

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)

Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση


ΠΡΑΚΤΙΚΑ

14°

**ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ**

Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες
στην Εποχή της Τεχνητής Νοημοσύνης: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές

Στην μνήμη της Άννας Σπύριου




12-14 Απριλίου 2025

**ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΔΠΘ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΔΠΘ**

Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,
Τμήμα Φυσικής, Σχολή Θετικών Επιστημών,
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

synedrio2025.enepnet.gr



Διδασκαλία και Μάθηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο Φαινόμενο της Ταλάντωσης με την Χρήση Προβλήματος Ανοιχτού Τύπου

Ιωάννης Καλαντζής, Αναστάσιος Ζουπίδης

doi: [10.12681/codiste.9812](https://doi.org/10.12681/codiste.9812)

Διδασκαλία και Μάθηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο Φαινόμενο της Ταλάντωσης με την Χρήση Προβλήματος Ανοιχτού Τύπου

Ιωάννης Καλαντζής¹ και Αναστάσιος Ζουπίδης²

¹Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, ²Επίκουρος Καθηγητής,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
¹johnnkalandzidis@gmail.com

Περίληψη

Η εργασία αυτή αφορά τον σχεδιασμό, εφαρμογή και αξιολόγηση δύο διαφορετικών προσεγγίσεων διδασκαλίας και μάθησης της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) κάνοντας χρήση Ανοιχτών Προβλημάτων (ΑΠ) στο φαινόμενο των ταλαντώσεων. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε 2 ομάδες, με την διδασκαλία της Ομάδας Έγκυρων Πειραμάτων (ΟΕΠ) να επικεντρώνεται στην υποδεξιότητα IN (Interpreting) κάνοντας χρήση μόνο έγκυρων πειραμάτων και της Ομάδας Μη-Έγκυρων Πειραμάτων (ΟΜΕΠ) στην υποδεξιότητα UN (Understanding) και με μη έγκυρα πειράματα. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε σε συνολικά 24 μαθητές της Γ' Γυμνασίου. Η ΟΕΠ σημείωσε μεγαλύτερη πρόοδο στις υποδεξιότητες ID και IN, ενώ η ΟΜΕΠ υπερέιχε στην PL, παρουσιάζοντας ενδείξεις βαθύτερης μεταγνωστικής ευαισθητοποίησης παρά τις δυσκολίες στην UN.

Λέξεις Κλειδιά: ανοιχτό πρόβλημα, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, διερεύνηση, στρατηγική ελέγχου μεταβλητών

Teaching and Learning the Control of Variables Strategy in the Oscillation Phenomena Using Open Problem-based Approach

Ioannis Kalantzis¹ and Anastasios Zoupidis²

¹Teacher in secondary level education, ²Assistant Professor,
Pedagogical Department of Primary Level Education, Democritus University of Thrace
¹johnnkalandzidis@gmail.com

Abstract

This study focuses on the design, implementation, and evaluation of two different teaching and learning approaches of the Control of Variables Strategy (CVS), using Open-ended Problems (OP) within the phenomenon of oscillations. The students were split into 2 groups, where the teaching approach of the Valid Experiments Group (VEG) emphasized the subskill IN (Interpreting), using only unconfounded experiments, while the Non-Valid Experiments Group (NVEG) focused on the subskill UN (Understanding), including also confounded experiments. The participants were 24 students in the 9th grade. The VEG group showed greater improvement in the ID and IN subskills, while the NVEG group outperformed in PL, exhibiting signs of deeper metacognitive awareness despite persistent difficulties in UN.

Keywords: control of variables strategy, inquiry, open-ended problem, secondary education

Εισαγωγή

Η διδασκαλία της Φυσικής στο σχολείο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην καλλιέργεια επιστημονικών δεξιοτήτων και στην κατανόηση των βασικών νόμων που διέπουν τον φυσικό κόσμο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη Στρατηγική Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ), η οποία αποτελεί θεμελιώδη δεξιότητα της επιστημονικής μεθοδολογίας (Next Generation Science Standards [NGSS], 2013). Μέσω αυτής, οι μαθητές μαθαίνουν να αναγνωρίζουν, να ελέγχουν και να διαχειρίζονται τις μεταβλητές σε ένα πείραμα, εξασφαλίζοντας την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων (Chen & Klahr, 1999).

Η ενσωμάτωση της ΣΕΜ στη διδασκαλία μέσω ανοιχτών προβλημάτων και διερεύνησης προσφέρει στους μαθητές τη δυνατότητα να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους σε αυθεντικές καταστάσεις (Schalk et al., 2019). Τα ανοιχτά προβλήματα, χωρίς προκαθορισμένες λύσεις, ενισχύουν την ικανότητά τους να διατυπώνουν υποθέσεις, να πειραματίζονται και να εφαρμόζουν στρατηγικές επίλυσης. Η μαθησιακή αυτή προσέγγιση ενισχύει την ενεργό συμμετοχή και οδηγεί σε βαθύτερη κατανόηση των φυσικών φαινομένων, καλλιεργώντας την επιστημονική σκέψη.

Στο πλαίσιο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, η ΣΕΜ λειτουργεί ως εργαλείο για την ανάπτυξη κριτικής σκέψης και την εξοικείωση με τη διαδικασία της επιστημονικής έρευνας (Duit & Treagust, 2003). Η ικανότητα εντοπισμού και ελέγχου μεταβλητών δεν αφορά μόνο τη Φυσική αλλά και άλλες Φυσικές Επιστήμες, καθιστώντας τη ΣΕΜ διαθεματική δεξιότητα με εφαρμογές σε πολλούς τομείς. Επιπλέον, ενισχύει τη δημιουργικότητα και την αυτενέργεια των μαθητών, δεξιότητες απαραίτητες για την επιτυχία στον σύγχρονο κόσμο.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Το ερευνητικό έργο όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της ΣΕΜ σε σύγκριση με μία παραδοσιακή διδασκαλία είναι αρκετά εκτεταμένο ήδη. Για αυτό το λόγο, η συγκεκριμένη έρευνα είναι επικεντρωμένη γύρω από τη μελέτη των Schwichow et al. (2020), οι οποίοι μελέτησαν τα διδακτικά αποτελέσματα μίας διδασκαλίας που στοχεύει σε χαμηλότερου επιπέδου υποδεξιότητες και τα αποτελέσματα μίας διδασκαλίας που στοχεύει σε υψηλότερου επιπέδου υποδεξιότητες.

Η εργασία εξετάζει τη διερεύνηση ως βασικό μέσο βελτίωσης της διαδικαστικής γνώσης των μαθητών, και πιο συγκεκριμένα την δομημένη διερεύνηση, στην οποία ο εκπαιδευτικός έχει τον κυρίαρχο ρόλο στην οργάνωση της διδακτικής διαδικασίας (Roberts et al., 2024). Ο εκπαιδευτικός παρέχει στους μαθητές το διερευνητικό ερώτημα, τα πειραματικά υλικά και τις οδηγίες, καθορίζοντας σαφώς τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν ώστε η διδασκαλία να έχει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Οι μαθητές καλούνται να εκτελέσουν το πείραμα, να συλλέξουν τα δεδομένα και να εξαγάγουν συμπεράσματα βασισμένοι αποκλειστικά μόνο στα αποτελέσματα των πειραματισμών τους.

Παρόλο που οι μαθητές έχουν περιορισμένη ελευθερία σε αυτή τη μορφή διερεύνησης, η δομημένη προσέγγιση παραμένει ιδιαίτερα αποτελεσματική, ειδικά σε μαθητές με καμία προηγούμενη εμπειρία με τα μέρη της διερεύνησης (Ogegbo & Ramnarain, 2022; Zohar & Trumper, 2020). Λειτουργεί ως εισαγωγή στις βασικές αρχές της επιστημονικής σκέψης και της πειραματικής μεθόδου, προσφέροντας ένα ασφαλές μαθησιακό περιβάλλον σε αυτούς.

Η αποτελεσματικότητα της δομημένης διερεύνησης δεν περιορίζεται μόνο στη Φυσική αλλά και γενικότερα σε όλες τις Φυσικές Επιστήμες (Orosz et al., 2023) και μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τη μαθησιακή απόδοση, συγκριτικά με μία παραδοσιακή διδασκαλία. Επιπλέον, η δομημένη διερεύνηση μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για την ανάπτυξη πιο σύνθετων μορφών διερευνητικής μάθησης, όπως η καθοδηγούμενη ή η ανοιχτή διερεύνηση (Roberts et al., 2024).

Η ΣΕΜ είναι μια συλλογιστική δεξιότητα που βοηθά τους μαθητές να εφαρμόζουν σωστά την επιστημονική μέθοδο μέσω πειραματισμού. Μία από τις πρώτες σχετικές μελέτες στην

εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών έγινε το 1999 από τους Chen και Klahr και περιλαμβάνει την ικανότητα διάκρισης μεταξύ κατάλληλων και μη κατάλληλων πειραμάτων. Σε μεταγενέστερες μελέτες η ΣΕΜ διαχωρίστηκε σε τέσσερις υποδεξιότητες (Schwichow, Cristoph et al., 2016).

Αυτές οι υποδεξιότητες αποτελούνται από: τη διάκριση μεταξύ έγκυρων / κατάλληλων και μη έγκυρων / κατάλληλων πειραμάτων (Identifying, ID), την εξαγωγή συμπερασμάτων από έγκυρα / κατάλληλα πειράματα (Interpreting, IN), την κατανόηση των λόγων που καθιστούν ένα πείραμα μη έγκυρο / κατάλληλο (Understanding, UN) και την ικανότητα σχεδιασμού έγκυρων και κατάλληλων πειραμάτων (Planning, PL). Οι τελευταίες δύο θεωρούνται υψηλότερου επιπέδου υποδεξιότητες της μεθόδου, με αυξημένη δυσκολία στην κατανόηση και αξιοποίησή τους (Schwichow, Cristoph et al., 2016). Η ΣΕΜ βοηθά τους μαθητές στην εκτέλεση, πρόβλεψη και αξιολόγηση πειραμάτων, με υψηλή αποτελεσματικότητα τόσο σε hands-on όσο και σε προσομοιωμένα πειράματα (Schwichow, Crocker et al., 2016).

Τα ανοιχτά προβλήματα (ΑΠ) στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ενίσχυση της κριτικής σκέψης, της δημιουργικότητας και της ενεργούς συμμετοχής των μαθητών (Liu & Cao, 2023). Σε αντίθεση με τα κλειστά προβλήματα που έχουν μία προκαθορισμένη λύση, τα ΑΠ δεν έχουν μία μοναδική ή προφανή απάντηση και ενθαρρύνουν τους μαθητές να αναζητήσουν διαφορετικές προσεγγίσεις. Έρευνες, όπως των Volkwyn et al. (2020), δείχνουν πως η ενασχόληση με ΑΠ αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών, ιδίως όταν αυτά σχετίζονται με την καθημερινότητα τους. Παράλληλα, τους βοηθούν να αναπτύξουν δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και βαθύτερη κατανόηση επιστημονικών εννοιών, καθιστώντας τους πιο αυτόνομους και αποτελεσματικούς στη μάθηση.

Ακόμη, η ενσωμάτωση των ΑΠ σε ανοιχτά μαθησιακά περιβάλλοντα και η χρήση προσομοιώσεων επιτρέπει στους μαθητές να εξερευνούν έννοιες με τρόπο βιωματικό, αξιοποιώντας πολλαπλά μέσα, όπως βίντεο, γραφήματα και έντυπα υλικά. Βέβαια, η επιτυχής χρήση των ΑΠ σε μία διδασκαλία απαιτεί μία μερική υποβοήθηση από τον εκπαιδευτικό, της οποίας ο βαθμός επηρεάζει τη μαθησιακή τους πορεία (Blinkstein et al., 2017).

Μεθοδολογία

Σκοπός της Εργασίας και Ερευνητικό Ερώτημα

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η διδασκαλία πτυχών της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών χρησιμοποιώντας ένα ανοιχτό πρόβλημα στο θέμα των ταλαντώσεων (Καλαντζής, 2024). Η διδασκαλία είναι σχεδιασμένη για την Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, και πιο συγκεκριμένα για μαθητές Γυμνασίου. Το ερευνητικό έργο όσον αφορά την αποτελεσματικότητα της ΣΕΜ σε σύγκριση με μία παραδοσιακή διδασκαλία είναι αρκετά εκτεταμένο ήδη (Goodnough & Cashion, 2006· Rind & Ning, 2020). Για αυτό το λόγο, το ερευνητικό μας ερώτημα είναι το εξής:

Πόσο αποτελεσματική είναι η διδασκαλία της ΣΕΜ όταν είναι επικεντρωμένη στην διδασκαλία της χαμηλού επιπέδου υποδεξιότητας IN (Interpreting) σε σύγκριση με μία διδασκαλία της ΣΕΜ με επίκεντρο την υψηλού επιπέδου υποδεξιότητα UN (Understanding). Ή αλλιώς, ποια είναι η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) όταν οι μαθητές καλούνται να διαχειριστούν μη-έγκυρα πειράματα στο πλαίσιο της υποδεξιότητας UN, σε σύγκριση με το πώς αποδίδουν όταν τα πειράματα είναι αποκλειστικά έγκυρα, στο πλαίσιο της υποδεξιότητας IN (Schwichow et al., 2020);

Συμμετέχοντες/ουσες

Συνολικά σε αυτή την έρευνα συμμετείχαν 24 μαθητές και μαθήτριες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πιο συγκεκριμένα, όλοι/ες οι συμμετέχοντες/ουσες ήταν από το ίδιο σχολείο αλλά από 2 διαφορετικά τμήματα της Γ' Γυμνασίου. Ένα τμήμα ήταν με 14

συμμετέχοντες/ουσες (Ομάδα Μη-Έγκυρων Πειραμάτων, ΟΜΕΠ) και το δεύτερο τμήμα αποτελούνταν από 10 συμμετέχοντες/ουσες (Ομάδα Έγκυρων Πειραμάτων, ΟΕΠ).

Φύλλα Εργασίας (ΦΕ)

Η ΟΕΠ και η ΟΜΕΠ συμπλήρωσαν συνολικά τρία Φύλλα Εργασίας (ΦΕ), με το πρώτο και τρίτο ΦΕ να είναι ίδια και για τις δύο ομάδες, και στο δεύτερο ΦΕ να γίνεται η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ομάδων, εστιάζοντας η καθεμία σε διαφορετική υποδεξιότητα της ΣΕΜ (IN ή UN). Η συνολική διάρκεια της εφαρμογής ήταν δύο διδακτικές ώρες.

Το πρώτο ΦΕ, που είναι το ίδιο για την ΟΕΠ και ΟΜΕΠ, αποσκοπεί στη σύνδεση του φαινομένου των ταλαντώσεων με ένα καθημερινό φαινόμενο και ταυτόχρονα στην εισαγωγή του ανοιχτού προβλήματος που στα υπόλοιπα ΦΕ θα διαχειριστούν οι μαθητές: «Είστε στο πάρκο της γειτονιάς με τους φίλους σας. Από τι θα επηρεαστεί η περίοδος της ταλάντωσης που εκτελείται στην κούνια;». Επιπλέον, στο τέλος του πρώτου ΦΕ γίνεται ρητή αναφορά στη ΣΕΜ, με στόχο τη διενέργεια της συζήτησης για το τι είναι οι ανεξάρτητες και οι εξαρτημένες μεταβλητές.

Το δεύτερο ΦΕ, για την ΟΕΠ, αποτελείται από δύο δραστηριότητες, οι οποίες είναι επικεντρωμένες στη διδασκαλία της υποδεξιότητας IN της ΣΕΜ, υπόρρητα στην πρώτη και ρητά στη δεύτερη δραστηριότητα. Επομένως, οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι μόνο με έγκυρα πειράματα και εκτελούν πειραματισμούς για να ελέγξουν την επιρροή δύο ανεξάρτητων μεταβλητών στην περίοδο της ταλάντωσης.

Από την άλλη πλευρά, το δεύτερο ΦΕ της ΟΜΕΠ στοχεύει στην κατανόηση των λόγων που καθιστούν ένα πείραμα μη έγκυρο / κατάλληλο, υποδεξιότητα UN της ΣΕΜ, και δευτερευόντως στη διάκριση μεταξύ έγκυρων και μη έγκυρων πειραμάτων, υποδεξιότητα ID της ΣΕΜ. Ομοίως με την ΟΕΠ, το ΦΕ της ΟΜΕΠ αποτελείται από δύο δραστηριότητες, με την πρώτη δραστηριότητα να δίνει «χώρο» στους μαθητές να εκφράσουν τους τρόπους βελτίωσης μίας μη έγκυρης πειραματικής διάταξης και τη δεύτερη να προτρέπει τους μαθητές και τις μαθήτριες να διακρίνουν, με αιτιολόγηση, τις έγκυρες και τις μη-έγκυρες πειραματικές διατάξεις.

Το τρίτο και τελευταίο ΦΕ είναι επίσης κοινό για τις δύο ομάδες και καλύπτει ολόκληρη τη δεύτερη διδακτική ώρα, όπου όλοι οι μαθητές καλούνται να σχεδιάσουν δύο πειράματα, βασισμένα πάνω στο ανοιχτό πρόβλημα που εισήχθη στο πρώτο ΦΕ. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές και των δύο ομάδων, επιδιώκεται να εξοικειωθούν υπόρρητα και με την υποδεξιότητα της ΣΕΜ, που αφορά τον σχεδιασμό ενός έγκυρου και κατάλληλου πειράματος (PL).

Πίνακας 1. Οι υποδεξιότητες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές και οι μαθήτριες σε κάθε ΦΕ

Ομάδα μαθητών και μαθητριών	No. ΦΕ	Υποδεξιότητες ΣΕΜ			
		ID	IN	UN	PL
Ομάδα Έγκυρων Πειραμάτων	1 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ομάδα Μη-Έγκυρων Πειραμάτων	1 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3 ^ο	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Για την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών στα ΦΕ, δημιουργήθηκε μία τετραβάθμια κλίμακα (Πίνακας 2). Αυτή η κλίμακα, προέκυψε μέσα από τις απαντήσεις που παρατηρήθηκε πως έδιναν οι μαθητές στις ερωτήσεις των ΦΕ.

Η κλίμακα αξιολόγησης των απαντήσεων των μαθητών αποτελείται από 4 περιπτώσεις. Αρχικά, στην κατηγορία «0» είναι οι απαντήσεις που ήταν τελείως άσχετες με την ερώτηση ή δεν υπήρχε απάντηση. Στην κατηγορία «1» είναι οι απαντήσεις που περιλαμβάνουν κάποια εναλλακτική ιδέα περί του αντικειμένου και στην κατηγορία «2» είναι οι απαντήσεις, οι οποίες παρόλο που είναι προς την σωστή κατεύθυνση, είναι ελλιπείς στη φύση τους, με μέρη της απάντησης να μην είναι ξεκάθαρα ή είναι ημιτελείς προτάσεις. Τέλος, στην κατηγορία «3» είναι οι απαντήσεις που ακολουθούν πλήρως και με συνέπεια τον συλλογισμό της ΣΕΜ.

Πίνακας 2. Τρόπος αξιολόγησης των ΦΕ

Είδος απάντησης	Κατηγορία	Περιγραφή
Σωστή	3	Πλήρως σωστή απάντηση
Εσφαλμένη	2	Σωστή απάντηση αλλά ελλιπής
	1	Απαντήσεις με παρουσία εναλλακτικών ιδεών
Κενή	0	Κενή απάντηση ή τελείως άσχετη με την ερώτηση

Ερευνητικό Εργαλείο

Πριν από τη διδασκαλία της ΣΕΜ, προσφέρονται σε όλους τους συμμετέχοντες και συμμετέχουσες από την ΟΕΠ και την ΟΜΕΠ δύο προ-δοκιμαστικά pre test. Το πρώτο pre test ελέγχει τη δηλωτική γνώση με δύο ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, σχετικές με τις ερωτήσεις που δέχτηκαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του φαινομένου των ταλαντώσεων από την εκπαιδευτικό. Αυτό γίνεται για να βεβαιωθούμε ότι οι συμμετέχοντες είναι ήδη εξοικειωμένοι με το φαινόμενο.

Το δεύτερο pre test έχει τη σκοπιμότητα του ελέγχου της διαδικαστικής γνώσης των συμμετεχόντων/ουσών. Ο τρόπος επίτευξης αυτού είναι μέσα από οκτώ ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, για δυο διαφορετικά θέματα της Φυσικής, του εκκρεμούς και του ελατηρίου, με μια ερώτηση σε κάθε θέμα για κάθε μία από τις δεξιότητες της ΣΕΜ (Ταυλόπουλος, 2022).

Κάθε ένα θέμα αποτελούνταν από 4 ερωτήσεις, μια για κάθε υποδεξιότητα της ΣΕΜ, με την ερώτηση για την δεξιότητα PL να είναι πρώτη, ύστερα την ID, που ακολουθείται από την UN και τέλος η IN. Μέσα από αυτό το ερωτηματολόγιο μπορούμε να κρίνουμε την αποτελεσματικότητα της διδακτικής μας προσέγγισης για την διδασκαλία της ΣΕΜ σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης καθώς ελέγχονται όλες οι δεξιότητες ξεχωριστά, πριν και μετά την διδασκαλία.

Οι μη έγκυρες απαντήσεις των μαθητών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις διακριτές κατηγορίες, με τους μαθητές και μαθήτριες (α) να ακολουθούν κατάλληλα την επιστημονική μέθοδο αλλά να μην επιλέγουν την σωστή μεταβλητή (ΛΑΘ), (β) η απάντηση τους να αντικατοπτρίζει μη έγκυρα πειράματα που αλλάζει παραπάνω από μια μεταβλητή κατά τον πειραματισμό (ΠΟΑ) και (γ) η απάντηση αυτή να παρουσιάζει τον σχεδιασμό ενός μη έγκυρου πειράματος με απaráλλαχτες δοκιμές (ΑΠΑ).

Αποτελέσματα

Η αξιολόγηση της κατανόησης της ΣΕΜ βασίστηκε στη σύγκριση των αποτελεσμάτων pre και post test, με σκοπό την αποτίμηση της προόδου των μαθητών και των μαθητριών στις υποδεξιότητες της ΣΕΜ, Planning (PL), Identifying (ID), Understanding (UN) και Interpreting (IN).

Στην υποδεξιότητα PL, καταγράφηκε βελτίωση και στις δύο ομάδες, με την ΟΜΕΠ να παρουσιάζει την σημαντικότερη άνοδο από 8-9 σωστές απαντήσεις στο pre test σε 11 στο post test. Αντίστοιχη βελτίωση παρατηρήθηκε και στην ID, με σημαντική αύξηση στον αριθμό σωστών απαντήσεων, ιδιαίτερα στην ΟΜΕΠ, όπου από 6 σωστές απαντήσεις στο pre test είχαμε 11 στο post test. Στην IN, η ΟΜΕΠ παρουσίασε σαφή πρόοδο, από 7 σε 11 σωστές απαντήσεις, αντιθέτως όμως η ΟΕΠ παρουσίασε πτώση των σωστών απαντήσεων. Τέλος, στην UN, τα αποτελέσματα ήταν απροσδόκητα: ενώ η ΟΕΠ παρουσίασε μικρή πρόοδο, η ΟΜΕΠ εμφάνισε πτώση στην απόδοση, παρότι η συγκεκριμένη υποδεξιότητα αποτελούσε βασικό στόχο στο δεύτερο ΦΕ της.

Η ανάλυση των τεσσάρων υποδεξιοτήτων της ΣΕΜ (PL, ID, UN, IN) δείχνει συγκεκριμένες τάσεις στις λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία. Στην PL, και οι δύο ομάδες παρουσίαζαν αρχικά πολλές λανθασμένες απαντήσεις που βασιζόνταν στην εναλλακτική ιδέα του ΠΟΛ (5 εμφανίσεις συνολικά), οι οποίες μειώθηκαν σημαντικά μετά τη διδασκαλία (2 για την ΟΕΠ, 1 για την ΟΜΕΠ). Στην ID, η ΟΕΠ και η ΟΜΕΠ ξεκινούσαν επίσης με αρκετές ΠΟΛ απαντήσεις και κάποιες ΛΑΘ ή κενές· μετά τη διδασκαλία, παρατηρείται μείωση στις ΠΟΛ, ενώ η ΟΜΕΠ παρουσίασε και μείωση στις ΛΑΘ (από 5 σε 3) και στις κενές (από 3 σε 1).

Στην UN, η ΟΜΕΠ εμφάνισε αντίστροφη πορεία, καθώς οι απαντήσεις ΠΟΛ αυξήθηκαν και διπλασιάστηκαν οι ΛΑΘ και ΑΠΑ στο post test, ενώ στην ΟΕΠ παρατηρήθηκε μείωση στις ΛΑΘ και εξαφάνιση των κενών απαντήσεων. Στην IN, η ΟΜΕΠ είχε αρχικά πολλές απαντήσεις ΠΟΛ (6) και κενές (5), οι οποίες μειώθηκαν στο post test (ΠΟΛ: 4, κενές: 1), ενώ στην ΟΕΠ οι ΠΟΛ αυξήθηκαν.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων από τα Φύλλα Εργασίας ενισχύει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη σύγκριση των pre και post test. Το κοινό τρίτο Φύλλο Εργασίας, το οποίο αφορούσε την υποδεξιότητα PL και εφαρμόστηκε σε αμφοτέρους τις ομάδες, αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικό. Σημαντικό ποσοστό μαθητών και των δύο ομάδων παρήγαγαν πλήρως ορθές απαντήσεις, κυρίως στην παρατήρηση και καταγραφή αποτελεσμάτων γεγονός που αντανακλά ενίσχυση στην ικανότητα συστηματικής συλλογής και αξιολόγησης δεδομένων.

Για το 2ο ΦΕ της ΟΕΠ, παρατηρείται ότι οι σωστές απαντήσεις ήταν περισσότερες στις δύο πρώτες ερωτήσεις (6 και 7 μαθητές αντίστοιχα), στις οποίες οι μαθητές καλούνται να εκτελέσουν δύο πειράματα και να εξαγάγουν συμπεράσματα, ενώ μειώθηκαν σημαντικά στην τρίτη (μόλις 3 μαθητές). Οι λανθασμένες απαντήσεις (εναλλακτικές ιδέες και ελλειψεις) αυξάνονται σταδιακά από την πρώτη προς την τρίτη ερώτηση. Ειδικότερα, η τρίτη ερώτηση, όπου οι μαθητές καλούνται να εξηγήσουν τον συλλογισμό τους, συγκέντρωσε τις περισσότερες απαντήσεις με ελλιπή συλλογισμό (4) και λανθασμένη εναλλακτική ιδέα (3), καθώς και 3 κενές απαντήσεις. Το μοτίβο αυτό υποδηλώνει ότι οι μαθητές δυσκολεύτηκαν περισσότερο στις ερωτήσεις που απαιτούσαν σύνθετη κρίση και αναγνώριση αοριστίας, ειδικά στην τρίτη ερώτηση.

Στο 2ο ΦΕ της ΟΜΕΠ, οι σωστές απαντήσεις ήταν σχετικά υψηλές στις ερωτήσεις 1η, 2η και 4η (7, 7 και 6 μαθητές αντίστοιχα), όπου οι μαθητές πρέπει να ελέγξουν εάν ένα πείραμα είναι έγκυρο, και αν όχι να το διορθώσουν ώστε να είναι, ενώ μειώθηκαν αισθητά στην 3η ερώτηση (μόνο 3 σωστές απαντήσεις), στην οποία δίνονται τέσσερις πειραματισμοί και πρέπει να διαχωρίσουν τους έγκυρους από τους μη έγκυρους. Οι λανθασμένες απαντήσεις (ελλειψεις και βασισμένες σε εναλλακτικές ιδέες) εντοπίζονται κυρίως στις ερωτήσεις 1 και 3, με την 3η να συγκεντρώνει τις περισσότερες απαντήσεις βασισμένες σε εναλλακτικές ιδέες (5 μαθητές) και καμία πλήρως σωστή απάντηση. Συνολικά, παρατηρείται ότι οι μαθητές αντιμετώπισαν περισσότερες δυσκολίες στις ερωτήσεις που απαιτούσαν κρίση επί της εγκυρότητας της πειραματικής διάταξης και αιτιολόγηση, παρά σε αυτές που απαιτούσαν απλή αναγνώριση μεταβλητών ή προφανή ερμηνεία.

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η διδασκαλία της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών (ΣΕΜ) μπορεί να ενισχύσει συγκεκριμένες πτυχές της επιστημονικής σκέψης, όπως αυτές αποτυπώνονται στις τέσσερις υποδεξιότητες της ΣΕΜ: αναγνώριση έγκυρων και μη πειραμάτων (Identifying - ID), εξαγωγή συμπερασμάτων από έγκυρα πειράματα (Interpreting - IN), κατανόηση της ακαταλληλότητας μη έγκυρων πειραμάτων (Understanding - UN) και σχεδιασμός έγκυρων πειραμάτων (Planning - PL).

Η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των δεδομένων κατέδειξε ότι η μεγαλύτερη πρόοδος των μαθητών εντοπίζεται στις υποδεξιότητες ID και PL. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι μαθητές ανέπτυξαν ικανότητα να αναγνωρίζουν μη έγκυρα πειράματα, ενώ αρκετοί παρουσίασαν ενθαρρυντικά δείγματα αυτονομίας και πληρότητας στον σχεδιασμό πειραματικών διαδικασιών. Η παρατήρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία, δεδομένου ότι η δεξιότητα PL θεωρείται η πιο σύνθετη εντός του πλαισίου της ΣΕΜ, καθώς προϋποθέτει ταυτόχρονα κατανόηση, αξιολόγηση και σύνθεση.

Αντιθέτως, οι δυσκολίες στην υποδεξιότητα UN παρέμειναν έντονες. Οι περισσότεροι μαθητές φάνηκε να μην μπορούν να εξηγήσουν επαρκώς γιατί ένα πείραμα που περιλαμβάνει μεταβλητές που αλλάζουν ταυτόχρονα είναι επιστημονικά ανεπαρκές. Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί με τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας (Chen & Klahr, 1999· Schwichow et al., 2016), η οποία υποστηρίζει ότι η κατανόηση του ρόλου των μη έγκυρων πειραμάτων συνιστά μία από τις πιο δύσκολες πτυχές της ΣΕΜ, καθώς απαιτεί αφαιρετική και μεταγνωστική σκέψη.

Η βελτίωση στην υποδεξιότητα IN ήταν μερική και διαφοροποιημένη ανά μαθητή. Παρότι κάποιοι μαθητές κατάφεραν να εξαγάγουν ορθά συμπεράσματα από πειραματικά δεδομένα, παρατηρήθηκαν και περιπτώσεις όπου οι απαντήσεις βασίστηκαν σε εμπειρικές γενικεύσεις ή σε επιφανειακή ανάγνωση των αποτελεσμάτων. Η σχετική αστάθεια στην IN πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι απαιτεί τη σύνδεση μεταξύ θεωρητικού ελέγχου και εμπειρικής ερμηνείας, κάτι που ενδέχεται να μην ήταν επαρκώς εδραιωμένο στο γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών.

Η συγκριτική αποτίμηση των δύο ομάδων έδειξε ότι η ΟΕΠ σημείωσε μεγαλύτερη πρόοδο στις υποδεξιότητες ID και IN, επιβεβαιώνοντας ότι η εργασία με έγκυρα πειράματα διευκολύνει την κατανόηση των βασικών αρχών της ΣΕΜ. Αντίθετα, η ΟΜΕΠ εμφάνισε σημαντικότερη βελτίωση στη δεξιότητα PL, γεγονός που αποδίδεται στην ανάγκη αναγνώρισης και διόρθωσης πειραματικών σφαλμάτων. Παρά τις δυσκολίες στην UN, η ΟΜΕΠ παρουσίασε ενδείξεις ενισχυμένης μεταγνωστικής ευαισθητοποίησης.

Τα ευρήματα αυτά υποδεικνύουν ότι η αποτελεσματική καλλιέργεια της ΣΕΜ απαιτεί διαφοροποιημένες διδακτικές στρατηγικές. Η ΟΕΠ ενδείκνυται για τη θεμελίωση βασικών δεξιοτήτων, ενώ η ΟΜΕΠ ενεργοποιεί δεξιότητες ανώτερης τάξης. Η συνδυαστική εφαρμογή και των δύο προσεγγίσεων κρίνεται απαραίτητη για την ουσιαστική και σπειροειδή ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης.

Βιβλιογραφία

- Ζουπίδης Α. (2012). Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων φυσικών επιστημών και τεχνολογίας: εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης. *Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Παιδαγωγικής Φλώρινας, Τμήμα Νηπιαγωγών*. <http://dx.doi.org/10.12681/eadd/28076>
- Καλαντζής, Ι. (2024). Διδασκαλία της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών στο Μάθημα της Φυσικής στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση με την Χρήση Προβλήματος Ανοιχτού Τύπου. *Αδημοσίευτη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*. <https://doi.org/10.26262/heal.auth.ir.361054>
- Ταυλόπουλος Α. (2022). Διδασκαλία και μάθηση της Στρατηγικής Ελέγχου Μεταβλητών: εφαρμογή στο Λύκειο. *Αδημοσίευτη Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*.

- Blikstein, P., Gomes, J. S., Akiba, H. T., & Schneider, B. (2017). The effect of highly scaffolded versus general instruction on students' exploratory behavior and arousal. *Technology, knowledge and learning*, 22, 105-128. <https://doi.org/10.1007/s10758-016-9291-y>
- Blonder, R., Mamlock-Naaman, R., & Hofstein, A. (2008). Analyzing inquiry questions of high-school students in a gas chromatography open-ended laboratory experiment. *Chemistry Education Research and Practice*, 9(3), 250-258. <https://doi.org/10.1039/B812414K>
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70(5), 1098-1120. <https://doi.org/10.1111/1467-8624.00081>
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International journal of science education*, 25(6), 671-688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Goodnough, K., & Cashion, M. (2006). Exploring problem-based learning in the context of high school science: Design and implementation issues. *School Science and Mathematics*, 106(7), 280-295. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2006.tb17919.x>
- Liu, Y., & Cao, Y. (2023). Beliefs of Pre-Service Mathematics Teachers in China About Mathematical Problem Solving-Focusing on Open/Close-Ended Problems. *The Mathematical Educator*, 4(3), 179-191. <https://ame.org.sg/2023/12/31/tme2023-vol-4-no-3-pp-179-191/>
- Next Generation Science Standards [NGSS] Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Ogegbo, A. A., & Ramnarain, U. (2022). Teaching and learning Physics using interactive simulation: A guided inquiry practice. *South African Journal of Education*, 42(1). <https://doi.org/10.15700/saje.v42n1a1997>
- Orosz, G., Németh, V., Kovács, L., Somogyi, Z., & Korom, E. (2023). Guided inquiry-based learning in secondary-school chemistry classes: A case study. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 50-70. <https://doi.org/10.1039/D2RP00110A>
- Rind, I. A., & Ning, B. (2020). Evaluating scientific thinking among Shanghai's students of high and low performing schools. *The Journal of Educational Research*, 113(5), 364-373. <https://doi.org/10.1080/00220671.2020.1832430>
- Roberts, K. L., Brugar, K. A., & Cuenca, A. (2024). Inquiry at Its Core: A Content Analysis of Inquiry Design Models. *The Elementary School Journal*, 124(4), 000-000. <https://doi.org/10.1086/729838>
- Schalk, L., Edelsbrunner, P. A., Deiglmayr, A., Schumacher, R., & Stern, E. (2019). Improved application of the control-of-variables strategy as a collateral benefit of inquiry-based physics education in elementary school. *Learning and Instruction*, 59, 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2018.09.006>
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J., & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216-237. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1137651>
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.12.001>
- Schwichow, M., Osterhaus, C., & Edelsbrunner, P. A. (2020). The relation between the control-of-variables strategy and content knowledge in physics in secondary school. *Contemporary Educational Psychology*, 63, 101923. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101923>
- Volkwyn, T. S., Airey, J., Gregorcic, B., & Linder, C. (2020). Developing representational competence: linking real-world motion to physics concepts through graphs. *Learning: Research and Practice*, 6(1), 88-107. <https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1750670>
- Zohar, B. R., & Trumper, R. (2020). The influence of inquiry-based remote observations via powerful optic robotic telescopes on high school students' conceptions of physics and of learning physics. *Journal of Science Education and Technology*, 29(5), 635-645. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09842-8>