ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2025)

14ο Συνέδριο ΕΤΠΕ «ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»

Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση σε ένα Διεπιστημονικό Ψηφιακό Περιβάλλον

Γεωργία Ιατράκη, Αριστούλα Κοντογιάννη

doi: 10.12681/cetpe.9513

Βιβλιογραφική αναφορά:

Ιατράκη Γ., & Κοντογιάννη Α. (2026). Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση σε ένα Διεπιστημονικό Ψηφιακό Περιβάλλον. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 561–770. https://doi.org/10.12681/cetpe.9513

Καθολικός Σχεδιασμός για τη Μάθηση σε ένα Διεπιστημονικό Ψηφιακό Περιβάλλον

Γεωργία Ιατράκη, Αριστούλα Κοντογιάννη
g.iatraki@uoi.gr, desmath@gmail.com
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη

Η διδασκαλία διεπιστημονικού περιεχομένου προάγει την ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού και την ενεργητική μάθηση συμβάλλοντας στην ισότιμη συμμετοχή και πρόοδο όλων των μαθητών σε επίπεδο γενικής τάξης. Η αξιοποίηση της Ψηφιακής Τεχνολογίας (ΨΤ) σε συνδυασμό με τις αρχές του Καθολικού Σχεδιασμού για τη Μάθηση (ΚΣΜ) ενισχύουν την προσβασιμότητα και προάγουν τη συμπερίληψη. Σκοπός της παρούσας πιλοτικής μελέτης ήταν να διερευνήσει την εφαρμογή του ΚΣΜ για τη δημιουργία ενός ψηφιακού μαθησιακού περιβάλλοντος μέσω της σύνδεσης Μαθηματικών και Φυσικής σ' ένα συμπεριληπτικό πλαίσιο. Στην παρέμβαση συμμετείχαν δέκα μαθητές Β' Γυμνασίου, εκ των οποίων ένας μαθητής με Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος, ένας μαθητής με οπτική αναπηρία, συνοδά χρόνια νοσήματα και γενικές μαθησιακές δυσκολίες και ένας μαθητής με προβλήματα λόγου και ομιλίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενσωμάτωση της ΨΤ στην παρέμβαση βελτίωσε τα μαθησιακά αποτελέσματα και ενθάρρυνε την εμπειρία των μαθητών.

Λέξεις κλειδιά: επιστημονικός γραμματισμός, Καθολικός Σχεδιασμός Μάθησης, συμπερίληψη, Ψηφιακά Μαθησιακά Αντικείμενα

Εισαγωγή

Η συστηματική ενασχόληση των μαθητών με βασικές μαθηματικές έννοιες στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και η αξιοποίησή τους στην προώθηση της νοηματοδοτημένης μάθησης Φυσικών Επιστημών ενισχύουν δεξιότητες ανώτερου επιπέδου, όπως είναι η συλλογιστική σκέψη και η επίλυση προβλημάτων (Bao & Koenig, 2019· Yacoubian, 2018). Σε αυτό το πλαίσιο, η κατανόηση φαινομένων και εννοιών που σχετίζονται με την καθημερινή εμπειρία και η προσέγγισή τους μέσω των διαφόρων επιστημονικών πεδίων συμβάλλουν στην ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού (Eylon et al., 2024· OECD, 2021). Ενδεικτικό παράδειγμα διεπιστημονικής προσέγγισης αποτελεί η κατανόηση της έννοιας της συνάρτησης και η εφαρμογή της σε προβλήματα Μαθηματικών και Φυσικής με στόχο την ανάπτυξη συναρτησιακού συλλογισμού, δηλαδή της αναγνώρισης και σύνδεσης πολλαπλών αναπαραστάσεων συναρτήσεων (Dilling & Kraus, 2022· Testa & Catena, 2022).

Σύγχρονες παιδαγωγικές προσεγγίσεις καθώς και η αξιοποίηση εργαλείων Ψηφιακής Τεχνολογίας (ΨΤ) μπορούν να κάνουν τη μαθησιακή διαδικασία ενδιαφέρουσα και αποτελεσματική (Hansson et al., 2023· Mikropoulos & Iatraki, 2022). Ειδικότερα, η αξιοποίηση Ψηφιακών Μαθησιακών Αντικειμένων (ΨΜΑ) στη διδασκαλία μπορεί να ενισχύσει τα μαθησιακά αποτελέσματα και την εμπειρία των μαθητών (Natsis et al., 2014· Nurmi & Jaakkola, 2006). Στην περίπτωση των μαθητών με αναπηρία ή/και με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, η χρήση της ΨΤ χρειάζεται να ευθυγραμμιστεί με τις αρχές του Καθολικού Σχεδιασμού για τη Μάθηση (ΚΣΜ), όπου σχεδιάζονται κατάλληλες προσαρμογές στο περιεχόμενο, τους στόχους, στις μεθόδους διδασκαλίας και αξιολόγησης προκειμένου να προαχθεί η συμπερίληψη (American Psychiatric Association, 2022· CAST, 2018· Fovet, 2022· Jwad et al., 2022· Individuals With Disabilities Education Improvement Act, 2004). Παρά το αυξανόμενο ενδιαφέρον για την θεώρηση των αρχών του ΚΣΜ στην εκπαιδευτική πολιτική, η επίδραση του ΚΣΜ στα μαθησιακά αποτελέσματα και η κατανόηση του ρόλου της ΨΤ στην

υλοποίησή του στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση φαίνεται να μην έχει διερευνηθεί επαρκώς (King-Sears et al., 2023· Ok et al., 2017· Rao et al., 2014).

Συνοψίζοντας, αναδεικνύεται ένα ερευνητικό ενδιαφέρον ως προς την ανάπτυξη παρεμβάσεων διεπιστημονικού χαρακτήρα που αξιοποιούν ΨΤ με βάση τις αρχές του ΚΣΜ και τα χαρακτηριστικά μαθητών με αναπηρία ή/και ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες.

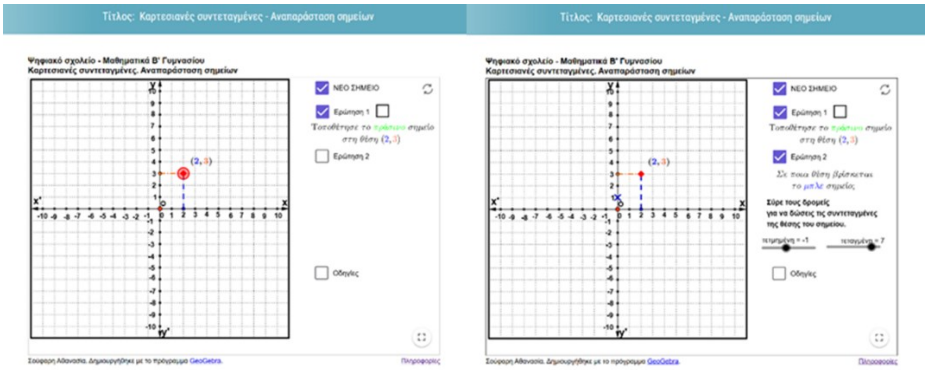
Μέθοδος

Σκοπός της παρούσας πιλοτικής μελέτης ήταν η διερεύνηση της εφαρμογής των τριών αρχών του ΚΣΜ σε ένα διεπιστημονικό ψηφιακό περιβάλλον συμπερίληψης. Η κεντρική έννοια αφορούσε τη συνάρτηση y = ax στα Μαθηματικά και τη γενίκευσή της στην αντίστοιχη εξίσωση κίνησης στη Φυσική. Διατυπώθηκαν δύο ερευνητικά ερωτήματα: α) Συνέβαλε η δημιουργία του διεπιστημονικού ψηφιακού περιβάλλοντος στα μαθησιακά αποτελέσματα; β) Ποια ήταν η εμπειρία των μαθητών σε σχέση με την παρέμβαση;

Το διεπιστημονικό ψηφιακό περιβάλλον

Για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του μαθησιακού περιβάλλοντος αξιοποιήθηκαν: ο διαδραστικός πίνακας της αίθουσας διδασκαλίας, τρία ΨΜΑ από το ψηφιακό αποθετήριο Photodentro (http://photodentro.edu.gr), και μια παρουσίαση PowerPoint (Topali & Mikropoulos, 2019). Για το σχεδιασμό του ψηφιακού υλικού αξιοποιήθηκαν οι τρεις αρχές του ΚΣΜ (εμπλοκή, αναπαράσταση, δράση και έκφραση) οι οποίες συμβάλλουν στην προαγωγή της προσβασιμότητας στη γενική τάξη (AlRawi & AlKahtani, 2021). Στη συνέχεια περιγράφονται τα τρία ΨΜΑ τα οποία ακολουθούν διαδικασίες ανάλυσης έργου σε βήματα με βάση τις οδηγίες της οθόνης και παρέχουν σύντομη ανατροφοδότηση.

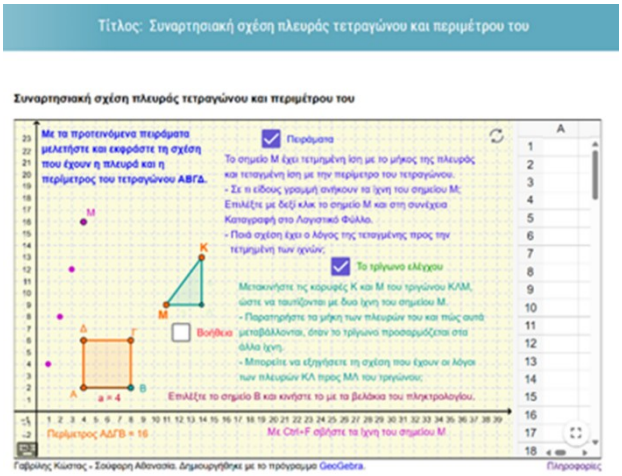
Το ΨΜΑ του Σχήματος 1, "Καρτεσιανές συντεταγμένες - Αναπαράσταση σημείων" (https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/2020) αποτελεί μικροπείραμα για την εισαγωγή στις καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων, και στοχεύει στην ακολουθία ερωτήσεων-βημάτων για την τοποθέτηση σημείων στο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων και αντίστροφα στην εύρεση συντεταγμένων από σημεία.



Σχήμα 1. Το ΨΜΑ "Καρτεσιανές συντεταγμένες - Αναπαράσταση σημείων"

Το ΨΜΑ του Σχήματος 2, "Συναρτησιακή σχέση πλευράς τετραγώνου και περιμέτρου του" (https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/2178) μελετά τη σχέση της πλευράς τετραγώνου με την περίμετρό του, όπου παρέχεται η δυνατότητα μεταβολής της πλευράς του

τετραγώνου, της συμπλήρωσης των τιμών πλευράς και περιμέτρου στον πίνακα τιμών και ο υπολογισμός του λόγου τους.



Σχήμα 2. Το ΨΜΑ "Συναρτησιακή σχέση πλευράς τετραγώνου και περιμέτρου του"

Το ΨΜΑ του Σχήματος 3, "Πολλαπλές αναπαραστάσεις της y = ax" (https://photodentro.edu.gr/v/item/ds/8521/2223) αποτελεί μικροπείραμα για τις αλληλοσυνδεόμενες αναπαραστάσεις της y = ax (τύπος, γράφημα, πίνακας τιμών). Οι μαθητές μεταβάλλουν τη θέση διαφόρων σημείων, ώστε να ανήκουν στην y = ax και παρατηρούν το λόγο των συντεταγμένων τους.

Σχήμα 3. Το ΨΜΑ "Συναρτησιακή σχέση πλευράς τετραγώνου και περιμέτρου του"

Πρόσθετα διδακτικά υλικά αποτέλεσαν ερωτηματολόγια στα δύο γνωστικά αντικείμενα μέσω των οποίων αναγνωρίστηκαν οι προηγούμενες γνώσεις των μαθητών και φύλλα εργασιών, τα οποία τροποποιήθηκαν και προσαρμόστηκαν στις εξατομικευμένες ανάγκες τους (μεγεθυμένα έντυπα, απλοποίηση περιεχομένου, σύντομες και σαφείς οδηγίες).

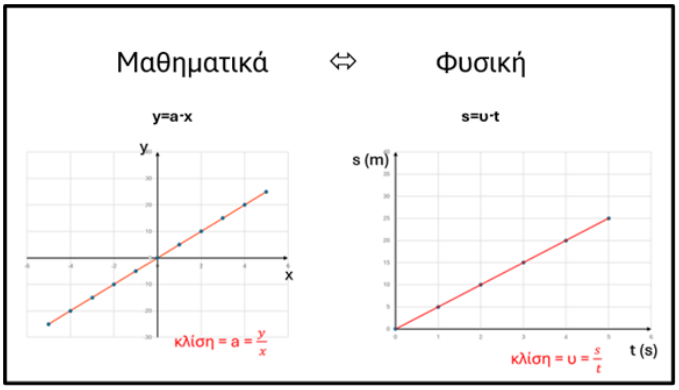
Αναφορικά με το στάδιο εξοικείωσης των μαθητών πραγματοποιήθηκε μια συνεδρία ώστε να αξιολογηθεί αν οι μαθητές πληρούσαν το κριτήριο επίτευξης για την εισαγωγή τους στην παρέμβαση. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν απλά βήματα ανάλυσης έργου με στόχο να παρατηρηθεί η ικανότητα των μαθητών να συμπληρώνουν τους πίνακες δεδομένων με τη χρήση της γραφίδας στα ΨΜΑ.

Καθολικός Σχεδιασμός για τη μάθηση

Για την ανάπτυξη της εκπαιδευτικής παρέμβασης αξιοποιήθηκαν οι τρεις αρχές του ΚΣΜ (εμπλοκή, πολλαπλοί τρόποι αναπαράστασης, δράση και έκφραση) οι οποίες εναρμονίζονται με τις ανάγκες των μαθητών για τη συμπερίληψή τους στη γενική τάξη (CAST, 2018).

Παροχή πολλαπλών μέσων εμπλοκής

Η εμπλοκή των μαθητών πραγματοποιείται μέσω της αρχικής ενεργοποίησής τους και του επιπέδου αλληλεπίδρασης με τα ΨΜΑ. Συγκεκριμένα, η παρότρυνση των ΨΜΑ μέσω των οδηγιών για μετακίνηση των σημείων στις γραφικές παραστάσεις, η μεταβολή των μεταβλητών και η θέαση των άμεσων αποτελεσμάτων των δραστηριοτήτων ενισχύουν την ενεργητική συμμετοχή, διατηρούν τη συγκέντρωση και προάγουν τη διαφοροποιημένη διδασκαλία και την άμεση ανατροφοδότηση (Σχήματα 1-3). Μέσω της παρουσίασης του PowerPoint αποτυπώνεται μια ρεαλιστική βιωματική εμπειρία όπου συνδέεται η έννοια της συνάρτησης με την εξίσωση κίνησης ενός αυτοκινήτου που κινείται ευθύγραμμα με σταθερή ταχύτητα με στόχο τη νοηματοδοτημένη μάθηση. Η διεπιστημονική προσέγγιση υπογραμμίζεται στο Σχήμα 4, όπου αντιστοιχίζεται η συνάρτηση με την εξίσωση κίνησης για την ανάπτυξη του συναρτησιακού συλλογισμού.



Σχήμα 4. Στιγμιότυπα από την αντιστοίχιση των συναρτήσεων και των γραφικών τους παραστάσεων στα δύο γνωστικά αντικείμενα.

Παροχή πολλαπλών μέσων αναπαράστασης

Τα ΨΜΑ παρέχουν οπτικές, συμβολικές και αριθμητικές αναπαραστάσεις, ενισχύοντας την πρόσβαση όλων των μαθητών στη γνώση. Οι οπτικές αναπαραστάσεις (γράφημα, πίνακας τιμών, μαθηματικός τύπος) για έννοιες όπως οι καρτεσιανές συντεταγμένες και η συνάρτηση y = ax, οι συμβολικές αναπαραστάσεις (μαθηματικοί τύποι και αριθμητικές απεικονίσεις μέσω πινάκων τιμών) συμβάλλουν στη διαφοροποίηση του περιεχομένου. Η ενσωμάτωση του Geogebra ως μικροπείραμα σε κάθε ΨΜΑ επιτρέπει τη δυναμική απεικόνιση της συνάρτησης, παρέχοντας τη δυνατότητα μεταβολής των μεταβλητών και την αντίληψη των σχέσεων

μεταξύ τους (Meyer et al., 2014). Η άμεση ανατροφοδότηση και η υπογράμμιση των κύριων σημείων συμβάλλουν στην κατανόηση της αφηρημένης έννοιας της συνάρτησης. Τέλος, η χρήση PowerPoint στη φάση της γενίκευσης συμβάλλει στην περαιτέρω κατανόηση μέσω της εξίσωσης διαστήματος - χρόνου κατά την ευθύγραμμη κίνηση με σταθερή ταχύτητα.

Παροχή πολλαπλών μέσων δράσης και έκφρασης

Η διάσταση της δράσης και έκφρασης θεωρεί τρόπους παρότρυνσης της δραστηριοποίησης των μαθητών, όπως η παρατήρηση και η ελεύθερη επικοινωνία μέσω ερωτήσεων. Η ετερογένεια του προφίλ τους αντανακλάται στον τρόπο που προσλαμβάνουν τη γνώση, την εκφράζουν και στον τρόπο αλληλείπδρασης με τις μαθησιακές δραστηριότητες (Hall et al., 2012). Τα ΨΜΑ δίνουν τη δυνατότητα επιλογής ερωτημάτων, ακολουθίας διαδοχικών βημάτων και δραστηριοτήτων όπου προωθείται η συμμετοχή και η αυτονομία. Η συμπλήρωση δραστηριοτήτων μέσω πολλαπλών μορφών έκφρασης ενισχύει τη διαφοροποίηση και καθιστά τη μάθηση προσβάσιμη και ουσιαστική για όλους τους μαθητές, ανεξαρτήτως των προκλήσεών τους (Rose et al., 2006). Οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με μεταβλητές, να τροποποιήσουν σημεία και σχήματα, να συμπληρώσουν πίνακες τιμών ή να πραγματοποιήσουν υπολογισμούς, ενισχύοντας τις μεταγνωστικές δεξιότητές τους. Για παράδειγμα, η ρύθμιση της υποτείνουσας σε ορθογώνιο τρίγωνο (Σχήμα 2) που συνδέει την γεωμετρική με την αριθμητική αναπαράσταση, προσφέρει ευκαιρίες για εννοιολογική κατανόηση μέσω πολυτροπικής έκφρασης (Papadimitriou, 2020), όπου οι μαθητές πραγματοποιούν έλεγχο υποθέσεων, αλλάζουν μεταβλητές ή τροποποιούν συντεταγμένες σημείων. Η δυνατότητα πειραματισμού στο ευέλικτο ψηφιακό περιβάλλον επιτρέπει την υιοθέτηση μαθησιακών στρατηγικών που ενισχύουν τη γνωστική αυτονομία και υποστηρίζουν τις μαθησιακές ανάγκες. Για την διατήρηση της συγκέντρωσης αξιοποιούνται διδακτικές τεχνικές, όπως η ανάλυση έργου σε επιμέρους βήματα και οι ενισχύσεις. Η αναπαράσταση του διδακτικού περιεχομένου συμβάλλει στην φυσική αντίληψη των μαθητών μέσω της χρήσης κατάλληλης ορολογίας και της βασικής κατανόησης του περιεχομένου των συναρτήσεων (Μαθηματικά) και εξισώσεων κίνησης (Φυσική).

Συμμετέχοντες, χώρος της παρέμβασης και μαθησιακή διαδικασία

Συνολικά επτά μαθητές και τρεις μαθήτριες της Β΄ Τάξης ενός επαρχιακού Γυμνασίου του Νομού των Ιωαννίνων συμμετείχαν στην παρούσα παρέμβαση. Αποτιμώντας τη χρήση λεξιλογίου, των δυσκολιών στην αναγνωστική κατανόηση και στην εκτέλεση πράξεων και επίλυση προβλημάτων, το μαθησιακό προφίλ της τάξης προσδιορίζεται από χαμηλό ως μέτριο. Κοινό χαρακτηριστικό αποτελεί η ελλιπής ετοιμότητα για την έναρξη της μαθησιακής διαδικασίας και η δυσκολία στην εστίαση της προσοχής και τη διατήρηση της συγκέντρωσης.

Τρεις μαθητές της τάξης διαθέτουν αξιολογήσεις από το Κέντρο Διεπιστημονικής Αξιολόγησης Συμβουλευτικής και Υποστήριξης (ΚΕ.ΔΑ.ΣΥ.), συγκεκριμένα: ένας μαθητής με Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος (ΔΑΦ), ένας μαθητής με οπτική αναπηρία, συνοδά χρόνια νοσήματα και δευτερογενείς γενικές μαθησιακές δυσκολίες, και ένας μαθητής με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες (δυσκολίες στην ανάγνωση και στη γραφή).

Ο μαθητής με Διαταραχή Αυτιστικού Φάσματος (ΔΑΦ) διαθέτει μειωμένη σχολική ετοιμότητα, καθώς αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις στη συμπεριφορά (προσαρμογή), την προσοχή και συγκέντρωση. Παρουσιάζει ελλείμματα στους δείκτες ρέοντα συλλογισμού, τη γενική συλλογιστική ικανότητα, την εργαζόμενη μνήμη, και στους μηχανισμούς ανάγνωσης και διαχείρισης γλωσσικών ενοτήτων με αδυναμία εμβάθυνσης και κατανόησης του νοήματος. Τα συσσωρευμένα μαθησιακά ελλείμματα στη γλώσσα και στα μαθηματικά και

η ελλιπής ανάπτυξη της λογικομαθηματικής σκέψης οδηγούν το μαθητή να παραιτείται από τις δοκιμασίες.

Ο μαθητής με οπτική αναπηρία, συνοδά χρόνια νοσήματα και δευτερογενείς γενικές μαθησιακές δυσκολίες βρίσκεται σε οριακό επίπεδο νοητικής λειτουργίας, το οποίο προκύπτει από τη συνολική αξιολόγηση των δοκιμασιών των δεικτών λεκτικής κατανόησης και γλωσσικής ανάπτυξης, οπτικοχωρικής αντίληψης, ρέοντα συλλογισμού, εργαζόμενης μνήμης και ταχύτητας επεξεργασίας. Ως προς τη διαχείριση μαθηματικών προβλημάτων δεν είναι σε θέση να συσχετίζει αριθμητικά δεδομένα στο πλαίσιο απλών προβλημάτων, να αναλύει στρατηγικές και να επιλέγει την κατάλληλη πράξη.

Ο μαθητής με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες (στην ανάγνωση και στη γραφή) βρίσκεται σε οριακό επίπεδο νοητικής λειτουργίας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης των διαφόρων κλιμάκων της γλωσσικής ανάπτυξης, των μαθηματικών, της κατανόησης και των διαδικασιών συλλογής και επεξεργασίας πληροφοριών.

Το μαθησιακό περιβάλλον περιλαμβάνει τον χώρο της αίθουσας διδασκαλίας των μαθητών, με τα θρανία μετωπικά διατεταγμένα και τους μαθητές σε πλαίσιο ένας προς έναν. Στην τάξη βρίσκονται δύο εκπαιδευτικοί, η Μαθηματικός γενικής αγωγής και η Φυσικός παράλληλης στήριξης, όπως προβλέπεται με βάση τις αξιολογήσεις των μαθητών με αναπηρία από τον φορέα ΚΕ.ΔΑ.ΣΥ., οι οποίες συνεργάζονται σε πλαίσιο συμπερίληψης.

Στην πρώτη φάση της παρέμβασης (1 διδακτική ώρα) συλλέχθηκαν αρχικά δεδομένα για την αξιολόγηση της προηγούμενης γνώσης των μαθητών σχετικά με την έννοια της συνάρτησης, την αναγνώριση των συντεταγμένων και την τοποθέτηση σημείων πάνω στη γραφική παράσταση. Οι προφορικές οδηγίες που δόθηκαν στο παρόν στάδιο περιείχαν πανομοιότυπες λεκτικές προτροπές, όπως "επιλέξτε τη σωστή απάντηση" χωρίς περαιτέρω ανατροφοδότηση.

Στη συνέχεια, οι μαθητές εισήχθησαν στην παρέμβαση (4 διδακτικές ώρες σε δύο εβδομάδες, με συχνότητα διεξαγωγής 2 μαθήματα/εβδομάδα). Κάθε μάθημα διήρκησε 45-50 λεπτά. Σε κάθε μάθημα πραγματοποιήθηκε εκκίνηση του διαδραστικού πίνακα και του αποθετηρίου Photodentro και οι μαθητές αλληλεπιδρούσαν με τα ΨΜΑ και συμπλήρωναν φύλλα εργασίας λαμβάνοντας άμεση ανατροφοδότηση και σαφείς οδηγίες από τις εκπαιδευτικούς. Η στοχευμένη επιστημονική ορολογία περιλάμβανε όρους όπως συντεταγμένες, ανάλογα ποσά, συνάρτηση, γραφική παράσταση και κλίση. Εφόσον ολοκληρώθηκε η παρέμβαση για τα Μαθηματικά, χορηγήθηκε στους μαθητές ερωτηματολόγιο αξιολόγησης προηγούμενων γνώσεων αναφορικά με την αναγνώριση των φυσικών μεγεθών που εμπλέκονται στην εξίσωση κίνησης (1 διδακτική ώρα). Στη φάση της γενίκευσης, δομημένες ερωτήσεις στόχευαν στην επέκταση των γνώσεων για την έννοια της συνάρτησης (1 διδακτική ώρα). Συγκεκριμένα, οι μαθητές παρακολούθησαν μια παρουσίαση όπου ένα αυτοκίνητο κινείται σε ευθύγραμμο δρόμο και αφήνει στιγμιότυπα ανά ίσα χρονικά διαστήματα. Το μάθημα της Φυσικής σχεδιάστηκε για να αξιολογήσει τις δεξιότητες που θα μπορούσαν να αποκτήσουν οι μαθητές σε υψηλότερα επίπεδα της ταξινομίας Bloom (Anderson & Krathwohl, 2001) και οι οποίες σχετίζονται με την ανάπτυξη συναρτησιακού συλλογισμού και την απόκτηση φυσικής αντίληψης.

Τέλος, συλλέξαμε δεδομένα για τα μαθησιακά αποτελέσματα της συνολικής παρέμβασης Μαθηματικών-Φυσικής (αναγνώριση των φυσικών μεγεθών που μεταβάλλονται στην ευθύγραμμη κίνηση με σταθερή ταχύτητα, αξιολόγηση της ευχέρειας των μαθητών στην αναγνώριση γραφικών παραστάσεων, επεξεργασία πινάκων με πειραματικά δεδομένα και ερμηνεία φαινομένων και κατανόησης εννοιών και σύνδεσής τους με προβλήματα της καθημερινής εμπειρίας). Ταυτόχρονα αξιολογήσαμε την εμπειρία των μαθητών σχετικά με την παρέμβαση (ποιότητα περιεχομένου, ευκολία χρήσης ψηφιακών μέσων, συμβολή της ΨΤ,

επίπεδα εμπλοκής και κινήτρων, και ικανοποίηση από τη συμμετοχή στη μελέτη), μέσω ενός εργαλείου που βασίστηκε σε ένα προσαρμοσμένο ερωτηματολόγιο κλίμακας Likert 5 σημείων.

Αναφορικά με τους μαθητές με αναπηρία ή/και ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες πραγματοποιήθηκε διαφοροποίηση κατά την διεξαγωγή της μαθησιακής διαδικασίας και των φάσεων της αξιολόγησης, όπου εφαρμόστηκαν τεχνικές ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης όπως η ανάλυση έργου σε βήματα, οι ελάχιστες προτροπές κατά τη διδασκαλία και η παροχή χρονικής καθυστέρησης. Η ΨΤ εφαρμόστηκε με βάση τους διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης, τα εξατομικευμένα χαρακτηριστικά και την αξιοποίηση του ΚΣΜ. Οι μαθητές στη διάρκεια των μαθημάτων συμπλήρωναν φύλλα εργασίας, καθοδηγούμενοι από τις εκπαιδευτικούς. Αναφορικά με τους στόχους της παρέμβασης, αυτοί ταξινομήθηκαν στα τρία πρώτα επίπεδα της αναθεωρημένης ταξινομίας Bloom (Anderson & Krathwohl, 2001).

Αποτελέσματα και συζήτηση

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας αναλύθηκαν ποιοτικά εξαιτίας του μικρού αριθμού των συμμετεχόντων. Σε αυτή την ενότητα παρέχονται πληροφορίες αναφορικά με τις καλύτερες μαθησιακές επιδόσεις αλλά και τις δυσκολίες των μαθητών.

Συνολικά, οι μαθητές παρουσίασαν χαμηλά έως μέτρια επίπεδα σωστών απαντήσεων στην αρχική αξιολόγηση των Μαθηματικών αναφορικά με την έννοια της συνάρτησης, την αναγνώριση των συντεταγμένων και την τοποθέτηση σημείων πάνω στη γραφική παράσταση. Συνάντησαν ιδιαίτερη δυσκολία για να απαντήσουν σε ποιο τεταρτημόριο βρίσκεται ένα δεδομένο σημείο χωρίς να τους δίνεται το ορθοκανονικό σύστημα αξόνων με το αντίστοιχο σημείο. Ιδιαίτερες δυσκολίες συνάντησαν στο να βρίσκουν αφενός τα σημεία τομής με τους άξονες και αφετέρου να βρίσκουν την απόσταση σημείου από τους άξονες. Για παράδειγμα, μία από τις μαθήτριες έγραψε "από το x΄x απέχει δύο τετραγωνάκια και από το y΄y απέχει τέσσερα τετραγωνάκια" χωρίς να επισημαίνει ότι η απόσταση είναι μία θετική ποσότητα.

Όσον αφορά το μάθημα της Φυσικής, η αρχική αξιολόγηση περιλάμβανε ερωτήσεις μέσω των οποίων ανιχνεύτηκαν οι προαπαιτούμενες γνώσεις των μαθητών (πότε κινείται ένα σώμα, τι είναι τροχιά και πώς ονομάζεται η ευθεία τροχιά, συμπλήρωση κενών: φυσικό μέγεθος -π.χ. χρόνος, διάστημα ή απόσταση, ταχύτητα- το αντίστοιχο σύμβολο το μεγέθους και η μονάδα μέτρησης), μία ερώτηση όπου δινόταν ένα διάγραμμα s-t, με βάση το οποίο θα έπρεπε οι μαθητές να απαντήσουν σε έξι υποερωτήματα Σ-Λ και τέλος να υπολογίσουν την απόσταση που θα κάνει ένα σώμα σε συγκεκριμένο χρόνο. Η πλειοψηφία τους σύνδεσε την αλλαγή θέσης ενός σώματος με την κίνησή του, προσδιόρισε την τροχιά και αναγνώρισε την ευθύγραμμη τροχιά. Οι περισσότεροι μαθητές συμπλήρωσαν στον πίνακα τιμών στοιχεία για τον χρόνο και το διάστημα (απόσταση) αλλά παρουσίασαν δυσκολίες στη συμπλήρωση στοιχείων για τα φυσικά μεγέθη της θέσης, της μετατόπισης και της ταχύτητας. Στη ερώτηση που αναφερόταν στη γραφική παράσταση διαστήματος-χρόνου για ένα σώμα που κινείται ευθύγραμμα, οι μαθητές παρατήρησαν την ευθεία που ξεκινούσε από το μηδέν και είχε θετική κλίση, ωστόσο φαίνεται να τους δημιούργησε σύγχυση η ευθεία του σχήματος, με αποτέλεσμα να θεωρήσουν ότι το σώμα κινείται "ανηφορικά". Πρόσθετες δυσκολίες εντοπίστηκαν στον υπολογισμό του διαστήματος από το διάγραμμα και της ταχύτητας. Τέλος στην ερώτηση υπολογισμού του μήκους της διαδρομής οι μισοί μαθητές απάντησαν σωστά. Συνολικά, η επίδοση των μαθητών αποτιμάται ως μέτρια, με αρκετές δυσκολίες και σύγχυση στα αποτελέσματα των μαθητών.

Μετά την κύρια παρέμβαση, αρκετοί μαθητές αύξησαν τις σωστές απαντήσεις τους, καταγράφοντας αλλαγή στο επίπεδο. Συγκεκριμένα, στο ερωτηματολόγιο της τελικής αξιολόγησης των Μαθηματικών οι ερωτήσεις σχετίζονταν με τη συνάρτηση y = ax και τις ιδιότητές της (ανάλογα ποσά, κλίση της ευθείας, μορφή της συνάρτησης y=ax) και ήταν

κλειστού τύπου, συμπλήρωσης κενών, ερωτήσεις Σωστού-Λάθους (Σ-Λ), καθώς και μία ανοιχτού τύπου που βασιζόταν σε μία γραφική παράσταση συνάρτησης της μορφής y = ax. Στις ερωτήσεις κλειστού τύπου και στις ερωτήσεις Σ-Λ η πλειοψηφία των μαθητών απάντησε σωστά, ενώ δυσκολευτήκαν στη συμπλήρωση κενών και στην ερώτηση ανοιχτού τύπου.

Κατά αντιστοιχία καταγράφηκαν οι απαντήσεις των μαθητών στη Φυσική, μέσω του ερωτηματολογίου τελικής αξιολόγησης. Συνολικά οι μαθητές απάντησαν σε 4 ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών όπου χρειάστηκε να αναγνωρίσουν τη νέα συνάρτηση (s = vt) και τη γραφική της παράσταση, σε μία ερώτηση συμπλήρωσης κενών υπό μορφή πίνακα (όμοια με την ερώτηση στην αρχική αξιολόγηση), όπου η πλειοψηφία απάντησε σωστά, μία ερώτηση που βασίστηκε σε διάγραμμα (όμοια με την ερώτηση της αρχικής αξιολόγησης), όπου παρατηρήθηκαν μικρές βελτιώσεις στα επιμέρους υποερωτήματα Σ-Λ. Ενδεικτικές δυσκολίες που προκύπτουν από την αντιστοίχιση των μεγεθών και την αναγνώριση της γραφικής παράστασης παραμένουν.

Πρόσθετα, υπήρχε μια νέα ερώτηση αντιστοίχισης των δύο μαθημάτων, την οποία καθοδήγησε η σύγκριση των δύο διαγραμμάτων (βλ. Εικόνα 6), όπου οι μαθητές διέκριναν σωστά. Ειδικότερα, αντιστοίχισαν: i) τα ανάλογα ποσά x, y με τα ανάλογα φυσικά μεγέθη s, t, ii) τη συνάρτηση y = ax με την εξίσωση κίνησης s = vt, iii) την κλίση a με την ταχύτητα v και iv) τις δύο γραφικές παραστάσεις ως ευθείες.

Αναφορικά με την εμπειρία των μαθητών συγκεντρώθηκαν δεδομένα σχετικά με τη μάθηση, το ενδιαφέρον των μαθητών, τη μελλοντική πρόθεση παρακολούθησης άλλων μαθημάτων, το συνδυασμό των μαθημάτων και τη χρησιμότητα της παρέμβασης. Με βάση τις απαντήσεις οι μαθητές συμφώνησαν ότι η αξιοποίηση της ΨΤ συνέβαλε στη μάθηση και απόλαυσαν την εμπειρία. Σύμφωνα με τις απαντήσεις τους ο διαδραστικός πίνακας τους βοήθησε να συμμετάσχουν στη διαδικασία και ότι όσα έμαθαν είναι χρήσιμα. Επιπλέον, οι μαθητές ανέφεραν ικανοποίηση για το συνδυασμό των μαθημάτων και θα ήθελαν να το δοκιμάσουν και σε άλλα γνωστικά αντικείμενα.

Η ποιοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και τα ευρήματα από την εμπειρία των μαθητών υποδηλώνουν ότι ο ΚΣΜ, συνέβαλε στην εννοιολογική κατανόηση και στην καλλιέργεια δεξιοτήτων των μαθητών. Συγκεκριμένα, τα πολλαπλά μέσα αναπαράστασης, η εμπλοκή μέσω των ΨΜΑ και η έκφραση βοήθησαν τους μαθητές να αξιοποιήσουν τις μαθησιακές τους δυνατότητες. Παρά τις προκλήσεις ως προς τη διάσπαση της προσοχής και την έλλειψη συγκέντρωσης, οι μαθητές έδειξαν συνδεδεμένοι με τη μαθησιακή διαδικασία, ιδιαίτερα όταν πραγματοποιούσαν τα μικροπειράματα στα ΨΜΑ. Η οπτικοποίηση των εννοιών συνέβαλε στην εννοιολογική κατανόηση επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη αντίληψη του αφηρημένου περιεχομένου της έννοιας της συνάρτησης μέσα από το ρεαλιστικό παράδειγμα βιωματικής εμπειρίας της εξίσωσης κίνησης. Τέλος, η ακρίβεια της αναπαράστασης της συνάρτησης βελτίωσε την διακριτική ικανότητα των μαθητών μειώνοντας το μνημονικό τους φορτίο (Mayer, 2021). Τα ευρήματά μας ευθυγραμμίζονται με υπάρχουσες έρευνες, δίνοντας έμφαση στη σημασία των οπτικών αναπαραστάσεων, στην ενίσχυση του κινήτρου και της εμπλοκής κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (Ainsworth, 2006).

Η προστιθέμενη παιδαγωγική αξία της παρέμβασης αναφέρεται στις αρχές του ΚΣΜ και την ΨΤ, καθώς και τη διεπιστημονικότητα της διδασκαλίας σε πλαίσιο συμπερίληψης. Η ΨΤ καθιστά το διεπιστημονικό περιεχόμενο προσβάσιμο συμβάλλοντας στην ενίσχυση του επιστημονικού γραμματισμού. Η σύνδεση Μαθηματικών και Φυσικής διευκολύνει τους μαθητές να αντιληφθούν τη γνώση ολιστικά, διευκολύνοντας την κατανόηση και την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων. Η αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων και μέσων επιτρέπει στους μαθητές να μεταφέρουν τη γνώση σε διαφορετικά μαθησιακά περιβάλλοντα επιτυγχάνοντας τη γενίκευση.

Ο ΚΣΜ εξασφαλίζει πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης των εννοιών συμβάλλοντας στη διαφοροποίηση της διδασκαλίας και την αντιμετώπιση των προκλήσεων των μαθητών προάγοντας τη συμπερίληψη. Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά κάθε αναπηρίας, η χρήση κατάλληλων τεχνικών ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης και η ενσωμάτωση της ΨΤ στη μαθησιακή διαδικασία βοήθησε τους μαθητές να παραμείνουν συγκεντρωμένοι και να αποκομίσουν σημαντικά οφέλη. Ο σχεδιασμός των φύλλων εργασίας και των αξιολογήσεων με προτάσεις βασισμένες σε μεθόδους όπως είναι το "Κείμενο για Όλους", σχεδιάστηκαν ώστε να διευκολύνουν τους μαθητές να επικεντρωθούν στο βασικό περιεχόμενο. Η διαδοχική ανάπτυξη του διδακτικού περιεχομένου στην οθόνη του διαδραστικού πίνακα, ακολουθώντας βήματα ανάλυσης έργου, συνέβαλε στη μείωση του γνωστικού φορτίου και των μνημονικών ελλειμμάτων, ιδίως των μαθητών με αναπηρία.

Οι περιορισμοί της παρούσας μελέτης είναι: α) ο μικρός αριθμός των συμμετεχόντων μαθητών, β) ο περιορισμένος χρόνος υλοποίησης της παρέμβασης και γ) η απουσία δεδομένων διατήρησης της γνώσης. Τα ευρήματα ενθαρρύνουν μελλοντική έρευνα για την άρση των αναφερόμενων περιορισμών.

Συμπεράσματα

Αυτή η μελέτη αναδεικνύει την παιδαγωγική προστιθέμενη αξία της αξιοποίησης της ΨΤ σε διεπιστημονικές παρεμβάσεις, με έμφαση τα Μαθηματικά και τη Φυσική, με στόχο την προώθηση του επιστημονικού γραμματισμού σε πλαίσιο συμπερίληψης. Επισημαίνεται η σύνδεση του μαθησιακού περιεχομένου με τον συναρτησιακό συλλογισμού και την απόκτηση φυσικής αντίληψης μέσω της καθημερινής εμπειρίας των μαθητών. Η παρούσα μελέτη έρχεται σε συμφωνία με τα ευρήματα των González-Polo και Castañeda (2024), όπου οι μαθητές εμβάθυναν στην κατανόηση της μεταβολής των μεταβλητών και των μεταξύ τους σχέσεων των συναρτήσεων, μέσω ενός πειράματος ελεύθερης πτώσης το οποίο διεξήχθη μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας ενισχύοντας ουσιαστικά την εννοιολογική κατανόηση και την αναστοχαστική σκέψη. Η εφαρμογή των αρχών του ΚΣΜ στη διεπιστημονική παρέμβαση με την υποστήριξη της ΨΤ φαίνεται να συμβάλλει στην ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού.

Αναφορές

Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction, 16*(3), 183-198.

AlRawi, J. M., & AlKahtani, M. Al. (2021). Universal Design for learning for educating students with intellectual disabilities: a systematic review. *International Journal of Developmental Disabilities, 68*(6), 800-808.

American Psychiatric Association. (2022). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th ed., text rev.). APA.

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.

Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 1*(2), 1-12.

Beers, S. Z. (2011). *21st Century Skills: Preparing students for THEIR future*. National Education Association.

Benigno, V., Capuano, N., & Mangione, G. R. (2015). A web-based knowledge hub for special and inclusive education. *International journal of emerging technologies in learning, 10*(7), 5-13.

CAST (2018). *Universal Design for learning guidelines version 2.2*. CAST. https://udlguidelines.cast.org/

Dilling, F., & Kraus, S. F. (Eds.). (2022). *Comparison of mathematics and physics education II: Examples of interdisciplinary teaching at school*. Springer Spektrum.

Eylon, B.-S., Cohen, R., Sasson, A., & Spector-Levy, O. (2024). Integration of physics and mathematics in STEM education: Use of modeling. *Education Sciences, 14*(1), 20.

Fovet, F. (2022). *Exploring the role of UDL in post-secondary education: Reflections and case studies*. Routledge.

González-Polo, R. I., & Castaneda, A. (2024). Progressive mathematization of functions in secondary school students using a free-fall activity. *International Electronic Journal of Mathematics Education, 19*(1), em0765.

Hall, T. E., Meyer, A., & Rose, D. H. (2012). *Universal design for learning in the classroom: Practical applications*. Guilford Press.

Hansson, Ö., Juter, K., & Redfors, A. (2023). On mathematics and physics teaching in upper-secondary school. *Education Sciences, 13*(6), 564.

Individuals With Disabilities Education Improvement (2004). 20 U.S.C. §1400, H.R. 1350.

Jwad, S., Miesenberger, K., & Fagerholm, A. (2022). Universal Design for Learning implementation in European inclusive education: A systematic review. *International Journal of Inclusive Education*, *26*(9), 921-938.

Kellems, R. O., Cacciatore, G., & Osborne, K. (2019). Using an augmented reality-based teaching strategy to teach mathematics to secondary students with disabilities. *Career Development and Transition for Exceptional Individuals, 42*(4), 253-258.

King-Sears, M. E., Johnson, T. M., Berkeley, S., Weiss, M. P., Peters-Burton, E., & Evmenova, A. S. (2023). Universal Design for Learning and student outcomes: A research synthesis. *Remedial and Special Education, 44*(2), 111-126.

Mallidis-Malessas, P., Iatraki, G., & Mikropoulos, T. A. (2021). Teaching physics to students with intellectual disabilities using digital learning objects. *Journal of Special Education Technology, 37*(4), 510-522.

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

Meyer, A., Rose, D. H., & Gordon, D. (2014). Universal Design for Learning: Theory and practice. CAST Professional Publishing.

Mikropoulos, T., & Iatraki, G. (2022). Digital technology supports science education for students with disabilities: A systematic review. *Education and Information Technologies. 28,* 3911-3935.

Natsis, A., Hormova, H., & Mikropoulos, T. A. (2014). Students' views on different learning objects types. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *INTED Proceedings, 8th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 2363-2372). IATED Academy.

Nurmi, S. & Jaakkola, T. (2006). Promises and pitfalls of learning objects. *Learning, Media and Technology, 31*(3), 269-285.

OECD (2021). *21-st century readers: Developing literacy skills in a digital world*. Pisa, OECD Publishing.

Ok, M. W., Rao, K., Bryant, B. R., & McDougall, D. (2017). Universal Design for Learning in preK-12 education: A review of group comparison and single-subject intervention studies. *The Journal of Special Education*, *52*(4), 243-255.

Papadimitriou, A. (2020). Promoting functional scientific literacy through inquiry-based activities with the use of digital tools. *Themes in Science & Technology Education, 13*(2), 41-60.

Rao, K., Ok, M. W., & Bryant, B. R. (2014). A review of research on Universal Design Educational models. *Remedial and Special Education*, *35*(3), 153-166. https://doi.org/10.1177/0741932513518980

Rose, D. H., Meyer, A., & Hitchcock, C. (2006). *The Universally Designed classroom: Accessible curriculum and digital technologies*. Harvard Education Press.

Testa, I., & Catena, D. (2022). High school students' performances in transitions between different representations of linear relationships in mathematics and physics. *Education Sciences, 12*(11), 776.

Topali, P., & Mikropoulos, T. (2019). Digital Learning Objects for teaching computer programming in primary students. In M. Tsitouridou, A. J. Diniz, & T. Mikropoulos (Eds.), *Technology and innovation in learning, teaching and education* (pp. 256-266). Springer.

Yacoubian, H. A. (2018). Scientific literacy for democratic decision-making. *International Journal of Science Education, 40*(3), 308-327.