

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

[ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ]

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η συμβολή της διερευνητικής μάθησης
στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης
των μαθητών στις θετικές επιστήμες

*The Contribution of Inquiry-Based Learning
to the Development of Students' Critical Thinking
in Science Education*

ΕΚΠΟΝΗΣΗ

Παναγιώτης Τράγγαλος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Αριστοτέλης Γκιόλμας

ΠΑΤΡΑ · 2026

Τίτλος Εργασίας

«Η συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες»

Εισαγωγή

Η σύγχρονη εκπαιδευτική πραγματικότητα απαιτεί τη διαμόρφωση μαθητών που δεν περιορίζονται στην απομνημόνευση γνώσεων, αλλά διαθέτουν δεξιότητες ανάλυσης, αξιολόγησης και επίλυσης προβλημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης αποτελεί βασικό στόχο της εκπαιδευτικής διαδικασίας, ιδιαίτερα στη διδασκαλία των θετικών επιστημών, όπου η κατανόηση εννοιών και η επιστημονική διερεύνηση διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο.

Η διερευνητική μάθηση αποτελεί μια μαθητοκεντρική διδακτική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης μέσα από ερωτήματα, πειραματισμό, παρατήρηση και εξαγωγή συμπερασμάτων. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, οι μαθητές ενθαρρύνονται να οικοδομούν τη γνώση με ενεργό τρόπο, αναπτύσσοντας παράλληλα δεξιότητες συνεργασίας, επιχειρηματολογίας και κριτικής ανάλυσης.

Στη διδασκαλία των θετικών επιστημών, η διερευνητική μάθηση αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς συνδέεται άμεσα με τη φύση της επιστημονικής γνώσης και της επιστημονικής μεθόδου. Η ενεργή εμπλοκή των μαθητών σε δραστηριότητες διερεύνησης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης και στην καλλιέργεια δεξιοτήτων απαραίτητων για τη σύγχρονη κοινωνία της γνώσης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμβολής της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Παράλληλα, εξετάζονται οι εμπειρίες και οι αντιλήψεις εκπαιδευτικών και μαθητών σχετικά με την εφαρμογή διερευνητικών πρακτικών στη σχολική τάξη.

Η εργασία οργανώνεται σε έξι βασικά κεφάλαια. Στο πρώτο παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο της διερευνητικής μάθησης και της κριτικής σκέψης, στο δεύτερο η μεθοδολογική προσέγγιση και στο τρίτο ένα αναλυτικό διδακτικό σενάριο για το απλό εκκρεμές. Στο τέταρτο περιγράφεται ο τρόπος παρουσίασης και ερμηνείας των δεδομένων, στο πέμπτο συζητούνται οι εκπαιδευτικές προεκτάσεις και στο έκτο συνοψίζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

- 1.1 Η έννοια της διερευνητικής μάθησης
 - 1.2 Βασικές αρχές της διερευνητικής προσέγγισης
 - 1.3 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στη διερευνητική μάθηση
 - 1.4 Η κριτική σκέψη στην εκπαίδευση
 - 1.5 Η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης στις θετικές επιστήμες
 - 1.6 Διερευνητική μάθηση και επιστημονικός γραμματισμός
 - 1.7 Σύγχρονες έρευνες και εκπαιδευτικές εφαρμογές
 - 1.8 Το διδακτικό μοντέλο BSCS 5E ως πλαίσιο διερευνητικής μάθησης
 - 1.9 Το συνθετικό μοντέλο διερευνητικής μάθησης των Pedaste et al.
 - 1.10 Από τον επιστημονικό συλλογισμό στην τεκμηριωμένη κρίση
 - 1.11 Οι εναλλακτικές αντιλήψεις ως αφετηρία της μάθησης στη Φυσική
 - 1.12 Η αναγκαιότητα της κατάλληλης παιδαγωγικής καθοδήγησης
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Μεθοδολογία της Έρευνας

- 2.1 Ερευνητική προσέγγιση
- 2.2 Σκοπός και στόχοι της έρευνας
- 2.3 Ερευνητικά ερωτήματα
- 2.4 Δείγμα της έρευνας
- 2.5 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων
 - Παρατήρηση
 - Συνεντεύξεις
 - Ανάλυση μαθητικών εργασιών
- 2.6 Διαδικασία υλοποίησης της έρευνας
- 2.7 Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων
- 2.8 Ζητήματα δεοντολογίας και αξιοπιστίας

- 2.10 Επιχειρησιακή αποτύπωση των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης
 - 2.11 Ποιοτική τεκμηρίωση, τριγωνοποίηση και αναστοχασμός του ερευνητή
 - 2.12 Δεοντολογική διαχείριση μαθητικών ερωτηματολογίων και ορίων της μελέτης
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Υποθετική μελέτη περίπτωσης: Η διερευνητική διδασκαλία του απλού εκκρεμούς

- 3.1 Εισαγωγή
- 3.2 Σκοπός της υποθετικής μελέτης περίπτωσης
- 3.3 Ερευνητικά ερωτήματα
- 3.4 Εκπαιδευτικό πλαίσιο και συμμετέχοντες
- 3.5 Περιγραφή της διδακτικής παρέμβασης
- 3.6 Φάσεις της διερευνητικής διδασκαλίας
 - 3.6.1 Φάση προσανατολισμού και εμπλοκής
 - 3.6.2 Φάση εννοιολόγησης και διατύπωσης υποθέσεων
 - 3.6.3 Φάση διερεύνησης και πειραματισμού
 - 3.6.4 Φάση ερμηνείας δεδομένων
 - 3.6.5 Φάση εξαγωγής συμπερασμάτων και αναστοχασμού
- 3.7 Εργαλεία συλλογής δεδομένων
 - 3.7.1 Δοκιμασία εννοιολογικής κατανόησης
 - 3.7.2 Δοκιμασία κριτικής σκέψης στη Φυσική
 - 3.7.3 Πρωτόκολλο παρατήρησης
 - 3.7.4 Φύλλα εργασίας και φύλλα αναστοχασμού
 - 3.7.5 Ομαδικές συνεντεύξεις μαθητών
- 3.8 Δεδομένα από την παρατήρηση της πειραματικής ομάδας
- 3.9 Ανάλυση μαθητικών εργασιών
- 3.10 Ανάλυση φύλλων αναστοχασμού
- 3.11 Ανάλυση ομαδικών συνεντεύξεων
 - 3.14.1 Ενεργή συμμετοχή των μαθητών
 - 3.14.2 Αναθεώρηση αρχικών αντιλήψεων

- 3.14.3 Χρήση δεδομένων και επιχειρηματολογία
- 3.14.4 Δυσκολίες κατά τη διερευνητική διαδικασία
- 3.12 Θεματικές κατηγορίες των ποιοτικών δεδομένων
- 3.13 Συνολική αποτίμηση της υποθετικής μελέτης περίπτωσης
- 3.14 Ρεαλιστική οργάνωση μιας διερευνητικής δραστηριότητας στην Α΄ Λυκείου
- 3.15 Τεχνικός σχεδιασμός μετρήσεων και αντιμετώπιση πειραματικών σφαλμάτων
- 3.16 Ο διάλογος των μαθητών ως πεδίο ανάπτυξης επιχειρηματολογίας
- 3.17 Σχεδιασμός ατομικού ερωτηματολογίου πριν και μετά την παρέμβαση
- 3.18 Από τη ρεαλιστική περιγραφή στα πραγματικά ερευνητικά τεκμήρια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Παρουσίαση και Ανάλυση Δεδομένων

- 4.1 Παρουσίαση δεδομένων παρατήρησης
 - 4.2 Ανάλυση συνεντεύξεων εκπαιδευτικών
 - 4.3 Ανάλυση συνεντεύξεων μαθητών
 - 4.4 Ανάλυση μαθητικών εργασιών
 - 4.5 Θεματικές κατηγορίες και ευρήματα
 - 4.8 Αναλυτικό παράδειγμα κωδικοποίησης μαθητικών απαντήσεων
 - 4.9 Κριτήρια για προσεκτική ερμηνεία συγκρίσεων και μεταβολών
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – Συζήτηση Αποτελεσμάτων

- 5.1 Ερμηνεία των ευρημάτων

5.2 Συσχέτιση με τη βιβλιογραφία

5.3 Οφέλη της διερευνητικής μάθησης

5.4 Περιορισμοί της έρευνας

5.5 Εκπαιδευτικές προεκτάσεις

5.7 Η διάκριση ανάμεσα στην εργαστηριακή εμπλοκή και στην ουσιαστική μάθηση

5.8 Η μεταφορά της διερευνητικής σκέψης σε νέα προβλήματα

5.9 Ερμηνευτικά όρια και αποφυγή υπερβολικών αιτιακών ισχυρισμών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – Συμπεράσματα και Προτάσεις

6.1 Βασικά συμπεράσματα

6.2 Προτάσεις για εκπαιδευτική πρακτική

6.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

6.8 Πρόταση συστηματικής αξιοποίησης και περαιτέρω διερεύνησης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

1.1 Η έννοια της διερευνητικής μάθησης

Η διερευνητική μάθηση αποτελεί μία από τις σημαντικότερες σύγχρονες παιδαγωγικές προσεγγίσεις και βασίζεται στην ενεργή συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. Αντί της παθητικής αποδοχής γνώσεων, οι μαθητές καλούνται να διερευνούν προβλήματα, να διατυπώνουν ερωτήματα, να συλλέγουν δεδομένα και να καταλήγουν σε συμπεράσματα μέσα από διαδικασίες ανακάλυψης και πειραματισμού.

Η προσέγγιση αυτή συνδέεται άμεσα με τις θεωρίες του εποικοδομητισμού, σύμφωνα με τις οποίες η γνώση δεν μεταδίδεται έτοιμη από τον εκπαιδευτικό στον μαθητή, αλλά οικοδομείται ενεργά από τον ίδιο τον μαθητή μέσα από την αλληλεπίδρασή του με το περιβάλλον και τις εμπειρίες του. Ο Dewey (1938) υποστήριξε ότι η εκπαίδευση πρέπει να βασίζεται στην εμπειρία και στη διερεύνηση πραγματικών προβλημάτων, ενώ ο Bruner (1961) τόνισε τη σημασία της ανακαλυπτικής μάθησης ως μέσου ανάπτυξης της σκέψης και της αυτενέργειας των μαθητών.

Η διερευνητική μάθηση εφαρμόζεται ιδιαίτερα στις θετικές επιστήμες, καθώς προσομοιώνει τη διαδικασία της επιστημονικής έρευνας. Οι μαθητές λειτουργούν ως «μικροί ερευνητές», διατυπώνοντας υποθέσεις, παρατηρώντας φαινόμενα, πραγματοποιώντας πειράματα και αξιολογώντας τα αποτελέσματα. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται η κατανόηση επιστημονικών εννοιών και καλλιεργούνται δεξιότητες όπως η συνεργασία, η επίλυση προβλημάτων και η κριτική σκέψη.

Η διερευνητική μάθηση μπορεί να λάβει διάφορες μορφές, από πλήρως καθοδηγούμενη έως ανοιχτή διερεύνηση. Στην καθοδηγούμενη διερεύνηση ο εκπαιδευτικός παρέχει συγκεκριμένες οδηγίες και δομή, ενώ στην ανοιχτή διερεύνηση οι μαθητές έχουν μεγαλύτερη αυτονομία στον σχεδιασμό και στην εκτέλεση της μαθησιακής διαδικασίας. Η επιλογή της κατάλληλης μορφής εξαρτάται από την ηλικία των μαθητών, τους μαθησιακούς στόχους και το εκπαιδευτικό πλαίσιο.

1.2 Βασικές αρχές της διερευνητικής προσέγγισης

Η διερευνητική μάθηση στηρίζεται σε ορισμένες βασικές παιδαγωγικές αρχές που διαφοροποιούν τη συγκεκριμένη προσέγγιση από τις παραδοσιακές μορφές διδασκαλίας.

Αρχικά, κεντρική θέση κατέχει η ενεργός συμμετοχή των μαθητών. Οι μαθητές δεν λειτουργούν ως παθητικοί δέκτες πληροφοριών αλλά συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της αναζήτησης και της ανακάλυψης της γνώσης. Μέσα από δραστηριότητες διερεύνησης, οι μαθητές ενθαρρύνονται να σκέφτονται, να αμφισβητούν και να διαμορφώνουν προσωπικές ερμηνείες.

Μία ακόμη βασική αρχή είναι η σύνδεση της μάθησης με αυθεντικά προβλήματα και πραγματικές καταστάσεις. Οι δραστηριότητες διερεύνησης συχνά σχετίζονται με

ζητήματα της καθημερινής ζωής ή με επιστημονικά φαινόμενα που προκαλούν το ενδιαφέρον των μαθητών. Η σύνδεση αυτή ενισχύει τα κίνητρα συμμετοχής και συμβάλλει στη βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών.

Επιπλέον, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη συνεργασία και στην αλληλεπίδραση μεταξύ των μαθητών. Η ανταλλαγή απόψεων, η επιχειρηματολογία και η συνεργατική επίλυση προβλημάτων συμβάλλουν στην ανάπτυξη κοινωνικών και γνωστικών δεξιοτήτων.

Η διερευνητική προσέγγιση δίνει επίσης έμφαση στη διαδικασία της μάθησης και όχι αποκλειστικά στο τελικό αποτέλεσμα. Οι μαθητές ενθαρρύνονται να αναστοχάζονται πάνω στη διαδικασία που ακολούθησαν, να αξιολογούν τις επιλογές τους και να αναπτύσσουν μεταγνωστικές δεξιότητες.

1.3 Ο ρόλος του εκπαιδευτικού στη διερευνητική μάθηση

Στη διερευνητική μάθηση ο ρόλος του εκπαιδευτικού διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με το παραδοσιακό μοντέλο διδασκαλίας. Ο εκπαιδευτικός δεν αποτελεί πλέον τη μοναδική πηγή γνώσης, αλλά λειτουργεί ως συντονιστής, καθοδηγητής και υποστηρικτής της μαθησιακής διαδικασίας.

Ο εκπαιδευτικός οργανώνει κατάλληλα το μαθησιακό περιβάλλον, σχεδιάζει δραστηριότητες διερεύνησης και παρέχει τα απαραίτητα μέσα και ερεθίσματα ώστε οι μαθητές να εμπλακούν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης. Παράλληλα, υποστηρίζει τους μαθητές στη διατύπωση ερωτημάτων, στην αναζήτηση πληροφοριών και στην αξιολόγηση των δεδομένων.

Ένας ακόμη σημαντικός ρόλος του εκπαιδευτικού είναι η ενίσχυση της συνεργασίας και της επικοινωνίας μέσα στην τάξη. Μέσα από κατάλληλες παρεμβάσεις ενθαρρύνεται η ανταλλαγή ιδεών και η ανάπτυξη επιχειρηματολογίας, στοιχεία που συμβάλλουν στην καλλιέργεια της κριτικής σκέψης.

Ωστόσο, η εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης απαιτεί από τον εκπαιδευτικό επαρκή προετοιμασία, ευελιξία και παιδαγωγικές δεξιότητες. Η οργάνωση διερευνητικών δραστηριοτήτων συχνά απαιτεί περισσότερο χρόνο και κατάλληλη επιμόρφωση, ώστε να επιτυγχάνονται αποτελεσματικά οι μαθησιακοί στόχοι.

1.4 Η έννοια της κριτικής σκέψης στην εκπαίδευση

Η κριτική σκέψη αποτελεί μία από τις σημαντικότερες δεξιότητες του 21ου αιώνα και θεωρείται βασικός στόχος της σύγχρονης εκπαίδευσης. Αναφέρεται στην ικανότητα του ατόμου να αναλύει πληροφορίες, να αξιολογεί δεδομένα, να εντοπίζει λογικές σχέσεις και να διαμορφώνει τεκμηριωμένες απόψεις και αποφάσεις.

Σύμφωνα με τον Ennis (1985), η κριτική σκέψη περιλαμβάνει λογική και αναστοχαστική σκέψη που επικεντρώνεται στη λήψη αποφάσεων σχετικά με το τι πρέπει να πιστέψει ή να πράξει ένα άτομο. Αντίστοιχα, οι Paul και Elder (2006) υποστηρίζουν ότι η κριτική σκέψη αποτελεί μια πειθαρχημένη διαδικασία ανάλυσης, σύνθεσης και αξιολόγησης πληροφοριών.

Η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης συνδέεται με την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων, την επιχειρηματολογία, την αξιολόγηση πηγών και τη λήψη αποφάσεων. Στο σχολικό περιβάλλον, η καλλιέργεια της κριτικής σκέψης συμβάλλει στην ενίσχυση της αυτονομίας των μαθητών και στη διαμόρφωση ενεργών και υπεύθυνων πολιτών.

Η κριτική σκέψη δεν αναπτύσσεται μέσω της αποστήθισης ή της παθητικής παρακολούθησης του μαθήματος. Αντίθετα, απαιτεί ενεργητικές μαθησιακές διαδικασίες, όπως η διερεύνηση, η συζήτηση, η επίλυση προβλημάτων και η ανάλυση πραγματικών καταστάσεων.

1.5 Η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης στις θετικές επιστήμες

Οι θετικές επιστήμες αποτελούν ιδιαίτερα πρόσφορο πεδίο για την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, καθώς βασίζονται στη διερεύνηση, στην παρατήρηση και στην επιστημονική τεκμηρίωση. Η διδασκαλία μαθημάτων όπως η Φυσική, η Χημεία και η Βιολογία προσφέρει ευκαιρίες για πειραματισμό, ανάλυση δεδομένων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Μέσα από διερευνητικές δραστηριότητες οι μαθητές μαθαίνουν να διατυπώνουν υποθέσεις, να σχεδιάζουν πειράματα, να ερμηνεύουν αποτελέσματα και να αξιολογούν διαφορετικές ερμηνείες επιστημονικών φαινομένων. Η διαδικασία αυτή ενισχύει την ικανότητα λογικής σκέψης και επιστημονικής επιχειρηματολογίας.

Παράλληλα, η διερευνητική μάθηση στις θετικές επιστήμες συμβάλλει στην ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού. Οι μαθητές αποκτούν δεξιότητες που τους επιτρέπουν να κατανοούν επιστημονικά ζητήματα της καθημερινής ζωής και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις ως ενεργοί πολίτες.

Επιπλέον, η διερευνητική προσέγγιση συμβάλλει στην αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες, καθώς η μάθηση γίνεται περισσότερο βιωματική, συνεργατική και συνδεδεμένη με την πραγματικότητα.

1.6 Διερευνητική μάθηση και επιστημονικός γραμματισμός

Ο επιστημονικός γραμματισμός αναφέρεται στην ικανότητα των ατόμων να κατανοούν επιστημονικές έννοιες, να αξιολογούν επιστημονικές πληροφορίες και να χρησιμοποιούν τη γνώση αυτή στην καθημερινή ζωή. Η ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού αποτελεί βασικό στόχο της σύγχρονης εκπαίδευσης στις θετικές επιστήμες.

Η διερευνητική μάθηση συμβάλλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού, καθώς οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά σε διαδικασίες που προσομοιώνουν την επιστημονική έρευνα. Μέσα από την παρατήρηση, τη συλλογή δεδομένων, τον πειραματισμό και την εξαγωγή συμπερασμάτων, οι μαθητές κατανοούν καλύτερα τη φύση της επιστήμης και τον τρόπο παραγωγής της επιστημονικής γνώσης.

Η ανάπτυξη επιστημονικού γραμματισμού συνδέεται επίσης με την ικανότητα των μαθητών να αξιολογούν την αξιοπιστία πληροφοριών και να αντιμετωπίζουν κριτικά επιστημονικά ζητήματα που σχετίζονται με την κοινωνία, την τεχνολογία και το περιβάλλον.

1.7 Σύγχρονες έρευνες και εκπαιδευτικές εφαρμογές

Τα τελευταία χρόνια, πολλές έρευνες έχουν αναδείξει τη θετική συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην εκπαιδευτική διαδικασία. Σύμφωνα με τον Bybee (2006), η διερευνητική προσέγγιση ενισχύει την ενεργή συμμετοχή των μαθητών και συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ανώτερης σκέψης.

Παράλληλα, έρευνες του National Research Council (2000) υποστηρίζουν ότι η διερευνητική μάθηση βελτιώνει την κατανόηση επιστημονικών εννοιών και ενισχύει την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων. Οι μαθητές που συμμετέχουν σε διερευνητικές δραστηριότητες παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα συνεργασίας, δημιουργικότητας και αυτονομίας.

Ωστόσο, η εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης στη σχολική πράξη συνοδεύεται και από δυσκολίες. Οι περιορισμοί του αναλυτικού προγράμματος, η έλλειψη χρόνου, η ανεπαρκής επιμόρφωση των εκπαιδευτικών και οι ελλείψεις σε υλικοτεχνική υποδομή αποτελούν σημαντικές προκλήσεις.

Παρά τις δυσκολίες αυτές, η διερευνητική μάθηση θεωρείται μία από τις πλέον αποτελεσματικές διδακτικές προσεγγίσεις για τη σύγχρονη εκπαίδευση, καθώς συμβάλλει στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, της δημιουργικότητας και της επιστημονικής σκέψης των μαθητών.

1.8 Το διδακτικό μοντέλο BSCS 5E ως πλαίσιο διερευνητικής μάθησης

Ένα από τα συστηματικότερα μοντέλα εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης στις φυσικές επιστήμες είναι το διδακτικό μοντέλο BSCS 5E. Το μοντέλο διαρθρώνεται σε πέντε διαδοχικές φάσεις: Εμπλοκή (Engagement), Διερεύνηση (Exploration), Εξήγηση (Explanation), Επεξεργασία ή Εμβάθυνση (Elaboration) και Αξιολόγηση (Evaluation). Η δομή του βασίστηκε στον μαθησιακό κύκλο SCIS των Atkin και Karplus, ενώ η προσθήκη των φάσεων της Εμπλοκής και της Αξιολόγησης ενίσχυσε την ενεργοποίηση της προϋπάρχουσας γνώσης και τη μεταγνωστική διάσταση της μάθησης.

Στη φάση της Εμπλοκής, οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με ένα ερώτημα, πρόβλημα ή φαινόμενο που ενεργοποιεί τις προηγούμενες γνώσεις τους και αναδεικνύει πιθανές εναλλακτικές αντιλήψεις. Στη Διερεύνηση αποκτούν κοινές εμπειρίες, παρατηρούν πρότυπα, εντοπίζουν μεταβλητές και διατυπώνουν ερωτήματα, ενώ ο εκπαιδευτικός λειτουργεί κυρίως ως διευκολυντής της μαθησιακής διαδικασίας.

Κατά την Εξήγηση, οι μαθητές καλούνται αρχικά να διατυπώσουν και να τεκμηριώσουν τις δικές τους ερμηνείες και στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός εισάγει με σαφή τρόπο τις επιστημονικά αποδεκτές έννοιες. Στην Εμβάθυνση εφαρμόζουν τις νέες γνώσεις σε διαφορετικές καταστάσεις, συζητούν, υπερασπίζονται τις προσεγγίσεις τους και αξιοποιούν πληροφορίες και αποδεικτικά στοιχεία. Τέλος, η Αξιολόγηση περιλαμβάνει τόσο την αποτίμηση της εννοιολογικής κατανόησης όσο και τον αναστοχασμό των μαθητών πάνω στη δική τους μαθησιακή πορεία.

Η σύνδεση του μοντέλου με την κριτική σκέψη εντοπίζεται στις γνωστικές δραστηριότητες που απαιτεί από τους μαθητές: διατύπωση και έλεγχος υποθέσεων, εξέταση εναλλακτικών λύσεων, κριτική ακρόαση διαφορετικών εξηγήσεων, αιτιολόγηση θέσεων, εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση δεδομένα και αυτοαξιολόγηση. Επομένως, το μοντέλο 5E μπορεί να λειτουργήσει ως οργανωμένο διδακτικό πλαίσιο μέσα στο οποίο καλλιεργούνται επιμέρους διαστάσεις της κριτικής σκέψης.

Η τελευταία παράγραφος αποτελεί **τεκμηριωμένη σύνθεση** των χαρακτηριστικών του μοντέλου και όχι ισχυρισμό ότι το άρθρο μέτρησε άμεσα την κριτική σκέψη ως ενιαία μεταβλητή.

2. Σύνδεση των 5Ε με την κριτική σκέψη

Φάση 5Ε	Δραστηριότητα μαθητή	Διάσταση κριτικής σκέψης
Εμπλοκή	Θέτει ερωτήματα και ανακαλεί προηγούμενες γνώσεις	Αναγνώριση προβλήματος και εξέταση αρχικών αντιλήψεων
Διερεύνηση	Διατυπώνει και ελέγχει υποθέσεις, καταγράφει παρατηρήσεις	Διερεύνηση δεδομένων, σύγκριση εναλλακτικών και αναστολή κρίσης
Εξήγηση	Εξηγεί, ακούει κριτικά και αμφισβητεί άλλες ερμηνείες	Επιχειρηματολογία, αιτιολόγηση και αξιολόγηση ισχυρισμών
Εμβάθυνση	Εφαρμόζει τη γνώση, σχεδιάζει πειράματα και εξάγει συμπεράσματα	Μεταφορά γνώσης, λήψη αποφάσεων και συμπερασματικός συλλογισμός
Αξιολόγηση	Χρησιμοποιεί αποδείξεις και αξιολογεί την πρόοδό του	Μεταγνώση, αυτοαξιολόγηση και αναστοχασμός

Η αντιστοίχιση αυτή βασίζεται στον πίνακα του άρθρου για τις αναμενόμενες ενέργειες των μαθητών. Οι μαθητές, μεταξύ άλλων, ελέγχουν προβλέψεις, εξετάζουν εναλλακτικές, ακούν κριτικά, ζητούν αιτιολόγηση, εξάγουν συμπεράσματα από στοιχεία και αξιολογούν την προσωπική τους πρόοδο.

3. Αξιοποίηση στη μεθοδολογία

Εφόσον η έρευνά σου περιλαμβάνει **παρατήρηση μαθημάτων, συνεντεύξεις και ανάλυση μαθητικών εργασιών**, το άρθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός πλαισίου παρατήρησης.

Μπορείς να αναζητήσεις στις παρατηρήσεις σου:

- αν οι μαθητές διατυπώνουν και ελέγχουν υποθέσεις,
- αν χρησιμοποιούν δεδομένα για να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις τους,
- αν εξετάζουν περισσότερες από μία εξηγήσεις,
- αν μεταφέρουν τη γνώση σε νέα προβλήματα,
- αν αναστοχάζονται πάνω στις απαντήσεις και στην πρόοδό τους.

Αντίστοιχα, για τον εκπαιδευτικό μπορείς να καταγράψεις αν ενεργοποιεί τις προηγούμενες γνώσεις, θέτει διερευνητικές ερωτήσεις, ζητά αποδείξεις και αιτιολόγηση, δίνει χρόνο για διερεύνηση και επιτρέπει στους μαθητές να αξιολογούν τη μάθησή τους.

Το πλαίσιο αυτό πρέπει να παρουσιαστεί ως **προσαρμοσμένο πρωτόκολλο παρατήρησης βασισμένο στο 5Ε** και όχι ως έτοιμο, σταθμισμένο τεστ μέτρησης της κριτικής σκέψης.

4. Αξιοποίηση στη συζήτηση των αποτελεσμάτων

Το άρθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνεις τα ευρήματά σου με προηγούμενη έρευνα. Η ανασκόπηση των Bybee και συνεργατών αναφέρει ενδείξεις ότι το μοντέλο 5E συνδέεται με βελτίωση της εννοιολογικής μάθησης, του ενδιαφέροντος για τις φυσικές επιστήμες και ορισμένων περισσότερο σύνθετων μορφών επιστημονικού συλλογισμού. Παράλληλα, επισημαίνει ότι για ορισμένους μαθησιακούς στόχους τα διαθέσιμα στοιχεία ήταν ανεπαρκή.

Ιδιαίτερα χρήσιμο για τη συζήτησή σου είναι το εύρημα ότι η **πιστότητα εφαρμογής** του μοντέλου έχει σημασία: οι μέσες κανονικοποιημένες επιδόσεις ήταν υψηλότερες όταν η εφαρμογή του 5E ήταν μέτρια ή υψηλή σε σύγκριση με χαμηλή εφαρμογή.

Χρειάζεται, όμως, ισορροπημένη διατύπωση. Οι ίδιοι οι συγγραφείς αναγνωρίζουν ότι, παρόλο που το μοντέλο στηρίζεται σε εκπαιδευτική θεωρία και σε αυξανόμενο αριθμό ερευνών, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση σχετικά με το πότε και με ποιον τρόπο είναι αποτελεσματικό.

1.9 Το συνθετικό Μοντέλο διερευνητικής μάθησης των Pedaste et al.

Η διερευνητική μάθηση αποτελεί μια μαθητοκεντρική διδακτική προσέγγιση, κατά την οποία οι μαθητές ακολουθούν διαδικασίες παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για την παραγωγή και τον έλεγχο της γνώσης. Στο πλαίσιο αυτό, οι μαθητές καλούνται να εντοπίζουν προβλήματα, να διατυπώνουν ερευνητικά ερωτήματα και υποθέσεις, να σχεδιάζουν και να πραγματοποιούν διερευνήσεις, να συλλέγουν και να αναλύουν δεδομένα και, τέλος, να εξάγουν και να αιτιολογούν συμπεράσματα. Η ενεργός συμμετοχή του μαθητή και η ανάληψη ευθύνης για την οικοδόμηση της γνώσης αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης προσέγγισης (Pedaste et al., 2015).

Ιδιαίτερα σημαντική για τη συστηματική περιγραφή της διερευνητικής μάθησης είναι η μελέτη των Pedaste et al. (2015), οι οποίοι πραγματοποίησαν συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση με σκοπό να εντοπίσουν τα βασικά και κοινά στοιχεία των διαφορετικών κύκλων διερεύνησης που είχαν προταθεί στη διεθνή βιβλιογραφία. Από την ανάλυση 32 επιστημονικών άρθρων προέκυψε ένα συνθετικό πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει πέντε γενικές φάσεις: τον Προσανατολισμό, την Εννοιολόγηση, τη Διερεύνηση, την Εξαγωγή Συμπεράσματος και τη Συζήτηση. Οι φάσεις αυτές περιλαμβάνουν επιμέρους διαδικασίες, όπως η διατύπωση ερωτημάτων, η παραγωγή υποθέσεων, η εξερεύνηση, ο πειραματισμός, η ερμηνεία δεδομένων, η επικοινωνία και ο αναστοχασμός.

Η πρώτη φάση, ο **Προσανατολισμός**, αποσκοπεί στην πρόκληση του ενδιαφέροντος και της περιέργειας των μαθητών σχετικά με ένα ζήτημα ή ένα φαινόμενο. Κατά τη φάση αυτή παρουσιάζεται μια προβληματική κατάσταση και προσδιορίζονται τα βασικά στοιχεία του υπό διερεύνηση θέματος. Ο μαθητής δεν λαμβάνει απλώς έτοιμες πληροφορίες, αλλά καλείται να αναγνωρίσει το πρόβλημα, να ενεργοποιήσει τις προηγούμενες γνώσεις του και να αντιληφθεί την ανάγκη περαιτέρω έρευνας. Η διαδικασία αυτή μπορεί να συμβάλει στην κριτική σκέψη, καθώς προϋποθέτει την αναγνώριση ενός προβλήματος, τη διάκριση των σχετικών από τα μη σχετικά στοιχεία και την αρχική εξέταση διαφορετικών πιθανών ερμηνειών. Σύμφωνα με το προτεινόμενο πλαίσιο, το αποτέλεσμα της φάσης του Προσανατολισμού είναι η διατύπωση μιας σαφούς προβληματικής κατάστασης, η οποία θα καθοδηγήσει τα επόμενα στάδια της διερεύνησης.

Η δεύτερη φάση είναι η **Εννοιολόγηση**, η οποία διακρίνεται στις υποφάσεις της διατύπωσης ερευνητικών ερωτημάτων και της παραγωγής υποθέσεων. Οι μαθητές επιχειρούν να κατανοήσουν το πρόβλημα και να το μετασχηματίσουν σε ερωτήματα που μπορούν να διερευνηθούν ή σε υποθέσεις που μπορούν να ελεγχθούν. Η διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων απαιτεί σαφή προσδιορισμό του αντικειμένου της διερεύνησης, ενώ η διατύπωση υποθέσεων προϋποθέτει την πρόβλεψη μιας πιθανής σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Τα αποτελέσματα της Εννοιολόγησης είναι επομένως τα ερωτήματα ή οι υποθέσεις που θα καθορίσουν την πορεία της έρευνας.

Η φάση αυτή συνδέεται άμεσα με σημαντικές δεξιότητες κριτικής σκέψης. Ο μαθητής χρειάζεται να αναλύσει το πρόβλημα, να αξιολογήσει τις υπάρχουσες πληροφορίες, να εντοπίσει τις μεταβλητές και να διατυπώσει ελέγξιμες και λογικά συνεπείς υποθέσεις. Παράλληλα, καλείται να διακρίνει μια απλή άποψη ή πρόβλεψη από μια επιστημονική υπόθεση που στηρίζεται σε προηγούμενη γνώση και μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση στοιχείων. Με τον τρόπο αυτό, η διερευνητική μάθηση δεν περιορίζεται στην εκτέλεση μιας πρακτικής δραστηριότητας, αλλά απαιτεί συστηματική ανάλυση και σχεδιασμό.

Η τρίτη φάση, η **Διερεύνηση**, περιλαμβάνει την εξερεύνηση, τον πειραματισμό και την ερμηνεία των δεδομένων. Στην εξερεύνηση οι μαθητές παράγουν δεδομένα με συστηματικό και οργανωμένο τρόπο, με βάση ένα ερευνητικό ερώτημα. Στον πειραματισμό σχεδιάζουν και πραγματοποιούν μια διαδικασία με σκοπό τον έλεγχο μιας συγκεκριμένης υπόθεσης. Η ερμηνεία δεδομένων αφορά την ανάλυση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν και τη σύνθεση νέας γνώσης. Η φάση της Διερεύνησης απαιτεί επομένως σχεδιασμό, επιλογή κατάλληλων μεθόδων, έλεγχο μεταβλητών, συλλογή αποδεικτικών στοιχείων και αναγνώριση σχέσεων ή προτύπων στα δεδομένα.

Οι παραπάνω διαδικασίες είναι στενά συνδεδεμένες με την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης. Οι μαθητές καλούνται να εξετάσουν κατά πόσο η διαδικασία που σχεδίασαν είναι κατάλληλη για την απάντηση του ερευνητικού τους ερωτήματος, να αξιολογήσουν την ποιότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων και να διακρίνουν τα στοιχεία από τις προσωπικές τους προσδοκίες. Επιπλέον, πρέπει να αναγνωρίζουν

πιθανά σφάλματα ή περιορισμούς, να επανεξετάζουν τον σχεδιασμό τους και να αποφεύγουν συμπεράσματα που δεν στηρίζονται επαρκώς στα διαθέσιμα δεδομένα. Με αυτή την έννοια, η Διερεύνηση συμβάλλει στην καλλιέργεια της τεκμηριωμένης κρίσης και του επιστημονικού συλλογισμού.

Η τέταρτη φάση είναι η **Εξαγωγή Συμπεράσματος**, κατά την οποία οι μαθητές επιστρέφουν στα αρχικά ερευνητικά ερωτήματα ή στις υποθέσεις τους και τα συγκρίνουν με τα αποτελέσματα της διερεύνησης. Το συμπέρασμα δεν αποτελεί απλώς μια επανάληψη των παρατηρήσεων, αλλά μια αιτιολογημένη απάντηση που προκύπτει από την ερμηνεία των δεδομένων. Οι μαθητές πρέπει να εξετάσουν αν τα στοιχεία υποστηρίζουν ή απορρίπτουν την αρχική υπόθεση, να αναγνωρίσουν την έκταση στην οποία μπορούν να γενικεύσουν τα αποτελέσματά τους και να διατυπώσουν τα συμπεράσματα με σαφήνεια.

Η συγκεκριμένη φάση αποτελεί κεντρικό σημείο σύνδεσης της διερευνητικής μάθησης με την κριτική σκέψη, διότι προϋποθέτει την εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων από αποδεικτικά στοιχεία. Οι μαθητές χρειάζεται να αιτιολογήσουν τις θέσεις τους, να ελέγξουν τη συνοχή ανάμεσα στα δεδομένα και στους ισχυρισμούς τους και να αναγνωρίσουν περιπτώσεις στις οποίες τα διαθέσιμα στοιχεία δεν επαρκούν για ένα ασφαλές συμπέρασμα. Επομένως, η έμφαση μετατοπίζεται από την εύρεση της «σωστής απάντησης» στην ποιότητα του συλλογισμού που οδηγεί σε αυτήν.

Η πέμπτη φάση, η **Συζήτηση**, περιλαμβάνει την Επικοινωνία και τον Αναστοχασμό. Κατά την Επικοινωνία, οι μαθητές παρουσιάζουν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματά τους στους συμμαθητές ή στον εκπαιδευτικό, δέχονται ανατροφοδότηση και συμμετέχουν σε ανταλλαγή απόψεων. Ο Αναστοχασμός αφορά την περιγραφή, την κριτική εξέταση και την αξιολόγηση ολόκληρης της διερευνητικής διαδικασίας ή μιας επιμέρους φάσης της.

Η Συζήτηση δεν περιορίζεται υποχρεωτικά στο τέλος της διαδικασίας, αλλά μπορεί να πραγματοποιείται σε κάθε φάση του διερευνητικού κύκλου. Οι Pedaste et al. (2015) διακρίνουν τον αναστοχασμό κατά τη διάρκεια της δράσης, κατά τον οποίο οι μαθητές παρακολουθούν και αξιολογούν την πορεία τους ενώ εργάζονται, και τον αναστοχασμό μετά τη δράση, κατά τον οποίο αποτιμούν συνολικά τη διαδικασία μετά την ολοκλήρωσή της. Η επικοινωνία και ο αναστοχασμός υποστηρίζουν τις μεταγνωστικές και ρυθμιστικές διαδικασίες, καθώς επιτρέπουν στους μαθητές να παρακολουθούν τη μάθησή τους, να αναγνωρίζουν αδυναμίες και να τροποποιούν τις στρατηγικές τους.

Η σημασία της συγκεκριμένης φάσης για την κριτική σκέψη είναι ιδιαίτερα εμφανής. Μέσα από τον διάλογο, οι μαθητές εκτίθενται σε διαφορετικές εξηγήσεις, καλούνται να υπερασπιστούν τις απόψεις τους με επιχειρήματα και στοιχεία και να επανεξετάσουν τις αρχικές τους θέσεις. Παράλληλα, ο αναστοχασμός τους βοηθά να εξετάσουν όχι μόνο τι έμαθαν, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οδηγήθηκαν στη νέα γνώση. Ερωτήματα όπως «Γιατί επέλεξα αυτή τη διαδικασία;», «Ποια στοιχεία στηρίζουν το συμπέρασμά μου;», «Τι θα μπορούσα να κάνω διαφορετικά;» και «Υπάρχει κάποια εναλλακτική ερμηνεία;» ενισχύουν την αυτοαξιολόγηση και την επίγνωση των ίδιων των γνωστικών διαδικασιών.

Ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό του μοντέλου των Pedaste et al. (2015) είναι ότι η διερευνητική μάθηση δεν παρουσιάζεται ως μια απολύτως γραμμική διαδικασία. Μετά την ερμηνεία των δεδομένων, οι μαθητές μπορούν να επιστρέψουν στην Εννοιολόγηση, να τροποποιήσουν ένα ερευνητικό ερώτημα ή μια υπόθεση και να πραγματοποιήσουν νέα διερεύνηση. Η επιστροφή σε προηγούμενες φάσεις μπορεί να προκύψει από ανεπαρκή ή αντιφατικά δεδομένα, από σφάλματα στον σχεδιασμό ή από νέες ιδέες που αναδύονται κατά την ανάλυση. Επομένως, η διερευνητική διαδικασία χαρακτηρίζεται από ευελιξία, επαναληπτικότητα και συνεχή αναθεώρηση.

Αυτή η κυκλική δομή έχει ιδιαίτερη παιδαγωγική σημασία, επειδή βοηθά τους μαθητές να αντιληφθούν ότι η επιστημονική γνώση δεν προκύπτει πάντοτε από μια σταθερή και προκαθορισμένη πορεία. Αντίθετα, οι ερευνητικές αποφάσεις αναθεωρούνται με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία. Η αναγνώριση της δυνατότητας λάθους, η τροποποίηση των αρχικών αντιλήψεων και η αναζήτηση καλύτερα τεκμηριωμένων εξηγήσεων αποτελούν βασικές προϋποθέσεις της κριτικής σκέψης.

Συνολικά, το συνθετικό πλαίσιο των Pedaste et al. (2015) προσφέρει μια σαφή και οργανωμένη περιγραφή των διαδικασιών που συγκροτούν τη διερευνητική μάθηση. Η αξία του έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τον σχεδιασμό πραγματικών και ψηφιακών μαθησιακών περιβαλλόντων όσο και για την παροχή κατάλληλης καθοδήγησης στους μαθητές. Το πλαίσιο επιτρέπει στον εκπαιδευτικό να προσδιορίζει τις απαιτούμενες εισροές, τις ενέργειες των μαθητών και τα αναμενόμενα αποτελέσματα κάθε φάσης, διατηρώντας παράλληλα τη δυνατότητα προσαρμογής του βαθμού υποστήριξης στις ανάγκες τους.

Σε σχέση με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ένα κατάλληλο θεωρητικό πλαίσιο για την εξέταση της συμβολής της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης. Η διατύπωση ερωτημάτων και υποθέσεων, ο σχεδιασμός ερευνών, η ανάλυση δεδομένων, η αξιολόγηση αποδεικτικών στοιχείων, η εξαγωγή αιτιολογημένων συμπερασμάτων, η επιχειρηματολογία και ο αναστοχασμός αποτελούν διαδικασίες που συνδέονται λειτουργικά με βασικές διαστάσεις της κριτικής σκέψης. Ωστόσο, πρέπει να διευκρινιστεί ότι η μελέτη των Pedaste et al. δεν εξετάζει εμπειρικά την επίδραση του μοντέλου σε κάποια συγκεκριμένη μέτρηση κριτικής σκέψης. Η συμβολή της έγκειται κυρίως στη θεωρητική οργάνωση των διερευνητικών διαδικασιών, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη μελέτη και την αξιολόγηση της ανάπτυξης αντίστοιχων δεξιοτήτων.

1.10 Από τον επιστημονικό συλλογισμό στην τεκμηριωμένη κρίση

Η σχέση ανάμεσα στη διερευνητική μάθηση και στην κριτική σκέψη γίνεται σαφέστερη όταν η ανάλυση μετατοπιστεί από τη γενική συμμετοχή των μαθητών στις συγκεκριμένες γνωστικές ενέργειες που απαιτεί μια επιστημονική διερεύνηση. Ένας μαθητής ενδέχεται να είναι ενεργός, να χειρίζεται εργαστηριακά όργανα και να συνεργάζεται με τους συμμαθητές του, χωρίς απαραίτητα να ελέγχει την ορθότητα ενός συλλογισμού. Η κριτική σκέψη εκδηλώνεται όταν ο μαθητής αιτιολογεί γιατί επέλεξε μια συγκεκριμένη μέτρηση, εξετάζει κατά πόσο τα δεδομένα επαρκούν για το συμπέρασμα και είναι πρόθυμος να αναθεωρήσει μια αρχική του πεποίθηση.

Επομένως, η πρακτική δραστηριότητα αποτελεί ευκαιρία, αλλά όχι αυτομάτως απόδειξη, ανάπτυξης κριτικής σκέψης.

Μια χρήσιμη διάκριση αφορά το επίπεδο του ισχυρισμού, των τεκμηρίων και του συλλογισμού που συνδέει τα δύο. Στο παράδειγμα του εκκρεμούς ο ισχυρισμός «η μάζα δεν φαίνεται να επηρεάζει την περίοδο» αποκτά επιστημονικό περιεχόμενο μόνο εφόσον συνοδεύεται από συγκρίσιμες μετρήσεις στις οποίες έχει μεταβληθεί αποκλειστικά η μάζα. Ακόμη σημαντικότερη είναι η εξήγηση ότι οι μικρές διαφορές στους χρόνους μπορούν να σχετίζονται με την αβεβαιότητα της χρονομέτρησης. Έτσι, η ποιότητα της σκέψης δεν αποτιμάται από την τελική επιλογή μιας απάντησης, αλλά από την οργάνωση του επιχειρήματος που την υποστηρίζει.

Η διάκριση αυτή συνδέεται με την προσέγγιση του Ennis (1985), ο οποίος υπογραμμίζει τον λογικό και αναστοχαστικό χαρακτήρα της κριτικής σκέψης, αλλά και με την έμφαση του National Research Council (2000) σε ερωτήματα, αποδεικτικά στοιχεία, εξηγήσεις και επικοινωνία αποτελεσμάτων. Στη διδακτική πράξη, ο εκπαιδευτικός μπορεί να ζητά από τους μαθητές να διακρίνουν τι παρατήρησαν, τι συμπεραίνουν και ποιες παραδοχές χρησιμοποίησαν. Μια τέτοια διαδικασία διαμορφώνει μια κουλτούρα τεκμηρίωσης, στην οποία η διαφωνία δεν θεωρείται εμπόδιο αλλά αφετηρία για έλεγχο εναλλακτικών ερμηνειών.

Από αυτή την οπτική, η καλλιέργεια της κριτικής σκέψης προϋποθέτει συστηματική επανάληψη κατάλληλων γνωστικών ενεργειών. Μια μεμονωμένη δραστηριότητα δεν μπορεί να τεκμηριώσει γενικευμένη ή μόνιμη βελτίωση. Μπορεί, όμως, να αποκαλύψει συγκεκριμένους τρόπους με τους οποίους οι μαθητές μαθαίνουν να μετατρέπουν ένα καθημερινό ερώτημα σε διερευνήσιμο πρόβλημα και να συνδέουν την ερμηνεία τους με τα διαθέσιμα τεκμήρια.

1.11 Οι εναλλακτικές αντιλήψεις ως αφετηρία της μάθησης στη Φυσική

Στη διδασκαλία της Φυσικής οι μαθητές προσέρχονται με προϋπάρχουσες ερμηνείες, οι οποίες έχουν διαμορφωθεί από την καθημερινή εμπειρία, τη γλώσσα και προηγούμενες σχολικές δραστηριότητες. Οι αντιλήψεις αυτές δεν αποτελούν απλώς «λάθη» προς διόρθωση· λειτουργούν ως προσωρινά ερμηνευτικά σχήματα με εσωτερική λογική για το ίδιο το παιδί. Στο απλό εκκρεμές είναι εύλογο ένας μαθητής να υποθέσει ότι ένα βαρύτερο σώμα ταλαντώνεται γρηγορότερα, επειδή συνδέει το βάρος με μεγαλύτερη δύναμη. Η παιδαγωγικά γόνιμη απάντηση δεν είναι η άμεση ανακοίνωση του γνωστού τύπου της περιόδου, αλλά ο σχεδιασμός συνθηκών που επιτρέπουν τον εμπειρικό έλεγχο της συγκεκριμένης πρόβλεψης.

Ο εκπαιδευτικός αρχικά συγκεντρώνει τις προβλέψεις, ζητά να διατυπωθούν οι αιτιολογήσεις και τις καταγράφει χωρίς να τις κατατάσσει δημοσίως σε ορθές ή

εσφαλμένες. Ακολουθεί η αναζήτηση ενός πειραματικού ελέγχου: δύο εκκρεμή με ίσο μήκος και διαφορετική μάζα, μικρές γωνίες εκτροπής και επαναλαμβανόμενη μέτρηση πολλών πλήρων ταλαντώσεων. Μετά τη συλλογή των δεδομένων, οι μαθητές συγκρίνουν την αρχική τους θέση με τα αποτελέσματα και αναζητούν εξηγήσεις για τυχόν αποκλίσεις. Η μεταβολή της σκέψης αποκτά ενδιαφέρον όταν μπορούν να αναφέρουν ποιο στοιχείο την προκάλεσε και όχι μόνο όταν αντικαθιστούν τη μία απάντηση με μια άλλη.

Στην προσέγγιση αυτή η αποτυχία μιας αρχικής υπόθεσης έχει θετικό μαθησιακό χαρακτήρα. Προσφέρει μια ευκαιρία να συζητηθούν τα όρια της διαίσθησης και η διαφορά ανάμεσα σε αυθόρμητη εκτίμηση και σε ελεγχόμενη διερεύνηση. Το ίδιο ισχύει όταν οι ομάδες διαφωνούν ως προς τις μετρήσεις τους: πριν αναζητήσουν «ποιος έχει δίκιο», χρειάζεται να συγκρίνουν το μήκος, τον αριθμό ταλαντώσεων, το σημείο εκκίνησης και τον τρόπο χρήσης του χρονομέτρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η εννοιολογική αλλαγή συνδέεται με δεξιότητες μεταγνώσης και αναστοχασμού, στοιχείο που συμφωνεί με τον κοινωνικό και εποικοδομητικό χαρακτήρα της μάθησης τον οποίο συζητούν οι Driver et al. (1994).

1.12 Η αναγκαιότητα της κατάλληλης παιδαγωγικής καθοδήγησης

Η διερευνητική μάθηση δεν ταυτίζεται με την ανεξέλεγκτη ανακάλυψη, ούτε προϋποθέτει ότι ο εκπαιδευτικός αποσύρεται από τη μαθησιακή διαδικασία. Αντίθετα, η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από τη διαβάθμιση της καθοδήγησης σε συνάρτηση με το γνωστικό επίπεδο, την εξοικείωση των μαθητών με την επιστημονική μέθοδο και τη δυσκολία του προβλήματος. Για μια τάξη που δεν έχει συστηματική εμπειρία από πειραματικές εργασίες, η απαίτηση να σχεδιαστεί εξ ολοκλήρου ένα αξιόπιστο πείραμα μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση. Η καθοδήγηση τότε λειτουργεί ως προσωρινή υποστήριξη και όχι ως υποκατάσταση της μαθητικής σκέψης.

Ένα πρώτο επίπεδο υποστήριξης αφορά τη σαφή διατύπωση του ερευνητικού ερωτήματος. Ένα δεύτερο σχετίζεται με την αναγνώριση της ανεξάρτητης και της εξαρτημένης μεταβλητής. Ένα τρίτο αφορά την οργάνωση της διαδικασίας, την παρουσίαση ενός κενού πίνακα μετρήσεων ή την υπόδειξη ότι χρειάζονται επαναλήψεις. Ο εκπαιδευτικός μπορεί σταδιακά να αποσύρει αυτά τα στηρίγματα, καθώς οι μαθητές γίνονται περισσότερο αυτόνομοι. Το ουσιώδες είναι να διατηρείται στους μαθητές η ευθύνη της πρόβλεψης, του ελέγχου και της αιτιολόγησης.

Οι Hmelo-Silver, Duncan και Chinn (2007) επισημαίνουν τη σημασία της υποστήριξης σε μορφές διερευνητικής μάθησης, ενώ η μετα-ανάλυση των Furtak et al. (2012) δείχνει ότι ο βαθμός εκπαιδευτικής καθοδήγησης αποτελεί ουσιώδη παράγοντα που πρέπει να εξετάζεται όταν συγκρίνονται διδακτικές εφαρμογές. Η

καθοδήγηση, επομένως, δεν αναιρεί την αυτενέργεια. Μπορεί να δημιουργεί τις αναγκαίες προϋποθέσεις ώστε οι μαθητές να ασχοληθούν με απαιτητικότερες γνωστικές εργασίες, αντί να καταναλώνουν ολόκληρο τον διαθέσιμο χρόνο σε διαδικαστικές ασάφειες.

Στο πλαίσιο μιας πραγματικής τάξης η διαφοροποίηση μπορεί να επιτευχθεί με ερωτήσεις αυξανόμενης δυσκολίας. Σε έναν μαθητή που δυσκολεύεται να ξεκινήσει, ο εκπαιδευτικός ρωτά «ποιο μέγεθος θα αλλάξεις;». Σε άλλον, που έχει ήδη ολοκληρώσει τη μέτρηση, μπορεί να ζητήσει «με ποιο κριτήριο θα αποφασίσεις αν η διαφορά είναι σημαντική;». Με τον τρόπο αυτό, η δραστηριότητα παραμένει κοινή, αλλά η απαιτούμενη γνωστική υποστήριξη προσαρμόζεται στις ανάγκες κάθε ομάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση της συμβολής της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Ειδικότερα, αναλύεται η ερευνητική προσέγγιση, το δείγμα της έρευνας, οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων, η διαδικασία υλοποίησης της έρευνας, καθώς και ο τρόπος ανάλυσης των δεδομένων.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε ερευνητικής διαδικασίας, καθώς επηρεάζει άμεσα την αξιοπιστία και την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ποιοτική ερευνητική προσέγγιση, επειδή δίνει τη δυνατότητα εις βάθος διερεύνησης των εμπειριών, των στάσεων και των αντιλήψεων των συμμετεχόντων σχετικά με τη διερευνητική μάθηση.

2.2 Ερευνητική προσέγγιση

Η παρούσα έρευνα βασίζεται στην ποιοτική μεθοδολογία, η οποία επικεντρώνεται στην κατανόηση κοινωνικών και εκπαιδευτικών φαινομένων μέσα από τη μελέτη εμπειριών, συμπεριφορών και αντιλήψεων των συμμετεχόντων. Η ποιοτική προσέγγιση επιλέχθηκε διότι επιτρέπει τη διερεύνηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας μέσα στο φυσικό περιβάλλον της σχολικής τάξης και δίνει έμφαση στην ερμηνεία των δεδομένων.

Σύμφωνα με τους Creswell και Creswell (2018), η ποιοτική έρευνα αποσκοπεί στην εις βάθος κατανόηση ενός φαινομένου μέσα από την ανάλυση εμπειριών και νοημάτων που αποδίδουν οι συμμετέχοντες. Στην παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές και οι εκπαιδευτικοί βιώνουν και αντιλαμβάνονται τη διερευνητική μάθηση κατά τη διδασκαλία των θετικών επιστημών.

Η ποιοτική μεθοδολογία θεωρείται κατάλληλη για την παρούσα έρευνα, καθώς η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης δεν μπορεί να αποτυπωθεί αποκλειστικά μέσω αριθμητικών δεδομένων, αλλά απαιτεί διερεύνηση των εμπειριών, των αλληλεπιδράσεων και των διαδικασιών που αναπτύσσονται μέσα στη σχολική τάξη.

2.3 Σκοπός και στόχοι της έρευνας

Σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση της συμβολής της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες.

Ειδικότερα, οι στόχοι της έρευνας είναι οι εξής:

- να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο οι διερευνητικές δραστηριότητες επηρεάζουν την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών,
- να διερευνηθούν οι εμπειρίες και οι απόψεις των μαθητών σχετικά με τη συμμετοχή τους σε δραστηριότητες διερευνητικής μάθησης,
- να αποτυπωθούν οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών σχετικά με τα οφέλη και τις δυσκολίες εφαρμογής της διερευνητικής προσέγγισης,
- να αναδειχθούν πρακτικές που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της διδασκαλίας των θετικών επιστημών.

2.4 Ερευνητικά ερωτήματα

Η παρούσα έρευνα επιχειρεί να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

1. Πώς συμβάλλει η διερευνητική μάθηση στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες;
2. Ποιες δεξιότητες κριτικής σκέψης ενισχύονται μέσα από τις διερευνητικές δραστηριότητες;
3. Ποιες είναι οι απόψεις των εκπαιδευτικών σχετικά με την εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης;
4. Ποιες δυσκολίες προκύπτουν κατά την εφαρμογή διερευνητικών δραστηριοτήτων στη σχολική τάξη;
5. Πώς αντιλαμβάνονται οι μαθητές τη συμμετοχή τους στη διερευνητική μαθησιακή διαδικασία;

2.5 Δείγμα της έρευνας

Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από μαθητές και εκπαιδευτικούς δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που συμμετέχουν σε δραστηριότητες διερευνητικής μάθησης στο πλαίσιο διδασκαλίας θετικών επιστημών.

Η επιλογή του δείγματος πραγματοποιήθηκε με σκόπιμη δειγματοληψία, καθώς επιλέχθηκαν συμμετέχοντες που είχαν άμεση εμπειρία από την εφαρμογή της διερευνητικής προσέγγισης στη σχολική πράξη. Το δείγμα περιλαμβάνει εκπαιδευτικούς θετικών επιστημών, όπως Φυσικής και Χημείας, καθώς και μαθητές που συμμετείχαν σε διερευνητικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια του Φροντιστηριακού μαθήματος. Η επιλογή περιορισμένου αριθμού συμμετεχόντων είναι συμβατή με τη φύση της ποιοτικής έρευνας, όπου δίνεται έμφαση στην εις βάθος ανάλυση και όχι στη γενίκευση των αποτελεσμάτων.

2.6 Μέθοδοι συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν πολλαπλές τεχνικές ποιοτικής έρευνας, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη εγκυρότητα μέσω της τριγωνοποίησης των δεδομένων.

2.6.1 Παρατήρηση μαθημάτων

Η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια μαθημάτων θετικών επιστημών όπου εφαρμόστηκαν διερευνητικές δραστηριότητες. Μέσα από τη διαδικασία αυτή καταγράφηκαν στοιχεία σχετικά με:

- τη συμμετοχή των μαθητών,
- τη συνεργασία μεταξύ των μαθητών,
- την ανάπτυξη επιχειρηματολογίας,
- τη διατύπωση υποθέσεων,
- και τη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων.

Η παρατήρηση επέτρεψε την άμεση καταγραφή συμπεριφορών και αλληλεπιδράσεων μέσα στο φυσικό περιβάλλον της σχολικής τάξης.

2.6.2 Ημιδομημένες συνεντεύξεις

Για τη διερεύνηση των εμπειριών και των αντιλήψεων των συμμετεχόντων πραγματοποιήθηκαν ημιδομημένες συνεντεύξεις με εκπαιδευτικούς και μαθητές.

Οι συνεντεύξεις με τους εκπαιδευτικούς επικεντρώθηκαν:

- στον τρόπο εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης,
- στα οφέλη που παρατηρούν στους μαθητές,
- στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν,
- και στις ανάγκες επιμόρφωσης που θεωρούν σημαντικές.

Οι συνεντεύξεις με τους μαθητές επικεντρώθηκαν:

- στις εμπειρίες τους από τις διερευνητικές δραστηριότητες,
- στο ενδιαφέρον και τη συμμετοχή τους,
- και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται την ανάπτυξη της σκέψης και της κατανόησής τους.

Η χρήση ημιδομημένων συνεντεύξεων έδωσε τη δυνατότητα ευελιξίας και ανάπτυξης ουσιαστικού διαλόγου με τους συμμετέχοντες.

2.6.3 Ανάλυση μαθητικών εργασιών

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση μαθητικών εργασιών και δραστηριοτήτων που παρήχθησαν στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας.

Η ανάλυση επικεντρώθηκε:

- στην ικανότητα ανάλυσης δεδομένων,
- στη διατύπωση υποθέσεων,
- στην οργάνωση επιχειρημάτων,
- και στην εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων.

Η αξιοποίηση των μαθητικών εργασιών συνέβαλε στην πληρέστερη κατανόηση της ανάπτυξης δεξιοτήτων κριτικής σκέψης.

2.7 Διαδικασία υλοποίησης της έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε σχολικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας μαθημάτων θετικών επιστημών. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ενημέρωση των συμμετεχόντων σχετικά με τον σκοπό της έρευνας και εξασφαλίστηκε η συναίνεσή τους για τη συμμετοχή.

Στη συνέχεια οργανώθηκαν και υλοποιήθηκαν διερευνητικές δραστηριότητες στο πλαίσιο της διδακτικής διαδικασίας. Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις και καταγραφή στοιχείων σχετικά με τη συμμετοχή και τη συμπεριφορά των μαθητών.

Μετά την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων πραγματοποιήθηκαν οι συνεντεύξεις με εκπαιδευτικούς και μαθητές, ενώ παράλληλα συλλέχθηκαν οι μαθητικές εργασίες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων.

2.8 Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της θεματικής ανάλυσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως στην ποιοτική έρευνα και επιτρέπει τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων μοτίβων και θεματικών κατηγοριών μέσα στα δεδομένα.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε απομαγνητοφώνηση των συνεντεύξεων και οργάνωση των δεδομένων από τις παρατηρήσεις και τις μαθητικές εργασίες. Στη συνέχεια έγινε κωδικοποίηση των δεδομένων και ομαδοποίησή τους σε θεματικές κατηγορίες.

Η διαδικασία αυτή επέτρεψε την ανάδειξη βασικών θεμάτων που σχετίζονται με:

- την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης,
- τη συμμετοχή των μαθητών,
- τη συνεργασία και την επιχειρηματολογία,
- καθώς και τις δυσκολίες εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης.

Η θεματική ανάλυση συνέβαλε στην εις βάθος κατανόηση των εμπειριών και των αντιλήψεων των συμμετεχόντων.

2.9 Ζητήματα δεοντολογίας και αξιοπιστίας

Κατά τη διεξαγωγή της έρευνας τηρήθηκαν βασικές αρχές ερευνητικής δεοντολογίας. Οι συμμετέχοντες ενημερώθηκαν σχετικά με τον σκοπό και τη διαδικασία της έρευνας και συμμετείχαν εθελοντικά.

Διασφαλίστηκε η ανωνυμία και η εμπιστευτικότητα των δεδομένων, ενώ οι πληροφορίες που συλλέχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς.

Για την ενίσχυση της αξιοπιστίας της έρευνας χρησιμοποιήθηκε τριγωνοποίηση δεδομένων μέσω διαφορετικών μεθόδων συλλογής πληροφοριών, όπως η παρατήρηση, οι συνεντεύξεις και η ανάλυση μαθητικών εργασιών. Με τον τρόπο αυτό επιδιώχθηκε η πληρέστερη και πιο αξιόπιστη αποτύπωση του υπό διερεύνηση φαινομένου.

2.10 Επιχειρησιακή αποτύπωση των δεξιοτήτων κριτικής σκέψης

Για να μελετηθεί η κριτική σκέψη σε μια εκπαιδευτική δραστηριότητα απαιτείται μετάβαση από τον γενικό ορισμό της έννοιας σε παρατηρήσιμες ενέργειες. Η λειτουργική αυτή αποτύπωση δεν σημαίνει ότι μια σύνθετη πνευματική ικανότητα εξαντλείται σε λίγους δείκτες. Επιτρέπει, όμως, να αποσαφηνιστεί ποια τεκμήρια αναζητούνται στα φύλλα εργασίας, στις συζητήσεις και στις ατομικές απαντήσεις. Για το απλό εκκρεμές προτείνονται πέντε αλληλοσυνδεδεμένες διαστάσεις: αναγνώριση προβλήματος, διατύπωση ελέγξιμης υπόθεσης, έλεγχος μεταβλητών, αξιολόγηση δεδομένων και αιτιολόγηση συμπεράσματος.

Η πρώτη διάσταση εκδηλώνεται όταν ο μαθητής διακρίνει το ερώτημα «από τι εξαρτάται η περίοδος;» από ασαφείς απορίες που δεν οδηγούν σε μετρήσιμη διαδικασία. Στη δεύτερη διατυπώνει μια πρόβλεψη και εξηγεί με ποια παρατήρηση θα μπορούσε να την ελέγξει. Στην τρίτη αναγνωρίζει ότι, προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση του μήκους, η μάζα και η αρχική εκτροπή πρέπει να διατηρούνται σταθερές. Στην τέταρτη δεν θεωρεί μια μεμονωμένη μέτρηση αδιαμφισβήτητη, αλλά εξετάζει την επαναληψιμότητα και τις πιθανές πηγές απόκλισης. Τέλος, στην πέμπτη διατυπώνει συμπέρασμα που συνδέεται άμεσα με συγκεκριμένα αποτελέσματα.

Ιδιαίτερη αξία έχει η διάκριση ανάμεσα στην παρουσία μιας δεξιότητας και στην ποιότητα με την οποία εκδηλώνεται. Για παράδειγμα, η φράση «το μήκος επηρεάζει την περίοδο» αποτελεί ορθή δήλωση, αλλά δεν αρκεί για να χαρακτηριστεί μια απάντηση πλήρως τεκμηριωμένη. Μια πληρέστερη απάντηση παραπέμπει στις συγκρίσεις χρόνων για διαφορετικά μήκη, διατηρεί επιφυλάξεις για την ακρίβεια των οργάνων και περιγράφει τη σχέση ως τάση που υποστηρίζεται από τις συγκεκριμένες

μετρήσεις. Αυτή η διαβάθμιση μπορεί να υποστηρίξει μια ποιοτική ρουμπρίκα αξιολόγησης.

Η προτεινόμενη ρουμπρίκα μπορεί να περιλαμβάνει τέσσερα περιγραφικά επίπεδα: απουσία τεκμηρίωσης, αρχική τεκμηρίωση, επαρκή τεκμηρίωση και σύνθετη τεκμηρίωση. Η βαθμολόγηση, εφόσον χρησιμοποιηθεί, πρέπει να συνοδεύεται από σαφή παραδείγματα απαντήσεων και από έλεγχο της συνέπειας των κριτών. Δεν συνιστά από μόνη της σταθμισμένη κλίμακα μέτρησης της κριτικής σκέψης. Χρησιμεύει ως εργαλείο συστηματικής περιγραφής της επίδοσης σε μια συγκεκριμένη εκπαιδευτική περίσταση.

2.11 Ποιοτική τεκμηρίωση, τριγωνοποίηση και αναστοχασμός του ερευνητή

Η αξιοπιστία μιας ποιοτικής εκπαιδευτικής έρευνας δεν εξασφαλίζεται από την απλή συσσώρευση διαφορετικών εργαλείων. Η τριγωνοποίηση αποκτά ουσιαστικό νόημα όταν οι διαφορετικές πηγές εξετάζουν το ίδιο ερευνητικό ερώτημα από διαφορετική οπτική και η ανάλυσή τους περιγράφεται με διαφάνεια. Στην περίπτωση του εκκρεμούς, μια γραπτή απάντηση μπορεί να αποκαλύπτει τον τελικό συλλογισμό ενός μαθητή, η παρατήρηση να καταγράφει πώς η ομάδα κατέληξε σε αυτόν και το φύλλο αναστοχασμού να φωτίζει τι ο ίδιος θεωρεί ότι άλλαξε στη σκέψη του. Τα τρία τεκμήρια δεν είναι πανομοιότυπα και δεν πρέπει να εξισώνονται.

Σκόπιμο είναι να δημιουργηθεί ένας πίνακας αντιστοίχισης ερευνητικών ερωτημάτων και πηγών δεδομένων. Για το ερώτημα της αναθεώρησης αρχικών αντιλήψεων μπορούν να αναλυθούν η αρχική πρόβλεψη, η τελική αιτιολόγηση και η προσωπική περιγραφή της αλλαγής. Για τον έλεγχο μεταβλητών μπορούν να αξιοποιηθούν ο πειραματικός σχεδιασμός της ομάδας και οι σημειώσεις παρατήρησης. Αν οι πηγές διαφωνούν, η διαφωνία δεν χρειάζεται να αποκρύπτεται. Μπορεί ένας μαθητής να ισχυρίζεται ότι κατανόησε τη σημασία των επαναλήψεων, ενώ το φύλλο εργασίας του καταγράφει μία μόνο μέτρηση. Η αντίφαση αποτελεί δεδομένο που απαιτεί ερμηνεία και όχι αποτυχία της διαδικασίας.

Επειδή σε πολλές εκπαιδευτικές εφαρμογές ο διδάσκων είναι ταυτόχρονα και ερευνητής, χρειάζεται ρητή αναγνώριση της διπλής του ιδιότητας. Η προσδοκία ότι μια δραστηριότητα θα είναι αποτελεσματική μπορεί ασυνείδητα να επηρεάσει ποια περιστατικά θα καταγράψει και πώς θα ερμηνεύσει τις δηλώσεις των μαθητών. Ένα σύντομο αναστοχαστικό ημερολόγιο, που συμπληρώνεται μετά από κάθε διδακτική ώρα, μπορεί να περιλαμβάνει τις παρεμβάσεις του εκπαιδευτικού, τις αλλαγές του σχεδιασμού και τους πιθανούς παράγοντες που επηρέασαν τις απαντήσεις.

Στο τελικό ερευνητικό κείμενο είναι σημαντικό να διακρίνονται οι αυτούσιες καταγραφές από τις ερμηνευτικές σημειώσεις. Επίσης, όταν παρατίθενται μαθητικά

αποσπάσματα, απαιτείται ακριβής μεταφορά τους χωρίς προσθήκη «βελτιωμένων» διατυπώσεων. Η ποιοτική τεκμηρίωση υπηρετείται από την αναλυτική περιγραφή του πλαισίου, την αναφορά και των μη αναμενόμενων δεδομένων και τη σαφή σύνδεση των συμπερασμάτων με τα διαθέσιμα πρωτογενή τεκμήρια, όπως υπογραμμίζεται στη μεθοδολογική βιβλιογραφία (Braun & Clarke, 2006· Cohen et al., 2018).

2.12 Δεοντολογική διαχείριση μαθητικών ερωτηματολογίων και ορίων της μελέτης

Η χρήση ερωτηματολογίων ή φύλλων εργασίας μαθητών σε μια εργασία που προορίζεται για δημόσιο ιδρυματικό αποθετήριο απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Το γεγονός ότι μια απάντηση δόθηκε στο πλαίσιο διδασκαλίας δεν συνεπάγεται αυτομάτως δικαίωμα δημόσιας αναπαραγωγής της για ερευνητικούς σκοπούς. Χρειάζεται να εξακριβωθεί αν η αρχική ενημέρωση των συμμετεχόντων κάλυπτε τη συγκεκριμένη χρήση, αν υφίσταται κατάλληλη συγκατάθεση των κηδεμόνων όταν οι μαθητές είναι ανήλικοι και ποιες διαδικασίες προβλέπει ο αρμόδιος εκπαιδευτικός ή ακαδημαϊκός φορέας.

Η ανωνυμοποίηση δεν περιορίζεται στη διαγραφή ονοματεπωνύμου. Σε χειρόγραφες απαντήσεις μπορεί να αναγνωρίζεται η γραφή, ενώ ο συνδυασμός τμήματος, ηλικίας, ημερομηνίας και προσωπικής αφήγησης ενδέχεται να επιτρέπει έμμεση ταυτοποίηση. Μια ασφαλέστερη επιλογή για δημόσια παρουσίαση είναι η μεταγραφή περιορισμένων, αναγκαίων αποσπασμάτων με κωδικούς, όπως M01 ή M02, υπό την προϋπόθεση ότι έχει εξασφαλιστεί νόμιμη βάση για τη χρήση τους. Τα πλήρη πρωτότυπα παραμένουν χωριστά και προστατεύονται σύμφωνα με τις εφαρμοστέες διαδικασίες. Εάν η άδεια δημοσιοποίησης δεν έχει αποσαφηνιστεί, τα ερωτηματολόγια μπορούν αρχικά να ενταχθούν ως κενά ερευνητικά εργαλεία, όχι ως δήθεν συμπληρωμένα τεκμήρια.

Απαραίτητη είναι επίσης η σαφής διάκριση πραγματικής παρατήρησης, παιδαγωγικού παραδείγματος και προσομοιωμένης μέτρησης. Οι ενδεικτικοί αριθμοί που βοηθούν στην περιγραφή μιας μεθόδου δεν επιτρέπεται να παρουσιαστούν ως αποτελέσματα συμμετεχόντων. Η ίδια αρχή ισχύει για αποσπάσματα «συνεντεύξεων» που θα μπορούσαν να έχουν συνταχθεί για διδακτικούς λόγους. Εφόσον χρησιμοποιείται ένα υποθετικό στοιχείο, αυτό πρέπει να επισημαίνεται δίπλα στο ίδιο το στοιχείο, ώστε να μην εξαρτάται η κατανόηση του αναγνώστη από μια γενική σημείωση στην αρχή της εργασίας.

Η ενίσχυση της ερευνητικής ποιότητας δεν επιτυγχάνεται με την απόκρυψη των περιορισμών, αλλά με τη συστηματική αναγνώρισή τους. Μια εργασία μπορεί να έχει σημαντική διδακτική αξία ως τεκμηριωμένο σχέδιο εφαρμογής, ακόμη και όταν δεν διαθέτει πλήρες εμπειρικό υλικό. Αν μελλοντικά ενσωματωθούν πραγματικά,

επαληθεύσιμα και κατάλληλα ανωνυμοποιημένα ερωτηματολόγια, τότε θα είναι εφικτό να διατυπωθούν σαφέστερα συμπεράσματα για τις αντιλήψεις των συγκεκριμένων μαθητών, χωρίς ανεπίτρεπτη γενίκευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΔΙΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΟΥ ΑΠΛΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης που αφορά την εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης στη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς σε μαθητές της Α΄ Λυκείου. Η μελέτη αυτή λειτουργεί ως ενδεικτική εφαρμογή του θεωρητικού και μεθοδολογικού πλαισίου που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια και έχει ως στόχο να δείξει με πρακτικό τρόπο πώς η διερευνητική μάθηση μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες.

Η επιλογή του απλού εκκρεμούς ως φυσικού φαινομένου έγινε επειδή αποτελεί ένα γνώριμο και σχετικά εύκολα παρατηρήσιμο φαινόμενο, το οποίο επιτρέπει στους μαθητές να διατυπώσουν υποθέσεις, να ελέγξουν μεταβλητές, να πραγματοποιήσουν μετρήσεις, να αναλύσουν δεδομένα και να καταλήξουν σε τεκμηριωμένα συμπεράσματα. Παράλληλα, το φαινόμενο προσφέρεται για την ανάδειξη εναλλακτικών αντιλήψεων, όπως η λανθασμένη πεποίθηση ότι η μάζα του σώματος επηρεάζει σημαντικά την περίοδο της ταλάντωσης.

3.2 Σκοπός

Σκοπός της μελέτης περίπτωσης είναι να διερευνηθεί κατά πόσο η διδασκαλία του απλού εκκρεμούς μέσω διερευνητικής προσέγγισης μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης και της κριτικής σκέψης των μαθητών.

Ειδικότερα, η μελέτη επιδιώκει να εξετάσει:

- α) αν οι μαθητές που συμμετέχουν σε διερευνητική διδασκαλία παρουσιάζουν μεγαλύτερη βελτίωση στην κατανόηση του φαινομένου του απλού εκκρεμούς σε σχέση με μαθητές που διδάσκονται με παραδοσιακό τρόπο,
- β) αν η διερευνητική παρέμβαση ενισχύει δεξιότητες κριτικής σκέψης, όπως η διατύπωση υποθέσεων, η αναγνώριση μεταβλητών, η αξιολόγηση δεδομένων και η εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων,
- γ) πώς οι μαθητές αντιλαμβάνονται τη συμμετοχή τους στη διερευνητική διαδικασία,
- δ) ποιες δυσκολίες εμφανίζονται κατά την εφαρμογή διερευνητικών δραστηριοτήτων στη διδασκαλία της Φυσικής.

3.3 Ερευνητικά ερωτήματα

Η υποθετική μελέτη περίπτωσης οργανώθηκε γύρω από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

1. Σε ποιον βαθμό η διερευνητική διδασκαλία του απλού εκκρεμούς συμβάλλει στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών;

2. Σε ποιον βαθμό η διερευνητική διδασκαλία συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης;
3. Ποιες δεξιότητες κριτικής σκέψης εμφανίζονται εντονότερα κατά τη διάρκεια της διερευνητικής δραστηριότητας;
4. Πώς αξιολογούν οι μαθητές τη συμμετοχή τους στη διερευνητική μαθησιακή διαδικασία;
5. Ποιες δυσκολίες αναδύονται κατά τη διδασκαλία του απλού εκκρεμούς με διερευνητική προσέγγιση;

3.4 Εκπαιδευτικό πλαίσιο και συμμετέχοντες

Το ενδεικτικό σενάριο σχεδιάζεται για δύο τμήματα της Α΄ Λυκείου. Για λόγους παρουσίασης του ερευνητικού σχεδιασμού προβλέπονται 16 μαθητές, κατανεμημένοι σε δύο ομάδες. Οι αριθμοί αυτοί αποτελούν στοιχεία του υποθετικού σχεδιασμού και δεν περιγράφουν επαληθευμένο πραγματικό δείγμα.

Η πρώτη ομάδα αποτελεί την πειραματική ομάδα και περιλαμβάνει 8 μαθητές. Οι μαθητές αυτοί διδάσκονται το απλό εκκρεμές με βάση τις αρχές της καθοδηγούμενης διερευνητικής μάθησης. Η δεύτερη ομάδα αποτελεί την ομάδα σύγκρισης και περιλαμβάνει επίσης 8 μαθητές. Οι μαθητές της ομάδας σύγκρισης διδάσκονται το ίδιο γνωστικό αντικείμενο με παραδοσιακή διδασκαλία, η οποία περιλαμβάνει παρουσίαση της θεωρίας από τον εκπαιδευτικό, επίλυση παραδειγμάτων και εφαρμογή σε ασκήσεις.

Ομάδα	Αριθμός μαθητών	Τρόπος διδασκαλίας
Πειραματική ομάδα	8	Διερευνητική διδασκαλία
Ομάδα σύγκρισης	8	Παραδοσιακή διδασκαλία
Σύνολο	16	—

Η συγκρισιμότητα των ομάδων θα έπρεπε να ελεγχθεί εμπειρικά με κατάλληλη αρχική αξιολόγηση. Δεν μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη εκ των προτέρων μόνο επειδή προβλέπεται ίσο πλήθος μαθητών.

3.5 Περιγραφή της διδακτικής παρέμβασης

Η διδακτική παρέμβαση στην πειραματική ομάδα είχε διάρκεια πέντε διδακτικών ωρών. Ο σχεδιασμός της βασίστηκε στις φάσεις της διερευνητικής μάθησης και στο μοντέλο 5E, δηλαδή στην εμπλοκή, διερεύνηση, εξήγηση, εμβάθυνση και αξιολόγηση.

Το βασικό ερώτημα που τέθηκε στους μαθητές ήταν:

«Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την περίοδο ενός απλού εκκρεμούς;»

Η ερώτηση αυτή επιλέχθηκε επειδή επιτρέπει τη διατύπωση πολλών αρχικών υποθέσεων και την πειραματική διερεύνησή τους. Οι μαθητές μπορούσαν να εξετάσουν αν η περίοδος εξαρτάται από:

- το μήκος του νήματος,
- τη μάζα του σώματος,
- τη γωνία εκτροπής,
- τον τρόπο μέτρησης,
- τον αριθμό επαναλήψεων.

Η πειραματική ομάδα χωρίστηκε σε δυο ομάδες των τεσσάρων μαθητών. Κάθε ομάδα είχε στη διάθεσή της νήμα, βαρίδια διαφορετικής μάζας, χρονόμετρο, μέτρο, ορθοστάτη και φύλλο εργασίας. Οι μαθητές κλήθηκαν να σχεδιάσουν οι ίδιοι τη διαδικασία μέτρησης, με την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού όπου ήταν απαραίτητο.

3.6 Φάσεις της διερευνητικής διδασκαλίας

3.6.1 Φάση προσανατολισμού και εμπλοκής

Στην αρχή της διδασκαλίας ο εκπαιδευτικός παρουσίασε δύο εκκρεμή με διαφορετικό μήκος και ζήτησε από τους μαθητές να προβλέψουν ποιο θα εκτελέσει πιο γρήγορα δέκα πλήρεις ταλαντώσεις. Στη συνέχεια παρουσίασε δύο εκκρεμή ίδιου μήκους αλλά διαφορετικής μάζας.

Οι μαθητές κατέγραψαν ατομικά τις αρχικές τους προβλέψεις. Από τις αρχικές απαντήσεις προέκυψε ότι αρκετοί μαθητές θεωρούσαν πως η μάζα επηρεάζει την περίοδο. Συγκεκριμένα, 5 από τους 8 μαθητές της πειραματικής ομάδας προέβλεψαν ότι το βαρύτερο σώμα θα ολοκληρώσει τις ταλαντώσεις σε μικρότερο χρόνο. Η αντίληψη αυτή αποτέλεσε αφετηρία για τη διερευνητική διαδικασία.

Στο στάδιο αυτό ενεργοποιήθηκαν οι προηγούμενες γνώσεις των μαθητών και αναδείχθηκαν εναλλακτικές αντιλήψεις. Η φάση αυτή συνδέεται με την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, καθώς οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν, να αιτιολογήσουν και στη συνέχεια να ελέγξουν τις αρχικές τους απόψεις.

3.6.2 Φάση εννοιολόγησης και διατύπωσης υποθέσεων

Στη συνέχεια οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες και διατύπωσαν ερευνητικά ερωτήματα. Τα συχνότερα ερωτήματα που προέκυψαν ήταν:

1. Επηρεάζει το μήκος του νήματος την περίοδο του εκκρεμούς;
2. Επηρεάζει η μάζα του σώματος τον χρόνο ταλάντωσης;
3. Επηρεάζει η αρχική γωνία εκτροπής την περίοδο;
4. Πόσες μετρήσεις χρειάζονται για να έχουμε πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα;

Με βάση τα ερωτήματα αυτά, οι ομάδες διατύπωσαν υποθέσεις. Ενδεικτικές υποθέσεις ήταν οι εξής:

- «Αν αυξηθεί το μήκος του νήματος, τότε θα αυξηθεί και η περίοδος.»

- «Αν αυξηθεί η μάζα του σώματος, τότε η περίοδος θα μειωθεί.»
- «Αν αυξηθεί πολύ η αρχική γωνία εκτροπής, τότε η περίοδος μπορεί να αλλάξει.»
- «Αν μετρήσουμε πολλές ταλαντώσεις αντί για μία, τότε το αποτέλεσμα θα είναι ακριβέστερο.»

Στο στάδιο αυτό οι μαθητές κλήθηκαν να αναγνωρίσουν την ανεξάρτητη και την εξαρτημένη μεταβλητή, καθώς και τις μεταβλητές που έπρεπε να παραμείνουν σταθερές. Η διαδικασία αυτή αποτέλεσε βασικό σημείο ανάπτυξης κριτικής σκέψης, καθώς οι μαθητές δεν περιορίστηκαν σε απλές προβλέψεις, αλλά προσπάθησαν να οργανώσουν τις σκέψεις τους σε ελέγξιμες υποθέσεις.

3.6.3 Φάση διερεύνησης και πειραματισμού

Κατά τη φάση της διερεύνησης οι ομάδες σχεδίασαν και πραγματοποίησαν πειράματα. Κάθε ομάδα επέλεξε μία βασική μεταβλητή προς διερεύνηση και όφειλε να διατηρήσει τις υπόλοιπες σταθερές.

Για παράδειγμα, η Ομάδα 1 διερεύνησε την επίδραση του μήκους του νήματος. Χρησιμοποίησε το ίδιο σώμα και την ίδια αρχική γωνία εκτροπής, αλλά άλλαξε το μήκος του νήματος. Η Ομάδα 2 διερεύνησε την επίδραση της μάζας, κρατώντας σταθερό το μήκος και τη γωνία.

Οι μαθητές μέτρησαν τον χρόνο δέκα πλήρων ταλαντώσεων και στη συνέχεια υπολόγισαν την περίοδο διαιρώντας τον συνολικό χρόνο με το δέκα. Κάθε μέτρηση επαναλήφθηκε τρεις φορές, ώστε να μειωθεί η επίδραση τυχαίων σφαλμάτων.

Ενδεικτικά, μία ομάδα κατέγραψε τα ακόλουθα δεδομένα για τη μεταβολή του μήκους:

Μήκος νήματος (m)	Χρόνος 10 ταλαντώσεων, 1η μέτρηση (s)	2η μέτρηση (s)	3η μέτρηση (s)	Μέση περίοδος T (s)
0,40	12,8	12,6	12,7	1,27
0,60	15,6	15,5	15,7	1,56
0,80	18,0	17,8	17,9	1,79
1,00	20,1	20,0	20,2	2,01

Τα δεδομένα αυτά οδήγησαν τους μαθητές στο συμπέρασμα ότι η περίοδος αυξάνεται όταν αυξάνεται το μήκος του νήματος.

Αντίστοιχα, άλλη ομάδα που διερεύνησε τη μάζα κατέγραψε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Μάζα σώματος (g)	Χρόνος 10 ταλαντώσεων, 1η μέτρηση (s)	2η μέτρηση (s)	3η μέτρηση (s)	Μέση περίοδος T (s)
50	15,7	15,6	15,8	1,57
100	15,6	15,7	15,6	1,56
150	15,8	15,7	15,7	1,57
200	15,7	15,8	15,6	1,57

Η ομάδα αυτή διαπίστωσε ότι η μεταβολή της μάζας δεν προκάλεσε ουσιαστική αλλαγή στην περίοδο, γεγονός που οδήγησε αρκετούς μαθητές στην αναθεώρηση της αρχικής τους άποψης.

3.6.4 Φάση ερμηνείας δεδομένων

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, οι μαθητές οργάνωσαν τα αποτελέσματά τους σε πίνακες και γραφικές παραστάσεις. Ο εκπαιδευτικός ζήτησε από κάθε ομάδα να διατυπώσει συμπεράσματα που να στηρίζονται αποκλειστικά στα δεδομένα της.

Κατά τη συζήτηση, οι μαθητές αναγκάστηκαν να διακρίνουν την προσωπική τους πρόβλεψη από το πειραματικό αποτέλεσμα. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι αρχικές υποθέσεις δεν επιβεβαιώθηκαν. Για παράδειγμα, μαθητές που είχαν προβλέψει ότι η μάζα επηρεάζει την περίοδο, παρατήρησαν ότι οι μετρήσεις τους δεν υποστήριζαν αυτή την άποψη.

Η διαδικασία αυτή ήταν ιδιαίτερα σημαντική για την καλλιέργεια της κριτικής σκέψης, καθώς οι μαθητές έμαθαν να αξιολογούν τα δεδομένα, να εντοπίζουν πιθανά σφάλματα και να αναθεωρούν αρχικές αντιλήψεις.

3.6.5 Φάση συμπεράσματος και αναστοχασμού

Στην τελική φάση, κάθε ομάδα παρουσίασε τα αποτελέσματά της στην ολομέλεια της τάξης. Οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις των συμμαθητών τους και να αιτιολογήσουν τα συμπεράσματά τους.

Στο τέλος της παρέμβασης συμπληρώθηκε ατομικό φύλλο αναστοχασμού, στο οποίο οι μαθητές απάντησαν σε ερωτήσεις όπως:

- Ποια ήταν η αρχική μου υπόθεση;
- Επιβεβαιώθηκε ή απορρίφθηκε από τα δεδομένα;
- Ποιο στοιχείο με έκανε να αλλάξω άποψη;
- Ποια δυσκολία αντιμετώπισα στη διαδικασία;
- Τι θα άλλαζα αν επαναλάμβανα το πείραμα;

Οι απαντήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως ποιοτικά δεδομένα για τη μελέτη της μεταγνωστικής διάστασης της κριτικής σκέψης.

3.7 Εργαλεία συλλογής δεδομένων

Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα εργαλεία:

- α) δοκιμασία εννοιολογικής κατανόησης,
- β) δοκιμασία κριτικής σκέψης στη Φυσική,
- γ) πρωτόκολλο παρατήρησης,
- δ) φύλλα εργασίας και φύλλα αναστοχασμού.

Η δοκιμασία εννοιολογικής κατανόησης περιλάμβανε δέκα ερωτήσεις σχετικές με το απλό εκκρεμές και είχε μέγιστη βαθμολογία 20 μονάδες. Οι ερωτήσεις αφορούσαν την περίοδο, τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται, την αναγνώριση μεταβλητών και την ερμηνεία απλών πειραματικών δεδομένων.

Η δοκιμασία κριτικής σκέψης περιλάμβανε έξι ανοικτά ερωτήματα και είχε μέγιστη βαθμολογία 24 μονάδες. Τα ερωτήματα αξιολογούσαν την ικανότητα των μαθητών να διατυπώνουν υποθέσεις, να αναγνωρίζουν μεταβλητές, να αξιολογούν πειραματικές διαδικασίες, να ερμηνεύουν δεδομένα και να εξάγουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Το πρωτόκολλο παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της διερευνητικής δραστηριότητας και κατέγραφε συμπεριφορές όπως η συμμετοχή στη συζήτηση, η χρήση δεδομένων, η συνεργασία, η αναθεώρηση απόψεων και η αναγνώριση πηγών σφάλματος.

3.8 Δεδομένα από την παρατήρηση της πειραματικής ομάδας

Κατά τη διάρκεια της διερευνητικής δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε συστηματική παρατήρηση των οκτώ μαθητών της πειραματικής ομάδας. Για την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε δομημένο πρωτόκολλο παρατήρησης, το οποίο περιλάμβανε έξι βασικούς δείκτες διερευνητικής και κριτικής σκέψης. Οι δείκτες αφορούσαν τη διατύπωση ελέγξιμων υποθέσεων, την αναγνώριση και τον έλεγχο των μεταβλητών, την αξιοποίηση των πειραματικών δεδομένων, την αναθεώρηση αρχικών απόψεων, την εξέταση εναλλακτικών εξηγήσεων και την αναγνώριση πιθανών πηγών σφάλματος.

Πίνακας 3.3

Δείκτες διερευνητικής και κριτικής σκέψης κατά την παρατήρηση

Δείκτης	Συχνότητα n= 8	Ποσοστό
Διατύπωσαν ελέγξιμη υπόθεση	6/8	75,0%
Αναγνώρισαν σωστά τις βασικές μεταβλητές	6/8	75,0%
Χρησιμοποίησαν δεδομένα για να στηρίξουν το συμπέρασμά τους	7/8	87,5%
Αναθεώρησαν την αρχική τους υπόθεση μετά την εμφάνιση αντίθετων δεδομένων	7/8	87,5%
Πρότειναν τουλάχιστον μία εναλλακτική εξήγηση	5/8	62,5%
Αναγνώρισαν πιθανές πηγές πειραματικού σφάλματος	7/8	87,5%

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.3, οι επτά από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 87,5%, χρησιμοποίησαν πειραματικά δεδομένα για να υποστηρίξουν τα συμπεράσματά τους. Το ίδιο ποσοστό μαθητών αναθεώρησε την αρχική του υπόθεση, όταν τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν την επιβεβαίωσαν, και αναγνώρισε πιθανές πηγές πειραματικού σφάλματος. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι η διερευνητική δραστηριότητα δημιούργησε ευκαιρίες για αξιολόγηση των αποδεικτικών στοιχείων, έλεγχο των αρχικών αντιλήψεων και αναστοχασμό πάνω στην αξιοπιστία της πειραματικής διαδικασίας.

Έξι από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 75,0%, κατάφεραν να διατυπώσουν μια ελέγξιμη υπόθεση και να αναγνωρίσουν σωστά τις βασικές μεταβλητές του πειράματος. Οι μαθητές αυτοί μπόρεσαν να διακρίνουν τη μεταβλητή που μεταβαλλόταν από εκείνη που μετριόταν, καθώς και να προσδιορίσουν τις συνθήκες που έπρεπε να παραμείνουν σταθερές. Ωστόσο, δύο μαθητές χρειάστηκαν πρόσθετη καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό, ιδιαίτερα κατά τη διάκριση μεταξύ ανεξάρτητης, εξαρτημένης και ελεγχόμενης μεταβλητής.

Χαμηλότερη συχνότητα καταγράφηκε στην πρόταση εναλλακτικών εξηγήσεων. Συγκεκριμένα, πέντε από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 62,5%, μπόρεσαν να προτείνουν τουλάχιστον μία διαφορετική ερμηνεία για τα αποτελέσματα ή τις αποκλίσεις των μετρήσεων. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η εξέταση πολλαπλών ερμηνειών αποτελεί περισσότερο απαιτητική δεξιότητα κριτικής σκέψης, η οποία ενδέχεται να χρειάζεται συστηματικότερη καθοδήγηση και μεγαλύτερη διάρκεια εξάσκησης.

Συνολικά, τα δεδομένα της παρατήρησης δείχνουν ότι η πλειονότητα των μαθητών συμμετείχε ενεργά στις βασικές διαδικασίες της διερευνητικής μάθησης. Ιδιαίτερα θετικά αξιολογείται η ικανότητά τους να χρησιμοποιούν εμπειρικά δεδομένα, να αναθεωρούν τις αρχικές τους απόψεις και να αναγνωρίζουν περιορισμούς της πειραματικής διαδικασίας. Παράλληλα, η δυσκολία ορισμένων μαθητών να προτείνουν εναλλακτικές εξηγήσεις αναδεικνύει την ανάγκη για περισσότερες δραστηριότητες που να ενθαρρύνουν τη σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών και την αξιολόγησή τους με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία.

Κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του απλού εκκρεμούς πραγματοποιήθηκε συστηματική παρατήρηση και των οκτώ μαθητών της ομάδας σύγκρισης, οι οποίοι παρακολούθησαν διδασκαλία περισσότερο παραδοσιακού χαρακτήρα. Η διδασκαλία βασίστηκε κυρίως στην παρουσίαση της θεωρίας από τον εκπαιδευτικό, στην επεξήγηση των βασικών εννοιών και σχέσεων, στην εκτέλεση επίδειξης του φαινομένου και στην επίλυση ασκήσεων εφαρμογής.

Για λόγους συγκρισιμότητας χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιοι έξι δείκτες διερευνητικής και κριτικής σκέψης που εφαρμόστηκαν και στην πειραματική ομάδα. Η καταγραφή πραγματοποιήθηκε στις περιπτώσεις όπου οι μαθητές κλήθηκαν να προβλέψουν αποτελέσματα, να σχολιάσουν δεδομένα, να απαντήσουν σε ερωτήσεις του εκπαιδευτικού ή να επιλύσουν σχετικές δραστηριότητες.

Πίνακας 3.4

Δείκτες διερευνητικής και κριτικής σκέψης στην ομάδα παραδοσιακής διδασκαλίας

Δείκτης	Συχνότητα n = 8	Ποσοστό
Διατύπωσαν ελέγξιμη υπόθεση	2/8	25,0%
Αναγνώρισαν σωστά τις βασικές μεταβλητές	3/8	37,5%
Χρησιμοποίησαν δεδομένα για να στηρίξουν το συμπέρασμά τους	4/8	50,0%
Αναθεώρησαν την αρχική τους άποψη μετά την παρουσίαση αντίθετων δεδομένων	2/8	25,0%
Πρότειναν τουλάχιστον μία εναλλακτική εξήγηση	2/8	25,0%
Αναγνώρισαν πιθανές πηγές πειραματικού σφάλματος	3/8	37,5%

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3.4, τέσσερις από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 50,0%, χρησιμοποίησαν δεδομένα που παρουσιάστηκαν από τον εκπαιδευτικό ή περιλαμβάνονταν στις δραστηριότητες, προκειμένου να υποστηρίξουν ένα συμπέρασμα. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά αποτέλεσε τον συχνότερα καταγεγραμμένο δείκτη στην ομάδα παραδοσιακής διδασκαλίας. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις οι μαθητές αξιοποίησαν ήδη οργανωμένα δεδομένα και δεν συμμετείχαν οι ίδιοι στη διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας τους.

Τρεις από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 37,5%, αναγνώρισαν σωστά τις βασικές μεταβλητές του φαινομένου. Οι μαθητές αυτοί μπόρεσαν να αναφέρουν ότι το μήκος του νήματος αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την περίοδο, ενώ η μάζα του σώματος δεν έχει ουσιαστική επίδραση. Παρ' όλα αυτά, αρκετοί μαθητές δυσκολεύτηκαν να διακρίνουν την ανεξάρτητη από την εξαρτημένη μεταβλητή και να προσδιορίσουν ποιες συνθήκες θα έπρεπε να παραμένουν σταθερές κατά την πραγματοποίηση ενός πειράματος.

Το ίδιο ποσοστό μαθητών, 37,5%, αναγνώρισε τουλάχιστον μία πιθανή πηγή πειραματικού σφάλματος. Οι συχνότερες αναφορές σχετίζονταν με την καθυστέρηση στη χρήση του χρονομέτρου, τη μη σταθερή αρχική γωνία εκτροπής και τη δυσκολία ακριβούς μέτρησης του μήκους του εκκρεμούς. Ωστόσο, οι σχετικές επισημάνσεις διατυπώθηκαν κυρίως μετά από ερωτήσεις ή υποδείξεις του εκπαιδευτικού και όχι αυθόρμητα.

Μόνο δύο από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 25,0%, διατύπωσαν ελέγξιμη υπόθεση σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την περίοδο του εκκρεμούς. Οι περισσότεροι μαθητές έδωσαν σύντομες προβλέψεις, όπως «το μεγαλύτερο εκκρεμές κινείται πιο αργά» ή «το βαρύτερο σώμα κατεβαίνει γρηγορότερα», χωρίς να προσδιορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι απόψεις αυτές θα μπορούσαν να ελεγχθούν πειραματικά.

Αντίστοιχα, δύο μαθητές, ποσοστό 25,0%, αναθεώρησαν ρητά την αρχική τους άποψη μετά την παρουσίαση αποτελεσμάτων που δεν την επιβεβαίωναν. Παρότι περισσότεροι μαθητές αποδέχθηκαν τη σωστή επιστημονική εξήγηση που δόθηκε από τον εκπαιδευτικό, μόνο δύο συνέδεσαν με σαφήνεια τη μεταβολή της άποψής τους με τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν. Το στοιχείο αυτό δείχνει ότι η αποδοχή της νέας γνώσης δεν συνοδευόταν πάντοτε από εμφανή αναστοχαστική επεξεργασία.

Χαμηλή συχνότητα καταγράφηκε και στην πρόταση εναλλακτικών εξηγήσεων. Μόνο δύο από τους οκτώ μαθητές, ποσοστό 25,0%, πρότειναν διαφορετική ερμηνεία για ένα αποτέλεσμα ή μια απόκλιση των μετρήσεων. Οι περισσότεροι μαθητές περίμεναν την εξήγηση του εκπαιδευτικού και δεν ανέπτυξαν αυθόρμητα πολλαπλές πιθανές ερμηνείες.

Συνολικά, τα δεδομένα της παρατήρησης δείχνουν ότι οι μαθητές της ομάδας παραδοσιακής διδασκαλίας ήταν σε θέση να κατανοήσουν βασικά στοιχεία του φαινομένου και να χρησιμοποιήσουν δεδομένα που τους παρέχονταν. Ωστόσο, παρουσίασαν μικρότερη συχνότητα εκδήλωσης συμπεριφορών που συνδέονται με την ενεργή διερεύνηση, όπως η διατύπωση ελέγξιμων υποθέσεων, η αναθεώρηση αρχικών απόψεων και η αναζήτηση εναλλακτικών εξηγήσεων.

Η διαφορά αυτή δεν πρέπει να ερμηνευθεί αποκλειστικά ως αδυναμία των μαθητών. Η παραδοσιακή μορφή διδασκαλίας προσέφερε λιγότερες ευκαιρίες για αυτόνομο σχεδιασμό, συλλογή δεδομένων, έλεγχο υποθέσεων και αναστοχασμό. Επομένως, οι χαμηλότερες συχνότητες ενδέχεται να συνδέονται σε σημαντικό βαθμό με τη δομή και τις απαιτήσεις της διδακτικής διαδικασίας.

3.9 Ανάλυση μαθητικών εργασιών

Η ανάλυση των φύλλων εργασίας έδειξε ότι οι μαθητές της πειραματικής ομάδας παρουσίασαν σταδιακή βελτίωση στον τρόπο με τον οποίο οργάνωναν τη σκέψη τους. Στην αρχή της δραστηριότητας αρκετές υποθέσεις ήταν γενικές και όχι πλήρως ελέγξιμες. Για παράδειγμα, ορισμένοι μαθητές έγραφαν: «Το βαρύτερο σώμα θα

πηγαίνει πιο γρήγορα», χωρίς να προσδιορίζουν με ποιον τρόπο θα ελεγχθεί αυτή η άποψη.

Μετά την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού, οι υποθέσεις έγιναν πιο συγκεκριμένες. Ενδεικτικά, μία ομάδα διατύπωσε την υπόθεση: «Αν αυξήσουμε τη μάζα του σώματος και κρατήσουμε σταθερό το μήκος του νήματος και τη γωνία εκτροπής, τότε η περίοδος θα μειωθεί». Η διατύπωση αυτή δείχνει ότι οι μαθητές άρχισαν να αντιλαμβάνονται τη σημασία του ελέγχου μεταβλητών.

Στα τελικά συμπεράσματα παρατηρήθηκε βελτίωση στη χρήση αποδεικτικών στοιχείων. Οι μαθητές δεν αρκούνταν πλέον σε γενικές διαπιστώσεις, αλλά συνέδεαν τα συμπεράσματά τους με τα δεδομένα. Για παράδειγμα, μία ομάδα έγραψε:

«Η μάζα δεν φαίνεται να επηρεάζει την περίοδο, επειδή για 50 g, 100 g και 150 g η περίοδος παρέμεινε περίπου 1,57 s. Άρα η αρχική μας υπόθεση δεν επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις.»

Το απόσπασμα αυτό δείχνει ότι οι μαθητές ήταν σε θέση να συγκρίνουν υπόθεση και δεδομένα, να αναγνωρίζουν τη μη επιβεβαίωση μιας αρχικής άποψης και να διατυπώνουν τεκμηριωμένο συμπέρασμα.

3.10 Ανάλυση φύλλων αναστοχασμού

Τα φύλλα αναστοχασμού ανέδειξαν σημαντικά στοιχεία σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τη διερευνητική διαδικασία. Πολλοί μαθητές ανέφεραν ότι αρχικά ήταν σίγουροι για μια απάντηση, αλλά άλλαξαν γνώμη όταν είδαν τα πειραματικά δεδομένα.

Ερωτηματολόγιο για το απλό εκκρεμές

Το ακόλουθο έντυπο αξιοποιήθηκε ως εργαλείο διερεύνησης.

Κωδικός μαθητή _____ Χρόνος συλλογής _____

Απάντησε ατομικά και εξήγησε τον τρόπο σκέψης σου. Μπορείς να δηλώσεις ότι δεν είσαι βέβαιος και να γράψεις τι επιπλέον θα ήθελες να γνωρίζεις. Δεν χρειάζεται να γράψεις το όνομά σου.

A1 Περίοδος και χρονομέτρηση

Τι ονομάζουμε περίοδο ενός εκκρεμούς; Πώς θα την υπολόγιζες αν είχες μετρήσει τον χρόνο δέκα πλήρων ταλαντώσεων;

Απάντηση

A2 Πρόβλεψη για τη μάζα

Δύο εκκρεμή έχουν ίδιο ενεργό μήκος και βαρίδια διαφορετικής μάζας. Αφήνονται χωρίς ώθηση από την ίδια μικρή γωνία. Πώς προβλέπεις ότι θα συγκρίνονται οι περίοδοί τους; Εξήγησε γιατί.

Απάντηση

A3 Πρόβλεψη για το μήκος

Δύο εκκρεμή έχουν ίδια μάζα, αλλά διαφορετικό ενεργό μήκος. Αφήνονται από την ίδια μικρή γωνία. Ποιο προβλέπεις ότι θα χρειάζεται περισσότερο χρόνο για μία πλήρη ταλάντωση; Αιτιολόγησε.

Απάντηση

A4 Έλεγχος της μάζας

Περιέγραψε πώς θα ελέγξεις αν η μάζα επηρεάζει την περίοδο. Τι θα αλλάξεις, τι θα μετρήσεις και τι θα διατηρήσεις σταθερό;

Απάντηση

A5 Αξιολόγηση σχεδιασμού

Μια ομάδα αλλάζει ταυτόχρονα τη μάζα και το μήκος και παρατηρεί ότι αλλάζει η περίοδος. Μπορεί να συμπεράνει ποιος παράγοντας ευθύνεται; Εξήγησε και πρότεινε βελτίωση.

Απάντηση

A6 Αξιοπιστία της μέτρησης

Θα προτιμούσες να μετρήσεις τον χρόνο μιας ταλάντωσης ή πολλών; Γιατί; Τι επιπλέον θα έκανες για να αξιολογήσεις την αξιοπιστία της μέτρησης;

Απάντηση

A7 Επάρκεια στοιχείων

Μια ομάδα κάνει μία μόνο μέτρηση για κάθε μάζα και βρίσκει λίγο διαφορετικούς χρόνους. Αρκεί αυτό για να συμπεράνει ότι η μάζα επηρεάζει την περίοδο; Ποια πρόσθετα στοιχεία χρειάζεται;

Απάντηση

A8 Ερμηνεία διαθέσιμων μετρήσεων

Για το ίδιο ενεργό μήκος και την ίδια μικρή γωνία, εξέτασε τον πίνακα πρωτογενών μετρήσεων που συνοδεύει τη δραστηριότητα. Ποιο συμπέρασμα υποστηρίζεται και ποια όρια έχει; Αν δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις, το ερώτημα παραλείπεται.

Αναγνωριστικό φύλλου μετρήσεων _____

Απάντηση

A9 Αναστοχασμός μετά τη δραστηριότητα

Διάβασε την αρχική σου απάντηση για τη μάζα. Θα τη διατηρούσες ή θα την άλλαζες; Εξήγησε ποιο συγκεκριμένο στοιχείο στηρίζει την απόφασή σου. Τι θα άλλαζες στη διαδικασία αν την επαναλάμβανες; Το ερώτημα χορηγείται μετά τη δραστηριότητα και η απάντηση διατηρεί τον ίδιο κωδικό μαθητή.

Απάντηση

Ενδεικτικά, μαθητής M7 ανέφερε:

«Στην αρχή πίστευα ότι όσο πιο βαρύ είναι το σώμα τόσο πιο γρήγορα θα κινείται. Όταν όμως κάναμε τις μετρήσεις, είδα ότι οι χρόνοι ήταν σχεδόν ίδιοι. Αυτό με έκανε να καταλάβω ότι δεν πρέπει να απαντάω μόνο με βάση αυτό που μου φαίνεται λογικό.»

Μαθήτρια M8 σημείωσε:

«Το πιο δύσκολο ήταν να κρατήσουμε σταθερές τις άλλες μεταβλητές. Στην αρχή αλλάζαμε και το μήκος και τη μάζα μαζί, αλλά μετά καταλάβαμε ότι έτσι δεν μπορούμε να ξέρουμε τι επηρεάζει το αποτέλεσμα.»

Μαθητής M5 έγραψε:

«Έμαθα ότι πρέπει να κάνουμε περισσότερες μετρήσεις, γιατί μία μέτρηση μπορεί να έχει λάθος. Αν έχεις περισσότερα δεδομένα, μπορείς να βγάλεις καλύτερο συμπέρασμα.»

Τα παραπάνω αποσπάσματα δείχνουν ότι η διερευνητική διαδικασία βοήθησε τους μαθητές να αναστοχαστούν πάνω στον τρόπο σκέψης τους, να αναγνωρίσουν περιορισμούς της πειραματικής διαδικασίας και να αντιληφθούν τη σημασία της τεκμηρίωσης.

3.11 Ανάλυση ομαδικών συνεντεύξεων

Μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης πραγματοποιήθηκαν δύο ομαδικές συνεντεύξεις με μαθητές της πειραματικής ομάδας. Η ανάλυση των απαντήσεων οδήγησε σε τέσσερις βασικές θεματικές κατηγορίες:

1. ενεργή συμμετοχή,
2. αναθεώρηση αρχικών αντιλήψεων,
3. χρήση δεδομένων και επιχειρηματολογία,
4. δυσκολίες στη διερευνητική διαδικασία.

3.11.1 Ενεργή συμμετοχή

Οι μαθητές ανέφεραν ότι η δραστηριότητα τους φάνηκε πιο ενδιαφέρουσα από μια συνηθισμένη διδασκαλία. Χαρακτηριστική είναι η απάντηση μαθητή:

«Μου άρεσε που δεν μας είπε κατευθείαν ο καθηγητής τον τύπο. Προσπαθήσαμε πρώτα να βρούμε μόνοι μας τι παίζει ρόλο.»

Η απάντηση αυτή δείχνει ότι οι μαθητές βίωσαν τη διαδικασία ως πιο ενεργητική και συμμετοχική.

3.11.2 Αναθεώρηση αρχικών αντιλήψεων

Αρκετοί μαθητές ανέφεραν ότι άλλαξαν άποψη κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας. Ένας μαθητής σημείωσε:

«Εγώ ήμουν σίγουρος ότι το βαρύτερο σώμα θα κάνει μικρότερο χρόνο. Όταν είδαμε ότι οι χρόνοι ήταν ίδιοι, κατάλαβα ότι η πρόβλεψη δεν ήταν σωστή.»

Η αλλαγή αυτή αποτελεί ένδειξη γνωστικής σύγκρουσης και αναθεώρησης αρχικών αντιλήψεων.

3.11.3 Χρήση δεδομένων και επιχειρηματολογία

Οι μαθητές ανέφεραν ότι η ανάγκη παρουσίασης των αποτελεσμάτων στην τάξη τους οδήγησε να οργανώσουν καλύτερα τα επιχειρήματά τους. Μία μαθήτρια ανέφερε:

«Όταν παρουσιάσαμε στην τάξη, έπρεπε να δείξουμε γιατί λέμε αυτό το συμπέρασμα. Δεν έφτανε να πούμε απλώς “έτσι βγήκε”. Έπρεπε να δείξουμε τις μετρήσεις.»

Το απόσπασμα δείχνει ότι η κοινωνική διάσταση της μάθησης, μέσα από την παρουσίαση και τη συζήτηση, ενίσχυσε την ανάγκη τεκμηρίωσης.

3.11.4 Δυσκολίες στη διερευνητική διαδικασία

Οι βασικές δυσκολίες που ανέφεραν οι μαθητές σχετίζονταν με τη μέτρηση του χρόνου, τη συνεργασία μέσα στην ομάδα και την κατανόηση της έννοιας της μεταβλητής. Ένας μαθητής ανέφερε:

«Στην αρχή μπερδευτήκαμε γιατί αλλάζαμε πολλά πράγματα μαζί. Μετά καταλάβαμε ότι πρέπει να αλλάζουμε μόνο ένα κάθε φορά.»

Η δυσκολία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς δείχνει ότι η ικανότητα ελέγχου μεταβλητών δεν είναι αυτονόητη και χρειάζεται καθοδήγηση.

3.12 Θεματικές κατηγορίες των ποιοτικών δεδομένων

Από τη θεματική ανάλυση των παρατηρήσεων, των φύλλων εργασίας και των συνεντεύξεων προέκυψαν οι ακόλουθες θεματικές κατηγορίες.

Πίνακας 3.4

Θεματικές κατηγορίες και ενδεικτικά ευρήματα

Θεματική κατηγορία	Περιγραφή	Ενδεικτικό εύρημα
Διατύπωση υποθέσεων	Οι μαθητές διατυπώνουν αρχικές προβλέψεις για το φαινόμενο	Υποθέσεις για μάζα, μήκος και γωνία
Έλεγχος μεταβλητών	Οι μαθητές αντιλαμβάνονται την ανάγκη αλλαγής μίας μεταβλητής κάθε φορά	Δυσκολία στην αρχή, βελτίωση μετά την καθοδήγηση
Χρήση δεδομένων	Οι μαθητές στηρίζουν τα συμπεράσματα σε μετρήσεις	Αναφορά σε πίνακες και μέσες τιμές
Αναθεώρηση αντιλήψεων	Οι μαθητές αλλάζουν αρχικές απόψεις όταν τα δεδομένα δεν τις στηρίζουν	Αναθεώρηση της άποψης για τη μάζα
Αναγνώριση σφαλμάτων	Οι μαθητές εντοπίζουν προβλήματα στη μέτρηση	Χρονόμετρο, γωνία εκτροπής, αριθμός ταλαντώσεων
Επιχειρηματολογία	Οι μαθητές αιτιολογούν τα συμπεράσματά τους στην ομάδα	Παρουσίαση στην ολομέλεια
Αναστοχασμός	Οι μαθητές αξιολογούν τη μαθησιακή τους πορεία	Αναφορές στο τι θα άλλαζαν σε επανάληψη του πειράματος

3.13 Συνολική αποτίμηση των ευρημάτων

Η υποθετική μελέτη περίπτωσης δείχνει ότι η διερευνητική διδασκαλία του απλού εκκρεμούς μπορεί να συμβάλει τόσο στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης όσο και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Τα προσομοιωμένα ποσοτικά δεδομένα δείχνουν ότι η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση από την ομάδα σύγκρισης και στις δύο μετρήσεις.

Τα ποιοτικά δεδομένα ενισχύουν την ερμηνεία των ποσοτικών αποτελεσμάτων. Οι μαθητές της πειραματικής ομάδας φάνηκαν να συμμετέχουν ενεργά, να διατυπώνουν υποθέσεις, να ελέγχουν μεταβλητές, να χρησιμοποιούν πειραματικά δεδομένα και να αναθεωρούν αρχικές αντιλήψεις. Η διαδικασία της συζήτησης και του αναστοχασμού συνέβαλε ιδιαίτερα στην ανάπτυξη επιστημονικής επιχειρηματολογίας και στη βαθύτερη κατανόηση της σχέσης ανάμεσα στα δεδομένα και στα συμπεράσματα.

Ωστόσο, η μελέτη ανέδειξε και δυσκολίες. Οι μαθητές δεν ήταν εξαρχής εξοικειωμένοι με τον έλεγχο μεταβλητών και με τη διάκριση ανάμεσα σε υπόθεση, παρατήρηση και συμπέρασμα. Επιπλέον, η πρόταση εναλλακτικών εξηγήσεων εμφανίστηκε ως η λιγότερο ανεπτυγμένη δεξιότητα, γεγονός που δείχνει ότι η κριτική σκέψη απαιτεί συστηματική και μακροχρόνια καλλιέργεια.

Συνολικά, η υποθετική εφαρμογή υποστηρίζει την παιδαγωγική αξία της διερευνητικής μάθησης στη διδασκαλία της Φυσικής. Η διερεύνηση του απλού εκκρεμούς προσφέρει ένα κατάλληλο πλαίσιο μέσα στο οποίο οι μαθητές μπορούν να συνδέσουν τη θεωρία με την πράξη, να αναπτύξουν επιστημονικό συλλογισμό και να καλλιεργήσουν δεξιότητες κριτικής σκέψης.

3.14 Ρεαλιστική οργάνωση μιας διερευνητικής δραστηριότητας στην Α΄ Λυκείου

Η εφαρμογή του διδακτικού σεναρίου μπορεί να οργανωθεί σε ένα συνηθισμένο σχολικό ή φροντιστηριακό περιβάλλον, χωρίς να προϋποθέτει εξειδικευμένο εργαστήριο. Για κάθε μικρή ομάδα χρειάζονται ένας σταθερός ορθοστάτης ή άλλο ασφαλές σημείο ανάρτησης, λεπτό νήμα, δύο ή τρεις συμπαγείς μάζες, μετροταινία και χρονόμετρο. Η αξιοποίηση της κάμερας κινητού τηλεφώνου ή μιας απλής ψηφιακής προσομοίωσης μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά, αλλά δεν αποτελεί απαραίτητη συνθήκη. Ο βασικός στόχος δεν είναι η τεχνολογική πολυπλοκότητα της διάταξης· είναι να αποκτήσουν οι μαθητές τη δυνατότητα να ελέγχουν μία υπόθεση και να συζητούν το νόημα των μετρήσεών τους.

Στην πρώτη διδακτική ώρα προτείνεται να αναδειχθούν οι αρχικές αντιλήψεις μέσα από ατομικό σύντομο ερωτηματολόγιο. Οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν ποιο από δύο εκκρεμή θα ολοκληρώσει περισσότερες ταλαντώσεις στο ίδιο χρονικό διάστημα και να εξηγήσουν την επιλογή τους. Η απάντηση καταγράφεται πριν από

οποιαδήποτε πειραματική επίδειξη, ώστε να είναι εφικτή η μεταγενέστερη σύγκριση. Ακολουθεί ομαδική συζήτηση στην οποία ο εκπαιδευτικός διευκρινίζει τις έννοιες της περιόδου, της πλήρους ταλάντωσης και του ελεγχόμενου πειράματος, χωρίς να προεξοφλεί το τελικό αποτέλεσμα.

Στη δεύτερη και τρίτη ώρα οι ομάδες σχεδιάζουν και εκτελούν μετρήσεις. Προτείνεται ο καταμερισμός ρόλων: χειριστής εκκρεμούς, χρονομέτρης, υπεύθυνος καταγραφής και ελεγκτής διαδικασίας. Οι ρόλοι αλλάζουν κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας για να αποτραπεί η συγκέντρωση των απαιτητικών γνωστικών ενεργειών σε έναν μόνο μαθητή. Στην τέταρτη ώρα οργανώνεται η επεξεργασία των αποτελεσμάτων και η σύγκριση μεταξύ ομάδων, ενώ στην πέμπτη πραγματοποιείται επιστροφή στις αρχικές υποθέσεις, ατομικός αναστοχασμός και αξιολόγηση του τρόπου συλλογής των δεδομένων.

Ένα τέτοιο χρονοδιάγραμμα αποτελεί ρεαλιστικό σχεδιασμό προς εφαρμογή και όχι ισχυρισμό ότι καταγράφηκε σε συγκεκριμένο σχολείο. Για να αποκτήσει εμπειρικό χαρακτήρα, πρέπει να συνοδευτεί από τεκμηριωμένα στοιχεία: πραγματικές ημερομηνίες, αριθμό συμμετεχόντων, συνθήκες εφαρμογής, τα αυθεντικά φύλλα εργασίας και τις σημειώσεις παρατήρησης. Η ακριβής καταγραφή τυχόν αλλαγών στο αρχικό πλάνο είναι εξίσου σημαντική με την περιγραφή του ιδανικού σεναρίου.

3.15 Τεχνικός σχεδιασμός μετρήσεων και αντιμετώπιση πειραματικών σφαλμάτων

Η περίοδος ενός ιδανικού απλού εκκρεμούς, για μικρές γωνίες εκτροπής και αμελητέες απώλειες, προσεγγίζεται από τη σχέση $T = 2\pi\sqrt{L/g}$, όπου L είναι η απόσταση από το σημείο ανάρτησης μέχρι το κέντρο μάζας του σώματος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας. Η σχέση αυτή αποτελεί επιστημονικό σημείο αναφοράς, δεν χρειάζεται όμως να δοθεί στους μαθητές πριν από τη διερεύνηση. Μπορεί να αξιοποιηθεί κατά την τελική ερμηνεία, όταν οι ίδιοι έχουν εξετάσει αν μεταβάλλεται η περίοδος με το μήκος και αν παρατηρείται ουσιαστική εξάρτηση από τη μάζα. Η αναφορά στο πεδίο ισχύος της προσέγγισης είναι αναγκαία: σε μεγάλες γωνίες, η περίοδος δεν περιγράφεται με την ίδια ακρίβεια από την απλή σχέση.

Για τη διερεύνηση της μάζας διατηρούνται σταθερά το μήκος του νήματος και η μικρή αρχική γωνία εκτροπής. Αντίστοιχα, στη διερεύνηση του μήκους διατηρείται η ίδια μάζα και η ίδια περίπου εκτροπή. Δεν αποτελεί έγκυρο έλεγχο η ταυτόχρονη αλλαγή μήκους και μάζας, διότι τότε δεν μπορεί να αποδοθεί μια παρατηρούμενη διαφορά σε μία συγκεκριμένη μεταβλητή. Προτείνεται κάθε μέτρηση να αφορά δέκα πλήρεις ταλαντώσεις και να επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές. Η περίοδος

υπολογίζεται διαιρώντας τον συνολικό χρόνο με τον αριθμό των ταλαντώσεων, ώστε το σχετικό σφάλμα από την αντίδραση του χρονομέτρη να περιορίζεται.

Οι μαθητές χρειάζεται να προσέξουν ότι η μέτρηση του μήκους γίνεται έως το κέντρο του αιωρούμενου σώματος, ότι το σώμα αφήνεται ελεύθερο χωρίς αρχική ώθηση και ότι η ταλάντωση επιδιώκεται να παραμείνει περίπου στο ίδιο επίπεδο. Η τριβή στο σημείο ανάρτησης, η αντίσταση του αέρα, η οπτική εκτίμηση της αρχικής γωνίας και η ανθρώπινη καθυστέρηση κατά τη χρονομέτρηση αποτελούν ενδεικτικές πηγές αβεβαιότητας. Δεν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί πολύπλοκη στατιστική ανάλυση, όμως είναι σημαντικό οι μαθητές να αντιληφθούν ότι οι διαφορές της τάξης των λίγων εκατοστών του δευτερολέπτου μπορεί να μην έχουν ερμηνευτική αξία.

Στην τελική παρουσίαση ζητείται από κάθε ομάδα να απαντήσει σε τρία διαδοχικά ερωτήματα: «Τι αλλάξαμε;», «Τι μετρήσαμε;» και «Τι μπορούμε να συμπεράνουμε χωρίς να υπερβούμε τα δεδομένα;». Αν δύο μετρήσεις διαφέρουν, η ομάδα χρειάζεται να εξηγήσει αν η διαφορά εμφανίζεται συστηματικά στις επαναλήψεις. Αυτό το βήμα αναβαθμίζει το πείραμα από διαδικασία επιβεβαίωσης γνωστού τύπου σε δραστηριότητα ελέγχου της ποιότητας των αποδεικτικών στοιχείων.

3.16 Ο διάλογος των μαθητών ως πεδίο ανάπτυξης επιχειρηματολογίας

Στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας, η επιστημονική συζήτηση δεν είναι απλώς μια φάση ανακοίνωσης τελικών αποτελεσμάτων. Αποτελεί αναγκαίο μηχανισμό μέσα από τον οποίο οι μαθητές συγκρίνουν υποθέσεις, αναγνωρίζουν αμφισημίες και διαμορφώνουν κοινά κριτήρια αποδοχής μιας εξήγησης. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να οργανώσει τον διάλογο γύρω από ερωτήσεις όπως: «Ποια μέτρηση στηρίζει αυτή τη θέση;», «Τι άλλο θα μπορούσε να εξηγήσει τη διαφορά;» και «Ποια επιπλέον μέτρηση θα μας βοηθούσε να αποφασίσουμε;». Οι ερωτήσεις αυτές καθοδηγούν τον μαθητή στην τεκμηρίωση χωρίς να υποδεικνύουν την επιθυμητή απάντηση.

Για παράδειγμα, είναι δυνατόν μια ομάδα να υποστηρίξει ότι το βαρύτερο σώμα ταλαντώνεται λίγο ταχύτερα, ενώ μια άλλη να μην καταγράψει ουσιαστική διαφορά. Αντί να κρίνει αμέσως ποια ομάδα συμφωνεί με τη θεωρία, ο εκπαιδευτικός ζητά να παρουσιαστούν οι αντίστοιχοι πίνακες, οι συνθήκες δοκιμής και ο αριθμός επαναλήψεων. Ενδέχεται να αναδειχθεί ότι κάποια ομάδα άλλαξε ακούσια το μήκος ή μέτρησε διαφορετικό αριθμό ταλαντώσεων. Το σημαντικό στοιχείο δεν είναι η δραματοποίηση της διαφωνίας, αλλά η μετάβαση από τη βεβαιότητα της προσωπικής εντύπωσης στη διαφάνεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Η ανάπτυξη επιχειρηματολογίας προϋποθέτει επίσης κλίμα ψυχολογικής ασφάλειας. Οι μαθητές πρέπει να αισθάνονται ότι μπορούν να διατυπώσουν μια

εσφαλμένη πρόβλεψη χωρίς ειρωνεία ή άμεση βαθμολογική επιβάρυνση. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιβραβεύει τη σαφή αιτιολόγηση, την εύστοχη ερώτηση και την τεκμηριωμένη αναθεώρηση, αντί να επιβραβεύει αποκλειστικά την ταχύτητα της σωστής απάντησης. Σε αυτό το πλαίσιο, η αλλαγή γνώμης παρουσιάζεται ως θεμιτό αποτέλεσμα νέων αποδείξεων και όχι ως ένδειξη προσωπικής αδυναμίας.

Η επιστημονική επιχειρηματολογία συνδέεται με την κοινωνική κατασκευή της γνώσης, καθώς οι μαθητές χρειάζεται να καταστήσουν τις σκέψεις τους κατανοητές σε άλλους και να αξιολογήσουν εναλλακτικούς συλλογισμούς. Η παιδαγωγική σημασία της διαδικασίας αυτής συνάδει με τη συζήτηση του Osborne (2010) για τον ρόλο του κριτικού διαλόγου στη μάθηση των φυσικών επιστημών. Στην περίπτωση του εκκρεμούς, το προϊόν της δραστηριότητας δεν είναι μόνο ένας πίνακας τιμών, αλλά και η ικανότητα του μαθητή να υπερασπιστεί το συμπέρασμα με κατάλληλες προϋποθέσεις και επιφυλάξεις.

3.17 Σχεδιασμός ατομικού ερωτηματολογίου πριν και μετά την παρέμβαση

Η ενσωμάτωση ατομικών ερωτηματολογίων μπορεί να εμπλουτίσει τη μελέτη της μαθητικής σκέψης, εφόσον τα ερωτήματα συνδέονται άμεσα με τις επιδιωκόμενες γνωστικές διαδικασίες. Το αρχικό εργαλείο δεν χρειάζεται να περιορίζεται στη γνώση του τύπου της περιόδου. Είναι προτιμότερο να εξετάζει τις διαισθητικές εκτιμήσεις για τη μάζα και το μήκος, τη δυνατότητα διατύπωσης μιας ελέγξιμης πρόβλεψης και την ικανότητα σχεδιασμού μιας σύγκρισης. Κάθε ερώτημα καλό είναι να συνοδεύεται από αίτημα σύντομης αιτιολόγησης, ώστε να διακρίνεται η τυχαία σωστή απάντηση από μια συνεπή συλλογιστική διαδικασία.

Το τελικό εργαλείο μπορεί να περιλαμβάνει παράλληλα αλλά όχι απολύτως ίδια προβλήματα. Για παράδειγμα, ενώ αρχικά συγκρίνονται δύο εκκρεμή διαφορετικής μάζας, τελικά δίνεται ένα μικρό σύνολο μετρήσεων και ζητείται να αξιολογηθεί αν τα δεδομένα δικαιολογούν τον ισχυρισμό μιας υποθετικής ομάδας. Η αλλαγή στη μορφή του ερωτήματος επιτρέπει να εξεταστεί η μεταφορά της γνώσης από την απλή πρόβλεψη στην αξιολόγηση τεκμηρίων. Επιπλέον, μπορεί να ζητηθεί από τους μαθητές να επανεξετάσουν την αρχική τους απάντηση και να περιγράψουν συγκεκριμένα ποια παρατήρηση τους οδήγησε σε αναθεώρηση.

Η σύγκριση πριν και μετά οφείλει να πραγματοποιείται με προσοχή. Εάν οι μαθητές απαντήσουν καλύτερα στην τελική δοκιμασία, αυτό αποτελεί ένδειξη διαφοροποίησης της επίδοσης στα συγκεκριμένα ερωτήματα, όχι απόδειξη ότι η διερευνητική δραστηριότητα προκάλεσε από μόνη της γενική ανάπτυξη της κριτικής σκέψης. Οι μαθητές μπορεί να επηρεαστούν από την εξοικείωση με το εργαλείο, από την παρέμβαση του εκπαιδευτικού ή από άλλες μαθησιακές εμπειρίες. Για

ισχυρότερους αιτιακούς ισχυρισμούς θα απαιτούνταν μεγαλύτερο δείγμα, ομάδα σύγκρισης, κατάλληλος έλεγχος αρχικών διαφορών και τεκμηριωμένη αξιοπιστία των μετρήσεων.

Στο παράρτημα προτείνεται συγκεκριμένο κενό ερωτηματολόγιο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο εφαρμογής ή να προσαρμοστεί σε αυθεντικό υλικό που έχει ήδη συλλεχθεί. Εάν υπάρχουν πραγματικά συμπληρωμένες απαντήσεις, η δημοσίευσή τους προϋποθέτει ασφαλή ανωνυμοποίηση και τις αναγκαίες άδειες. Στη συνέχεια η ανάλυση θα πρέπει να βασιστεί αποκλειστικά στις πραγματικές διατυπώσεις, ακόμη και όταν αυτές δεν συμβαδίζουν με τις προσδοκίες του ερευνητή.

3.18 Από τη ρεαλιστική περιγραφή στα πραγματικά ερευνητικά τεκμήρια

Η λεπτομερής οργάνωση ενός διδακτικού σεναρίου μπορεί να το καταστήσει ρεαλιστικό, εφαρμόσιμο και παιδαγωγικά πειστικό. Δεν το μετατρέπει, ωστόσο, από μόνη της σε εμπειρική μελέτη περίπτωσης. Για να υποστηριχθεί ότι πραγματοποιήθηκε μια συγκεκριμένη παρέμβαση, είναι αναγκαίο να υπάρχουν ανακτήσιμα τεκμήρια, όπως ημερολόγιο υλοποίησης, πραγματικά συμπληρωμένα φύλλα εργασίας, πρωτόκολλα παρατήρησης και σαφής περιγραφή του αριθμού και των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων. Κάθε τεκμήριο πρέπει να έχει συγκεκριμένη προέλευση και να χρησιμοποιείται μόνο εντός του πεδίου που πραγματικά υποστηρίζει.

Στο υπάρχον κεφάλαιο περιλαμβάνονται και προσομοιωμένα παραδείγματα δεδομένων. Τα παραδείγματα αυτά είναι χρήσιμα για να γίνει κατανοητό πώς θα μπορούσε να παρουσιαστεί μια ανάλυση ή πώς θα οργανώνονταν οι συγκρίσεις. Δεν πρέπει, όμως, να συγχέονται με αποτελέσματα πραγματικών μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η παρούσα επέκταση αντιμετωπίζει το σενάριο ως αναλυτικά τεκμηριωμένη διδακτική πρόταση και ορίζει ως προϋπόθεση για την εμπειρική του αναβάθμιση την προσθήκη αυθεντικού, δεοντολογικά αξιοποιήσιμου υλικού.

Ειδικότερα, αν υπάρχουν ήδη απαντήσεις μαθητών για την υπόθεση σχετικά με τη μάζα του εκκρεμούς, μπορούν να συγκροτηθούν μικρές περιπτώσεις ανάλυσης: αρχική απάντηση, σχετική πειραματική παρατήρηση, τελική απάντηση και σύντομο ερμηνευτικό σχόλιο. Δεν είναι αναγκαίο όλες οι περιπτώσεις να δείχνουν βελτίωση. Μια απάντηση που παραμένει αμετάβλητη ή περιλαμβάνει εσωτερικές αντιφάσεις μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για την κατανόηση των ορίων της παρέμβασης. Η ειλικρινής παρουσίαση της ποικιλίας των μαθητικών συλλογισμών ενισχύει την επιστημονική ποιότητα περισσότερο από μια ομοιόμορφη εικόνα επιτυχίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα δεδομένα που προέκυψαν από την έρευνα σχετικά με τη συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Η ανάλυση βασίζεται στα δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω παρατήρησης μαθημάτων, ημιδομημένων συνεντεύξεων με εκπαιδευτικούς και μαθητές, καθώς και ανάλυσης μαθητικών εργασιών.

Η παρουσίαση των δεδομένων οργανώνεται σε θεματικές κατηγορίες που προέκυψαν από τη διαδικασία της θεματικής ανάλυσης. Οι βασικές θεματικές αφορούν την ενεργή συμμετοχή των μαθητών, την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης, τη συνεργασία και την επιχειρηματολογία, καθώς και τις δυσκολίες εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης στη σχολική τάξη.

4.2 Δεδομένα από την παρατήρηση μαθημάτων

Η παρατήρηση πραγματοποιήθηκε σε μαθήματα θετικών επιστημών κατά τη διάρκεια εφαρμογής διερευνητικών δραστηριοτήτων. Κατά τη διάρκεια των μαθημάτων καταγράφηκαν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ μαθητών και εκπαιδευτικών, η συμμετοχή των μαθητών στις δραστηριότητες και οι στρατηγικές που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση προβλημάτων.

4.2.1 Ενεργή συμμετοχή των μαθητών

Από την παρατήρηση προέκυψε ότι οι μαθητές συμμετείχαν ενεργά στις δραστηριότητες διερεύνησης. Οι περισσότεροι μαθητές έδειξαν αυξημένο ενδιαφέρον κατά τη διάρκεια των πειραματικών διαδικασιών και συμμετείχαν στη διατύπωση ερωτημάτων και υποθέσεων.

Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές ανέλαβαν πρωτοβουλίες για την αναζήτηση λύσεων και τη συλλογή πληροφοριών. Η ενεργή εμπλοκή τους στη διαδικασία φαίνεται ότι ενίσχυσε το ενδιαφέρον τους για το μάθημα και συνέβαλε στη δημιουργία θετικού μαθησιακού κλίματος.

4.2.2 Ανάπτυξη επιχειρηματολογίας και ανάλυσης δεδομένων

Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων οι μαθητές κλήθηκαν να ερμηνεύσουν δεδομένα, να συγκρίνουν αποτελέσματα και να υποστηρίξουν τις απόψεις τους με επιχειρήματα. Παρατηρήθηκε ότι αρκετοί μαθητές ανέπτυξαν δεξιότητες ανάλυσης και αξιολόγησης πληροφοριών, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποίησαν επιστημονικούς όρους και τεκμηριωμένες εξηγήσεις.

Η διαδικασία της συζήτησης μέσα στις ομάδες βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν τη λογική τους σκέψη και να αξιολογούν διαφορετικές απόψεις πριν καταλήξουν σε συμπεράσματα.

4.2.3 Συνεργασία μεταξύ των μαθητών

Η συνεργασία αποτέλεσε βασικό χαρακτηριστικό των διερευνητικών δραστηριοτήτων. Οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες και αντάλλαξαν ιδέες σχετικά με την επίλυση προβλημάτων και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Παρατηρήθηκε ότι η συνεργατική διαδικασία ενίσχυσε την επικοινωνία και τη συμμετοχή ακόμη και μαθητών που συνήθως παρέμεναν παθητικοί κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Παράλληλα, η ομαδική εργασία φαίνεται ότι συνέβαλε στην ανάπτυξη κοινωνικών δεξιοτήτων και στην ενίσχυση της αυτοπεποίθησης των μαθητών.

4.3 Ανάλυση συνεντεύξεων εκπαιδευτικών

Οι συνεντεύξεις με τους εκπαιδευτικούς επικεντρώθηκαν στις εμπειρίες τους από την εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης, στα οφέλη που παρατηρούν στους μαθητές, αλλά και στις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν κατά τη διδακτική διαδικασία.

4.3.1 Αντιλήψεις σχετικά με τα οφέλη της διερευνητικής μάθησης

Οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι η διερευνητική μάθηση συμβάλλει σημαντικά στην ενεργοποίηση των μαθητών και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Σύμφωνα με τις απαντήσεις τους, οι μαθητές παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το μάθημα όταν συμμετέχουν ενεργά σε πειραματικές και διερευνητικές δραστηριότητες.

Επιπλέον, αρκετοί εκπαιδευτικοί τόνισαν ότι οι μαθητές αναπτύσσουν καλύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών όταν καλούνται να ανακαλύψουν τη γνώση μέσα από διαδικασίες διερεύνησης και όχι μέσω απλής απομνημόνευσης.

4.3.2 Ανάπτυξη κριτικής σκέψης

Οι εκπαιδευτικοί υποστήριζαν ότι οι διερευνητικές δραστηριότητες βοηθούν τους μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες όπως:

- η διατύπωση υποθέσεων,
- η αξιολόγηση πληροφοριών,
- η ανάλυση δεδομένων,
- και η τεκμηριωμένη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σύμφωνα με τις απόψεις τους, οι μαθητές γίνονται περισσότερο ικανοί να υποστηρίξουν τις απόψεις τους με επιχειρήματα και να συμμετέχουν ενεργά σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων.

4.3.3 Δυσκολίες εφαρμογής

Παρά τα θετικά στοιχεία της διερευνητικής μάθησης, οι εκπαιδευτικοί αναφέρθηκαν και σε ορισμένες δυσκολίες εφαρμογής. Οι σημαντικότερες δυσκολίες αφορούσαν:

- τον περιορισμένο διδακτικό χρόνο,
- την έλλειψη εργαστηριακού εξοπλισμού,
- τις απαιτήσεις οργάνωσης των δραστηριοτήτων,
- και την ανάγκη επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών.

Ορισμένοι εκπαιδευτικοί σημείωσαν επίσης ότι η εφαρμογή διερευνητικών δραστηριοτήτων είναι δυσκολότερη σε πολυπληθή τμήματα ή σε περιβάλλοντα με περιορισμένους πόρους.

4.4 Ανάλυση συνεντεύξεων μαθητών

Οι συνεντεύξεις με τους μαθητές επικεντρώθηκαν στις εμπειρίες τους από τη συμμετοχή σε διερευνητικές δραστηριότητες και στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τη μαθησιακή διαδικασία.

4.4.1 Ενδιαφέρον και συμμετοχή

Οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι οι διερευνητικές δραστηριότητες έκαναν το μάθημα περισσότερο ενδιαφέρον και ευχάριστο. Ιδιαίτερα θετικά αξιολογήθηκαν οι πειραματικές δραστηριότητες και η ομαδική εργασία.

Αρκετοί μαθητές δήλωσαν ότι ένιωσαν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση όταν συμμετείχαν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης και όταν μπορούσαν να εκφράσουν τις απόψεις τους μέσα στην ομάδα.

4.4.2 Ανάπτυξη δεξιοτήτων σκέψης

Οι μαθητές ανέφεραν ότι μέσα από τις διερευνητικές δραστηριότητες έμαθαν να σκέφτονται περισσότερο πριν απαντήσουν και να εξετάζουν διαφορετικές πιθανές λύσεις ενός προβλήματος.

Παράλληλα, αρκετοί μαθητές υποστήριξαν ότι η διερευνητική μάθηση τους βοήθησε να κατανοούν καλύτερα τις επιστημονικές έννοιες και να συνδέουν τη θεωρία με την πράξη.

4.4.3 Συνεργασία και επικοινωνία

Η πλειονότητα των μαθητών αναφέρθηκε θετικά στη συνεργασία μέσα στις ομάδες. Οι μαθητές δήλωσαν ότι μέσα από τη συζήτηση και την ανταλλαγή ιδεών κατάφεραν να κατανοήσουν καλύτερα το μάθημα και να επιλύσουν προβλήματα πιο αποτελεσματικά.

Επιπλέον, η συνεργατική διαδικασία φαίνεται ότι συνέβαλε στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επικοινωνίας και στην ενίσχυση της συμμετοχής όλων των μαθητών.

4.5 Ανάλυση μαθητικών εργασιών

Η ανάλυση των μαθητικών εργασιών επικεντρώθηκε στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές επεξεργάζονταν πληροφορίες, διατύπωναν επιχειρήματα και κατέληγαν σε συμπεράσματα.

Από την ανάλυση προέκυψε ότι οι περισσότεροι μαθητές ήταν σε θέση να:

- διατυπώνουν υποθέσεις,
- οργανώνουν δεδομένα,
- αξιολογούν πληροφορίες,
- και εξάγουν τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Παράλληλα, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές που συμμετείχαν ενεργότερα στις διερευνητικές δραστηριότητες παρουσίαζαν μεγαλύτερη ικανότητα ανάλυσης και επιστημονικής επιχειρηματολογίας.

Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις διαπιστώθηκαν δυσκολίες στην οργάνωση της σκέψης και στη διατύπωση ολοκληρωμένων επιχειρημάτων, γεγονός που δείχνει ότι η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης απαιτεί συστηματική εξάσκηση και συνεχή υποστήριξη.

4.6 Θεματικές κατηγορίες και βασικά ευρήματα

Από τη συνολική ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν οι ακόλουθες βασικές θεματικές κατηγορίες:

Ενεργή συμμετοχή και αυξημένο ενδιαφέρον

Η διερευνητική μάθηση φαίνεται ότι αυξάνει τη συμμετοχή και το ενδιαφέρον των μαθητών για τις θετικές επιστήμες.

Ανάπτυξη κριτικής σκέψης

Οι μαθητές αναπτύσσουν δεξιότητες ανάλυσης, αξιολόγησης πληροφοριών, επιχειρηματολογίας και επίλυσης προβλημάτων.

Συνεργασία και επικοινωνία

Η ομαδική εργασία ενισχύει την ανταλλαγή ιδεών, τη συνεργασία και την ανάπτυξη κοινωνικών δεξιοτήτων.

Δυσκολίες εφαρμογής

Οι κυριότερες δυσκολίες σχετίζονται με τον περιορισμένο χρόνο, τις ελλείψεις σε υποδομές και την ανάγκη επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών.

4.7 Συμπερασματική αποτίμηση

Τα δεδομένα της έρευνας δείχνουν ότι η διερευνητική μάθηση μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Η ενεργός συμμετοχή, η συνεργασία και η εμπλοκή των μαθητών σε διαδικασίες διερεύνησης φαίνεται ότι ενισχύουν τη μαθησιακή εμπειρία και προάγουν δεξιότητες ανώτερης σκέψης.

Παράλληλα, η έρευνα αναδεικνύει την ανάγκη υποστήριξης των εκπαιδευτικών και βελτίωσης των συνθηκών εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης, ώστε να αξιοποιηθεί αποτελεσματικότερα στη σχολική πράξη.

4.8 Αναλυτικό παράδειγμα κωδικοποίησης μαθητικών απαντήσεων

Η θεματική ανάλυση μπορεί να αποκτήσει μεγαλύτερη διαφάνεια όταν περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος μετασχηματισμού του πρωτογενούς κειμένου σε ερμηνευτική κατηγορία. Η διαδικασία, σύμφωνα με τη λογική που παρουσιάζουν οι Braun και Clarke (2006), ξεκινά από την προσεκτική εξοικείωση με το υλικό, συνεχίζεται με αρχικούς κωδικούς και οδηγεί στη διαμόρφωση, εξέταση και ονομασία ευρύτερων θεμάτων. Η κωδικοποίηση δεν είναι μηχανική ταξινόμηση λέξεων. Ο ερευνητής εξετάζει τη σημασία των δηλώσεων μέσα στο συγκεκριμένο διδακτικό πλαίσιο και προσπαθεί να διατηρεί ορατή τη σύνδεση της ερμηνείας με τα πρωτογενή τεκμήρια.

Για τη διερεύνηση του εκκρεμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ως εκ των προτέρων προτεινόμενοι και όχι ως ήδη διαπιστωμένοι κωδικοί, οι ακόλουθες κατηγορίες: «διαισθητική σύνδεση μάζας και ταχύτητας», «αναγνώριση ανάγκης ελέγχου μεταβλητών», «επίκληση συγκεκριμένης μέτρησης», «αναγνώριση αβεβαιότητας» και «αναθεώρηση με αιτιολόγηση». Ο πρώτος κωδικός μπορεί να εμφανιστεί όταν μια απάντηση βασίζει την πρόβλεψη αποκλειστικά στο βάρος. Ο δεύτερος απαιτεί αναφορά στη διατήρηση άλλων μεγεθών σταθερών. Ο τρίτος συνδέεται με τη χρήση πραγματικών αριθμών ή συγκρίσεων που έχουν παραχθεί

κατά τη δραστηριότητα. Ο τέταρτος εντοπίζεται όταν ο μαθητής αναφέρει πιθανές πηγές πειραματικού σφάλματος και ο πέμπτος όταν εξηγεί ποια τεκμήρια τον οδήγησαν σε διαφοροποίηση της αρχικής θέσης.

Ένα σημαντικό μεθοδολογικό σημείο είναι ότι μία απάντηση μπορεί να λάβει περισσότερους από έναν κωδικούς. Επιπλέον, η παρουσία μιας επιστημονικά ορθής δήλωσης δεν τεκμηριώνει κατ' ανάγκην την παρουσία σύνθετου συλλογισμού. Αν ένας μαθητής γράφει ότι «το μήκος παίζει ρόλο» χωρίς να εξηγεί γιατί, το κείμενο παρέχει εννοιολογική πληροφορία, αλλά δεν αποδεικνύει ότι έχει αξιολογήσει δεδομένα. Αντίστροφα, ένας μαθητής μπορεί να καταλήγει σε ατελές συμπέρασμα και παράλληλα να επιδεικνύει ώριμη ικανότητα αναγνώρισης περιορισμών. Η ποιοτική ανάλυση χρειάζεται να αποτυπώνει αυτή τη διαφοροποίηση.

Κατά τη δημοσιοποίηση των αποτελεσμάτων προτείνεται ένας συνοπτικός πίνακας που θα αντιστοιχίζει κάθε κωδικό με ανώνυμο απόσπασμα, σύντομη αιτιολόγηση της ερμηνείας και ενδεχόμενο αντίθετο παράδειγμα. Ο πίνακας θα μπορεί να συμπληρωθεί μόνο από αυθεντικές απαντήσεις. Χωρίς αυτές, η παρούσα περιγραφή παραμένει μεθοδολογικό υπόδειγμα και δεν συνιστά παρουσίαση νέων ερευνητικών ευρημάτων.

4.9 Κριτήρια για προσεκτική ερμηνεία συγκρίσεων και μεταβολών

Η ανάλυση των μαθητικών εργασιών οφείλει να διαχωρίζει τρία διαφορετικά επίπεδα: το καταγεγραμμένο δεδομένο, την πιθανή ερμηνεία του και τον ευρύτερο ισχυρισμό για τη μάθηση. Ένα δεδομένο μπορεί να είναι ότι σε ένα τελικό φύλλο εργασίας εμφανίζονται περισσότερες αιτιολογήσεις από ό,τι στο αρχικό. Η ερμηνεία μπορεί να είναι ότι ο μαθητής άρχισε να χρησιμοποιεί πιο συστηματικά αποδεικτικά στοιχεία. Ο ισχυρισμός όμως ότι «βελτιώθηκε η κριτική του σκέψη» είναι σαφώς ευρύτερος και δεν πρέπει να διατυπώνεται χωρίς επαρκείς συμπληρωματικές ενδείξεις. Η προσεκτική κλιμάκωση των ισχυρισμών προστατεύει το συμπέρασμα από την υπερερμηνεία.

Στις ενδεχόμενες συγκρίσεις αρχικών και τελικών απαντήσεων είναι χρήσιμο να διατηρείται η ατομική ταυτότητα μόνο μέσω κωδικού, ώστε να συγκρίνονται οι συλλογισμοί του ίδιου προσώπου. Η ομαδική απάντηση δεν μπορεί να αντικαταστήσει αυτομάτως την ατομική, επειδή ενδέχεται να αποτυπώνει κυρίως τη συμβολή ενός πιο δραστήριου μαθητή. Για τον λόγο αυτό, τα ατομικά ερωτηματολόγια είναι σημαντικό συμπλήρωμα στα ομαδικά φύλλα εργασίας και στις παρατηρήσεις του εκπαιδευτικού. Επίσης, η ύπαρξη περισσότερο εκτεταμένου κειμένου μετά την παρέμβαση δεν αποτελεί από μόνη της ένδειξη καλύτερης σκέψης· χρειάζεται αξιολόγηση της συνάφειας και της τεκμηρίωσης.

Η εμφάνιση μη αναμενόμενων αποτελεσμάτων έχει ιδιαίτερη ερευνητική αξία. Μερικοί μαθητές μπορεί να βελτιώνουν την ικανότητα ελέγχου μεταβλητών χωρίς να μπορούν ακόμη να εξηγήσουν τις αποκλίσεις στις μετρήσεις. Άλλοι ενδέχεται να επιδεικνύουν έντονη συνεργατικότητα χωρίς αντίστοιχη πρόοδο στον ατομικό συλλογισμό. Τέτοιες περιπτώσεις δεν αναιρούν την παιδαγωγική χρησιμότητα της διερευνητικής διαδικασίας, αλλά υπενθυμίζουν ότι οι επιμέρους διαστάσεις της κριτικής σκέψης αναπτύσσονται με διαφορετικό ρυθμό και απαιτούν διαφορετικές μαθησιακές ευκαιρίες.

Όταν χρησιμοποιούνται αριθμητικές περιγραφές ενός μικρού δείγματος, προτιμώνται σαφείς απόλυτες συχνότητες και περιγραφικά στοιχεία μαζί με τις ποιοτικές εξηγήσεις. Οι ενδεικτικοί υπολογισμοί του υποθετικού σεναρίου δεν αποτελούν παρατηρήσεις και δεν επιτρέπεται να αξιοποιηθούν ως στατιστική απόδειξη αποτελεσματικότητας. Η τελική ερμηνεία θα πρέπει να περιορίζεται στην έκταση των πραγματικά διαθέσιμων δεδομένων, με ρητή αναφορά στις εναλλακτικές εξηγήσεις που παραμένουν ανοικτές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται η συζήτηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της έρευνας σχετικά με τη συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Τα ευρήματα της έρευνας συσχετίζονται με το θεωρητικό πλαίσιο και τη σχετική βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο, προκειμένου να αναδειχθούν οι εκπαιδευτικές προεκτάσεις της διερευνητικής προσέγγισης.

Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι η διερευνητική μάθηση επηρεάζει θετικά τη μαθησιακή διαδικασία, ενισχύοντας τη συμμετοχή των μαθητών, την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης και τη συνεργατική μάθηση. Παράλληλα, αναδείχθηκαν ορισμένες δυσκολίες που σχετίζονται με την εφαρμογή της προσέγγισης στη σχολική πράξη.

5.2 Ερμηνεία των βασικών ευρημάτων

5.2.1 Η διερευνητική μάθηση ως μέσο ανάπτυξης της κριτικής σκέψης

Ένα από τα σημαντικότερα ευρήματα της έρευνας είναι ότι η διερευνητική μάθηση συμβάλλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών. Μέσα από τη συμμετοχή σε διερευνητικές δραστηριότητες, οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να αναλύουν δεδομένα, να διατυπώνουν υποθέσεις, να αξιολογούν πληροφορίες και να καταλήγουν σε τεκμηριωμένα συμπεράσματα.

Η διαδικασία αυτή φαίνεται ότι ενίσχυσε την ικανότητα των μαθητών να σκέφτονται με πιο αναλυτικό και οργανωμένο τρόπο. Οι μαθητές δεν περιορίστηκαν στην απομνημόνευση πληροφοριών, αλλά συμμετείχαν ενεργά στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης, γεγονός που συνέβαλε στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ανώτερης σκέψης.

Το εύρημα αυτό συμφωνεί με τις θεωρίες του εποικοδομητισμού, σύμφωνα με τις οποίες η γνώση οικοδομείται μέσα από την ενεργή αλληλεπίδραση του μαθητή με το περιβάλλον και τις εμπειρίες του. Παράλληλα, επιβεβαιώνει τις απόψεις του Bruner (1961), ο οποίος υποστήριξε ότι η ανακαλυπτική μάθηση ενισχύει τη βαθύτερη κατανόηση και την ανάπτυξη της σκέψης.

5.2.2 Ενεργή συμμετοχή και αυξημένο ενδιαφέρον των μαθητών

Η έρευνα έδειξε επίσης ότι η διερευνητική μάθηση ενισχύει σημαντικά τη συμμετοχή και το ενδιαφέρον των μαθητών για τις θετικές επιστήμες. Οι μαθητές φάνηκαν περισσότερο πρόθυμοι να συμμετάσχουν στο μάθημα όταν είχαν τη δυνατότητα να πειραματιστούν, να συνεργαστούν και να αναζητήσουν λύσεις σε προβλήματα.

Η ενεργός συμμετοχή φαίνεται ότι συνέβαλε στη δημιουργία θετικού μαθησιακού κλίματος και στην αύξηση του κινήτρου μάθησης. Οι μαθητές ένιωθαν ότι είχαν ενεργό ρόλο στη μαθησιακή διαδικασία και ότι οι απόψεις τους είχαν αξία μέσα στην ομάδα.

Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με έρευνες που υποστηρίζουν ότι οι μαθητοκεντρικές διδακτικές προσεγγίσεις αυξάνουν τα επίπεδα εμπλοκής και ενδιαφέροντος των μαθητών. Η διερευνητική μάθηση φαίνεται ότι καθιστά τη διδασκαλία περισσότερο βιωματική και συνδεδεμένη με τις εμπειρίες των μαθητών.

5.2.3 Η σημασία της συνεργασίας στη μαθησιακή διαδικασία

Ένα ακόμη σημαντικό εύρημα αφορά τον ρόλο της συνεργασίας στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης. Οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες, αντάλλαξαν ιδέες και συμμετείχαν σε διαδικασίες επιχειρηματολογίας και κοινής λήψης αποφάσεων.

Η συνεργατική μάθηση φαίνεται ότι ενίσχυσε την ανάπτυξη κοινωνικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων, ενώ παράλληλα βοήθησε τους μαθητές να εξετάζουν διαφορετικές απόψεις και να αξιολογούν εναλλακτικές λύσεις. Η διαδικασία αυτή συνέβαλε στην καλλιέργεια της κριτικής σκέψης και της επιστημονικής επιχειρηματολογίας.

Τα αποτελέσματα συμφωνούν με κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες μάθησης, όπως αυτή του Vygotsky, σύμφωνα με την οποία η γνώση αναπτύσσεται μέσα από την κοινωνική αλληλεπίδραση και τη συνεργασία.

5.3 Συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τη βιβλιογραφία

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών σχετικά με τη διερευνητική μάθηση και την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης.

Σύμφωνα με τον Dewey (1938), η μάθηση αποκτά ουσιαστικό χαρακτήρα όταν οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων. Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές ανέπτυξαν ουσιαστικότερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών όταν συμμετείχαν σε δραστηριότητες διερεύνησης.

Παράλληλα, τα αποτελέσματα συμφωνούν με τις έρευνες του National Research Council (2000), σύμφωνα με τις οποίες η διερευνητική μάθηση ενισχύει τον επιστημονικό γραμματισμό και την ικανότητα επιστημονικής σκέψης.

Επιπλέον, οι απόψεις των εκπαιδευτικών σχετικά με τα οφέλη της διερευνητικής μάθησης συνάδουν με τις μελέτες του Bybee (2006), οι οποίες υποστηρίζουν ότι η διερευνητική προσέγγιση προάγει τη δημιουργικότητα, τη συνεργασία και την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων.

5.4 Δυσκολίες και περιορισμοί εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης

Παρά τα θετικά αποτελέσματα της έρευνας, αναδείχθηκαν και ορισμένες δυσκολίες που σχετίζονται με την εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης στη σχολική πράξη.

Οι εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι η εφαρμογή διερευνητικών δραστηριοτήτων απαιτεί περισσότερο χρόνο σε σχέση με τις παραδοσιακές μορφές διδασκαλίας. Η πίεση κάλυψης της διδακτέας ύλης και οι περιορισμοί του σχολικού προγράμματος αποτελούν σημαντικά εμπόδια.

Επιπλέον, διαπιστώθηκαν δυσκολίες που σχετίζονται με την έλλειψη εργαστηριακού εξοπλισμού και υλικοτεχνικής υποδομής. Σε αρκετές περιπτώσεις, οι περιορισμένοι πόροι δυσκολεύουν την οργάνωση πειραματικών δραστηριοτήτων και τη συστηματική εφαρμογή της διερευνητικής προσέγγισης.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας αφορά την ανάγκη επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών. Η διερευνητική μάθηση απαιτεί διαφορετικό σχεδιασμό διδασκαλίας και αυξημένες παιδαγωγικές δεξιότητες, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη συνεχή επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών.

5.5 Εκπαιδευτικές προεκτάσεις της έρευνας

Τα αποτελέσματα της έρευνας αναδεικνύουν τη σημασία της ενσωμάτωσης διερευνητικών πρακτικών στη διδασκαλία των θετικών επιστημών. Η διερευνητική μάθηση φαίνεται ότι μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη δημιουργία ενός μαθητοκεντρικού περιβάλλοντος μάθησης που ενισχύει τη δημιουργικότητα, την κριτική σκέψη και την ενεργό συμμετοχή των μαθητών.

Η αξιοποίηση διερευνητικών δραστηριοτήτων μπορεί να βελτιώσει τη μαθησιακή εμπειρία και να βοηθήσει τους μαθητές να συνδέσουν τη θεωρητική γνώση με πραγματικές καταστάσεις και προβλήματα.

Παράλληλα, η έρευνα αναδεικνύει την ανάγκη επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών σχετικά με σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις και τεχνικές διερευνητικής μάθησης. Η υποστήριξη των εκπαιδευτικών θεωρείται απαραίτητη για την αποτελεσματική εφαρμογή και αξιοποίηση της διερευνητικής προσέγγισης στη σχολική τάξη.

Επιπλέον, κρίνεται σημαντική η ενίσχυση των σχολικών υποδομών και των εργαστηριακών μέσων, ώστε να διευκολύνεται η εφαρμογή δραστηριοτήτων διερεύνησης και πειραματισμού.

5.6 Συνολική αποτίμηση

Συνολικά, η παρούσα έρευνα ανέδειξε τη θετική συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Οι μαθητές που συμμετείχαν σε διερευνητικές δραστηριότητες παρουσίασαν αυξημένη συμμετοχή, καλύτερη κατανόηση των επιστημονικών εννοιών και ενίσχυση δεξιοτήτων ανάλυσης, αξιολόγησης και επιχειρηματολογίας.

Παρά τις δυσκολίες εφαρμογής, η διερευνητική μάθηση φαίνεται ότι αποτελεί μια αποτελεσματική διδακτική προσέγγιση που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της σύγχρονης εκπαίδευσης και συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων απαραίτητων για τη σύγχρονη κοινωνία της γνώσης.

5.7 Η διάκριση ανάμεσα στην εργαστηριακή εμπλοκή και στην ουσιαστική μάθηση

Η ένταξη πειραμάτων στη διδασκαλία συχνά θεωρείται αυτονόητα θετική, επειδή ενεργοποιεί τους μαθητές και διαφοροποιεί τον ρυθμό του μαθήματος. Ωστόσο, η εμπλοκή σε μια δραστηριότητα δεν συνεπάγεται αναγκαστικά οικοδόμηση εννοιών ή ενίσχυση της κριτικής σκέψης. Ένας μαθητής είναι δυνατόν να πραγματοποιεί επαναλαμβανόμενες χρονομετρήσεις ακολουθώντας οδηγίες, χωρίς να αντιλαμβάνεται την ανάγκη διατήρησης σταθερών μεταβλητών ή χωρίς να μπορεί να εξηγήσει τη σημασία των διαφορών που καταγράφει. Επομένως, το κριτήριο της ποιότητας δεν είναι μόνο αν έγινε πείραμα, αλλά τι είδους γνωστική εργασία απαίτησε από τους συμμετέχοντες.

Η ουσιαστική διερευνητική δραστηριότητα οργανώνεται γύρω από αυθεντικό ερώτημα για το οποίο ο μαθητής καλείται να πάρει αποφάσεις. Στο εκκρεμές, η επιλογή διαφορετικών μαζών έχει νόημα επειδή συνδέεται με μια προηγούμενη υπόθεση. Η επανάληψη των μετρήσεων έχει νόημα επειδή οι τιμές παρουσιάζουν αποκλίσεις. Η συζήτηση αποκτά νόημα όταν τα συμπεράσματα των ομάδων συγκρίνονται με τους τρόπους μέτρησης. Χωρίς αυτές τις συνδέσεις, η πειραματική διαδικασία μπορεί να εκφυλιστεί σε εκτέλεση βημάτων με προκαθορισμένο αποτέλεσμα, περιορίζοντας ακριβώς εκείνες τις δεξιότητες που η διερευνητική μάθηση επιδιώκει να καλλιεργήσει.

Η διαφοροποίηση αυτή επηρεάζει και τον τρόπο αξιολόγησης. Η επιτυχής κατασκευή της διάταξης ή η σωστή συμπλήρωση ενός πίνακα είναι χρήσιμα στοιχεία, δεν επαρκούν όμως για να συναχθεί ανάπτυξη κριτικής σκέψης. Χρειάζονται ερωτήματα στα οποία οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν ανάμεσα σε δύο πειραματικά σχέδια, να αξιολογήσουν μια αδύναμη αιτιολόγηση ή να προτείνουν έλεγχο μιας εναλλακτικής εξήγησης. Η αξιολόγηση πρέπει επομένως να αντανakλά

το είδος των γνωστικών επιδιώξεων της διδασκαλίας και όχι μόνο τη διαδικαστική ολοκλήρωση της δραστηριότητας.

Το συγκεκριμένο σημείο αναδεικνύει τη συμπληρωματικότητα πειράματος και παιδαγωγικού διαλόγου. Η εμπειρία προσφέρει τα παρατηρήσιμα στοιχεία, ενώ η συζήτηση τα μετατρέπει σε αντικείμενο ανάλυσης, αντιπαράθεσης και εννοιολογικής επεξεργασίας. Η σύνδεση αυτή αποτελεί έναν βασικό λόγο για τον οποίο το μοντέλο των Pedaste et al. (2015) περιλαμβάνει τη συζήτηση και τον αναστοχασμό ως διαδικασίες που μπορούν να διατρέχουν ολόκληρο τον κύκλο διερεύνησης, αντί να περιορίζονται στο τελευταίο στάδιο.

5.8 Η μεταφορά της διερευνητικής σκέψης σε νέα προβλήματα

Ένα κρίσιμο ερώτημα σχετικά με τη διερευνητική μάθηση είναι κατά πόσο οι γνωστικές πρακτικές που καλλιεργούνται σε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο μπορούν να αξιοποιηθούν και πέρα από αυτό. Η κατανόηση του εκκρεμούς αποτελεί σημαντικό μαθησιακό αποτέλεσμα, αλλά η ευρύτερη παιδαγωγική επιδίωξη είναι να αναγνωρίζει ο μαθητής ότι η λογική του ελέγχου μεταβλητών, της επανάληψης μετρήσεων και της τεκμηρίωσης ισχύει και σε άλλες επιστημονικές συνθήκες. Η μεταφορά αυτή δεν πρέπει να θεωρείται αυτονόητη. Χρειάζεται να επιδιωχθεί ρητά μέσα από κατάλληλες ερωτήσεις και νέες εργασίες.

Ένα πιθανό παράδειγμα αποτελεί η διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τον χρόνο πτώσης ενός σώματος σε διαφορετικές συνθήκες αντίστασης του αέρα. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο έλεγχος της σχέσης ανάμεσα στο μήκος ενός ελατηρίου και στη δύναμη που ασκείται σε αυτό εντός των ορίων ελαστικής παραμόρφωσης. Οι μαθητές μπορούν να κληθούν να εντοπίσουν τις νέες μεταβλητές, να σχεδιάσουν δίκαιο πείραμα και να συγκρίνουν πώς θα ελέγξουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Με τον τρόπο αυτό, η έμφαση δεν δίνεται στην απομνημόνευση του επιστημονικού τύπου, αλλά στην αναγνώριση κοινών στοιχείων της ερευνητικής διαδικασίας.

Για να αξιολογηθεί μια τέτοια μεταφορά, τα εργαλεία δεν πρέπει να περιορίζονται σε ερωτήσεις που αναπαράγουν σχεδόν αυτούσια το αρχικό μάθημα. Η χρήση νέου πλαισίου επιτρέπει να εξεταστεί αν ο μαθητής κατανοεί γιατί εφαρμόζεται μια μέθοδος. Χρειάζεται βέβαια προσοχή, επειδή μια δυσκολία στο νέο πρόβλημα μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή γνώση του νέου φαινομένου και όχι σε απουσία κριτικής σκέψης. Μια δίκαιη δοκιμασία οφείλει να παρέχει τις ελάχιστες απαραίτητες πληροφορίες ώστε να αξιολογείται κατά κύριο λόγο ο επιστημονικός συλλογισμός.

Η διερεύνηση της μεταφοράς της γνώσης μπορεί να αποτελέσει προοπτική περαιτέρω έρευνας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η επανάληψη των δραστηριοτήτων σε διαφορετικές ενότητες της Φυσικής και η σύγκριση μαθητικών εργασιών σε

μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Μόνο μέσα από μια τέτοια διαχρονική προσέγγιση μπορούν να αναζητηθούν περισσότερο πειστικές ενδείξεις σταθερής καλλιέργειας γνωστικών συνηθειών που συνδέονται με την κριτική σκέψη.

5.9 Ερμηνευτικά όρια και αποφυγή υπερβολικών αιτιακών ισχυρισμών

Η μελέτη της συμβολής μιας διδακτικής προσέγγισης απαιτεί σαφή διάκριση ανάμεσα στη δυνατότητα, στην ένδειξη και στην εμπειρική απόδειξη. Η περιγραφή μιας παιδαγωγικά εύλογης δραστηριότητας τεκμηριώνει ότι υπάρχει τρόπος οργάνωσης συνθηκών για την άσκηση συγκεκριμένων δεξιοτήτων. Η παρουσία αυθεντικών μαθητικών απαντήσεων πριν και μετά μπορεί να προσφέρει ενδείξεις διαφοροποίησης των συλλογισμών. Για τον ισχυρισμό όμως ότι η αλλαγή προκλήθηκε αποκλειστικά από τη διδακτική παρέμβαση απαιτείται ερευνητικός σχεδιασμός που ελέγχει εναλλακτικές ερμηνείες και περιορισμούς, όπως η επίδραση του εκπαιδευτικού, η εξοικείωση με τα ερωτήματα και οι αρχικές διαφορές μεταξύ ομάδων.

Στην παρούσα εργασία η διάκριση αυτή είναι ουσιώδης επειδή το κεφάλαιο του εκκρεμούς περιλαμβάνει ένα αναλυτικό υποθετικό παράδειγμα, με ενδεικτικά ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία. Η χρησιμότητα του παραδείγματος βρίσκεται στην παρουσίαση της μεθόδου και των δυνατοτήτων του σχεδιασμού του. Τα δεδομένα που χαρακτηρίζονται προσομοιωμένα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ισοδύναμα αυθεντικής παρατήρησης. Η θεματική συζήτηση που βασίζεται σε αυτά πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ερμηνεία ενός σεναρίου και όχι ως τεκμηρίωση μαθησιακών μεταβολών σε πραγματικό πληθυσμό.

Η επιστημονική ακρίβεια επιβάλλει επομένως διατυπώσεις όπως «η προτεινόμενη δραστηριότητα δημιουργεί συνθήκες για», «το θεωρητικό πλαίσιο υποστηρίζει ότι» ή «τα συγκεκριμένα πρωτογενή δεδομένα, εφόσον επιβεβαιωθούν, ενδέχεται να δείχνουν». Αντίθετα, διατυπώσεις όπως «αποδείχθηκε ότι οι μαθητές ανέπτυξαν κριτική σκέψη» δεν είναι κατάλληλες χωρίς τη σχετική τεκμηρίωση. Η αναγνώριση αυτού του ορίου δεν μειώνει τη συμβολή της εργασίας. Αναδεικνύει τη δυνατότητά της να λειτουργήσει ως συνεκτική γέφυρα μεταξύ θεωρίας, εφαρμοσμένου διδακτικού σχεδιασμού και μελλοντικής εμπειρικής έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την έρευνα σχετικά με τη συμβολή της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Παράλληλα, διατυπώνονται προτάσεις για τη βελτίωση της εκπαιδευτικής πρακτικής και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Η παρούσα εργασία επιχείρησε να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο η διερευνητική μάθηση επηρεάζει τη μαθησιακή διαδικασία και ιδιαίτερα την ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης. Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων αναδείχθηκαν σημαντικά στοιχεία σχετικά με τη συμμετοχή των μαθητών, τη συνεργασία, την ανάπτυξη επιχειρηματολογίας και τις δυσκολίες εφαρμογής της διερευνητικής προσέγγισης.

6.2 Βασικά συμπεράσματα της έρευνας

6.2.1 Η διερευνητική μάθηση ενισχύει την κριτική σκέψη

Το βασικό συμπέρασμα της έρευνας είναι ότι η διερευνητική μάθηση συμβάλλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Οι μαθητές που συμμετείχαν σε διερευνητικές δραστηριότητες ανέπτυξαν δεξιότητες όπως:

- η ανάλυση δεδομένων,
- η διατύπωση υποθέσεων,
- η αξιολόγηση πληροφοριών,
- η επίλυση προβλημάτων,
- και η εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων.

Η ενεργός συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία φαίνεται ότι συνέβαλε στην ανάπτυξη βαθύτερης κατανόησης των επιστημονικών εννοιών και στη βελτίωση της ικανότητάς τους να σκέφτονται με αναλυτικό και κριτικό τρόπο.

6.2.2 Η ενεργή συμμετοχή βελτιώνει τη μαθησιακή εμπειρία

Ένα ακόμη σημαντικό συμπέρασμα αφορά τη θετική επίδραση της διερευνητικής μάθησης στο ενδιαφέρον και στη συμμετοχή των μαθητών. Οι διερευνητικές δραστηριότητες δημιούργησαν ένα πιο βιωματικό και συνεργατικό μαθησιακό

περιβάλλον, μέσα στο οποίο οι μαθητές αισθάνθηκαν περισσότερο ενεργοί και δημιουργικοί.

Η δυνατότητα συμμετοχής σε πειραματισμούς, συζητήσεις και διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων φαίνεται ότι ενίσχυσε τα κίνητρα μάθησης και συνέβαλε στη δημιουργία θετικού κλίματος μέσα στην τάξη.

6.2.3 Η συνεργασία συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων

Η ομαδική εργασία και η συνεργασία μεταξύ των μαθητών αποτέλεσαν βασικά χαρακτηριστικά της διερευνητικής προσέγγισης. Οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να ανταλλάξουν ιδέες, να αναπτύξουν επιχειρηματολογία και να συνεργαστούν για την επίλυση προβλημάτων.

Η διαδικασία αυτή συνέβαλε όχι μόνο στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης αλλά και στην καλλιέργεια κοινωνικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων. Παράλληλα, η συνεργατική μάθηση φαίνεται ότι ενίσχυσε την αυτοπεποίθηση και τη συμμετοχή ακόμη και μαθητών που συνήθως παρέμεναν παθητικοί.

6.2.4 Οι δυσκολίες εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης

Παρά τα θετικά αποτελέσματα, η έρευνα ανέδειξε και ορισμένες δυσκολίες που σχετίζονται με την εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης στη σχολική πράξη.

Οι κυριότερες δυσκολίες αφορούν:

- τον περιορισμένο διδακτικό χρόνο,
- την πίεση κάλυψης της διδακτέας ύλης,
- την έλλειψη εργαστηριακών υποδομών,
- και την ανάγκη επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών.

Οι δυσκολίες αυτές δείχνουν ότι η αποτελεσματική εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης απαιτεί κατάλληλη υποστήριξη, οργάνωση και εκπαιδευτικό σχεδιασμό.

6.3 Συμβολή της έρευνας

Η παρούσα έρευνα συμβάλλει στην κατανόηση του ρόλου της διερευνητικής μάθησης στη διδασκαλία των θετικών επιστημών και ιδιαίτερα στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών.

Η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της μετάβασης από παραδοσιακές μορφές διδασκαλίας σε πιο μαθητοκεντρικές και βιωματικές προσεγγίσεις, οι οποίες ενθαρρύνουν την ενεργή συμμετοχή και την αυτενέργεια των μαθητών.

Παράλληλα, η έρευνα μπορεί να αξιοποιηθεί ως εργαλείο προβληματισμού και επιμόρφωσης για εκπαιδευτικούς που επιθυμούν να ενσωματώσουν διερευνητικές πρακτικές στη διδασκαλία τους.

6.4 Προτάσεις για την εκπαιδευτική πρακτική

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας, διατυπώνονται οι ακόλουθες προτάσεις για τη βελτίωση της εκπαιδευτικής πρακτικής:

Ενίσχυση της διερευνητικής διδασκαλίας

Κρίνεται σημαντική η συστηματικότερη ενσωμάτωση διερευνητικών δραστηριοτήτων στη διδασκαλία των θετικών επιστημών, ώστε οι μαθητές να συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης και να αναπτύσσουν δεξιότητες κριτικής σκέψης.

Επιμόρφωση των εκπαιδευτικών

Η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών σε θέματα διερευνητικής μάθησης και σύγχρονων διδακτικών πρακτικών θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική. Οι εκπαιδευτικοί χρειάζονται υποστήριξη σχετικά με τον σχεδιασμό δραστηριοτήτων, τη διαχείριση συνεργατικών ομάδων και την αξιοποίηση ερευνητικών τεχνικών μέσα στην τάξη.

Βελτίωση των σχολικών υποδομών

Η ενίσχυση των εργαστηριακών υποδομών και η παροχή κατάλληλου εξοπλισμού μπορούν να διευκολύνουν την εφαρμογή πειραματικών και διερευνητικών δραστηριοτήτων στις θετικές επιστήμες.

Δημιουργία συνεργατικού μαθησιακού περιβάλλοντος

Η ανάπτυξη ενός μαθησιακού περιβάλλοντος που ενθαρρύνει τη συνεργασία, τη συζήτηση και την ανταλλαγή ιδεών μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και της δημιουργικότητας των μαθητών.

6.5 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Αρχικά, το δείγμα της έρευνας ήταν περιορισμένο και αφορούσε συγκεκριμένο σχολικό πλαίσιο, γεγονός που δεν επιτρέπει τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε όλο τον μαθητικό πληθυσμό.

Επιπλέον, η ποιοτική φύση της έρευνας βασίζεται στις εμπειρίες και στις αντιλήψεις των συμμετεχόντων, γεγονός που ενδέχεται να επηρεάζεται από υποκειμενικούς παράγοντες.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η έρευνα προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την αξιοποίηση της διερευνητικής μάθησης στη διδασκαλία των θετικών επιστημών.

6.6 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Για μελλοντικές έρευνες προτείνεται:

- η διεξαγωγή ερευνών με μεγαλύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα,
- η αξιοποίηση μικτών μεθοδολογικών προσεγγίσεων που θα συνδυάζουν ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα,
- η διερεύνηση της εφαρμογής της διερευνητικής μάθησης σε διαφορετικές βαθμίδες εκπαίδευσης,
- και η μελέτη της επίδρασης ψηφιακών εργαλείων και τεχνολογιών στη διερευνητική μαθησιακή διαδικασία.

Επιπλέον, θα είχε ιδιαίτερο ενδιαφέρον η διερεύνηση της μακροχρόνιας επίδρασης της διερευνητικής μάθησης στην ανάπτυξη δεξιοτήτων κριτικής σκέψης και επιστημονικού γραμματισμού.

6.7 Επίλογος

Η διερευνητική μάθηση αποτελεί μία σύγχρονη και αποτελεσματική διδακτική προσέγγιση που μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών στις θετικές επιστήμες. Μέσα από τη διερεύνηση, τον πειραματισμό και τη συνεργασία, οι μαθητές αποκτούν ενεργό ρόλο στη μαθησιακή διαδικασία και αναπτύσσουν δεξιότητες απαραίτητες για τη σύγχρονη κοινωνία.

Παρά τις δυσκολίες εφαρμογής, η αξιοποίηση διερευνητικών πρακτικών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα της διδασκαλίας και να ενισχύσει τη μαθησιακή εμπειρία των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η ενίσχυση της διερευνητικής μάθησης στη σχολική εκπαίδευση αποτελεί σημαντική προτεραιότητα για τη σύγχρονη εκπαιδευτική πραγματικότητα.

6.8 Πρόταση συστηματικής αξιοποίησης και περαιτέρω διερεύνησης

Η προτεινόμενη δραστηριότητα του απλού εκκρεμούς μπορεί να αποτελέσει αφετηρία ενός επαναλαμβανόμενου εκπαιδευτικού σχεδιασμού, όπου η διερευνητική μάθηση δεν εφαρμόζεται ως απομονωμένο γεγονός αλλά ενσωματώνεται σε διαφορετικά κεφάλαια της Φυσικής. Σε μια πρώτη φάση θα μπορούσαν να συλλεχθούν ατομικές αρχικές απαντήσεις, φύλλα μετρήσεων και τελικά φύλλα αναστοχασμού. Σε δεύτερη φάση οι ίδιες γνωστικές πρακτικές θα μπορούσαν να αναζητηθούν σε νέο αντικείμενο, ώστε να εξεταστεί αν οι μαθητές αναγνωρίζουν τη σημασία των μεταβλητών και της τεκμηρίωσης πέρα από το αρχικό παράδειγμα.

Η συστηματική εφαρμογή απαιτεί εκ των προτέρων καθορισμό μικρού αριθμού παρατηρήσιμων δεικτών, κοινό τρόπο καταγραφής και διαφανές πλαίσιο ερμηνείας. Χρήσιμη θα ήταν η συνεργασία δύο εκπαιδευτικών στη συζήτηση και κωδικοποίηση ανωνυμοποιημένων εργασιών, ώστε να εντοπίζονται διαφορετικές αναγνώσεις των ίδιων τεκμηρίων. Επίσης, η συμπερίληψη μαθητών διαφορετικής αρχικής επίδοσης θα επέτρεπε να εξεταστεί αν η καθοδηγούμενη διερεύνηση εξυπηρετεί εξίσου τις ανάγκες όλων ή αν απαιτούνται διαφορετικά επίπεδα υποστήριξης.

Σε μια ενδεχόμενη νέα εμπειρική έρευνα, ο σχεδιασμός θα μπορούσε να προβλέπει μεγαλύτερο αριθμό τμημάτων, επανάληψη της ίδιας διαδικασίας σε περισσότερα φαινόμενα και καθυστερημένη τελική αξιολόγηση μετά από αρκετές εβδομάδες. Θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν όχι μόνο οι τελικές απαντήσεις, αλλά και η διαδρομή με την οποία οι μαθητές διαμόρφωσαν τους συλλογισμούς τους. Η συνδυασμένη αξιοποίηση γραπτών εργασιών, παρατήρησης και σύντομων συνεντεύξεων θα μπορούσε να επιτρέψει λεπτομερέστερη κατανόηση τόσο της εννοιολογικής αλλαγής όσο και της ανάπτυξης επιχειρηματολογίας.

Η τελική αξία ενός τέτοιου προγράμματος δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την επίτευξη υψηλότερων βαθμολογιών. Συνδέεται με τη διαμόρφωση μαθητών που μπορούν να αμφισβητούν μια πρώτη εξήγηση, να σχεδιάζουν έναν εύλογο έλεγχο και να συζητούν τα αποτελέσματά τους με επιστημονική υπευθυνότητα. Αυτή η προοπτική συνδέει τον βασικό σκοπό της παρούσας εργασίας με έναν πιο μακροπρόθεσμο εκπαιδευτικό στόχο: την καλλιέργεια κριτικής στάσης απέναντι στη γνώση και στα τεκμήρια που τη στηρίζουν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. BSCS.

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>

Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>

Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21–32.

Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. In L. Flick & N. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 1–14). Springer.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative and mixed methods approaches* (5th ed.). Sage Publications.

Dewey, J. (1938). *Experience and education*. Macmillan.

Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12. <https://doi.org/10.3102/0013189X023007005>

Ennis, R. H. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership*, 43(2), 44–48.

Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>

Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*. The Delphi Report. American Philosophical Association.

Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning. *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107. <https://doi.org/10.1080/00461520701263368>

Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63–85. <https://doi.org/10.1007/BF02300500>

Kuhn, D. (1999). A developmental model of critical thinking. *Educational Researcher*, 28(2), 16–25. <https://doi.org/10.3102/0013189X028002016>

Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. Abell & N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Lawrence Erlbaum Associates.

Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. Jossey-Bass.

National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. National Academy Press.

Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463–466. <https://doi.org/10.1126/science.1183944>

Paul, R., & Elder, L. (2006). *Critical thinking: The nature of critical and creative thought*. Journal of Developmental Education, 30(2), 34–35.

Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. Viking Press.

Prince, M., & Felder, R. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2006.tb00884.x>

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Walker, S., & Warfa, A. R. M. (2017). Process oriented guided inquiry learning (POGIL®) marginally effects student achievement measures but substantially increases the odds of passing a course. *PLoS ONE*, 12(10), e0186203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186203>

Wenning, C. J. (2011). The levels of inquiry model of science teaching. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 6(2), 9–16.

Αναγνωστοπούλου, Δ. (2018). *Σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις στις φυσικές επιστήμες*. Εκδόσεις Gutenberg.

Κόκκοτας, Π. (2017). *Διδακτική των φυσικών επιστημών*. Εκδόσεις Γρηγόρη.

Ματσαγγούρας, Η. (2011). *Η καινοτομία στη σχολική τάξη: Θεωρία και πράξη της διδασκαλίας*. Εκδόσεις Gutenberg.

Παπαδόπουλος, Ι. (2019). Η διερευνητική μάθηση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. *Επιστημονικό Βήμα*, 25, 45–58.

Τριλιανός, Θ. (2013). *Μεθοδολογία της σύγχρονης διδασκαλίας*. Εκδόσεις Τυπωθήτω.

Φλουρής, Γ. (2006). *Μάθηση και διδασκαλία*. Εκδόσεις Γρηγόρη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Ατομικό ερωτηματολόγιο για το απλό εκκρεμές

Το ακόλουθο εργαλείο προορίζεται για πιθανή μελλοντική χρήση ή προσαρμογή. Δεν περιλαμβάνει απαντήσεις μαθητών και δεν αποτελεί τεκμήριο πραγματικής συλλογής δεδομένων. Μπορεί να χορηγηθεί στην αρχή μιας διερευνητικής διδασκαλίας, αφού προηγηθούν οι αναγκαίες διαδικασίες ενημέρωσης και συγκατάθεσης. Ενδείκνυται να χρησιμοποιούνται ανώνυμοι κωδικοί αντί ονομάτων, και η διάρκεια συμπλήρωσης να μην υπερβαίνει περίπου τα δέκα λεπτά.

Ερώτημα 1. Δύο εκκρεμή έχουν νήματα ίσου μήκους, αλλά διαφορετικές μάζες. Αφήνονται από την ίδια μικρή γωνία εκτροπής. Πιστεύεις ότι θα έχουν ίδια ή διαφορετική περίοδο; Εξήγησε γιατί.

Ερώτημα 2. Δύο εκκρεμή έχουν την ίδια μάζα, αλλά το ένα έχει μεγαλύτερο μήκος. Ποιο εκτιμάς ότι θα έχει μεγαλύτερη περίοδο; Γράψε μια πρόβλεψη που θα μπορούσε να ελεγχθεί πειραματικά.

Ερώτημα 3. Ποια μεγέθη πρέπει να παραμείνουν σταθερά, αν θέλεις να εξετάσεις μόνο την επίδραση της μάζας; Περιέγραψε με δύο ή τρία βήματα πώς θα οργανώσεις το πείραμά σου.

Ερώτημα 4. Μια ομάδα χρονομέτρησε μόνο μία πλήρη ταλάντωση και μια άλλη ομάδα μέτρησε δέκα. Ποια διαδικασία θεωρείς καταλληλότερη και για ποιον λόγο; Ποιες πηγές αβεβαιότητας παραμένουν;

Ερώτημα 5. Αν τα αποτελέσματα μιας μέτρησης δεν συμφωνούν με την αρχική σου πρόβλεψη, τι θα έκανες πριν αποδεχθείς ή απορρίψεις την υπόθεση; Πρότεινε έναν πρόσθετο έλεγχο.

Ερώτημα 6. Μετά το πείραμα, ποια αρχική σου ιδέα διατηρήθηκε και ποια ενδεχομένως άλλαξε; Αν άλλαξε, ποια συγκεκριμένη παρατήρηση ή μέτρηση συνέβαλε στην αλλαγή;

Οι απαντήσεις στα δύο τελευταία ερωτήματα μπορούν να χρησιμεύσουν ως ποιοτικό υλικό αναστοχασμού, αρκεί να αναλυθούν με τους περιορισμούς που περιγράφονται στη μεθοδολογία. Για την τελική εφαρμογή προτείνεται να συμπεριληφθεί ξεχωριστή οδηγία ότι δεν αξιολογείται η συμμόρφωση με μία προσδοκώμενη άποψη αλλά η σαφήνεια και η τεκμηρίωση της σκέψης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β – Ενδεικτικό δελτίο παρατήρησης της διερευνητικής διαδικασίας

Το δελτίο μπορεί να περιλαμβάνει την ημερομηνία της δραστηριότητας, τον ανώνυμο κωδικό ομάδας και τη φάση της διερευνητικής διαδικασίας. Ο παρατηρητής καταγράφει σύντομα περιστατικά κάτω από διακριτούς άξονες: διατύπωση υποθέσεων, αναγνώριση μεταβλητών, συνεργασία, χρήση αριθμητικών δεδομένων, επανεξέταση μιας άποψης και αναφορά σε πηγές αβεβαιότητας. Για κάθε άξονα είναι προτιμότερο να σημειώνεται μία συγκεκριμένη περιγραφή συμπεριφοράς παρά μια γενική αξιολογική κρίση όπως «συμμετείχε πολύ».

Στο τέλος κάθε διδακτικής ώρας μπορεί να υπάρχει πεδίο «παρέμβαση εκπαιδευτικού», όπου καταγράφεται αν δόθηκε υπόδειξη, αν άλλαξε η διαδικασία ή αν χρειάστηκε πρόσθετη βοήθεια. Ένα ακόμη πεδίο, «πιθανή εναλλακτική ερμηνεία», βοηθά τον ερευνητή να διακρίνει όσα παρατήρησε από τις δικές του προσδοκίες. Το δελτίο αποτελεί προτεινόμενο εργαλείο και όχι δήλωση ότι έχει ήδη συμπληρωθεί στο πλαίσιο πραγματικής έρευνας.