης της δοκιμασίας. Όσον αφορά την ερμηνεία του δείκτη, σύμφωνα με τους Poole and Ball (2006), το ποσοστό χρόνου που αφιερώνεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή (proportion of time spent) αποτελεί ένδειξη της προτεραιότητας της συγκεκριμένης περιοχής για τον χρήστη.

Για την αξιολόγηση της στρατηγικής της οπτικής αναζήτησης των συμμετεχόντων στις Περιοχές Ενδιαφέροντος (AOIs), χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης της Στατικής Εντροπίας (Stationary Gaze Entropy). Η συγκεκριμένη μετρική βασίζεται στη Θεωρία Πληροφορίας του Shannon (1948) και έχει προσαρμοστεί για την ανάλυση οφθαλμοκινήσεων από τους Krejtz et al. (2015), ως δείκτης της συνολικής οπτικής εξερεύνησης.

Ο υπολογισμός της εντροπίας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την έκφραση (2):

$$H_S = - \sum_{(i \in S)} \pi_i \log_2 \pi_i \quad (2)$$

Όπου S : Το σύνολο των Περιοχών Ενδιαφέροντος (στην παρούσα μελέτη) και

π_i : Η στατική κατανομή πιθανότητας (stationary distribution), δηλαδή το ποσοστό της προσοχής που αφιερώθηκε στην περιοχή.

Συγκεκριμένα, για τον προσδιορισμό του, χρησιμοποιήθηκε το πλήθος των καθηλώσεων (Fixation Counts). Η πιθανότητα υπολογίστηκε ως το πηλίκο του αριθμού καθηλώσεων προς το συνολικό αριθμό καθηλώσεων. Η επιλογή του πλήθους των καθηλώσεων ως βάση για τον υπολογισμό έγινε διότι η συχνότητα των επισκέψεων σχετίζεται άμεσα με τη στρατηγική αναζήτησης πληροφορίας και τη σπουδαιότητα των οπτικών ερεθισμάτων (Krejtz et al., 2015; Shiferaw et al., 2019)

Τιμές εντροπίας κοντά στη μονάδα (1) υποδεικνύουν ότι η οπτική προσοχή κατανεμήθηκε ισομερώς μεταξύ των δύο περιοχών, φανερώνοντας μια στρατηγική ενεργής σύγκρισης και αυξημένης εξερευνητικής συμπεριφοράς ενώ χαμηλότερες τιμές θα υποδείκνυαν εστίαση σε μία κυρίαρχη περιοχή.

Για την ποιοτική αναπαράσταση της κατανομής της οπτικής προσοχής, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες θερμότητας (Heat Maps). Οι χάρτες αυτοί οπτικοποιούν τη



συσσωρευμένη διάρκεια των καθηλώσεων (fixations) στο εκπαιδευτικό υλικό, χρησιμοποιώντας μια χρωματική κλίμακα (από το πράσινο για χαμηλή συγκέντρωση έως το κόκκινο για υψηλή συγκέντρωση). Οι χάρτες θερμότητας επιτρέπουν τον άμεσο εντοπισμό των "θερμών" περιοχών (hotspots), προσφέροντας μια διαισθητική κατανόηση των σημείων που προσέλκυαν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον των μαθητών σε κάθε ομάδα

Αποτελέσματα

Στα αποτελέσματα χρησιμοποιείται η εξής συντομογραφία:

TFD= συνολική διάρκεια καθήλωσης

Q1= πρώτη ερώτηση

Q2= δεύτερη ερώτηση

Q3= Τρίτη ερώτηση

Score=0 μαθητές που απάντησαν λάθος

Score=1 μαθητές που απάντησαν σωστά

%fixation= ποσοστό συνολικής διάρκειας καθηλώσεων

Static Entropy= η στατική εντροπία

Heat map= θερμικοί χάρτες

Για τα πλήρη περιγραφικά στατιστικά και τις τιμές της δοκιμασίας Mann-Whitney U, ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο Παράρτημα.

Πρώτο ερευνητικό ερώτημα

«Διερεύνηση της κατανομής της οπτικής προσοχής μεταξύ κειμένου και σχετικής γραφικής παράστασης κατά την ερμηνεία σημείων σε γραφική παράσταση θέσης-χρόνου, σχετικά με το επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης».

Πίνακας 1: Συμμετέχοντες Ερώτηση 1

		participant	scoreQ1
N	Valid	21	21
	Missing	0	0

Πίνακας 2: Βαθμολογία πρώτης ερώτησης

	N	%
λάθος	7	33.3
σωστό	14	66.7

Στην πρώτη ερώτηση αναλύθηκαν 21 έγκυρες απαντήσεις (Πίνακας 1) εκ των οποίες οι το 66,7% ήταν σωστές (Πίνακας 2).

Για τη διερεύνηση της διαφοράς στη συνολική διάρκεια καθήλωσης (Total Fixation Duration - TFD) στο διάγραμμα και στην θεωρία και για το %fixation διάγραμμα και θεωρία μεταξύ των μαθητών που απάντησαν σωστά και εκείνων που απάντησαν λάθος, διενεργήθηκε ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Whitney U.

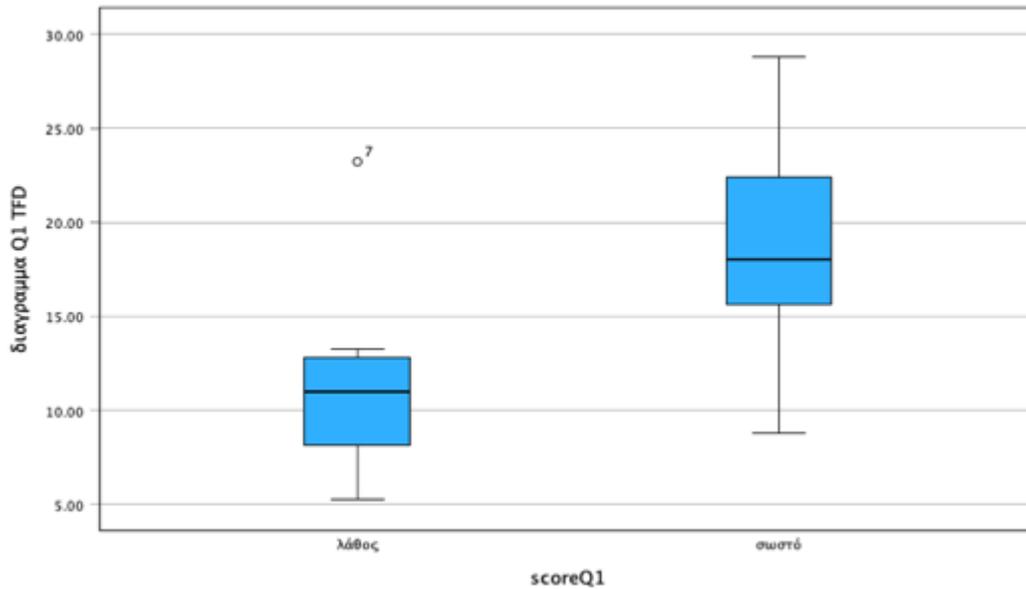
Διάγραμμα και βαθμολογία Q1

Η ανάλυση έδειξε ότι υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ($U=80$, $p=0,020$) στο TFD διαγράμματος. Συγκεκριμένα, οι μαθητές που απάντησαν σωστά αφιέρωσαν σημαντικά περισσότερο χρόνο στο διάγραμμα (Μέση

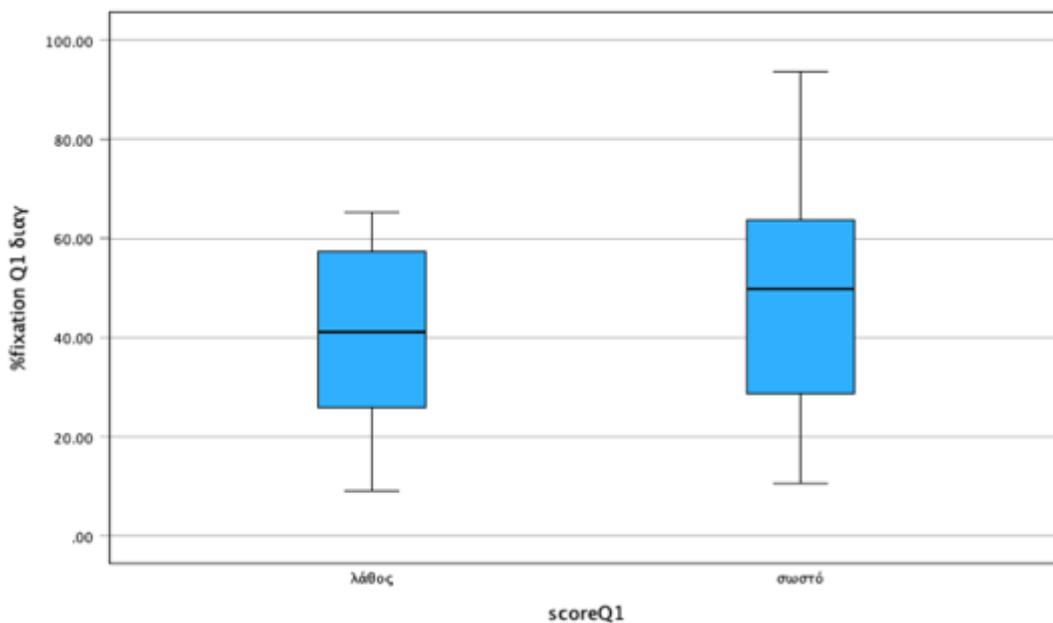


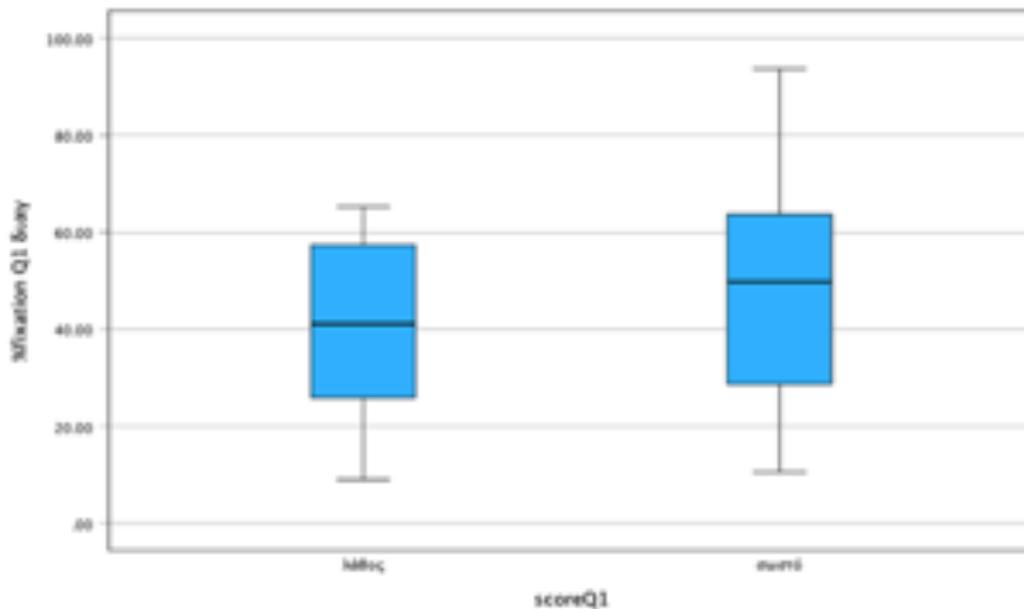
κατάταξη = 13,21) σε σύγκριση με τους μαθητές που απάντησαν λάθος (Μέση κατάταξη= 6,57).

Όπως φαίνεται και στο Θηκόγραμμα (Σχήμα 6) η διάμεσος της διάρκειας καθήλωσης για την ομάδα των σωστών απαντήσεων είναι σαφώς υψηλότερη, γεγονός που υποδηλώνει ότι η επιτυχής επίδοση στην πρώτη ερώτηση συνδέεται με αυξημένη οπτική επεξεργασία και εμβάθυνση στις πληροφορίες του διαγράμματος. Αντίθετα, η ανάλυση στο ποσοστό καθήλωσης στο διάγραμμα (% Fixation) με $U=60$ και $p= 0,443$ δεν απέδωσε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα με Μέση κατάταξη 9,43 για τις λάθος και Μέση κατάταξη 11,79 για τις σωστές απαντήσεις, το οποίο σημαίνει ότι οι μαθητές ακολούθησαν παρόμοια οπτική στρατηγική (Σχήμα 7).



Σχήμα 6: Θηκόγραμμα TFD Διάγραμμα Q1- Score Q1

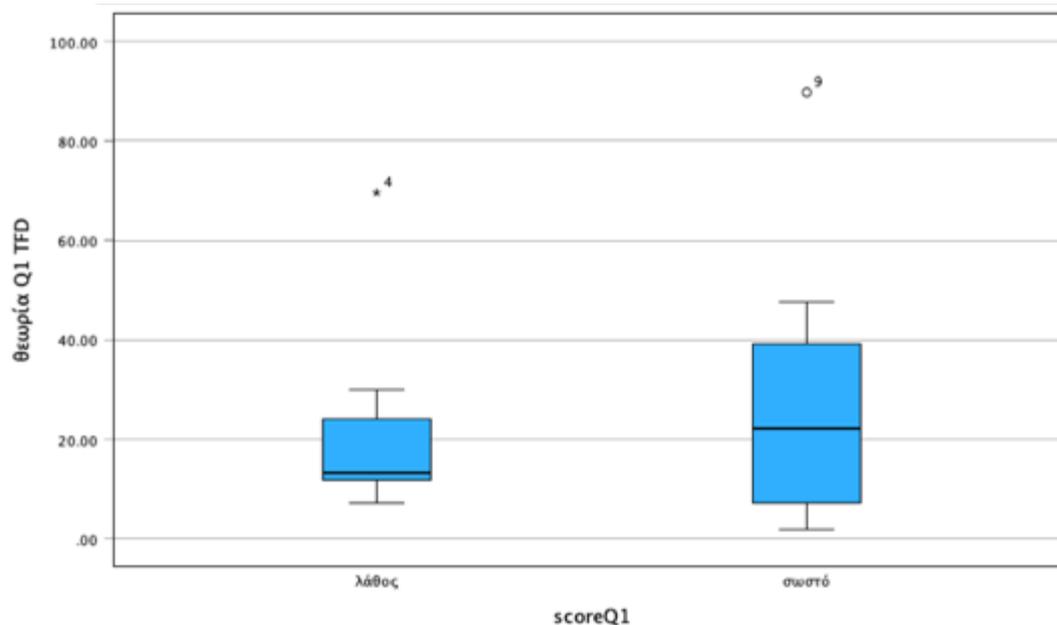




Σχήμα 7: Θηκόγραμμα %fixation διαγράμμα Q1- Score Q1

Θεωρία και Βαθμολογία Q1

Η ανάλυση έδειξε σε επίπεδο 0,05 ότι δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική διαφορά στις δύο ομάδες όσον αφορά το TFD θεωρίας με $U=54$, $p=0,743$ και Μέση κατάταξη=10,29 για τις λάθος και Μέση κατάταξη=11,36 για τις σωστές. Το ίδιο συνέβη και με το %fixation της θεωρία στις δύο κατηγορίες ($U=38$, $p=0,443$) με τις διάμεσες τιμές των δύο κατηγοριών να εμφανίζονται παρόμοιες (Σχήμα 8 και 9).

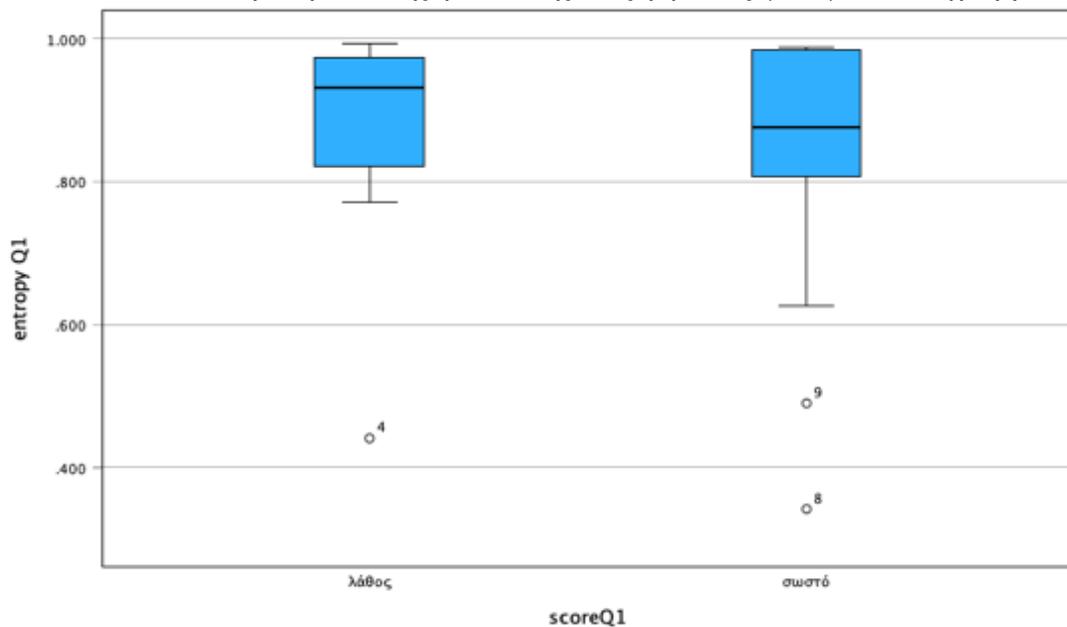


Σχήμα 8:Θηκόγραμμα TFD θεωρία Q1- Βαθμολογία Q1



Στατική Εντροπία Q1-Βάθμολογία Q1

Ο έλεγχος Mann-Whitney U για την στατική εντροπία δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών που απάντησαν σωστά και λάθος ($U=54,5$, $p=0,689$ με Μέση κατάταξη λάθος:10,21 και Μέση κατάταξη σωστό : 11,39). Οι διάμεσοι στο θηκόγραμμα (Σχήμα 10) εμφανίζουν και πάλι κοντινές τιμές. Οι υψηλές τιμές της εντροπίας και για τις δύο ομάδες επιβεβαιώνουν ότι, όλοι οι συμμετέχοντες ακολούθησαν μια παρόμοια, ισορροπημένη στρατηγική σάρωσης μεταξύ των ΑΟIs, ενισχύοντας το συμπέρασμα ότι η διαφοροποίηση στην επίδοση μπορεί να πηγάζει αποκλειστικά από τη διάρκεια της γνωστικής επεξεργασίας (TFD) του διαγράμματος.



Σχήμα 10: Θηκόγραμμα Static entropy Q1-Score Q1

Οι μαθητές είχαν την ίδια προτεραιότητα (%Fixation) στο διάγραμμα και στην θεωρία και την ίδια στρατηγική στην Εντροπία, αλλά οι μαθητές που απάντησαν σωστά φαίνεται ότι κατέβαλαν μεγαλύτερη προσπάθεια επεξεργασίας (TFD) πάνω στο διάγραμμα το οποίο διαπιστώνεται επίσης και από τα θερμικούς χάρτες με της θερμές περιοχές να είναι πιο έντονες επάνω στην περιοχή του διαγράμματος για τους μαθητές με σωστή απάντηση σε σχέση με τους μαθητές που απάντησαν λάθος (Σχήμα 11 και 12). Θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι, η επιτυχής επίδοση μπορεί να συνδέεται με την ένταση της επεξεργασίας του διαγράμματος (TFD). Σύμφωνα με το μοντέλο των Carpenter και Shah, οι μαθητές που απέτυχαν, παρόλο που χρησιμοποίησαν τη θεωρία, δεν ολοκλήρωσαν επαρκώς το πρώτο επίπεδο επεξεργασίας των οπτικών χαρακτηριστικών του διαγράμματος, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της επαρκούς χρονικής δέσμευσης στην οπτική πληροφορία για την επίτευξη της κατανόησης.



Ερώτηση 1:

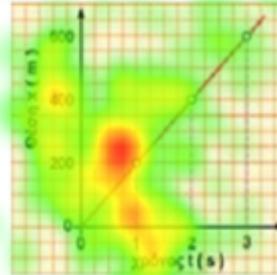
Τί δείχνουν τα σημεία του διαγράμματος 2.22 που συμβολίζονται με άσπρα κυκλάκια;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (ακόμα 2.22).

Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σάγμα σε ημερίδα

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Έτσι στην περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (ακόμα 2.23).



Εικόνα 2.22.

Το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση είναι ευθεία γραμμή.

Σχήμα 11:Θερμικός χάρτης λάθος απαντήσεων Q1

Ερώτηση 1:

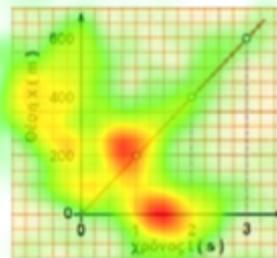
Τί δείχνουν τα σημεία του διαγράμματος 2.22 που συμβολίζονται με άσπρα κυκλάκια;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (ακόμα 2.22).

Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σάγμα σε ημερίδα

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Έτσι στην περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (ακόμα 2.23).



Εικόνα 2.22.

Το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο στην ευθύγραμμη ομαλή κίνηση είναι ευθεία γραμμή.

Σχήμα 12: Θερμικός χάρτης σωστών απαντήσεων Q1

Δεύτερο Ερευνητικό Ερώτημα

«Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της κατανομής και της συγκέντρωσης της οπτικής προσοχής και της κατανόησης της έννοιας της ακινησίας».



Για το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα εξετάσαμε 21 έγκυρες απαντήσεις (Πίνακας 3) εκ των οποίων 8 ήταν σωστές και 13 ήταν λανθασμένες (Πίνακας 4).

Πίνακας 3: Συμμετοχή στην ερώτηση 2

		participant	scoreQ1
N	Valid	21	21
	Missing	0	0

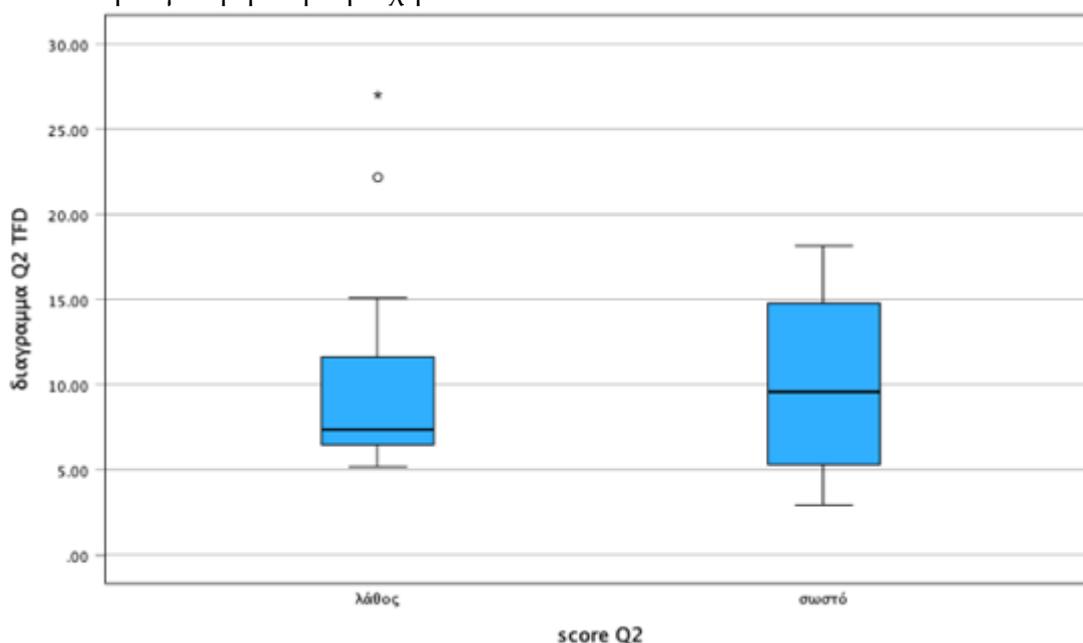
Πίνακας 4: Βαθμολογία ερώτηση 2

	N	%
λάθος	13	61.9%
σωστό	8	38.1%

Εξετάστηκε η επίδραση της ορθότητας της απάντησης στην οπτική επεξεργασία του διαγράμματος. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Whitney U στις μεταβλητές TFD (Total Fixation Duration) και %Fixation της περιοχής ενδιαφέροντος (AOI) του διαγράμματος της δεύτερης ερώτησης.

Διάγραμμα Q2-Βαθμολογία Q2

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μαθητών που απάντησαν ορθά και εκείνων που απάντησαν λανθασμένα. Αξιοσημείωτο είναι ότι και για τους δύο ελέγχους προέκυψαν ταυτόσημα στατιστικά δεδομένα ($U=53$, $p = 1$), γεγονός που επιβεβαιώνει τη γραμμική συσχέτιση των δύο δεικτών στη συγκεκριμένη περιοχή.

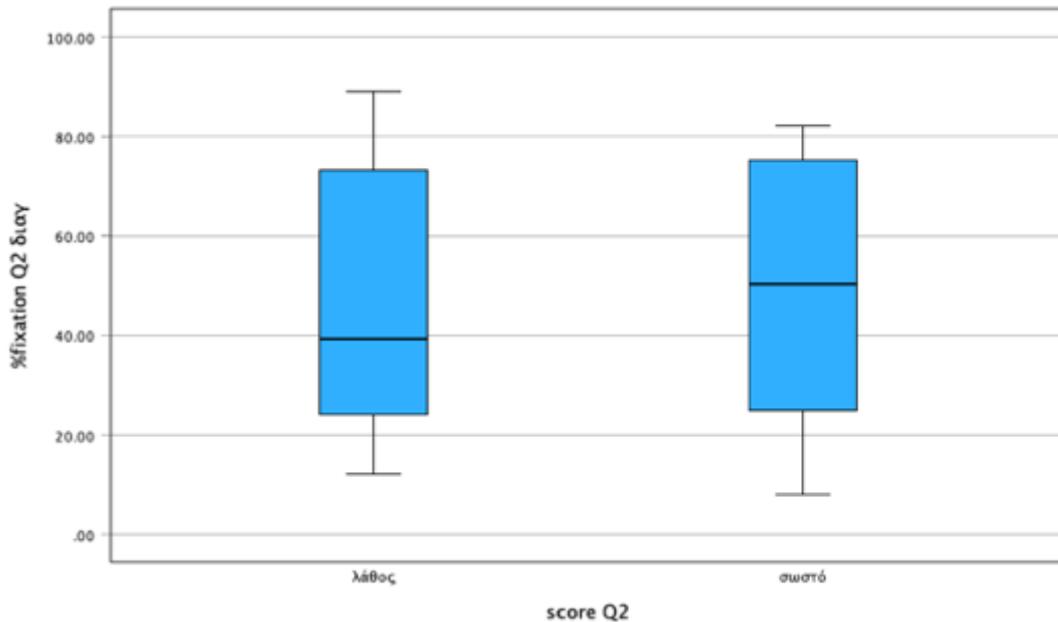


Σχήμα 13: Θηκόγραμμα TFD διαγράμματος Q2-Βαθμολογία Q2

Οι μέσες κατατάξεις διαμορφώθηκαν σε 11,13 για τους μαθητές με σωστή απάντηση και 10,92 για τους μαθητές με λάθος απάντηση. Όπως αποτυπώνεται στα θηκογράμματα των σχημάτων 13 και 14, οι διάμεσες τιμές των δύο ομάδων παρουσιάζουν εγγύτητα, υποδηλώνοντας ότι η γνωστική προσπάθεια και η κατανομή



της προσοχής στο διάγραμμα ήταν παρόμοια, ανεξαρτήτως της τελικής επίδοσης των μαθητών.

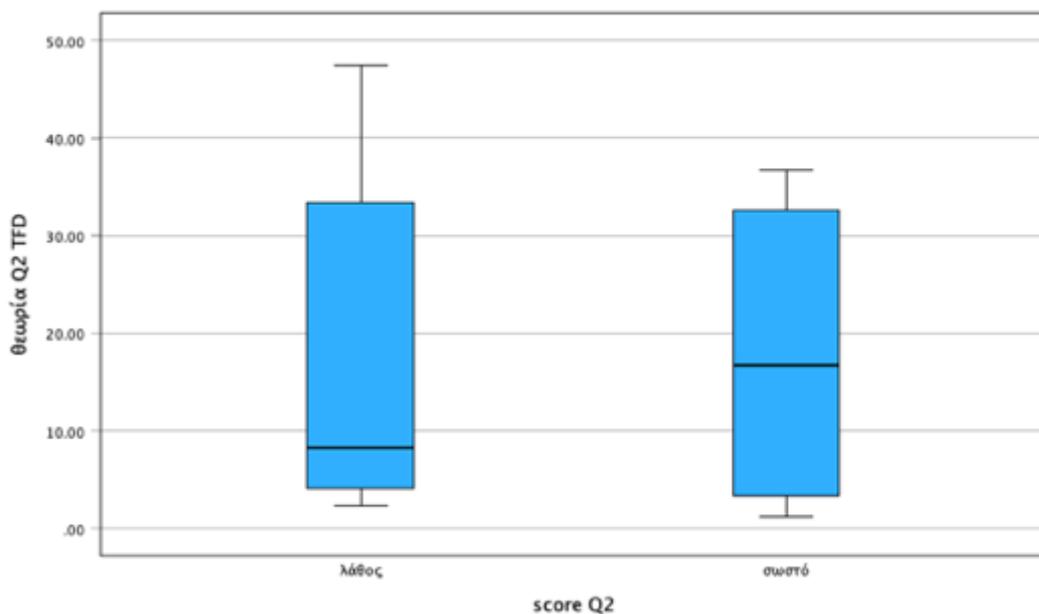


Σχήμα 14: Θηκόγραμμα % fixation διαγράμματος Q2-Βαθμολογία Q2

Θεωρία-Βαθμολογία Q2

Επίσης, πραγματοποιήθηκε μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Whitney U για τη διερεύνηση πιθανών διαφορών στην οπτική επεξεργασία της θεωρίας σε σχέση με την ορθότητα της απάντησης. Η ανάλυση επικεντρώθηκε στις μεταβλητές TFD και %fixation της περιοχής ενδιαφέροντος (AOI) της θεωρίας.

Τα αποτελέσματα για τον δείκτη TFD έδειξαν ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ($U=46$ $p=,697$), με τις μέσες κατατάξεις να

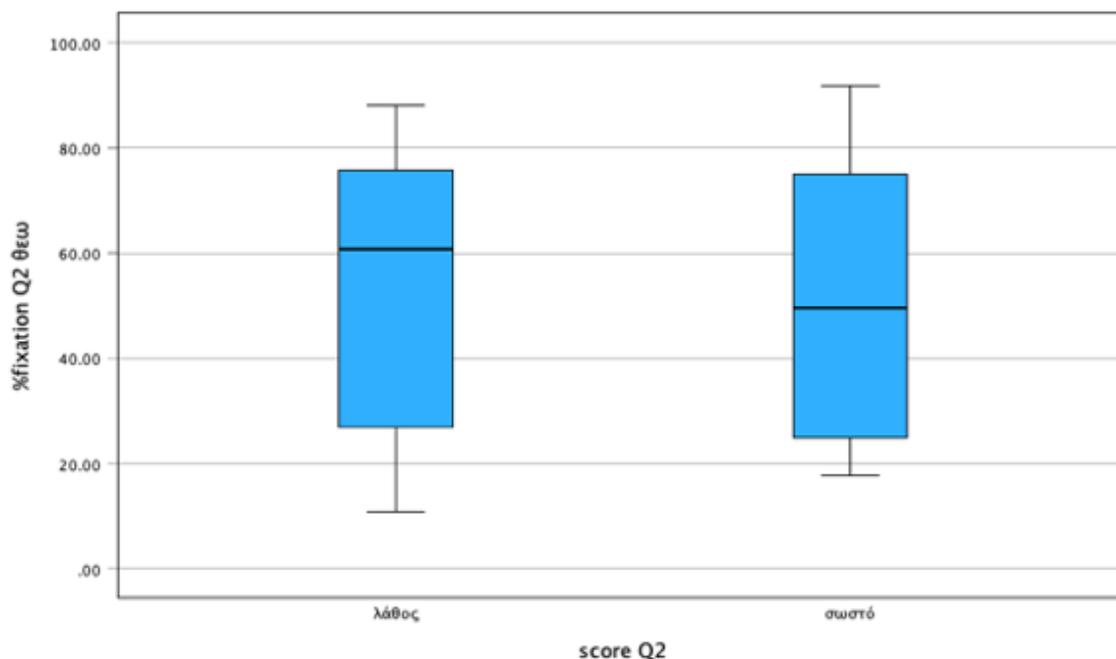


Σχήμα 15: Θηκόγραμμα TFD θεωρία Q2- Βαθμολογία Q2



διαμορφώνονται σε 10,25 για τις σωστές απαντήσεις και 11,46 για τις λανθασμένες και κοντινές τιμές στις διαμέσους (Σχήμα 15).

Αντίστοιχα, η σύγκριση για τον δείκτη %Fixation δεν ανέδειξε στατιστικά σημαντική σχέση ($U=51$, $p = ,972$), με τις μέσες κατατάξεις να κυμαίνονται σε παρόμοια επίπεδα, 10,88 για τις σωστές και 11,08 για τις λάθος απαντήσεις και το ίδιο και οι διάμεσε τιμές (Σχήμα 16).

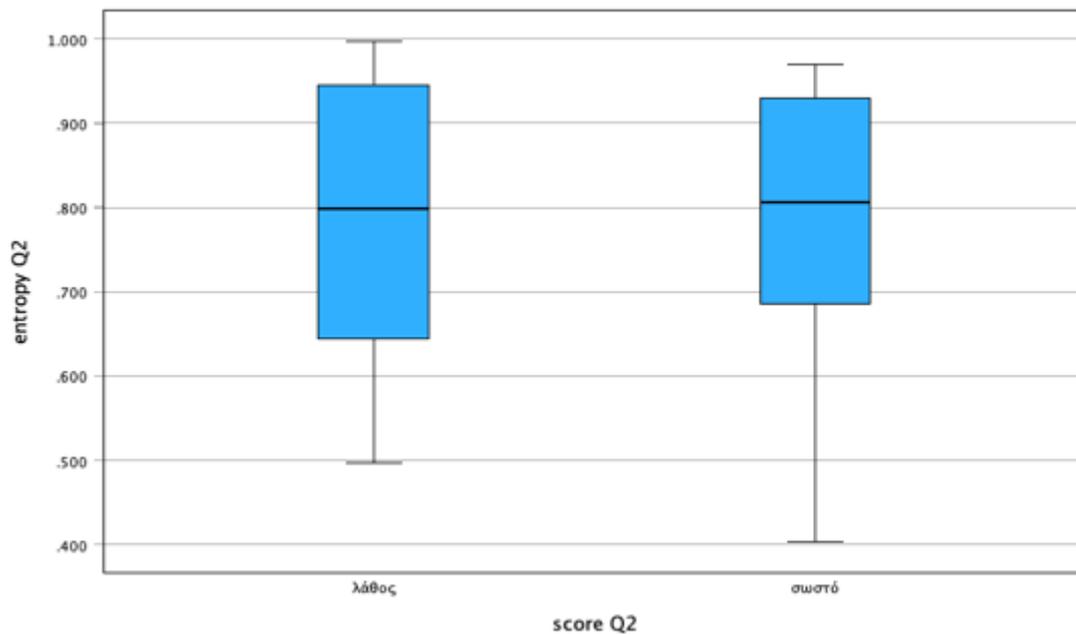


Σχήμα 16: Θηκόγραμμα %fixation θεωρία Q2-Βαθμολογία Q2

Στατική Εντροπία- Βαθμολογία Q2

Στη συνέχεια, εξετάστηκε η στρατηγική οπτικής αναζήτησης των μαθητών μέσω του δείκτη της στατικής εντροπίας για τη δεύτερη ερώτηση. Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Whitney U έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο ομάδες ($U=54$, $p = ,916$), με τις μέσες κατατάξεις να διαμορφώνονται σε 11,25 για τους μαθητές που απάντησαν ορθά και 10,85 για εκείνους που απάντησαν λανθασμένα. Οπότε οι μαθητές φαίνεται να πάλι να ακολουθήσαν την ίδια στρατηγική εξισορρόπησης μεταξύ του διαγράμματος και της θεωρίας .





Σχήμα 17: Θηκόγραμμα Εντροπία Q2-Score Q2

Στο σχήμα 17 βλέπουμε ότι οι διάμεσες τιμές της στατικής εντροπίας για τις δύο κατηγορίες, λάθος και σωστό, κυμαίνονται σε παρεμφερή επίπεδα περίπου στο 0.80, υποδηλώνοντας ότι η κεντρική τάση της εντροπίας δεν διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το σκορ, εντούτοις παρουσιάζονται ενδιαφέρουσες διαφορές στη διασπορά των δεδομένων καθώς η κατηγορία λάθος εμφανίζει μεγαλύτερο ενδοτεταρτημοριακό εύρος προς τις υψηλές τιμές εντροπίας, ενώ αντίθετα η κατηγορία σωστό παρουσιάζει μεγαλύτερη κατανομή προς τα κάτω με την κατώτερη κεραία να εκτείνεται σε χαμηλότερα επίπεδα εντροπίας περίπου στο 0.40 σε σχέση με την κατηγορία του λάθους που περιορίζεται περίπου στο 0.50.



Ερώτηση 2:

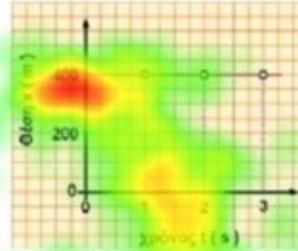
Τί είδους κίνηση κάνει το αυτοκίνητο στο διάγραμμα 2.23;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (εικόνα 2.22).

Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σώμα σε ηρεμία

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Σ' αυτή την περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.23. ►

Διάγραμμα θέσης-χρόνου για σώμα που παραμένει ακίνητο σε απόσταση 400 μ από την οριζόντια.

Σχήμα 18: Θερμικός χάρτης σωστών απαντήσεων Q2

Ερώτηση 2:

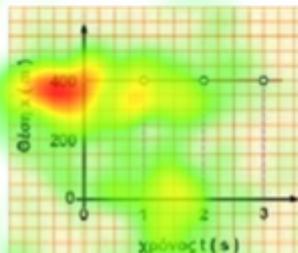
Τί είδους κίνηση κάνει το αυτοκίνητο στο διάγραμμα 2.23;

Από τις τιμές του πίνακα 2.3 μπορούμε να κατασκευάσουμε το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο. Προσδιορίζουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη τιμών χρόνου-θέσης. Παρατηρούμε ότι βρίσκονται πάνω σε μια ευθεία γραμμή (εικόνα 2.22).

Γενικά, σε κάθε ευθύγραμμη ομαλή κίνηση το διάγραμμα της θέσης σε συνάρτηση με το χρόνο είναι ευθεία γραμμή.

Σώμα σε ηρεμία

Η ακινησία ή η ηρεμία σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς μπορεί να θεωρηθεί ως ομαλή κίνηση με ταχύτητα $u = 0$. Σ' αυτή την περίπτωση, το διάγραμμα της ταχύτητας συμπίπτει με τον άξονα του χρόνου. Όταν το σώμα είναι ακίνητο, η θέση του είναι σταθερή, οπότε το διάγραμμα θέσης-χρόνου είναι ευθεία γραμμή παράλληλη με τον άξονα των χρόνων (εικόνα 2.23).



Εικόνα 2.23. ►

Διάγραμμα θέσης-χρόνου για σώμα που παραμένει ακίνητο σε απόσταση 400 μ από την οριζόντια.

Σχήμα 19 : θερμικός χάρτης λάθος απαντήσεων Q2

Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι οι μαθητές ακολούθησαν μια παρόμοια στρατηγική εξερεύνησης του υλικού, ανεξάρτητα από το αν κατέληξαν στη σωστή απάντηση. Η ομοιομορφία στον δείκτη της εντροπίας επιβεβαιώνει ότι η αποτυχία στην ερώτηση της ακινησίας δεν οφείλεται σε κάποια άτακτη ή ανοργάνωτη σάρωση



των πληροφοριών, αλλά σε παράγοντες που αφορούν τη γνωστική ερμηνεία των δεδομένων.

Παρά την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών στους ποσοτικούς δείκτες, η ποιοτική ανάλυση των θερμικών χαρτών (Σχήμα 18 και 19) αποκαλύπτει κρίσιμες διαφοροποιήσεις στη γνωστική στρατηγική των δύο ομάδων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι μαθητές που απάντησαν ορθά επικεντρώθηκαν με ακρίβεια στο συγκεκριμένο σημείο της θεωρίας που αναφέρεται στην ακινησία, χρησιμοποιώντας το ως σημείο αναφοράς για την επαλήθευση του διαγράμματος.

Αντίθετα, οι μαθητές που απάντησαν λανθασμένα φαίνεται να αγνόησαν το κρίσιμο αυτό θεωρητικό στοιχείο. Η οπτική τους συμπεριφορά υποδηλώνει ότι παρασύρθηκαν από την αρχική περιγραφή της θεωρίας που αφορά την ευθεία γραμμή, αδυνατώντας να διακρίνουν την ποιοτική διαφορά μεταξύ μιας γραμμής με κλίση και μιας οριζόντιας γραμμής που υποδηλώνει ακινησία.

Το εύρημα αυτό υποδεικνύει ένα έλλειμμα στη διαδικασία της «νοητικής αντιστοίχισης» (mapping) μεταξύ της θεωρίας και της γραφικής αναπαράστασης. Φαίνεται ότι οι μαθητές αυτοί δυσκολεύονται να συνδέσουν τη φυσική έννοια της ακινησίας με ένα οπτικό σύμβολο που έχει συνέχεια (τη συνεχή γραμμή), γεγονός που οδηγεί στην εσφαλμένη ερμηνεία του διαγράμματος, παρά την παρόμοια χρονική δέσμευση και την στρατηγική που επέδειξαν.

Τρίτο Ερευνητικό Ερώτημα

«Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των ιεραρχικών σταδίων κατανόησης γραφικών παραστάσεων κατά το μοντέλο των Carpenter & Shah και της ικανότητας των μαθητών να προβαίνουν σε συγκριτική ερμηνεία φαινομένων κίνησης και ακινησίας».

Η παρούσα ανάλυση εστιάζει αποκλειστικά στις 13 λανθασμένες απαντήσεις των συμμετεχόντων στην τρίτη ερώτηση, με στόχο την ανάδειξη των γνωστικών δυσκολιών που εμφανίζονται κατά την ερμηνεία γραφημάτων κίνησης. Η επιλογή αυτή επιτρέπει τη συστηματική διερεύνηση των εννοιολογικών εμποδίων και των εναλλακτικών αναπαραστάσεων που ενεργοποιούνται όταν οι μαθητές αποτυγχάνουν να αποδώσουν τη φυσική σημασία του γραφήματος.

Η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων πραγματοποιήθηκε με θεωρητικό πλαίσιο το μοντέλο κατανόησης γραφημάτων των Carpenter & Shah (1998), σύμφωνα με το οποίο η επεξεργασία γραφηματικών αναπαραστάσεων περιλαμβάνει τρία βασικά γνωστικά στάδια: (α) κωδικοποίηση των οπτικών στοιχείων (encoding), (β) αντιστοίχιση των γραφικών χαρακτηριστικών με τις εννοιολογικές μεταβλητές (mapping) και (γ) εξαγωγή συμπερασμάτων (inference). Μέσα από αυτό το πρίσμα, οι λανθασμένες απαντήσεις δεν αντιμετωπίζονται ως απλή έλλειψη γνώσης, αλλά ως ενδείξεις συγκεκριμένων γνωστικών διεργασιών και παρανοήσεων.

Ερώτηση 1: Ερμηνεία των σημείων του διαγράμματος

Στην πρώτη ερώτηση ζητήθηκε από τους μαθητές να ερμηνεύσουν τι αναπαριστούν τα σημεία του διαγράμματος. Η ορθή απάντηση προϋπέθετε την κατανόηση ότι κάθε σημείο αποτελεί ζεύγος τιμών (χρόνος-θέση). Έξι από τους 13 συμμετέχοντες έδωσε ακριβή ποσοτική περιγραφή, γεγονός που υποδηλώνει επιτυχή κωδικοποίηση και αντιστοίχιση των αξόνων.

Ωστόσο, παρατηρήθηκαν και απαντήσεις που περιορίστηκαν σε οπτική περιγραφή του σχήματος («μια γραμμή», «κύκλοι», «τετράγωνα») χωρίς αναφορά στις τιμές των μεταβλητές. Οι απαντήσεις αυτές εντάσσονται σε αυτό που η βιβλιογραφία



περιγράφει ως *graph-as-picture* προσέγγιση, όπου το γράφημα αντιμετωπίζεται ως γεωμετρικό αντικείμενο και όχι ως αναπαράσταση σχέσης μεταβλητών.

Ερώτηση 2: Χαρακτηρισμός της κίνησης

Στη δεύτερη ερώτηση ζητήθηκε ο χαρακτηρισμός της κίνησης στο διάγραμμα όπου η θέση παραμένει σταθερή. Η ορθή απάντηση ήταν ότι το σώμα παραμένει ακίνητο, καθώς η θέση δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Παρότι αρκετοί μαθητές χρησιμοποίησαν ορολογία όπως «ευθύγραμμη κίνηση» ή «ομαλή κίνηση», οι απαντήσεις αυτές, όμως, δεν συνοδεύονταν από αιτιολόγηση βασισμένη στη σταθερότητα της θέσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε σύγχυση μεταξύ γραφήματος θέσης-χρόνου και γραφήματος ταχύτητας-χρόνου, με αναφορές σε «σταθερή ταχύτητα» ή «επιτάχυνση». Η παρανόηση αυτή συνδέεται με εσφαλμένη αντιστοίχιση της κλίσης ή του ύψους της γραμμής με την ταχύτητα, γεγονός που υποδηλώνει σφάλμα στο στάδιο της αντιστοίχισης των γραφικών χαρακτηριστικών.

Ερώτηση 3: Σύγκριση των δύο γραφικών παραστάσεων

Η τρίτη ερώτηση απαιτούσε συγκριτική ερμηνεία των δύο διαγραμμάτων και αιτιολόγηση της διαφοροποίησής τους. Η ορθή εννοιολογική απάντηση βασιζόταν στη διάκριση μεταξύ μεταβαλλόμενης και σταθερής θέσης (κίνηση έναντι ακινησίας). Οι περισσότερες λανθασμένες απαντήσεις επικεντρώθηκαν σε επιφανειακά μορφολογικά χαρακτηριστικά («το ένα είναι διαγώνιο», «το άλλο οριζόντιο», «έχουν διαφορετική κατεύθυνση»), χωρίς ρητή σύνδεση με τη φυσική ερμηνεία. Αυτό φανερώνει ότι, αν και οι μαθητές αναγνώρισαν τη διαφορά σχήματος (επιτυχές encoding), δεν προχώρησαν σε βαθύτερη εννοιολογική ερμηνεία (ανεπαρκές inference).

Συνολική ερμηνεία των γνωστικών δυσκολιών

Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι περισσότεροι μαθητές κατάφεραν να αναγνωρίσουν τα οπτικά χαρακτηριστικά των γραφικών παραστάσεων, αλλά δυσκολεύτηκαν στη μετάβαση από την οπτική πληροφορία στη φυσική σημασιοδότηση. Το κύριο γνωστικό εμπόδιο εντοπίζεται στα στάδια της αντιστοίχισης και της εξαγωγής συμπερασμάτων.

Οι κυριότερες παρανοήσεις που αναδείχθηκαν είναι:

- Αντιμετώπιση του γραφήματος ως εικόνας της διαδρομής.
- Σύγχυση μεταξύ γραφημάτων θέσης-χρόνου και ταχύτητας-χρόνου.
- Εστίαση στη γεωμετρική μορφή αντί στη σχέση μεταβλητών.
- Χρήση επιστημονικής ορολογίας χωρίς εννοιολογική τεκμηρίωση.

Δημιουργήθηκε ο Πίνακας 5 κωδικοποίησης των απαντήσεων. Κάθε απάντηση κατηγοριοποιήθηκε ανάλογα με τον τύπο της δυσκολίας ή της παρανόησης που εμφανίζει. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- Θεωρητική αναπαραγωγή χωρίς γραφηματική τεκμηρίωση: ο μαθητής δεν "διαβάζει" πραγματικά το γράφημα που έχει μπροστά του, αλλά ανακαλεί έναν ορισμό ή μια θεωρία.
- Εστίαση στο σχήμα (*graph-as-picture*): Ο μαθητής δεν μένει στην απλή περιγραφή, αλλά κάνει μια αυθαίρετη ταύτιση με το σχήμα και την μεταβλητή.
- Σύγχυση μεταβλητών (π.χ. θέση-ταχύτητα): ο μαθητής αδυνατεί να διακρίνει ποιο φυσικό μέγεθος αναπαρίσταται σε κάθε άξονα
- Επιφανειακή σύγκριση μορφών: ο μαθητής περιγράφει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης χωρίς να τα συνδέει με τη φυσική σημασία τους.
- Αδυναμία απάντησης ή άρνηση κατανόησης.



- Ορθή απάντηση, δηλαδή πλήρης και εννοιολογικά τεκμηριωμένη απάντηση. Ο πίνακας παρουσιάζει τις απαντήσεις κάθε συμμετέχοντα μαζί με την αντίστοιχη κατηγορία για κάθε ερώτηση, καθώς και την εκτίμηση του κύριου σταδίου δυσκολίας σύμφωνα με το μοντέλο Carpenter και Shah (encoding, mapping, inference).

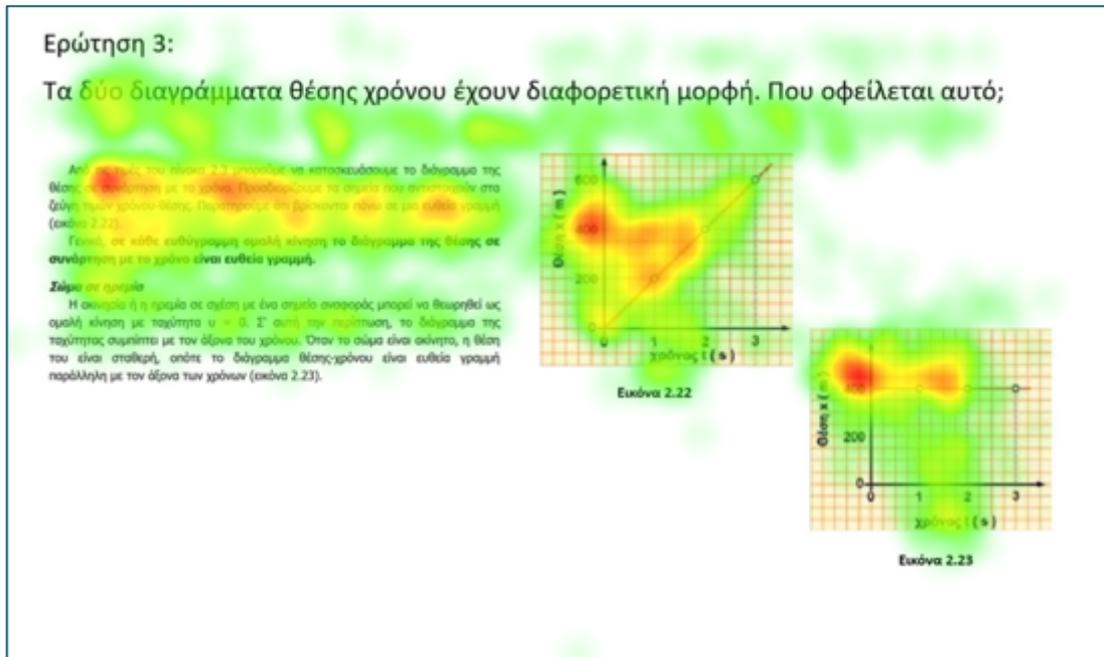


Πίνακας 5: Κωδικοποίηση απαντήσεων μαθητών

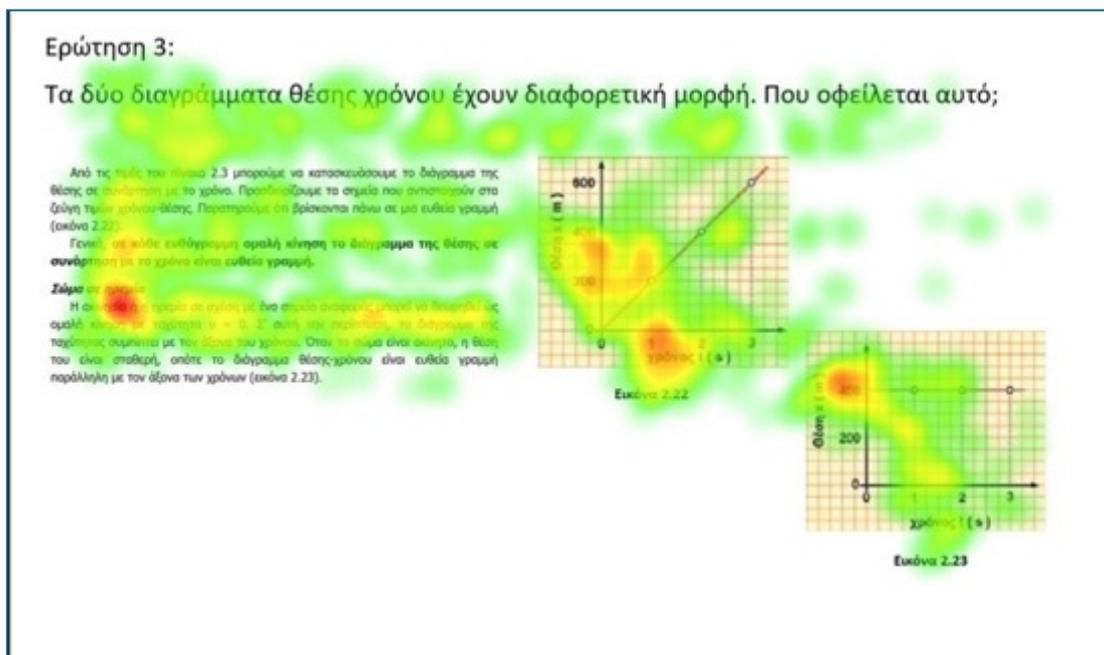
Συμμετέχων/ουσα	Ερώτηση 1	Κωδικοποίηση Ερώτησης 1	Ερώτηση 2	Κωδικοποίηση Ερώτησης 2	Ερώτηση 3	Κωδικοποίηση Ερώτησης 3	Στάδιο δυσκολίας (Carpenter & Shah)
1	Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθεία - οριζόντιο	Επιφανειακή μορφολογική σύγκριση	encoding
2	Ευθύγραμμη ομαλή	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθεία -ευθυγραμμη ομαλή κίνηση	Θεωρητική/επιφανειακή	encoding
3	Περιγραφή σχημάτων(σχηματίζονται τετραγωνα)	Graph-as-picture	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Τα κυκλάκια είναι διαφορετικά	Graph-as-picture	encoding
4	Ευθύγραμμη ομαλή	Θεωρητική αναπαράγωγή	Στο 400	Θεωρητική αιτιολόγηση	χωρίς Διαγώνια-οριζόντια	Επιφανειακή μορφή	encoding
5	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	Προχωράει ευθεία	Θεωρητική αιτιολόγηση	χωρίς Διαφορά καμπύλης	Επιφανειακή μορφή	Mapping variables
6	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	Δεν ξέρω	Αδυναμία απάντησης	Δεν καταλαβαίνω	Αδυναμία απάντησης	Mapping variables
7	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	Σταθερή ταχύτητα	Σύγχυση μεταβλητών (θέση για ταχύτητα)	Σταθερή ταχύτητα-ευθύγραμμο προς πάνω	Σύγχυση μεταβλητών	Mapping variables
8	Ανεβαίνουν οι κύκλοι	Graph-as-picture	Ανεβάζει ταχύτητα	Σύγχυση μεταβλητών	Σταθερή ταχύτητα-Επιταχύνει	Σύγχυση μεταβλητών	encoding
9	Σημεία διαγράμματος	Επιφανειακή περιγραφή	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθύγραμμο-Διαγώνια	Επιφανειακή μορφή	encoding
10	Ευθεία συνισταμένης	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Άλλο σημείο εκκίνησης	Επιφανειακή αιτιολόγηση	encoding
11	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	400m κάθε 1s	Σύγχυση μεταβλητών (θέσης-ταχύτητας)	Ευθύγραμμο το ένα το άλλο όχι	Επιφανειακή μορφή	Mapping variables
12	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	Ευθεία κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ανηφόρα-ευθύγραμμο	Graph-as-picture	Mapping variables
13	Σωστό	Ορθή ερμηνεία	Ευθύγραμμη κίνηση	Θεωρητική αναπαράγωγή	Ανάλογα ποσά-ευθύγραμμο	Θεωρητική /επιφανειακή	Mapping variables



Στους θερμικούς χάρτες (σχήματα 20,21) βλέπουμε ότι οι μαθητές που απάντησαν λανθασμένα στην τρίτη ερώτηση αφιερώθηκαν και πάλι στο θεωρητικό μέρος (κείμενο) φάχνοντας την απάντηση ενώ οι μαθητές με σωστές φαίνεται να είχαν λιγότερα θερμά σημεία στην θεωρία και κυρίως θερμά σημεία στα διαγράμματα που συγκρίναν.



Σχήμα 20: θερμικός χάρτης Q3 λάθος απαντήσεις



Σχήμα 21: θερμικός χάρτης Q3 σωστές απαντήσεις



Συζήτηση και Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση των γνωστικών μηχανισμών και των προτύπων οπτικής συμπεριφοράς που υιοθετούν οι μαθητές κατά την ερμηνεία διαγραμμάτων θέσης-χρόνου στη Φυσική. Μέσω της χρήσης της τεχνολογίας καταγραφής οφθαλμικών κινήσεων (eye-tracking), η μελέτη επιχείρησε να αναδείξει τις διαφορές στη στρατηγική επεξεργασίας, του γνωστικού φορτίου και τις προτεραιότητες σε θεωρία και διάγραμμα ανάμεσα σε επιτυχόντες και αποτυχόντες, εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο η θεωρητική γνώση μεσολαβεί στην αποκωδικοποίηση της οπτικής πληροφορίας. Στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα «Διερεύνηση της κατανομής της οπτικής προσοχής μεταξύ κειμένου και σχετικής γραφικής παράστασης κατά την ερμηνεία σημείων σε γραφική παράσταση θέσης-χρόνου, σχετικά με το επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης» η στατιστικά σημαντική υπεροχή των επιτυχόντων στον συνολικό χρόνο καθήλωσης (TFD) πάνω στο διάγραμμα υποδεικνύει ότι η κατανόηση της Φυσικής δεν είναι μια διαισθητική, διαδικασιακή, αλλά αποτέλεσμα επίμονης και συστηματικής οπτικής επεξεργασίας. Σύμφωνα με το μοντέλο των Carpenter and Shah (1998), οι μαθητές αυτοί κατάφεραν να φτάσουν στο πρώτο επίπεδο της κωδικοποίησης οπτικών χαρακτηριστικών (encoding), επενδύοντας τον επιπλέον χρόνο τους στην αποκωδικοποίηση των αξόνων και των σημείων επάνω στην καμπύλη.

Οι επιτυχόντες του δεύτερου ερωτήματος «Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της κατανομής και της συγκέντρωσης της οπτικής προσοχής και της κατανόησης της έννοιας της ακινησίας» ενώ ακολούθησαν κοινή στρατηγική σε σχέση με τους αποτυχόντες φαίνεται να εντόπισαν το σημείο στη θεωρία που αφορούσε στο συγκεκριμένο διάγραμμα και έτσι πέρασαν στο δεύτερο επίπεδο της συσχέτισης (Informational identification). Αντίθετα με τους μη επιτυχόντες που συχνά σαρώνουν το υλικό χαοτικά, οι επιτυχόντες μαθητές εστίασαν στα κρίσιμα σημεία της θεωρίας, επιδεικνύοντας μια ανώτερη μεταγνωστική ικανότητα: αναγνώρισαν το γνωστικό τους κενό και χρησιμοποίησαν τη θεωρία ως εργαλείο ερμηνείας και όχι ως απλή πληροφορία.

Στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα «Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των ιεραρχικών σταδίων κατανόησης γραφικών παραστάσεων κατά το μοντέλο των Carpenter & Shah και της ικανότητας των μαθητών να προβαίνουν σε συγκριτική ερμηνεία φαινομένων κίνησης και ακινησίας» η ανάλυση της εξέλιξης των λανθασμένων απαντήσεων από την πρώτη έως την τρίτη ερώτηση αναδεικνύει τη «γνωστική διολίσθηση» που υφίστανται οι μαθητές όταν αυξάνεται η πολυπλοκότητα. Ενώ στην πρώτη ερώτηση πολλοί εμφανίζονται ικανοί για μια βασική κωδικοποίηση οπτικών χαρακτηριστικών, στην τρίτη ερώτηση, όπου απαιτείται συγκριτική ερμηνεία, παρατηρείται μια υποχώρηση σε επιφανειακά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Η βιβλιογραφία επιβεβαιώνει ότι αυτή η δυσκολία μετάβασης είναι συστηματική. Οι Leinhardt et al. (1990) στην ανασκόπηση τους για τις παρανοήσεις στα διαγράμματα επισημαίνουν ότι οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να διακρίνουν την θέση από την ταχύτητα, μια παρανόηση που αντικατοπτρίζεται έντονα στις απαντήσεις των συμμετεχόντων που ταύτιζαν την οριζόντια άξονα της θέσης με ταχύτητα.

Επιπρόσθετα, οι Testa et al. (2002) υποστηρίζουν ότι η κατανόηση των δεδομένων μπορεί να παρεμποδιστεί από την επίδραση διαισθητικών ιδεών και νοητικών αναπαραστάσεων που βασίζονται στην καθημερινή εμπειρία, δημιουργώντας εμπόδια στην ορθή ερμηνεία των επιστημονικών μοντέλων, με αποτέλεσμα την αποτυχία σύνδεσης των λεκτικών δεδομένων της θεωρίας με τα οπτικά δεδομένα του γραφήματος. Αυτό εξηγεί γιατί, παρά την εστίαση επιτυχόντων μαθητών στη θεωρία, οι υπόλοιποι δεν μπόρεσαν να επωφεληθούν από αυτήν· η γνώση τους παρέμεινε



«αδρανής». Η τάση των μαθητών να ερμηνεύουν την κλίση ως ύψος (slope/height confusion), όπως περιγράφεται από τους McDermott et al. (1987), επιβεβαιώνεται από τις απαντήσεις εκείνων που θεωρούσαν ότι η άνοδος της γραμμής υποδηλώνει επιτάχυνση ή αλλαγή ταχύτητας. Συμπερασματικά, η εργασία αναδεικνύει ότι η επιτυχής ερμηνεία δεν εξαρτάται μόνο από το αν ο μαθητής «βλέπει» τη σωστή πληροφορία, αλλά από το αν διαθέτει τα κατάλληλα γνωστικά σχήματα για να την εντάξει στο πλαίσιο των νόμων της Φυσικής.

Η εργασία παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη. Πρώτον, το μέγεθος του δείγματος ήταν σχετικά περιορισμένο, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη γενίκευση των συμπερασμάτων. Επίσης, δεν ελήφθησαν υπόψη μεταβλητές όπως το άγχος της εξέτασης ή η εξοικείωση των μαθητών με τη χρήση τεχνολογικού εξοπλισμού.

Επιπλέον, προτείνεται η επέκταση της έρευνας σε μαθητές μικρότερης ηλικίας (π.χ. Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση), προκειμένου να εντοπιστεί το αναπτυξιακό στάδιο στο οποίο αρχίζουν να παγιώνονται οι διαισθητικές ιδέες για τα διαγράμματα, επιτρέποντας έτσι τον σχεδιασμό πιο έγκαιρων και στοχευμένων διδακτικών παρεμβάσεων.



Βιβλιογραφικές αναφορές

- ΙΕΠ, Ι. Ε. Π. (2021). *Πλαίσιο Προγράμματος Καλλιέργειας Δεξιοτήτων: Εργαστήρια Δεξιοτήτων 21+*. Retrieved from <http://iep.edu.gr/el/psifiako-apothetirio/skill-labs>
- Μπατσίδης, Α., Παπασταμούλης, Π., Πετρόπουλος, Κ., & Ρακιτζής, Α. (2022). *Μη Παραμετρική Στατιστική*. Καλλιπος, Ανοιχτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <https://doi.org/10.57713/kallipos-102>
- Ban, S., Lan, X., Li, Z., & Mao, Y. (2024). VISUAL ATTENTION ALLOCATION AND FIXATION TRANSACTIONS IN READING PRIMARY SCIENTIFIC LITERATURE [Article]. *Journal of Baltic Science Education*, 23(5), 826-853. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.826>
- Carpenter, P., & Shah, P. (1998). A Model of the Perceptual and Conceptual Processes in Graph Comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 4, 75-100. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.4.2.75>
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision Research*, 51(13), 1484-1525. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.012>
- Chandler, P., & Sweller, J. (1992). THE SPLIT-ATTENTION EFFECT AS A FACTOR IN THE DESIGN OF INSTRUCTION. *British Journal of Educational Psychology*, 62(2), 233-246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1992.tb01017.x>
- Evans, K. K., Horowitz, T. S., Howe, P., Pedersini, R., Reijnen, E., Pinto, Y., Kuzmova, Y., & Wolfe, J. M. (2011). Visual attention. *WIREs Cognitive Science*, 2(5), 503-514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcs.127>
- Fleischer, T., Deibl, I., Moser, S., Strahl, A., Maier, S., & Zumbach, J. (2023). Mobile Eye Tracking during Experimenting with Digital Scaffolding—Gaze Shifts between Augmented Reality and Experiment during Zinc Iodide Electrolysis Set-Up [Article]. *Education Sciences*, 13(2), Article 170. <https://doi.org/10.3390/educsci13020170>
- Florax, M., & Ploetzner, R. (2010). What contributes to the split-attention effect? The role of text segmentation, picture labelling, and spatial proximity. *Learning and Instruction - LEARN INSTR*, 20, 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.021>
- Guan, T., Yang, W., & He, Y. (2025). Eye-Tracking Technology in Science Education: A Systematic Review. *Science Insights Education Frontiers*, 29, 4715-4738. <https://doi.org/10.15354/sief.25.sr015>
- Harsh, J. A., Campillo, M., Murray, C., Myers, C., Nguyen, J., & Maltese, A. V. (2019). Seeing data like an expert: An eye-tracking study using graphical data representations [Article]. *CBE Life Sciences Education*, 18(3), Article ar32. <https://doi.org/10.1187/cbe.18-06-0102>
- Ho, H. N. J., Tsai, M. J., Wang, C. Y., & Tsai, C. C. (2014). PRIOR KNOWLEDGE AND ONLINE INQUIRY-BASED SCIENCE READING: EVIDENCE FROM EYE TRACKING [Article]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(3), 525-554. <https://doi.org/10.1007/s10763-013-9489-6>
- Hsieh, I. C., Liu, C. C., Tsai, M. J., Wen, C. T., Chang, M. H., Fan Chiang, S. H., & Chang, C. J. (2019). The analysis of collaborative science learning with



- simulations through dual eye-tracking techniques. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics),
- Janvier, C. (1981). Use of situations in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 12(1), 113-122. <https://doi.org/10.1007/BF00386049>
- Jin, L., & Yu, D. (2019). Characteristics of visual attention for the assessment of conceptual change: An eye-tracking study. ACM International Conference Proceeding Series,
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: from eye fixations to comprehension. *Psychological review*, 87(4), 329.
- Kahneman, D., & Beatty, J. (1966). Pupil Diameter and Load on Memory. *Science*, 154, 1583 - 1585.
- Klein, P., Küchemann, S., Susac, A., Karabulut, A., Bubic, A., Planinic, M., Palmovic, M., & Kuhn, J. (2021). Students' understanding of diagrams in different contexts: Comparison of eye movements between physicists and non-physicists using eye-tracking. In *Applying Bio-Measurements Methodologies in Science Education Research* (pp. 243-260). https://doi.org/10.1007/978-3-030-71535-9_12
- Krejtz, K., Duchowski, A., Szmids, T., Krejtz, I., Perilli, F., Pires, A., Vilaro, A., & Villalobos, N. (2015). Gaze Transition Entropy. *ACM Transactions on Applied Perception*, 13, 1-20. <https://doi.org/10.1145/2834121>
- Lämsä, J., Kotkajuuri, J., Lehtinen, A., Koskinen, P., Mäntylä, T., Kilpeläinen, J., & Hämäläinen, R. (2022). The focus and timing of gaze matters: Investigating collaborative knowledge construction in a simulation-based environment by combined video and eye tracking [Article]. *Frontiers in Education*, 7, Article 942224. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.942224>
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O., & Stein, M. K. (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Tasks, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1-64. <https://doi.org/10.3102/00346543060001001>
- Li, Q., Xu, S., Chen, Y., Lu, C., & Zhou, S. (2022). Detecting preservice teachers' visual attention under prediction and nonprediction conditions with eye-tracking technology [Article]. *Physical Review Physics Education Research*, 18(1), Article 010134. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010134>
- Mayer, R. (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (R. Mayer, Ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511816819>
- Mayer, R. (2010). Unique contributions of eye-tracking research to the study of learning with graphics. *Learning and Instruction*, 20, 167-171. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.012>
- Mayer, R., & Fiorella, L. (2022). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (3rd ed.)*. <https://doi.org/10.1017/9781108894333>
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A Split-Attention Effect in Multimedia Learning: Evidence for Dual Processing Systems in Working Memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & Van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American journal of physics*, 55(6), 503-513.



- Nahlik, P., & Daubenmire, P. L. (2022). Adapting gaze-transition entropy analysis to compare participants' problem solving approaches for chemistry word problems [Article]. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(3), 714-724. <https://doi.org/10.1039/d2rp00066k>
- OECD. (2023). *PISA 2022 Assessment and Analytical Framework, PISA*. Paris: OECD Publishing
- Ögren, M., Nyström, M., & Jarodzka, H. (2017). There's more to the multimedia effect than meets the eye: is seeing pictures believing? [Article]. *Instructional Science*, 45(2), 263-287. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9397-6>
- Pavlin, J., & Slapnicar, M. (2021). The impact of students' educational background, formal reasoning, visualisation abilities, and perception of difficulty on eye-tracking measures when solving a context-based problem with submicroscopic representation. In *Applying Bio-Measurements Methodologies in Science Education Research* (pp. 217-241). https://doi.org/10.1007/978-3-030-71535-9_11
- Poole, A., & Ball, L. (2006). Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Current status and future prospects. In (pp. 211-219).
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00017-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00017-8)
- Shah, P., & Hoeffner, J. (2002). Review of Graph Comprehension Research: Implications for Instruction. *Educational Psychology Review*, 14. <https://doi.org/10.1023/A:1013180410169>
- Shiferaw, B., Downey, L., & Crewther, D. (2019). A review of gaze entropy as a measure of visual scanning efficiency. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 96, 353-366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.12.007>
- Stott, A., & Beelders, T. (2019). The influence of science reading comprehension on South African township learners' learning of science [Article]. *South African Journal of Science*, 115, Article 5146. <https://doi.org/10.17159/sajs.2019/5146>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Testa, I., Monroy, G., & Sassi, E. (2002). Students' reading images in kinematics: The case of real-time graphs. *International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC*, 24, 235-256. <https://doi.org/10.1080/09500690110078897>
- Torkar, G., Veldin, M., Glažar, S. A., & Podlesek, A. (2018). Why do Plants Wilt? Investigating students' understanding of water balance in plants with external representations at the macroscopic and submicroscopic levels [Article]. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(6), 2265-2276. <https://doi.org/10.29333/ejmste/87119>
- Tóthová, M., & Rusek, M. (2022). "Do you just have to know that?" Novice and experts' procedure when solving science problem tasks [Article]. *Frontiers in Education*, 7, Article 1051098. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1051098>
- Tóthová, M., & Rusek, M. (2025). Eye Tracking in Science Education Research: Comprehensive Literature Review. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00644-1>



- Upadhyaya, A., Pfeiffer, C., Astappiev, O., Marenzi, I., Lenzer, S., Nehring, A., & Fisichella, M. (2023). How Learnweb Can Support Science Education Research on Climate Change in Social Media. *Lecture Notes in Networks and Systems*,
- Wiebe, E. N., Slykhuis, D. A., & Annetta, L. A. (2007). Evaluating the effectiveness of scientific visualization in two powerpoint delivery strategies on science learning for preservice science teachers [Article]. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5(2), 329-348. <https://doi.org/10.1007/s10763-006-9041-z>
- Wolfe, J. M. (2000). Visual Attention. In K. K. D. Valois (Ed.), *Seeing* (pp. 335-386). Academic Press.
- Zang, S., Lin, P., Chen, X., Bai, Y., & Deng, H. (2022). Comparing Middle School Students' Scientific Problem-Solving Behavior in Hands-On Manipulation Performance Assessment: Terms by Eye-Tracking Analysis [Article]. *Scientific Programming*, 2022, Article 6972215. <https://doi.org/10.1155/2022/6972215>



Παράρτημα

Γονική Συγκατάθεση



Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, Διευθυντής Καθηγητής Τ. Α. Μικρόπουλος
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, earthlab.uoi.gr, amikrop@uoi.gr



ΕΝΗΜΕΡΩΣΗ - ΓΟΝΙΚΗ ΣΥΝΑΙΝΕΣΗ

Πλαίσιο

Αυτή η συγκατάθεση αφορά στην επεξεργασία προσωπικών δεδομένων που πραγματοποιείται στο πλαίσιο έρευνας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της μεταπτυχιακής φοιτήτριας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διδακτική και Τεχνολογίες Μάθησης των Φυσικών Επιστημών», κυρίας Γεωργίας Παναγιώτου με υπεύθυνο τον κύριο Αναστάσιο Μικρόπουλο, καθηγητή κι πρόεδρο του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Γιατί χρειαζόμαστε τα προσωπικά σας δεδομένα;

Η έρευνα αφορά στη διερεύνηση του τρόπου μελέτης εγχειριδίων των Φυσικών Επιστημών από μαθητές και μαθήτριες με σκοπό την βελτιστοποίηση του εκπαιδευτικού υλικού. Ο μαθητής ή η μαθήτρια θα μελετά ένα σύντομο απόσπασμα του σχολικού εγχειριδίου και θα λύνει απλά προβλήματα. Κατά τη διαδικασία θα καταγράφονται οι κινήσεις των ματιών ώστε να μελετηθεί αν ο μαθητής ή η μαθήτρια δίνει έμφαση σε εικόνες, σχήματα, διαγράμματα.

Η έρευνα αποτελείται από μία μόνο φάση. Κάθε μαθητής ή η μαθήτρια θα ασχοληθεί μόνο μία φορά, για 20 λεπτά κατ' εκτίμηση.

Οι ερευνητές θαεπεξεργάζονται προσωπικά δεδομένα μόνο για τους προαναφερόμενους σκοπούς. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα σας ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν για επιστημονικούς ή ιστορικούς ερευνητικούς και στατιστικούς σκοπούς.

Ποια προσωπικά δεδομένα επεξεργαζόμαστε;

Σύμφωνα με την αρχή της ελαχιστοποίησης δεδομένων, το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων θα επεξεργάζεται μόνο τα απολύτως απαραίτητα δεδομένα για τους σκοπούς της μελέτης.

Τα επεξεργασμένα δεδομένα θα περιλαμβάνουν δεδομένα παρατήρησης οφθαλμικής κίνησης απαντήσεις των μαθητών σε ερωτήσεις περιεχομένου του μαθήματος.

Νομική βάση για την επεξεργασία

Η επεξεργασία προσωπικών δεδομένων από το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων σε αυτή τη μελέτη βασίζεται στη ρητή ενημερωμένη συγκατάθεση των υποκειμένων των δεδομένων (συμμετεχόντων).

Τεχνικά και οργανωτικά μέτρα

Η ασφάλεια των πληροφοριών και των προσωπικών δεδομένων αποτελεί προτεραιότητα. Ως εκ τούτου, έχει εφαρμοστεί ένα σύνολο τεχνικών και οργανωτικών μέτρων, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια των προσωπικών σας δεδομένων και να μετριαστεί ο κίνδυνος δυσμενών επιπτώσεων που προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων.



Ειδικότερα, έχουν εφαρμοστεί τα ακόλουθα μέτρα:

- Τα προσωπικά δεδομένα που συλλέγονται θα είναι ψευδώνυμα, προκειμένου να αποφευχθεί η άμεση ταυτοποίηση των υποκειμένων των δεδομένων.
- Τα προσωπικά δεδομένα θα είναι προσβάσιμα μόνο στους δύο ερευνητές, για σκοπούς διαχείρισης του έργου.
- Τα δεδομένα θα αποθηκευτούν και θα διατηρηθούν με ασφάλεια, τόσο ηλεκτρονικά όσο και σε χαρτί. Τα αρχεία θα περιλαμβάνουν κωδικούς αναγνώρισης, όχι ονόματα.

Ποια είναι τα δικαιώματά σας;

Ανά πάσα στιγμή, μπορείτε να ασκήσετε τα δικαιώματά σας, δηλαδή το δικαίωμα να ζητήσετε περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την επεξεργασία των προσωπικών σας δεδομένων, το δικαίωμα διόρθωσης, διαγραφής, ανάκλησης της συγκατάθεσής σας, αντίθεσης στις δραστηριότητες επεξεργασίας, μεταξύ άλλων που αναφέρονται στο νομοθεσία για την προστασία δεδομένων. Μπορείτε να ασκήσετε τα δικαιώματά σας επικοινωνώντας με την ερευνήτρια κυρία Παναγιώτου ή τον υπεύθυνο καθηγητή κύριο Μικρόπουλο.

Δήλωση συναίνεσης

- Έχοντας διαβάσει το παρόν έγγραφο, δηλώνω ότι είμαι πλήρως ενημερωμένος/η για τους σκοπούς της έρευνας και την επεξεργασία των προσωπικών μου δεδομένων και κατανοώ ότι η συμμετοχή του μαθητή/ριας είναι εθελοντική.
- Δια του παρόντος συμφωνώ με την επεξεργασία των προσωπικών δεδομένων του μαθητή/ριας για τους αναφερόμενους σκοπούς και στους όρους που αναφέρονται εδώ.

Ημερομηνία:

Το όνομα του κηδεμόνα

Υπογραφή κηδεμόνα

Κωδικός ψευδώνυμου του συμμετέχοντα [θα συμπληρωθεί από την ερευνήτρια και θα χρησιμοποιείται στο εξής για την αναγνώριση του υποκειμένου των δεδομένων.



Πίνακες

Πίνακες Αποτελεσμάτων Ελέγχου Mann-Whitney U Ερευνητικό ερώτημα 1

TFD Q1- Score Q1

Πίνακας 6: Αποτελεσματα Mann Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of διαγράμμα Q1 TFD is the same across categories of scoreQ1.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.020 ^c	Reject the null hypothesis.
2	The distribution of θεωρία Q1 TFD is the same across categories of scoreQ1.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.743 ^c	Retain the null hypothesis.

a. The significance level is .050.

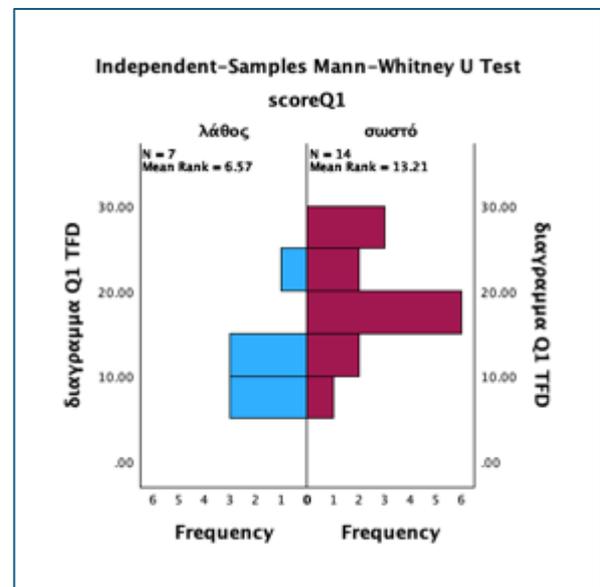
b. Asymptotic significance is displayed.

c. Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα Διάγραμμα Q1 TFD-Score Q1

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	80.000
Wilcoxon W	185.000
Test Statistic	80.000
Standard Error	13.404
Standardized Test Statistic	2.313
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.021
Exact Sig. (2-sided test)	.020

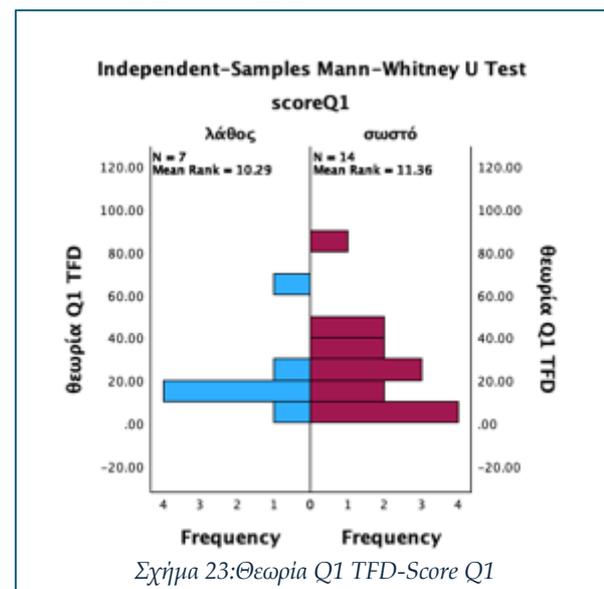


Σχήμα 22: Διάγραμμα Q1 TFD-Score Q1

Πίνακας 8: Αποτελέσματα Θεωρία Q1 TFD-Score Q1

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	54.000
Wilcoxon W	159.000
Test Statistic	54.000
Standard Error	13.404
Standardized Test Statistic	.373
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.709
Exact Sig. (2-sided test)	.743



Σχήμα 23: Θεωρία Q1 TFD-Score Q1



%Fixation Q1- Σκορ Q1

Πίνακας 9: Αποτελέσματα Mann-Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of %fixation Q1 δ ury is the same across categories of scoreQ1.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.443 ^c	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of %fixation Q1 θ ωω is the same across categories of scoreQ1.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.443 ^c	Retain the null hypothesis.

a. The significance level is .050.

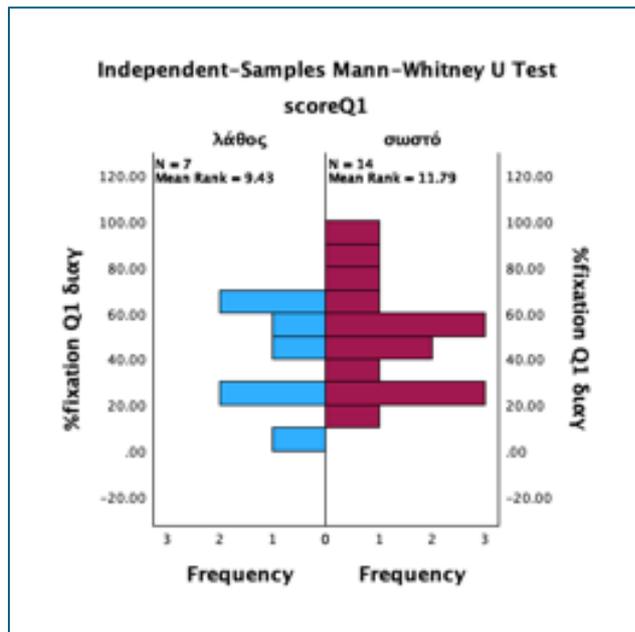
b. Asymptotic significance is displayed.

c. Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 10: Αποτελέσματα %fixation διαγραμμα Q1-Score Q1

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	60.000
Wilcoxon W	165.000
Test Statistic	60.000
Standard Error	13.404
Standardized Test Statistic	.821
Asymptotic Sig.(2-sided test)	.412
Exact Sig.(2-sided test)	.443



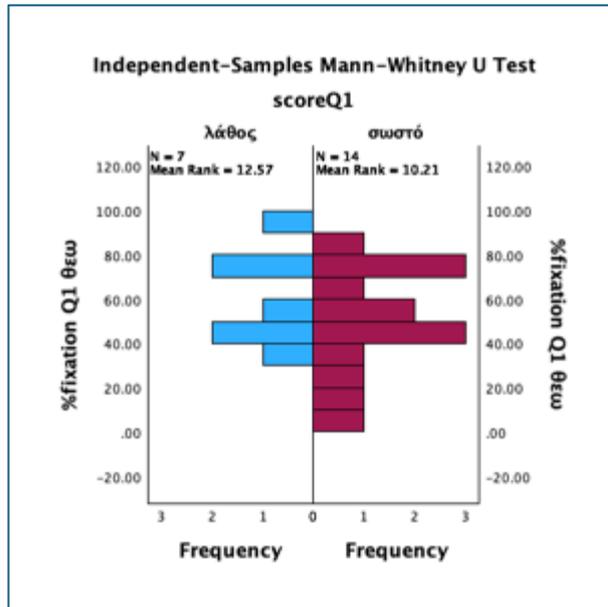
Σχήμα 24:Διάγραμμα Q1 %fixation-Score Q1



Πίνακας 11: Αποτελέσματα %fixation θεωρία Q1-Score Q1

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	38.000
Wilcoxon W	143.000
Test Statistic	38.000
Standard Error	13.404
Standardized Test Statistic	-.821
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.412
Exact Sig. (2-sided test)	.443



Σχήμα 25: θεωρία Q1 %fixation-Score Q1

Εντροπία Q1 θεωρίας-διαγράμματος

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Mann-Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of εντροπία q1 is the same across categories of scoreQ1.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.689 ^c	Retain the null hypothesis.

a. The significance level is .050.

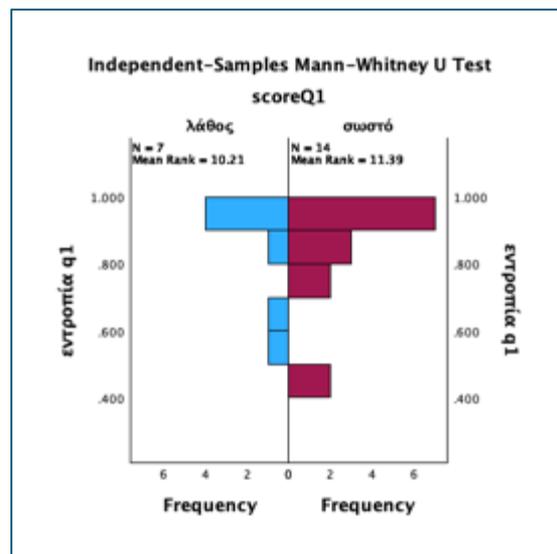
b. Asymptotic significance is displayed.

c. Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα Entropy Q1-Score Q1

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	54.500
Wilcoxon W	159.500
Test Statistic	54.500
Standard Error	13.395
Standardized Test Statistic	.411
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.681
Exact Sig. (2-sided test)	.689



Σχήμα 26: Entropy Q1-Score Q1



Πίνακας 14: Διάρμεσοι για τους δείκτες του 1^{ου} ερευνητικού

scoreQ1		θεαρία Q1 TFD	διαγράμμα Q1 TFD	%fixation Q1 διαγ	%fixation Q1 θεα	entropy Q1
λάθος	N	7	7	7	7	7
	Std. Deviation	21.76259	5.85108	20.89333	20.89333	.196650
	Median	13.2300	11.0200	41.1100	58.8900	.93200
συστό	N	14	14	14	14	14
	Std. Deviation	23.50683	6.03031	24.20419	24.20419	.202559
	Median	22.2350	18.0350	49.7900	50.2100	.87600
Total	N	21	21	21	21	21
	Std. Deviation	22.47010	6.80427	23.03959	23.03959	.196000
	Median	18.0400	16.0600	43.0700	56.9300	.88800



Πίνακες Αποτελεσμάτων Ελέγχου Mann-Whitney U Ερευνητικό ερώτημα 2 Διάγραμμα TFD Q2, %Fixation Q2- Score Q2

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Mann-Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of διαγράμμα Q2 TFD is the same across categories of score Q2.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	1.000 ^c	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of %fixation Q2 διαγ is the same across categories of score Q2.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	1.000 ^c	Retain the null hypothesis.

^a The significance level is .050.

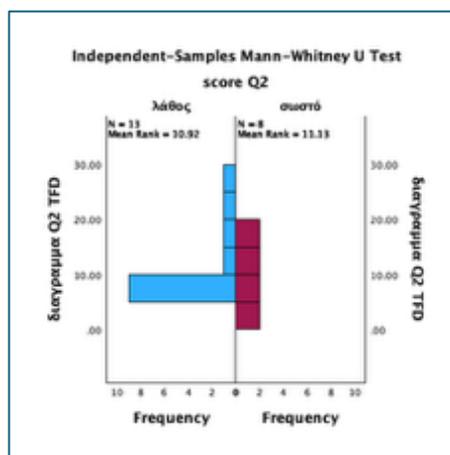
^b Asymptotic significance is displayed.

^c Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα Διάγραμμα Q2 TFD-Score Q2

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	53.000
Wilcoxon W	89.000
Test Statistic	53.000
Standard Error	13.808
Standardized Test Statistic	.072
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.942
Exact Sig. (2-sided test)	1.000

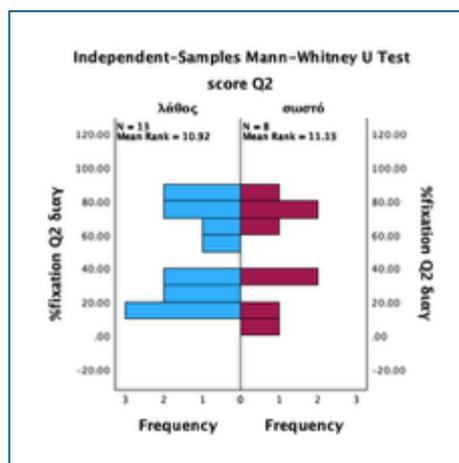


Σχήμα 27: Διάγραμμα Q2 TFD-Score Q2

Πίνακας 17: Αποτελέσματα Διάγραμμα Q2 %fixation-Score Q2

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	53.000
Wilcoxon W	89.000
Test Statistic	53.000
Standard Error	13.808
Standardized Test Statistic	.072
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.942
Exact Sig. (2-sided test)	1.000



Σχήμα 28: Διάγραμμα Q2 %fixation-Score Q2



Θεωρία TFD Q2, %fixation Q2- Score Q2

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Mann-Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of θεωρία Q2 TFD is the same across categories of score Q2.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.697 ^c	Retain the null hypothesis.
2	The distribution of %fixation Q2 θεω is the same across categories of score Q2.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.972 ^c	Retain the null hypothesis.

^a The significance level is .050.

^b Asymptotic significance is displayed.

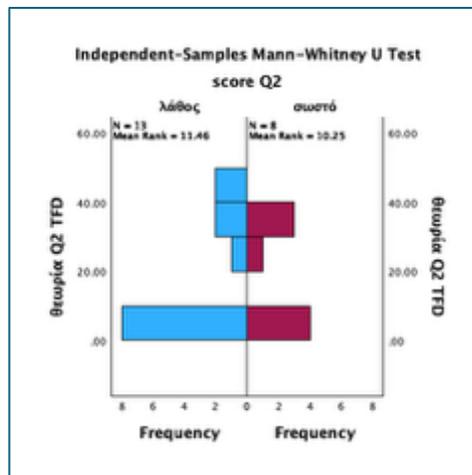
^c Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα θεωρία Q2 TFD-

Score Q2

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	46.000
Wilcoxon W	82.000
Test Statistic	46.000
Standard Error	13.808
Standardized Test Statistic	-.435
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.664
Exact Sig. (2-sided test)	.697

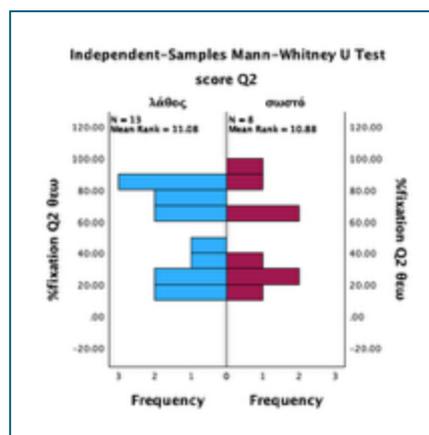


Σχήμα 29: Θεωρία Q2 TFD-Score Q2

Πίνακας 20: Αποτελέσματα %fixatio Θερία Q2-
Score Q2

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	51.000
Wilcoxon W	87.000
Test Statistic	51.000
Standard Error	13.808
Standardized Test Statistic	-.072
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.942
Exact Sig. (2-sided test)	.972



Σχήμα 30: Θεωρία Q2 %fixation-Score Q2



Εντροπία Q2- Σκορ Q2

Πίνακας 20: Αποτελέσματα Mann-Whitney U

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}	Decision
1	The distribution of entropy Q2 count is the same across categories of score Q2.	Independent-Samples Mann-Whitney U Test	.916 ^c	Retain the null hypothesis.

a. The significance level is .050.

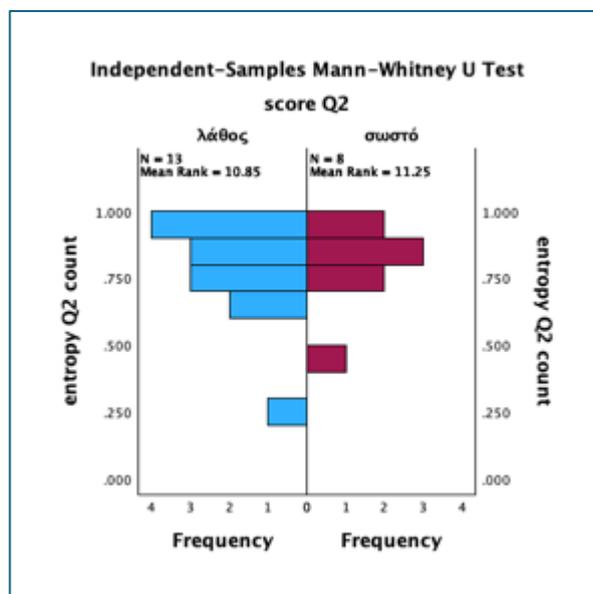
b. Asymptotic significance is displayed.

c. Exact significance is displayed for this test.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Entropy Q2-Score Q2

Independent-Samples Mann-Whitney U Test Summary

Total N	21
Mann-Whitney U	54.000
Wilcoxon W	90.000
Test Statistic	54.000
Standard Error	13.808
Standardized Test Statistic	.145
Asymptotic Sig. (2-sided test)	.885
Exact Sig. (2-sided test)	.916



Σχήμα 31: Entropy Q2-Score Q2

Πίνακας 22: Διάμεσοι για τους δείκτες του 2^{ου} ερευνητικού ερωτήματος

score Q2		διαγράμμα Q2 TFD	θεωρία Q2 TFD	%fixation Q2 θεω	%fixation Q2 διαγ	entropy Q2
λάθος	N	13	13	13	13	13
	Std. Deviation	6.83297	17.93096	27.67537	27.67537	.171783
	Median	7.3400	8.3100	60.7800	39.2200	.79800
σωστό	N	8	8	8	8	8
	Std. Deviation	5.51746	15.77402	28.36095	28.36095	.187762
	Median	9.5650	16.6750	49.5700	50.4300	.80650
Total	N	21	21	21	21	21
	Std. Deviation	6.22420	16.73353	27.23413	27.23413	.173337
	Median	8.4500	8.3100	60.3500	39.6500	.79800



