



«Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών »

«Επιστήμες της Αγωγής»

Διπλωματική Εργασία

«Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικής Παρέμβασης για τα
Μίγματα στο Ειδικό Γυμνάσιο: Αντιμετώπιση Εννοιολογικών
Δυσκολιών μέσω Προσομοιώσεων και Διερευνητικής Μάθησης»

«Αγγελική Ζαφειροπούλου»

Επιβλέπων καθηγητής: «Μιχαήλ Καλογιαννάκης»

Πάτρα, «Ιούνιος» «2026»

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Ανάπτυξη και Αξιολόγηση Διδακτικής Παρέμβασης για τα
Μίγματα στο Ειδικό Γυμνάσιο: Αντιμετώπιση Εννοιολογικών
Δυσκολιών μέσω Προσομοιώσεων και Διερευνητικής Μάθησης»

«Αγγελική Ζαφειροπούλου»

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

«Μιχαήλ Καλογιαννάκης»

«Καθηγητής στο Παιδαγωγικό Τμήμα
Ειδικής Αγωγής του Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας»

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

«Μιχαήλ Σκουμιός»

«Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος
Δημοτικής Εκπαίδευσης του
Πανεπιστημίου Αιγαίου»

Πάτρα, «Ιούνιος» «2026»

«Στην οικογένειά μου, για την αγάπη, τη στήριξη και την υπομονή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, στους μαθητές μου, που αποτέλεσαν την έμπνευση για αυτή τη διπλωματική εργασία, και στον Καθηγητή κ. Καλογιαννάκη Μιχαήλ, για την καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη του σε κάθε στάδιο αυτής της πορείας.»

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει την ανάπτυξη και την αξιολόγηση μιας διδακτικής παρέμβασης για τη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές Β΄ τάξης ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής. Η παρέμβαση στηρίζεται στη διερευνητική μάθηση, συνδυάζοντας πειραματικές δραστηριότητες και ψηφιακές προσομοιώσεις, με στόχο την αντιμετώπιση εννοιολογικών δυσκολιών που σχετίζονται με τη διάκριση μιγμάτων και καθαρών ουσιών, τις κατηγορίες ομογενών και ετερογενών μιγμάτων και τη σωματιδιακή φύση της ύλης, καθώς και την ενίσχυση της ενεργητικής συμμετοχής, του ενδιαφέροντος και της γνωστικής εμπλοκής των μαθητών. Η έρευνα οργανώνεται γύρω από τρία βασικά ερευνητικά ερωτήματα: τις αρχικές αντιλήψεις και παρανοήσεις των μαθητών για τα μίγματα, την επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόησή τους, όπως αποτυπώνεται σε δοκιμασίες πριν και μετά την παρέμβαση και τον τρόπο με τον οποίο η παρέμβαση επηρεάζει τη συμμετοχή και τη μαθησιακή τους εμπειρία. Υιοθετείται μικτή μεθοδολογική προσέγγιση, με συλλογή δεδομένων μέσω pre και post δοκιμασιών, φύλλων εργασίας δραστηριοτήτων, φύλλου παρατήρησης και ημιδομημένων συνεντεύξεων. Τα ευρήματα υποδεικνύουν ότι οι μαθητές προσέρχονται στη διδασκαλία με εμπειρικές και συχνά αποσπασματικές αντιλήψεις, βασισμένες κυρίως σε μακροσκοπικά και αισθητηριακά κριτήρια, οι οποίες σε αρκετές περιπτώσεις οδηγούν σε σύγχυση ανάμεσα σε μίγματα, καθαρές ουσίες και κατηγορίες μιγμάτων. Μετά την παρέμβαση, στα δεδομένα του μικρού δείγματος παρατηρούνται ενδείξεις ουσιαστικής, αλλά όχι πλήρους, βελτίωσης στην αναγνώριση και κατηγοριοποίηση μιγμάτων, καθώς και στην υιοθέτηση πιο σωματιδιακών αναπαραστάσεων, ενώ ορισμένες αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις φαίνεται να συνυπάρχουν με τις νέες γνώσεις.

Λέξεις – Κλειδιά

Μίγματα, Διερευνητική Μάθηση, Ψηφιακές Προσομοιώσεις, Ειδική Αγωγή, Εννοιολογική Αλλαγή.

«Development and Evaluation of a Teaching Intervention on Mixtures in Special Secondary School: Addressing Students’ Conceptual Difficulties through Simulations and Inquiry-Based Learning»

«Aggeliki Zafeiropoulou »

Abstract

This study examines the development and evaluation of a teaching intervention on mixtures for second-grade students in a Special Vocational Junior High School–Lyceum, within the framework of special education. The intervention is based on inquiry-based learning, combining experimental activities and digital simulations, with the aim of addressing conceptual difficulties related to distinguishing mixtures from pure substances, the categories of homogeneous and heterogeneous mixtures, and the particulate nature of matter, as well as enhancing students’ active participation, interest, and cognitive engagement. The research is structured around three main questions: students’ initial conceptions and misconceptions about mixtures, the impact of the teaching intervention on their understanding as reflected in pre- and post-intervention tasks, and the ways in which the intervention influences their participation and learning experience. A mixed-methods approach is adopted, with data collected through pre- and post-tests, activity worksheets, an observation sheet, and semi-structured interviews. The findings suggest that students enter the teaching sequence with empirical and often fragmented conceptions, primarily based on macroscopic and sensory criteria, which in many cases lead to confusion between mixtures, pure substances, and different types of mixtures. After the intervention, the small-sample data indicate a substantial, though not complete, improvement in the recognition and classification of mixtures, as well as a tendency towards more particle-based

representations, while some initial alternative conceptions appear to coexist with newly acquired knowledge.

Keywords

Mixtures, inquiry-based learning, digital simulations, special education, conceptual change.

Περιεχόμενα

Περίληψη	vi
Abstract	vii
Περιεχόμενα	ix
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	xi
Κατάλογος Πινάκων	xii
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xiii
Εισαγωγή	1
1. Θεωρητικό πλαίσιο	3
1.1 Εναλλακτικές αντιλήψεις και παρανοήσεις στη Χημεία	3
1.1.1 Θεωρητικά μοντέλα εννοιολογικών δυσκολιών	5
1.1.2 Παρανοήσεις στη σωματιδιακή φύση της ύλης	8
1.1.3 Συγκεκριμένες δυσκολίες στα μίγματα και στον διαχωρισμό	10
1.2 Διερευνητική μάθηση ως μέσο εννοιολογικής αλλαγής	14
1.2.1 Αρχές και μοντέλα διερευνητικής μάθησης (IBL)	17
1.2.2 Ρόλος της διερευνητικής μάθησης στη χημική εκπαίδευση	20
1.2.3 Σύνδεση διερευνητικής μάθησης με την αντιμετώπιση παρανοήσεων στα μίγματα	22
1.3 Εκπαιδευτικές προσομοιώσεις για τη Χημεία	24
1.3.1 Θεωρητικό πλαίσιο ψηφιακών προσομοιώσεων (π.χ. PhET)	26
1.3.2 Οπτικοποίηση υπομικροσκοπικών φαινομένων	27
1.3.3 Εφαρμογές σε έννοιες μιγμάτων και διαχωρισμού	28
1.4 Ειδική αγωγή και διαφοροποιημένη διδασκαλία Χημείας	30
1.4.1 Χαρακτηριστικά μαθητών Ειδικού Γυμνασίου	31
1.4.2 Διαφοροποιημένες προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες	33
1.4.3 Σύνδεση με διερευνητική μάθηση και προσομοιώσεις για μίγματα	35
2. Ερευνητικό πλαίσιο και μεθοδολογία	39
2.1 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας	39
2.2 Τύπος και σχεδιασμός της έρευνας	39
2.3 Πλαίσιο υλοποίησης της έρευνας	41
2.4 Δείγμα και συμμετέχοντες	45
2.5 Ανάπτυξη της διδακτικής παρέμβασης	46
2.5.1 Διδακτικοί στόχοι για τα μίγματα	47
2.5.2 Δομή και φάσεις του διδακτικού σεναρίου	50
2.5.2.1 Φάση Εκμείνωσης	51
2.5.2.2 Φάση Αναδόμησης	56
2.5.2.3 Φάση Ανασκόπησης	60
2.5.3 Υλικό και ψηφιακές προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται	65
2.6 Εργαλεία συλλογής δεδομένων	69
2.6.1 Pre/post φύλλα εργασίας	71
2.6.2 Φύλλα εργασίας δραστηριοτήτων	73
2.6.2.1 Φύλλο εργασίας πειραματικής δραστηριότητας	74
2.6.2.2 Φύλλο εργασίας προσομοίωσης PhET	74

2.6.2.3 Φύλλο εργασίας με εικόνες	75
2.6.3 Σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις.....	76
2.6.4 Φύλλο παρατήρησης	77
2.7 Διαδικασία υλοποίησης της έρευνας	80
2.7.1 Προπαρασκευαστική φάση.....	80
2.7.2 Φάση υλοποίησης της διδακτικής παρέμβασης.....	80
2.7.3 Φάση μετα-αξιολόγησης	81
2.8 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων.....	82
2.8.1 Περιγραφική ανάλυση ποσοτικών δεδομένων	82
2.8.2 Ποιοτική ανάλυση περιεχομένου.....	83
3.1 Περιγραφικά στοιχεία του δείγματος.....	87
3.2 Αποτελέσματα pre/post φύλλων εργασίας	87
3.2.1 Μεταβολές στην κατανόηση βασικών εννοιών (ουσία-μίγμα, ομογενές-ετερογενές μίγμα)	95
3.2.2 Ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής και μείωσης παρανοήσεων	97
3.3 Ποιοτικά ευρήματα από φύλλα εργασίας, φύλλα παρατήρησης και συνεντεύξεις	100
3.3.1 Τύποι εναλλακτικών αντιλήψεων που εντοπίστηκαν	101
3.3.2 Τρόπος με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τις προσομοιώσεις και τη διερεύνηση	107
3.4 Σύνθεση ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων	110
4. Συζήτηση, συμπεράσματα και προτάσεις	113
4.1 Συζήτηση των ευρημάτων σε σχέση με τη βιβλιογραφία	113
4.1.1 Παρανοήσεις στα μίγματα και εννοιολογική αλλαγή	114
4.1.2 Ρόλος διερευνητικής μάθησης και προσομοιώσεων στο ΕΝΕΕΓΥΛ.....	117
4.2 Παιδαγωγικές και πρακτικές προεκτάσεις	120
4.2.1 Προτάσεις για διδασκαλία μιγμάτων στην ειδική αγωγή.....	121
4.2.2 Κατευθύνσεις για σχεδιασμό διαφοροποιημένων παρεμβάσεων στη Χημεία	124
4.3 Περιορισμοί της έρευνας.....	125
4.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	126
Βιβλιογραφία.....	129
Παράρτημα Α: «PRE TEST».....	137
Παράρτημα Β: «POST TEST».....	142
Παράρτημα Γ: «Φύλλο εργασίας – Πείραμα μιγμάτων»	148
Παράρτημα Δ: «Φύλλο εργασίας – Προσομοίωση PhET»	151
Παράρτημα Ε: «Φύλλο εργασίας – Σωματιδιακές εικόνες».....	154
Παράρτημα ΣΤ: «Φύλλο παρατήρησης».....	156
Παράρτημα Ζ: «Βοηθητικός οδηγός»	159
Παράρτημα Η: «Ημιδομημένη Συνέντευξη»	162

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 3-1 Ζωγραφιά του μαθητή M1 από το φύλλο εργασίας του πειράματος **Error! Bookmark not defined.**

Εικόνα 3-2 Ζωγραφιά του μαθητή M4 από το φύλλο εργασίας του πειράματος **Error! Bookmark not defined.**

Εικόνα 3-3 Ζωγραφιά του μαθητή M1 από το φύλλο εργασίας της προσομοίωσης .. **Error! Bookmark not defined.**

Εικόνα 3-4 Ζωγραφιά του μαθητή M2 από το φύλλο εργασίας της προσομοίωσης .. **Error! Bookmark not defined.**

Σχήμα 3-1 Σύγκριση ποσοστών σωστών απαντήσεων ανα ερώτηση στο pre-test και στο post-test **Error! Bookmark not defined.**

Σχήμα 3-2 Συνολική επίδοση ανά μαθητή στο pre-test και στο pro-test.. **Error! Bookmark not defined.**

Σχήμα 3-3 Σύγκριση μέσου ποσοστού σωστών απαντήσεων ανά βασική έννοια..... **Error! Bookmark not defined.**

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1 Παρανοήσεις μαθητών σχετικά με τα μίγματα	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-1 Υποφάσεις της φάσης εκμαίευσης	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-2 Υποφάσεις της φάσης αναδόμησης.....	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-3 Υποφάσεις της φάσης ανασκόπησης.....	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-4 Πειραματικό υλικό ανά φάση της διδακτικής παρέμβασης	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-5 Εργαλεία συλλογής δεδομένων ανά ερευνητικό ερώτημα ..	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 2-6 Βασικές ομάδες αιτιολογήσεων στις ερωτήσεις των pre- και post test.....3	
Πίνακας 3-1 Συχνότητες και ποσοστά σωστών και λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση στο pre-test και στο pro-test	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 3-2 Συνολική επίδοση ανά μαθητή στο pre-test και στο post-test	Error! Bookmark not defined.
Πίνακας 3-3 Μεταβολές στην επίδοση ανά βασική έννοια	Error! Bookmark not defined.

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

CLIS	Children's Learning in Science
CPA	Concrete–Pictorial–Abstract
ECIRR	Elicit–Confront–Identify–Resolve–Reinforce
IBL	Inquiry–Based Learning
PhET	Physics Education Technology
REACT	Relating–Experiencing–Applying–Cooperating–Transferring
STEAM+X	Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics +X
UDL	Universal design for learning
EE1	Πρώτο Ερευνητικό Ερώτημα
EE2	Δεύτερο Ερευνητικό Ερώτημα
EE3	Τρίτο Ερευνητικό Ερώτημα
EEA	Ειδικές Εκπαιδευτικές Ανάγκες
ΕΕΠ	Ειδικό Εκπαιδευτικό Προσωπικό
ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.	Ενιαίο Ειδικό Επαγγελματικό Γυμνάσιο-Λύκειο
ΕΠΑ.Λ.	Επαγγελματικό Λύκειο
ΖΕΑ	Ζώνη Εγγύτερης Ανάπτυξης
ΙΕΠ	Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής
ΚΕ.Δ.Α.Σ.Υ.	Κέντρο Διεπιστημονικής Αξιολόγησης, Συμβουλευτικής και Υποστήριξης
ΚΕ.Δ.Δ.Υ.	Κέντρο Διαφοροδιάγνωσης, Διάγνωσης και Υποστήριξης
ΚΕ.Σ.Υ.	Κέντρο Εκπαιδευτικής και Συμβουλευτικής Υποστήριξης
ΟΗΕ	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
ΤΠΕ	Τεχνολογία Πληροφορίας και Επικοινωνιών
ΥΠΑΙΘΑ	Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού

Εισαγωγή

Η διδασκαλία της Χημείας στο Ειδικό Γυμνάσιο αποτελεί ένα ιδιαίτερα απαιτητικό εγχείρημα, καθώς οι μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές δυσκολίες παρουσιάζουν συχνά προβλήματα στην κατανόηση αφηρημένων εννοιών, στη διαχείριση συμβολικών αναπαραστάσεων και στη σύνδεση μακροσκοπικών φαινομένων με υπομικροσκοπικά μοντέλα. Η εξασφάλιση ισότιμης πρόσβασης στις Φυσικές Επιστήμες για τους μαθητές αυτούς συνδέεται με την ανάπτυξη προσαρμοσμένων, πολυαισθητηριακών και οπτικοποιημένων μαθησιακών περιβαλλόντων, στα οποία λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα μαθησιακά χαρακτηριστικά και οι ανάγκες υποστήριξης που παρουσιάζουν.

Η έννοια των μιγμάτων κατέχει κεντρική θέση στο Αναλυτικό Πρόγραμμα της Χημείας, καθώς αποτελεί προϋπόθεση για την κατανόηση της δομής της ύλης, της ταξινόμησης των υλικών σε καθαρές ουσίες και μίγματα, καθώς και των βασικών τεχνικών διαχωρισμού που συναντώνται σε πληθώρα καθημερινών και τεχνολογικών εφαρμογών. Ωστόσο, πολυάριθμες έρευνες έχουν δείξει ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν σημαντικές εννοιολογικές δυσκολίες και παρανοήσεις σε ζητήματα όπως η διάκριση μεταξύ ουσίας και μίγματος, η κατανόηση της ομοιογένειας και της ετερογένειας, η σύνδεση μακροσκοπικών και υπομικροσκοπικών αναπαραστάσεων, καθώς και η επιλογή κατάλληλων μεθόδων διαχωρισμού για κάθε περίπτωση. Οι παρανοήσεις αυτές συχνά παραμένουν ανθεκτικές στη διδασκαλία και επηρεάζουν αρνητικά την περαιτέρω οικοδόμηση χημικών εννοιών.

Η μελέτη των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες έχει υποστηριχθεί θεωρητικά από μοντέλα όπως τα νοητικά μοντέλα της Βοσνιάδου και τα εννοιολογικά πλαίσια του Taber στη Χημεία, τα οποία επισημαίνουν ότι οι μαθητές δεν μαθαίνουν απλώς μέσω της προσθήκης νέων πληροφοριών, αλλά αναδομούν σταδιακά προϋπάρχουσες, συχνά εσφαλμένες, αντιλήψεις. Στο πλαίσιο αυτό, η έννοια της εννοιολογικής αλλαγής αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τον σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων που δεν στοχεύουν μόνο στην απομνημόνευση ορισμών, αλλά στη βαθύτερη αναδιοργάνωση των γνωστικών δομών των μαθητών σχετικά με τη φύση της ύλης και τα μίγματα.

Παράλληλα, η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει τη διερευνητική μάθηση και τη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων ως δύο από τις πλέον υποσχόμενες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση των εννοιολογικών δυσκολιών στις Φυσικές Επιστήμες. Η διερευνητική

μάθηση ενθαρρύνει τους μαθητές να διατυπώνουν υποθέσεις, να πειραματίζονται, να παρατηρούν, να ερμηνεύουν δεδομένα και να αναστοχάζονται πάνω στις ιδέες τους, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για βαθύτερη κατανόηση και εννοιολογική αλλαγή. Οι ψηφιακές προσομοιώσεις, από την άλλη πλευρά, προσφέρουν δυναμικές και οπτικοποιημένες αναπαραστάσεις υπομικροσκοπικών φαινομένων, επιτρέποντας στους μαθητές να «δουν» και να χειριστούν μοντέλα της ύλης που διαφορετικά θα παρέμεναν αφηρημένα.

Στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής, η αξιοποίηση τέτοιων εργαλείων αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς διευκολύνει την πολυτροπική αναπαράσταση των εννοιών, τη σταδιακή οικοδόμηση της κατανόησης και τη διαφοροποίηση της διδασκαλίας σύμφωνα με τις αρχές του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση. Παρ' όλα αυτά, η έρευνα που εστιάζει ειδικά στη διδασκαλία της Χημείας και, συγκεκριμένα, στην έννοια των μιγμάτων σε μαθητές Ειδικού Γυμνασίου (ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.) παραμένει περιορισμένη, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για εμπειρικές μελέτες στο συγκεκριμένο πεδίο.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία επιχειρεί να καλύψει αυτό το κενό, σχεδιάζοντας, μελετώντας και αξιολογώντας μια προσαρμοσμένη διδακτική παρέμβαση για τη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές της Β' τάξης Ειδικού Γυμνασίου, με αξιοποίηση διερευνητικών δραστηριοτήτων και ψηφιακών προσομοιώσεων, στο πλαίσιο της πραγματικής σχολικής τάξης.

1. Θεωρητικό πλαίσιο

1.1 Εναλλακτικές αντιλήψεις και παρανοήσεις στη Χημεία

Η έρευνα στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχει αναδείξει ότι οι μαθητές εισέρχονται στο μάθημα της Χημείας έχοντας ήδη διαμορφωμένες αντιλήψεις «κοινής λογικής» για τα υλικά και τα φαινόμενα. Οι αντιλήψεις αυτές συχνά αποκλίνουν από τις επιστημονικές έννοιες και λειτουργούν ως ανθεκτικές παρανοήσεις, οι οποίες επηρεάζουν ουσιαστικά τη μαθησιακή διαδικασία (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 73-75· Barke, Hazari, & Yitbarek, 2008, σελ. 30). Συγκεντρωτικές ανασκοπήσεις της βιβλιογραφίας για τις αντιλήψεις των μαθητών στη Χημεία, όπως εκείνη του Andersson (1990), δείχνουν ότι η ύλη συχνά νοείται από τους μαθητές ως ένα συνεχές και στατικό μέσο, χωρίς πραγματικό κενό και χωρίς εγγενή κίνηση των σωματιδίων. Η θεώρηση αυτή δυσκολεύει την ουσιαστική αξιοποίηση του σωματιδιακού μοντέλου για την ερμηνεία αλλαγών κατάστασης και χημικών αντιδράσεων. Στο ίδιο πλαίσιο, ο Andersson (1990) προτείνει μια κατηγοριοποίηση των εξηγήσεων των μαθητών για τις χημικές αντιδράσεις σε μοντέλα «εξαφάνισης», «μετατόπισης», «τροποποίησης», «μεταστοιχείωσης» και «χημικής αλληλεπίδρασης», αναδεικνύοντας ότι οι περισσότερες μαθητικές ερμηνείες παραμένουν συμβατές με καθημερινές, μη επιστημονικές αντιλήψεις για την ύλη και τους μετασχηματισμούς της.

Θεωρητικά μοντέλα, όπως τα νοητικά μοντέλα των Vosniadou, Vamvakoussi και Skopeliti (2008) και τα εννοιολογικά πλαίσια του Taber (2010, 2013, 2014) για τη Χημεία, υπογραμμίζουν ότι οι μαθητές οργανώνουν τη γνώση τους σε σχετικά συνεκτικά, αλλά συχνά εσφαλμένα, γνωστικά σχήματα. Τα σχήματα αυτά δεν μεταβάλλονται απλώς με την προσθήκη νέων πληροφοριών, αλλά απαιτούν διαδικασίες εννοιολογικής αλλαγής, προκειμένου να επιτευχθεί ουσιαστική αναδόμηση της γνώσης (Chi, 2005). Στην ίδια κατεύθυνση, εμπειρικές μελέτες για το σωματιδιακό μοντέλο (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986· Novick & Nussbaum, 1978, 1981· Garcia & Taber, 2009) δείχνουν ότι οι μαθητές τείνουν να ενσωματώνουν τους όρους «άτομο» και «μόριο» στο ήδη υπάρχον συνεχές μοντέλο τους για την ύλη. Έτσι, αποδίδουν στα σωματίδια μακροσκοπικές ιδιότητες και δυσκολεύονται ιδιαίτερα να αποδεχθούν τόσο την ύπαρξη κενού όσο και τη συνεχή, εγγενή κίνησή τους. Χαρακτηριστικά, οι Ben-Zvi et al. (1986) έδειξαν ότι περίπου

οι μισοί μαθητές Λυκείου αντιμετωπίζουν το άτομο ως ένα «μικρό κομμάτι» της ουσίας, αποδίδοντάς του ιδιότητες όπως η αγωγιμότητα, η ελατότητα και το χρώμα.

Παράλληλα, οι Novick και Nussbaum (1978, 1981) ανέδειξαν επίμονες δυσκολίες στην αποδοχή του κενού και της κίνησης των σωματιδίων στα αέρια, ακόμη και μετά τη διδασκαλία. Αντίστοιχα, οι Garcia και Taber (2009) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές χρησιμοποιούν συχνά τη γλώσσα των σωματιδίων για να περιγράψουν συνηθισμένα φαινόμενα, όπως η διάλυση, όμως οι εξηγήσεις τους παραμένουν ασυνεπείς με τα διδασκόμενα επιστημονικά μοντέλα και συχνά εμφανίζουν τελεολογικά ή ανθρωπομορφικά στοιχεία. Οι δυσκολίες αυτές στη σωματιδιακή περιγραφή της ύλης αντανακλώνται και στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα μίγματα και τις διεργασίες διαχωρισμού, τα οποία συχνά προσεγγίζονται ως απλή «ανάμειξη υλικών», χωρίς σαφή διάκριση μεταξύ φυσικών και χημικών μεταβολών (Barke et al., 2008, σελ.41-42, 70).

Στη διεθνή βιβλιογραφία, ο όρος «παρανοήσεις» (misconceptions) χρησιμοποιείται για να περιγράψει σταθερές και σχετικά συνεκτικές, αλλά επιστημονικά μη ορθές, ιδέες που διατηρούν οι μαθητές για έννοιες των Φυσικών Επιστημών, ακόμη και μετά από παραδοσιακές μορφές διδασκαλίας (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 5-6, 8-9,12-13). Οι ιδέες αυτές δεν αποτελούν τυχαία λάθη, αλλά συγκροτούν προσωπικά εννοιολογικά συστήματα, τα οποία βασίζονται στην καθημερινή εμπειρία, στη γλώσσα και σε απλουστευτικές ερμηνείες των σχολικών αναπαραστάσεων (Barke et al., 2008, σελ. 2,24-26,38,44). Για παράδειγμα, αρκετοί μαθητές αντιλαμβάνονται τη Χημεία ως ένα είδος «μαγειρέματος ουσιών» ή ως απλή «ανάμειξη υλικών», χωρίς να διακρίνουν με σαφήνεια τις φυσικές από τις χημικές μεταβολές. Η αντίληψη αυτή επηρεάζει και τον τρόπο με τον οποίο κατανοούν τα μίγματα και τις διαδικασίες διαχωρισμού τους (Barke et al., 2008, σελ.25-26, 41-42).

Στο πεδίο της Χημείας έχουν καταγραφεί πολυάριθμες παρανοήσεις, που εκτείνονται από τη δομή της ύλης έως τις χημικές αντιδράσεις, τα οξέα και τις βάσεις, τους χημικούς δεσμούς, τα διαλύματα και τα μίγματα (Kind, 2004· Suparman, Rohaeti, & Wenning, 2024). Συστηματικές ανασκοπήσεις και μελέτες που αξιοποιούν διαγνωστικά εργαλεία (Gurel, Eryilmaz, & McDermott, 2015· Suparman et al., 2024· Rokhim, Widarti, & Sutrisno, 2023) καταδεικνύουν ότι οι παρανοήσεις αυτές είναι εκτεταμένες, εμφανίζονται σε διαφορετικές βαθμίδες εκπαίδευσης και συχνά ενισχύονται από ανεπαρκείς ή παραπλανητικές σχολικές αναπαραστάσεις. Για τον λόγο αυτό, η χαρτογράφηση των

εναλλακτικών αντιλήψεων θεωρείται κρίσιμη προϋπόθεση για τον σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων που στοχεύουν στη σταδιακή αναδόμηση της μαθητικής σκέψης (Barke et al., 2008, σελ. 1-3, 28-32).

Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που αναδεικνύεται από τη σχετική βιβλιογραφία είναι ότι οι παρανοήσεις δεν περιορίζονται σε μία μόνο βαθμίδα εκπαίδευσης. Όπως επισημαίνεται σε εργασίες όπως αυτές των Kind (2004, σελ. 5-13) και Suparman et al. (2024), εμφανίζονται από το Δημοτικό έως και την Τριτοβάθμια εκπαίδευση, λαμβάνοντας διαφορετικές μορφές ανάλογα με την ηλικία και το γνωστικό υπόβαθρο των μαθητών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μάλιστα, η ανεπαρκής ή ασυνεπής διδακτική προσέγγιση φαίνεται να ενισχύει ή να «εμπλουτίζει» τις εναλλακτικές αντιλήψεις, όταν οι μαθητές επιχειρούν να συμβιβάσουν την προϋπάρχουσα γνώση τους με τις νέες πληροφορίες χωρίς να επιτυγχάνεται ουσιαστική εννοιολογική αναδόμηση (Barke et al., 2008, σελ.2-3,24-26). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η διδασκαλία που περιορίζεται στην απλή μετάδοση ορισμών για τα μίγματα, τις ουσίες ή τη σωματιδιακή φύση της ύλης δεν επαρκεί, εάν δεν δοθούν στους μαθητές ευκαιρίες να εκφράσουν, να συγκρίνουν και να αναθεωρήσουν ενεργά τις ιδέες τους (Barke et al., 2008, σελ.2-3, 21-33, 37-49).

Τέλος, η βιβλιογραφία υπογραμμίζει τη σημασία της αξιοποίησης διαγνωστικών εργαλείων για τον εντοπισμό των παρανοήσεων πριν από τον σχεδιασμό της διδακτικής παρέμβασης (Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023). Τέτοια εργαλεία περιλαμβάνουν τεστ πολλαπλής επιλογής με αιτιολόγηση, δοκιμασίες πολλαπλών επιπέδων εμπιστοσύνης, όπως τα two-tier, three-tier και five-tier tests, καθώς και ανοικτές ερωτήσεις, οι οποίες αποκαλύπτουν όχι μόνο αν μια απάντηση είναι σωστή ή λανθασμένη, αλλά και τη συλλογιστική που τη συνοδεύει (Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η χρήση pre- και post- φύλλων εργασίας δεν αποσκοπεί μόνο στην ποσοτική αποτύπωση της επίδοσης, αλλά και στην ποιοτική ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων που εκφράζουν οι μαθητές ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. σχετικά με τα μίγματα, ώστε η διδακτική παρέμβαση να ανταποκρίνεται πιο ουσιαστικά στις πραγματικές μαθησιακές τους ανάγκες.

1.1.1 Θεωρητικά μοντέλα εννοιολογικών δυσκολιών

Στην προσπάθεια κατανόησης της ανθεκτικότητας των εννοιολογικών δυσκολιών, έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρητικές προσεγγίσεις που συγκλίνουν σε ένα βασικό συμπέρασμα: οι μαθητικές παρανοήσεις δεν αποτελούν απλώς μεμονωμένα λάθη.

Αντίθετα, φαίνεται ότι εκφράζουν βαθύτερες και εσωτερικά συνεκτικές νοητικές δομές, μέσα από τις οποίες οι μαθητές οργανώνουν και ερμηνεύουν την εμπειρία τους. Η Vosniadou et al. (2008), για παράδειγμα, υποστηρίζει ότι οι μαθητές διαμορφώνουν νοητικά μοντέλα για τον φυσικό κόσμο, τα οποία βασίζονται σε βαθιές και συχνά μη συνειδητές «θεωρίες-πλαίσια» (framework theories). Μέσα από αυτές, επιχειρούν να ενσωματώσουν τη νέα πληροφορία στα ήδη υπάρχοντα σχήματα σκέψης τους, διατηρώντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συνοχή στις προϋπάρχουσες πεποιθήσεις τους.

Αντίστοιχα, στον χώρο της Χημείας, ο Taber (2010, 2013, 2014) έχει δείξει ότι γύρω από έννοιες όπως τα σωματίδια, οι χημικοί δεσμοί και η δομή της ύλης, οι μαθητές συγκροτούν σχετικά συνεκτικά, αλλά επιστημονικά λανθασμένα, εννοιολογικά πλαίσια. Τα πλαίσια αυτά λειτουργούν ως «φακοί» μέσα από τους οποίους ερμηνεύουν τα φαινόμενα, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την αναδόμησή τους. Σε ένα συγγενές θεωρητικό πλαίσιο, οι Posner, Strike, Hewson και Gertzog (1982) διατύπωσαν μια συστηματική θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής, σύμφωνα με την οποία η μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες δεν είναι απλώς προσθήκη νέων πληροφοριών, αλλά διαδικασία βαθύτερης αναδόμησης των βασικών εννοιών μέσα σε μια ευρύτερη «εννοιολογική οικολογία». Η εννοιολογική αλλαγή προϋποθέτει την αντικατάσταση ενός συνόλου κεντρικών εννοιών από ένα άλλο, ασυμβίβαστο με το αρχικό, και όχι απλώς τη σταδιακή τροποποίηση επιμέρους ιδεών. Για να συμβεί αυτό, χρειάζεται να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις: ο μαθητής πρέπει αρχικά να νιώσει δυσανεξία για τις υπάρχουσες αντιλήψεις του, όταν αυτές δεν μπορούν να εξηγήσουν επαρκώς συγκεκριμένα φαινόμενα. Παράλληλα, η νέα εξήγηση οφείλει να είναι κατανοητή, ώστε να μπορεί να συγκροτηθεί μια συνεκτική εσωτερική αναπαράστασή της, να φαίνεται εύλογη και συμβατή με άλλες γνώσεις του μαθητή, και τέλος να αποδεικνύεται γόνιμη, δηλαδή να επιτρέπει νέες προβλέψεις και να επιλύει προβλήματα που το προηγούμενο σχήμα δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει. Η έννοια της «εννοιολογικής οικολογίας», που περιλαμβάνει αναλογίες, επιστημολογικές δεσμεύσεις και βαθύτερες πεποιθήσεις, συνδέεται στενά τόσο με τις θεωρίες-πλαίσια της Vosniadou όσο και με τα εννοιολογικά σχήματα που περιγράφει ο Taber.

Μια διαφορετική, αλλά συμπληρωματική, οπτική προσφέρουν οι De Vos και Verdonk (1996), οι οποίοι εξετάζουν πώς παρουσιάζεται η σωματιδιακή φύση της ύλης στη διδασκαλία και στη σχετική ερευνητική βιβλιογραφία. Όπως επισημαίνουν, αυτό που θεωρείται «επιστημονικά αποδεκτό» στο σχολικό πλαίσιο δεν ταυτίζεται πλήρως με τις

σύγχρονες φυσικοχημικές θεωρίες, αλλά αποτελεί έναν συμβιβασμό ανάμεσα στην επιστημονική εγκυρότητα και στη διδακτική καταλληλότητα. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, στη σχολική εκπαίδευση η ύλη περιγράφεται συνήθως μέσα από ορισμένα βασικά σημεία: ότι αποτελείται από πολύ μικρά και αόρατα σωματίδια, ότι αυτά βρίσκονται σε συνεχή κίνηση, ότι αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ελκτικών δυνάμεων και ότι τα σωματίδια μιας καθαρής ουσίας είναι όμοια μεταξύ τους. Το μοντέλο αυτό αντιστοιχεί ουσιαστικά σε ένα κλασικό, μικρομηχανιστικό σύμπαν τύπου Newton–Coulomb, το οποίο είναι λειτουργικό για τη σχολική πράξη, χωρίς όμως να αποδίδει την πολυπλοκότητα σύγχρονων θεωριών, όπως η κβαντομηχανική ή η σχετικότητα. Υπό αυτό το πρίσμα, η τάση των μαθητών να αποδίδουν στα σωματίδια μακροσκοπικές ιδιότητες, όπως χρώμα ή θερμοκρασία, δεν μπορεί να ερμηνευθεί μόνο ως ένδειξη προεπιστημονικής σκέψης, αλλά και ως αποτέλεσμα των ίδιων των σχολικών μοντέλων, τα οποία ευνοούν μια πιο «ουσιοκρατική» αντίληψη της ύλης.

Οι παραπάνω προσεγγίσεις χρειάζεται να εξεταστούν και σε συνάρτηση με τους γνωστικούς περιορισμούς των μαθητών. Σε αυτό το σημείο, η θεωρία του γνωστικού φορτίου (Sweller, 1988· Sweller, Van Merriënboer & Paas, 1998) προσφέρει ένα ιδιαίτερα χρήσιμο ερμηνευτικό πλαίσιο. Η θεωρία αυτή βασίζεται στην ιδέα ότι η εργαζόμενη μνήμη έχει περιορισμένη χωρητικότητα, ενώ η μακρόχρονη μνήμη οργανώνει τη γνώση σε σχήματα διαφορετικού βαθμού πολυπλοκότητας. Στο πλαίσιο αυτό διακρίνονται τρεις μορφές γνωστικού φορτίου: το ενδογενές, που σχετίζεται με τη φύση και την πολυπλοκότητα του αντικειμένου μάθησης, το εξωγενές, που προκύπτει από τον τρόπο παρουσίασης της πληροφορίας, και το γόνιμο φορτίο, που συνδέεται με τις γνωστικές διεργασίες οι οποίες συμβάλλουν άμεσα στην οικοδόμηση νέων σχημάτων. Η διάκριση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διδασκαλία εννοιών της Χημείας με υψηλό βαθμό αφαίρεσης, όπως η σωματιδιακή δομή της ύλης. Η ίδια η πολυπλοκότητα των σχέσεων μεταξύ σωματιδίων, κινήσεων και δυνάμεων δημιουργεί αυξημένο ενδογενές φορτίο. Όταν, επιπλέον, ο διδακτικός σχεδιασμός περιλαμβάνει αποσπασματικές ή πλεονάζουσες αναπαραστάσεις και περίπλοκες εξηγήσεις, το εξωγενές φορτίο αυξάνεται ακόμη περισσότερο, επιβαρύνοντας την εργαζόμενη μνήμη. Σε τέτοιες συνθήκες, η προσκόλληση των μαθητών σε προϋπάρχοντα «διαισθητικά» σχήματα δεν είναι μόνο εννοιολογικά συνεπής, αλλά και γνωστικά οικονομική.

Στο ίδιο πλαίσιο, ο Sweller (1988) επισημαίνει ότι η παραδοσιακή έμφαση στην επίλυση σύνθετων προβλημάτων μέσω στρατηγικών μέσων-σκοπών (means-ends analysis) μπορεί να δυσχεραίνει τη μάθηση, καθώς απαιτεί σημαντικούς γνωστικούς πόρους για τη διαχείριση στόχων και υποστόχων. Αντίθετα, η χρήση «στόχο-ελεύθερων» προβλημάτων φαίνεται να μειώνει το εξωγενές φορτίο και να διευκολύνει την οικοδόμηση εννοιολογικών σχημάτων. Από αυτή τη σκοπιά, γίνεται κατανοητό γιατί η εννοιολογική αλλαγή στη Χημεία είναι συχνά τόσο απαιτητική. Δεν αρκεί η απλή αναγνώριση των παρανοήσεων ή η παρουσίαση της σωστής επιστημονικής γνώσης. Απαιτείται ένας προσεκτικά σχεδιασμένος διδακτικός σχεδιασμός, που να περιορίζει το περιττό γνωστικό φορτίο και να ενισχύει τις διεργασίες που συμβάλλουν στην οικοδόμηση νέων νοητικών σχημάτων. Σε αυτή την κατεύθυνση μπορούν να συμβάλουν σαφείς και καλά οργανωμένες αναπαραστάσεις, δραστηριότητες που προκαλούν ελεγχόμενη γνωστική σύγκρουση, καθώς και εργασίες πιο ανοιχτού τύπου, που επιτρέπουν στον μαθητή να εστιάσει στη δομή των εννοιών.

Συνολικά, οι θεωρητικές προσεγγίσεις των Vosniadou et al., Taber, Posner et al., de Vos και Verdonk και Sweller συγκλίνουν στην άποψη ότι οι εννοιολογικές δυσκολίες στις Φυσικές Επιστήμες δεν οφείλονται σε έναν μόνο παράγοντα. Αντίθετα, προκύπτουν από τη σύνθετη αλληλεπίδραση ανάμεσα στα προϋπάρχοντα νοητικά σχήματα των μαθητών, στους διδακτικούς συμβιβασμούς των σχολικών μοντέλων και στους γνωστικούς περιορισμούς της εργαζόμενης μνήμης. Επομένως, η κατανόηση και η αντιμετώπισή τους απαιτεί μια σύνθετη προσέγγιση που συνδυάζει εννοιολογικές, γνωστικές και διδακτικές διαστάσεις.

1.1.2 Παρανοήσεις στη σωματιδιακή φύση της ύλης

Η σωματιδιακή φύση της ύλης (particulate nature of matter) αποτελεί έναν από τους πιο εκτενώς μελετημένους τομείς εννοιολογικών δυσκολιών στη Χημεία. Πλήθος ερευνών δείχνει ότι μαθητές διαφορετικών εκπαιδευτικών βαθμίδων δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι η ύλη αποτελείται από σωματίδια που βρίσκονται σε διαρκή κίνηση, ότι ανάμεσά τους υπάρχει κενός χώρος, αλλά και ότι οι μακροσκοπικές ιδιότητες των υλικών δεν μεταφέρονται αυτούσιες στο υπομικροσκοπικό επίπεδο (Harrison & Treagust, 2003· Ayas, Özmen & Çalik, 2010· De Vos & Verdonk, 1996). Οι Harrison και Treagust (2003), για παράδειγμα, καταγράφουν αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες τα σωματίδια των στερεών βρίσκονται σε πλήρη επαφή χωρίς ενδιάμεσο κενό, τα σωματίδια των υγρών απέχουν ελάχιστα περισσότερο μεταξύ τους, ενώ τα σωματίδια των αερίων θεωρούνται

στατικά και απλώς «ανεβαίνουν» προς τα πάνω, επειδή τα αέρια είναι «ελαφρύτερα». Παράλληλα, οι Ayas et al. (2010), μέσα από διαχρονική μελέτη από τη δευτεροβάθμια έως την τριτοβάθμια εκπαίδευση, δείχνουν ότι, παρότι οι μαθητές χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο την ορολογία του σωματιδιακού μοντέλου, εξακολουθούν να διατηρούν αντιλήψεις συνεχούς ύλης και να δυσκολεύονται να συνδέσουν τις σωματιδιακές ιδέες με καθημερινά φαινόμενα, όπως η εξάτμιση, η συμπίεση των αερίων ή η διάλυση.

Αντίστοιχα, μελέτες όπως αυτές των Harrison και Treagust (2003), των Ayas et al. (2010), αλλά και πιο πρόσφατες εργασίες (Putica & Kozić, 2023· Lee, Lee, & Hong, 2023), δείχνουν ότι οι μαθητές συχνά συγχέουν το υπομικροσκοπικό με το μακροσκοπικό επίπεδο ή κατασκευάζουν υβριδικά μοντέλα, τα οποία συνδυάζουν επιστημονικά και μη επιστημονικά στοιχεία. Οι Harrison και Treagust (2003) περιγράφουν, για παράδειγμα, την αντίληψη «διαίρειται-και-μεγαλώνει», σύμφωνα με την οποία τα σωματίδια θεωρούνται μικροσκοπικά «κομμάτια» της ύλης που μπορούν να διαιρούνται και να μεταβάλλουν το μέγεθός τους, αντί να αποτελούν διακριτές οντότητες με σταθερές ιδιότητες. Παράλληλα, οι μαθητές αποδίδουν συχνά στα σωματίδια μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως σκληρότητα, θερμοκρασία ή χρώμα, μεταφέροντας ιδιότητες του ορατού κόσμου στο υπομικροσκοπικό επίπεδο. Στη μελέτη των Lee et al. (2023) καταγράφονται επίσης αντιλήψεις σύμφωνα με τις οποίες τα μόρια μπορούν να παρατηρηθούν με οπτικά μικροσκόπια ή ακόμη και να «πεθάνουν» όταν σταματήσει η κίνησή τους, γεγονός που αναδεικνύει τη δυσκολία διάκρισης ανάμεσα σε αφηρημένες επιστημονικές έννοιες και σε παρατηρήσιμα αντικείμενα.

Επιπλέον, σημαντικές δυσκολίες εντοπίζονται στη χρήση και ερμηνεία πολλαπλών αναπαραστάσεων (Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009· Santos & Arroio, 2016), κάτι που επιβαρύνει την κατανόηση εννοιών όπως τα διαλύματα, τα μίγματα, οι χημικές αντιδράσεις και οι αλλαγές κατάστασης. Οι Bucat και Mocerino (2009) επισημαίνουν ότι πολλοί μαθητές αντιμετωπίζουν τα διαγράμματα σωματιδίων ως απλές «εικόνες», χωρίς να τα συνδέουν με πραγματικά φαινόμενα. Έτσι, δυσκολεύονται να εξηγήσουν, για παράδειγμα, γιατί ο όγκος ενός διαλύματος δεν ισούται απλώς με το άθροισμα των όγκων του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας. Οι Gilbert και Treagust (2009) αναδεικνύουν ότι η αδυναμία συντονισμού μακροσκοπικών, υπομικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων οδηγεί σε αποσπασματική κατανόηση της χημικής γνώσης, τονίζοντας την ανάγκη η διδασκαλία να οργανώνεται έτσι ώστε να καθιστά σαφείς τις

σχέσεις ανάμεσα στα τρία αυτά επίπεδα. Αντίστοιχα, οι Santos και Arroio (2016) υπογραμμίζουν ότι η ακατάλληλη χρήση οπτικών και συμβολικών αναπαραστάσεων σε σχολικά εγχειρίδια και φύλλα εργασίας μπορεί να ενισχύσει υπάρχουσες παρανοήσεις αντί να τις περιορίσει.

Οι δυσκολίες αυτές έχουν άμεσες συνέπειες και στη διδασκαλία των μιγμάτων. Η διάκριση ανάμεσα σε καθαρές ουσίες και μίγματα, η κατανόηση της ομοιογένειας και της ετερογένειας, καθώς και η ερμηνεία των μεθόδων διαχωρισμού, προϋποθέτουν μια σχετικά σταθερή κατανόηση της σωματιδιακής δομής της ύλης (Stains & Talanquer, 2007· Stojanovska, Soptrajanov, & Petrusevski, 2012). Οι Stains και Talanquer (2007) επισημαίνουν ότι οι μαθητές συχνά βασίζονται σε επιφανειακά κριτήρια, όπως η ορατή διαστρωμάτωση ή η ύπαρξη κατακαθιού, για να κρίνουν αν ένα σύστημα είναι ομογενές ή ετερογενές, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την κατανομή των σωματιδίων στο εσωτερικό του. Παράλληλα, η μελέτη των Stojanovska et al. (2012) δείχνει ότι πολλοί μαθητές θεωρούν πως στα ομογενή μίγματα τα σωματίδια της διαλυμένης ουσίας «εξαφανίζονται» μέσα στο διαλύτη ή ότι μεταβάλλουν τη φύση τους κατά τον διαχωρισμό. Οι αντιλήψεις αυτές υποδηλώνουν ελλιπή κατανόηση τόσο της διατήρησης της ύλης όσο και της σχέσης ανάμεσα στις μακροσκοπικές ιδιότητες και τη σωματιδιακή δομή. Όλες αυτές οι δυσκολίες καθιστούν ιδιαίτερα απαιτητική τη διδασκαλία της ενότητας των μιγμάτων, ιδίως όταν οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις με υπομικροσκοπικά μοντέλα και να επιλέξουν κατάλληλες μεθόδους διαχωρισμού με βάση τις ιδιότητες και τη δομή των ουσιών.

1.1.3 Συγκεκριμένες δυσκολίες στα μίγματα και στον διαχωρισμό

Η κατανόηση των μιγμάτων και των διαδικασιών διαχωρισμού συνδέεται άμεσα με τη σωματιδιακή φύση της ύλης, καθώς οι εννοιολογικές δυσκολίες που εμφανίζονται σε φαινόμενα όπως η διάλυση, η διάχυση και οι μεταβολές της κατάστασης της ύλης επηρεάζουν ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται, περιγράφουν και ταξινομούν τα υλικά. Η έρευνα των Haidar και Abraham (1991) ανέδειξε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών Λυκείου διατηρεί εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με τα φαινόμενα αυτά, ακόμη και όταν μπορεί να χρησιμοποιήσει, σε θεωρητικό επίπεδο, τη γλώσσα του σωματιδιακού μοντέλου. Ειδικότερα, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι μαθητές συχνά απαντούν διαφορετικά όταν καλούνται να ερμηνεύσουν τα ίδια φαινόμενα

χρησιμοποιώντας καθημερινή γλώσσα και όταν χρησιμοποιούν επιστημονικούς όρους. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η γνώση που διαθέτουν για τα σωματίδια δεν μεταφέρεται αυτόματα στην ερμηνεία καθημερινών χημικών φαινομένων. Η απόσταση αυτή ανάμεσα στη θεωρητική γνώση και στην εφαρμογή της, η οποία αναφέρθηκε και στην υποενότητα 1.1.2 σχετικά με τη σωματιδιακή φύση της ύλης, αποτελεί βασικό παράγοντα για την κατανόηση των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι μαθητές όταν χρειάζεται να διακρίνουν καθαρές ουσίες από μίγματα, να ταξινομούν διαφορετικά είδη μιγμάτων και να επιλέγουν κατάλληλες μεθόδους διαχωρισμού.

Αρκετές έρευνες έχουν εστιάσει ειδικότερα στις δυσκολίες που σχετίζονται με τις έννοιες των μιγμάτων, των καθαρών ουσιών και των διαδικασιών διαχωρισμού. Οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται να αποφασίσουν αν ένα υλικό αποτελεί καθαρή ουσία ή μίγμα, βασίζοντας την κρίση τους κυρίως σε επιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως η όψη, το χρώμα ή η ορατή διαστρωμάτωση. Παράλληλα, παρατηρείται σύγχυση ανάμεσα στις έννοιες των ομογενών και ετερογενών μιγμάτων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η διαστρωμάτωση δεν είναι εμφανής ή όταν εξετάζονται καταστάσεις που εμφανίζονται μακροσκοπικά παρόμοιες (Kind, 2004, σελ. 21-23, 27-29· Stains & Talanquer, 2007). Σύμφωνα με την Kind (2004, σελ.27-29), πολλά παιδιά και έφηβοι χρησιμοποιούν «καθημερινά» κριτήρια για την ταξινόμηση των υλικών, όπως το αν ένα προϊόν «φαίνεται καθαρό» ή «είναι φυσικό». Ως αποτέλεσμα, συχνά χαρακτηρίζουν ως καθαρές ουσίες υλικά όπως το νερό της βρύσης, ο αέρας ή το γάλα, παρότι στην πραγματικότητα πρόκειται για μίγματα. Αντίστοιχα, οι Stains και Talanquer (2007) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές εφαρμόζουν άκαμπτους και επιφανειακούς κανόνες, όπως «αν φαίνονται δύο φάσεις είναι ετερογενές μίγμα» ή «αν δεν υπάρχει κατακάθι είναι καθαρή ουσία», χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη σωματιδιακή δομή και τη σύσταση των υλικών. Η προσέγγιση αυτή οδηγεί συχνά σε λανθασμένες ταξινομήσεις.

Εμπειρικές έρευνες, όπως αυτές των Coştu, Ünal και Ayas (2007), αλλά και νεότερες μελέτες που εξετάζουν παρανοήσεις γύρω από τα στοιχεία, τις ενώσεις και τα μίγματα (Arini, Azizah, Satriawan & Saphira, 2025· Popović, Balać, Stepanović, Maričić & Petrović, 2025), δείχνουν ότι οι μαθητές τείνουν να διαμορφώνουν απλουστευμένους ή λανθασμένους κανόνες ταξινόμησης, ενώ παράλληλα δυσκολεύονται να συνδέσουν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις με τα υπομικροσκοπικά μοντέλα. Στη μελέτη των Coştu et al. (2007), η ανάλυση των προ-τεστ έδειξε ότι μαθητές της Γ' Γυμνασίου θεωρούσαν,

μεταξύ άλλων, ότι τα μίγματα είναι είτε πάντα ετερογενή είτε πάντα ομογενή, ότι αποτελούν καθαρές ουσίες, ότι τα συστατικά τους δεν διατηρούν τις ιδιότητές τους, καθώς και ότι τα μίγματα ή οι χημικές ενώσεις σχηματίζονται αποκλειστικά από δύο στοιχεία. Στο πλαίσιο της έρευνας, οι ερευνητές σχεδίασαν και εφάρμοσαν μια δραστηριότητα hands-on με χρήση πλαστελίνης, βασισμένη στο μοντέλο της εννοιολογικής αλλαγής, με στόχο την ανάδειξη και αναδόμηση αυτών των αντιλήψεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των διαφορών ανάμεσα στα μίγματα και στις χημικές ενώσεις, καθώς και στην κατανόηση ότι τα συστατικά των μιγμάτων μπορούν να διαχωριστούν μέσω φυσικών μεθόδων.

Αντίστοιχα, η εμπειρική έρευνα των Arini et al. (2025) σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης έδειξε ότι σημαντικό ποσοστό μαθητών ταξινομεί λανθασμένα υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις στοιχείων, ενώσεων και μιγμάτων. Για παράδειγμα, ένα σύστημα που περιλαμβάνει άτομα δύο διαφορετικών στοιχείων χωρίς δεσμούς συχνά χαρακτηρίζεται ως «ένωση» αντί για «μίγμα», γεγονός που αναδεικνύει δυσκολίες στη σύνδεση του θεωρητικού ορισμού με τη σωματιδιακή αναπαράσταση. Σε επίπεδο Δημοτικού, η μελέτη των Poronić et al. (2025) έδειξε ότι η εφαρμογή ενός μοντέλου διερευνητικής διδασκαλίας (Inquiry-Based Teaching Model, IBTM), εμπλουτισμένου με δραστηριότητες STEAM+X, ενίσχυσε την ικανότητα των μαθητών της Δ' τάξης να διακρίνουν τα μίγματα από τα διαλύματα και να περιγράφουν διαδικασίες διαχωρισμού. Παρ' όλα αυτά, ορισμένες περιπτώσεις παρέμειναν απαιτητικές, ιδιαίτερα όταν τα συστατικά βρίσκονταν σε διαφορετικές φυσικές καταστάσεις, ενώ η ταξινόμηση με βάση ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα σε μίγματα και διαλύματα αποδείχθηκε πιο σύνθετη διαδικασία. Συνολικά, τα παραπάνω ευρήματα δείχνουν ότι οι παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με τα μίγματα οργανώνονται σε ορισμένες επαναλαμβανόμενες κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1-1: Παρανοήσεις μαθητών σχετικά με τα μίγματα

A/A	Κατηγορία παρανόησης	Ενδεικτικές αντιλήψεις μαθητών
1	Συνεχής αντίληψη της ύλης και έλλειψη κενού χώρου	«Η ύλη είναι συνεχής...», «τα σωματίδια μεγαλώνουν ή μικραίνουν»
2	Μεταφορά μακροσκοπικών ιδιοτήτων στο υπομικροσκοπικό επίπεδο	«Τα σωματίδια έχουν χρώμα ή θερμοκρασία όπως το υλικό»
3	Σύγχυση στοιχείου, ένωσης και μίγματος	«Αν υπάρχουν δύο είδη σωματιδίων, είναι ένωση»
4	Αντίληψη των μιγμάτων ως καθαρών ουσιών	«Το γάλα και ο αέρας είναι καθαρές ουσίες»
5	Υπεργενίκευση σχετικά με την ομογένεια ή ετερογένεια	«Όλα τα μίγματα είναι ομογενή»
6	Μη διατήρηση ιδιοτήτων και συστατικών	«Τα συστατικά χάνουν τις ιδιότητές τους»
7	Εσφαλμένες αντιλήψεις για τις αναλογίες συστατικών	«Τα μίγματα έχουν πάντα σταθερή αναλογία»
8	Εσφαλμένες στρατηγικές διαχωρισμού	«Όλα τα μίγματα διαχωρίζονται με τον ίδιο τρόπο»
9	Δυσκολία σύνδεσης μακροσκοπικού, υπομικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου	«Δεν καταλαβαίνω πώς τα σωματίδια εξηγούν τις ιδιότητες του μίγματος»

Όπως προκύπτει και από τον παραπάνω πίνακα, οι δυσκολίες αυτές αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής, καθώς οι μαθητές με νοητικές δυσκολίες συχνά χρειάζονται περισσότερο χειραπτικό, οπτικοποιημένο και σταδιακά οργανωμένο διδακτικό υλικό, προκειμένου να κατανοήσουν την έννοια του μίγματος και να τη διαφοροποιήσουν από άλλες κατηγορίες υλικών. Η μελέτη των Yildirim και Karabulut (2023), η οποία πραγματοποιήθηκε με τρεις μαθητές με νοητική υστέρηση, έδειξε ότι η εφαρμογή της στρατηγικής Concrete–Pictorial–Abstract (CPA) (Συγκεκριμένο–Εικονικό–Αφηρημένο), σε συνδυασμό με τη μέθοδο της άμεσης διδασκαλίας, μπορεί να συμβάλει ιδιαίτερα αποτελεσματικά στη διδασκαλία της ενότητας

των μιγμάτων. Ειδικότερα, καταγράφηκε σταδιακή βελτίωση της επίδοσης των μαθητών, από χαμηλά ποσοστά ορθών απαντήσεων κατά τη γραμμή βάσης σε σταθερή επίδοση 100% στις τελικές δοκιμασίες. Παράλληλα, οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι οι μαθητές διατήρησαν τη μάθηση τόσο μία όσο και τρεις εβδομάδες μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης, ενώ ήταν επίσης σε θέση να γενικεύσουν τις γνώσεις τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα και με διαφορετικό εκπαιδευτικό υλικό. Το εύρημα αυτό αναδεικνύει τη σημασία των συστηματικών, πολυαισθητηριακών και σταδιακά δομημένων διδακτικών προσεγγίσεων για την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, όπως τα μίγματα, από μαθητές με νοητικές δυσκολίες.

Στο ίδιο πλαίσιο, η βιβλιογραφία υποστηρίζει ότι δραστηριότητες τύπου hands-on, η καθοδηγούμενη διερεύνηση και η αξιοποίηση κατάλληλων αναπαραστάσεων μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη μείωση των παρανοήσεων και στην ανάπτυξη πιο σταθερών και λειτουργικών κριτηρίων ταξινόμησης, καθώς και στην επιλογή κατάλληλων μεθόδων διαχωρισμού (Coştu et al., 2007· Geveke, Steenbeek, Doornenbal, & van Geert, 2016). Οι διαπιστώσεις αυτές συνδέονται άμεσα με την επόμενη ενότητα της παρούσας εργασίας, όπου εξετάζεται η διερευνητική μάθηση, και ειδικότερα η καθοδηγούμενη διερεύνηση, ως πλαίσιο εννοιολογικής αλλαγής για τη διδασκαλία των μιγμάτων, τόσο σε μαθητές γενικής εκπαίδευσης όσο και σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες.

1.2 Διερευνητική μάθηση ως μέσο εννοιολογικής αλλαγής

Η διερευνητική μάθηση (Inquiry-Based Learning – IBL) αποτελεί μια παιδαγωγική προσέγγιση που τοποθετεί τον μαθητή στο κέντρο της μαθησιακής διαδικασίας. Στο πλαίσιο αυτό, οι μαθητές ενθαρρύνονται να διατυπώνουν ερωτήματα, να σχεδιάζουν και να υλοποιούν δραστηριότητες, να συλλέγουν και να ερμηνεύουν δεδομένα, να διαμορφώνουν εξηγήσεις και να αναστοχάζονται πάνω στις ιδέες τους (Hinostroza, Armstrong-Gallegos, & Villafaena, 2024· Pedaste et al., 2015). Στη Χημεία, η διερευνητική μάθηση συνδέεται με την ενεργή εμπλοκή των μαθητών στη μελέτη χημικών φαινομένων και με τη σταδιακή οικοδόμηση εννοιών μέσα από αυθεντικές ή ημι-αυθεντικές δραστηριότητες. Με αυτόν τον τρόπο, ο μαθητής δεν λειτουργεί ως παθητικός αποδέκτης έτοιμης γνώσης, αλλά αναλαμβάνει περισσότερο τον ρόλο ενός «μικρού ερευνητή» (Hinostroza et al., 2024· Mukti & LFX, 2025). Στο ίδιο πλαίσιο, οι Pedaste et al. (2015) προτείνουν ένα συνθετικό μοντέλο διερευνητικής μάθησης, το οποίο περιλαμβάνει πέντε βασικές φάσεις (Orientation,

Conceptualization, Investigation, Conclusion, Discussion) (Προσανατολισμός – Εννοιολογική διαμόρφωση – Διερεύνηση – Εξαγωγή συμπερασμάτων – Συζήτηση και αναστοχασμός), καθώς και επιμέρους υποφάσεις. Η σαφής οργάνωση αυτών των φάσεων μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός για τον σχεδιασμό δομημένων περιβαλλόντων διερεύνησης, τόσο σε πραγματικά όσο και σε ψηφιακά ή υβριδικά μαθησιακά περιβάλλοντα.

Παράλληλα, κλασικά μοντέλα διδακτικών ακολουθιών που δίνουν έμφαση στην εννοιολογική αλλαγή, όπως η κονστρουκτιβιστική διδακτική ακολουθία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του Children's Learning in Science (CLIS), αναδεικνύουν τη σημασία της οργάνωσης της διδασκαλίας σε διαδοχικές φάσεις που ξεκινούν από τις ιδέες των μαθητών και οδηγούν σταδιακά στην αναδόμησή τους (Driver & Oldham, 1986). Οι Driver και Oldham (1986) περιγράφουν μια πενταφασική ακολουθία (orientation, elicitation, restructuring, application, review), μέσα από την οποία ο εκπαιδευτικός δημιουργεί αρχικά κίνητρο και πλαίσιο για τη νέα έννοια, αναδεικνύει τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών, οργανώνει δραστηριότητες που προκαλούν γνωστική σύγκρουση και υποστηρίζουν την αναδόμηση των ιδεών, και στη συνέχεια προσφέρει ευκαιρίες εφαρμογής και ανασκόπησης. Το μοντέλο αυτό ευθυγραμμίζεται με τις σύγχρονες προσεγγίσεις IBL, καθώς δίνει έμφαση στην ενεργή κατασκευή νοήματος από τον μαθητή, στη διαδοχική οργάνωση της διερευνητικής διαδικασίας και στον καθοριστικό ρόλο των αρχικών αντιλήψεων στη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Driver & Oldham, 1986· Pedaste et al., 2015).

Σχετικές ανασκοπήσεις έχουν δείξει ότι η εφαρμογή μοντέλων διερευνητικής μάθησης μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικού γραμματισμού και στη διαμόρφωση θετικότερων στάσεων απέναντι στις Φυσικές Επιστήμες, ιδιαίτερα όταν η διερεύνηση είναι σαφώς δομημένη και συνδέεται με συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους (Geveke et al., 2016· Hinostroza et al., 2024). Στο πεδίο της χημικής εκπαίδευσης, εμπειρικές μελέτες έχουν δείξει ότι διερευνητικές δραστηριότητες που αξιοποιούν πολλαπλές αναπαραστάσεις και εμπλέκουν ενεργά τους μαθητές μπορούν να υποστηρίξουν την υπέρβαση παρανοήσεων σε έννοιες όπως τα διαλύματα, οι χημικές αντιδράσεις και η ταξινόμηση της ύλης (Stains & Talanquer, 2007). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εργασία των Vilardo, MacKenzie και Yezierski (2017), η οποία περιγράφει μια καθοδηγούμενη διερευνητική

δραστηριότητα που εφαρμόστηκε στις πρώτες εβδομάδες μαθήματος Χημείας στο Λύκειο. Στη δραστηριότητα αυτή, οι μαθητές χρησιμοποίησαν μαγνητικά μοντέλα για να αναπαραστήσουν τη σωματιδιακή φύση του αέρα και να συνδέσουν τα μακροσκοπικά φαινόμενα με το υπομικροσκοπικό επίπεδο, γεγονός που οδήγησε σε σημαντική αύξηση του ποσοστού των μαθητών που παρήγαγαν επιστημονικά αποδεκτές σωματιδιακές αναπαραστάσεις.

Αντίστοιχα, οι Slapničar, Ribič, Devetak & Vinko, (2024), σε πλαίσιο μη τυπικής χημικής εκπαίδευσης για χαρισματικούς μαθητές, έδειξαν ότι καλά σχεδιασμένες δραστηριότητες διερευνητικής μάθησης στο μάθημα της Χημείας ενισχύουν τόσο την εννοιολογική κατανόηση όσο και την εσωτερική παρακίνηση των μαθητών για ενεργό εμπλοκή στη Χημεία. Επιπλέον, παρεμβάσεις που βασίζονται σε δομημένα ή καθοδηγούμενα μοντέλα διερεύνησης, όπως το ECIRR (Elicit–Confront–Identify–Resolve–Reinforce), τεκμηριώνουν βελτίωση όχι μόνο στην εννοιολογική κατανόηση αλλά και στις δεξιότητες επιχειρηματολογίας και επιστημονικής εξήγησης. Τα ευρήματα αυτά υποδηλώνουν ότι η κατάλληλη καθοδήγηση μπορεί να συνδυαστεί δημιουργικά με την ενεργή διερεύνηση, χωρίς να περιορίζεται ο ενεργός ρόλος του μαθητή στη μαθησιακή διαδικασία (Dewi, Fikriyah, Qomaria, Yamin, & Hartiningsih, 2024· Mukti & LFX, 2025).

Η διερευνητική μάθηση συνδέεται άμεσα με την έννοια της εννοιολογικής αλλαγής, καθώς οι μαθητές καλούνται να συγκρίνουν τις αρχικές τους αντιλήψεις με τα δεδομένα που προκύπτουν από τις δραστηριότητες, να εντοπίσουν ασυμφωνίες και να αναδομήσουν σταδιακά τις εξηγήσεις τους, ώστε να προσεγγίσουν περισσότερο τις επιστημονικές έννοιες (Chi, 2005· Barke et al., 2008, σελ. 28-31). Από τη σκοπιά της γνωστικής ψυχολογίας, η εννοιολογική αλλαγή δεν θεωρείται απλή διόρθωση μεμονωμένων λαθών, αλλά διαδικασία αναδιοργάνωσης των εννοιολογικών δομών του μαθητή. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει αλλαγές σε βαθύτερα επίπεδα, όπως οι κατηγοριοποιήσεις, τα νοητικά μοντέλα και οι τρόποι ερμηνείας των φαινομένων (Chi, 2005). Οι Barke et al. (2008, σελ. 1-6, 28-33) επισημαίνουν ότι αυτή η αναδιοργάνωση διευκολύνεται όταν οι μαθητές εργάζονται σε περιβάλλοντα που τους δίνουν τη δυνατότητα να εκφράσουν τις αρχικές τους ιδέες, να έρθουν αντιμέτωποι με γνωστικές συγκρούσεις και να λάβουν ουσιαστική ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια της διερεύνησης. Τα στοιχεία αυτά συνάδουν με τις βασικές αρχές του κονστрукτιβισμού και της διερευνητικής μάθησης. Στο πλαίσιο αυτό, μορφές όπως η καθοδηγούμενη διερεύνηση αναδεικνύονται ιδιαίτερα αποτελεσματικές, καθώς επιτρέπουν

στους μαθητές να συμμετέχουν ενεργά σε όλες τις φάσεις του διερευνητικού κύκλου (inquiry cycle), λαμβάνοντας παράλληλα τη στοχευμένη υποστήριξη που χρειάζονται για να επαναπλαισιώσουν τις ιδέες τους (Dewi et al., 2024· Mukti & LFX, 2025).

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά η διερευνητική μάθηση όταν εξετάζεται η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών σε μαθητές με αναπηρίες ή ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, όπου η ανάγκη για σαφή δομή και υποστήριξη είναι συχνά εντονότερη. Μια πρόσφατη συστηματική και μετα-αναλυτική ανασκόπηση σχετικά με την διερευνητική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες για μαθητές με αναπηρίες έδειξε ότι τα μεγαλύτερα μαθησιακά οφέλη στην επίδοση και στις δεξιότητες διερεύνησης προκύπτουν από δομημένες και καθοδηγούμενες παρεμβάσεις, οι οποίες συνδυάζονται με σαφή διδακτικά στηρίγματα και στοιχεία ρητής διδασκαλίας (Wilson et al., 2026). Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με μελέτες που εξετάζουν τη διδασκαλία εννοιών της Χημείας σε μαθητές με νοητικές δυσκολίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η χρήση πολυαισθητηριακών, χειραπτικών και σταδιακά δομημένων στρατηγικών, όπως η CPA σε συνδυασμό με την άμεση διδασκαλία, αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική τόσο για τη διδασκαλία της έννοιας του μίγματος όσο και για τη διατήρηση και γενίκευση των γνώσεων που αποκτήθηκαν (Yildirim & Karabulut, 2023).

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η διερευνητική μάθηση υιοθετείται με αυτή ακριβώς τη λογική: ως ένα μοντέλο στο οποίο οι μαθητές ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. καθοδηγούνται μέσα από σαφή και σταδιακά οργανωμένα βήματα, διατηρώντας ταυτόχρονα ενεργό ρόλο στην παρατήρηση, στην πρόβλεψη, στη συλλογή και στην ερμηνεία δεδομένων που σχετίζονται με φαινόμενα των μιγμάτων. Η επιλογή καθοδηγούμενων και δομημένων μορφών διερεύνησης, σε συνδυασμό με χειραπτικές δραστηριότητες, πολλαπλές αναπαραστάσεις και στρατηγικές εννοιολογικής αλλαγής, αποσκοπεί τόσο στην αντιμετώπιση των παρανοήσεων που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα όσο και στην ενίσχυση της αυτονομίας και του επιστημονικού τρόπου σκέψης των μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Mukti & LFX, 2025· Wilson et al., 2026· Yıldırım & Karabulut, 2023).

1.2.1 Αρχές και μοντέλα διερευνητικής μάθησης (IBL)

Η διερευνητική μάθηση αποτελεί ένα φάσμα παιδαγωγικών προσεγγίσεων, οι οποίες διαφοροποιούνται κυρίως ως προς τον βαθμό καθοδήγησης από τον εκπαιδευτικό και ως

προς την αυτονομία που έχουν οι μαθητές στη διατύπωση ερωτημάτων, στον σχεδιασμό ερευνών και στην ερμηνεία των δεδομένων (Pedaste et al., 2015· Hinostroza et al., 2024). Στη βιβλιογραφία συναντάται συχνά η διάκριση ανάμεσα στην ανοικτή διερεύνηση, όπου οι μαθητές αναλαμβάνουν σχεδόν εξ ολοκλήρου την ευθύνη για όλα τα στάδια της έρευνας, και στην καθοδηγούμενη ή δομημένη διερεύνηση, όπου ο εκπαιδευτικός προσδιορίζει από την αρχή ορισμένες πτυχές του προβλήματος, της διαδικασίας ή των αναμενόμενων προϊόντων (Geveke et al., 2016· Mukti & LFX, 2025). Παρά τις διαφορές τους, τα μοντέλα διερευνητικής μάθησης έχουν έναν κοινό πυρήνα: η μάθηση οργανώνεται σε κύκλους, μέσα στους οποίους οι μαθητές προσανατολίζονται σε ένα πρόβλημα, διατυπώνουν ερευνητικά ερωτήματα ή υποθέσεις, συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα και, στη συνέχεια, αναστοχάζονται πάνω στις εξηγήσεις και τα συμπεράσματά τους (Pedaste et al., 2015).

Σε μια προσπάθεια να συνθέσουν τις διαφορετικές προσεγγίσεις της διερευνητικής μάθησης, οι Pedaste et al. (2015) προτείνουν ένα γενικό πλαίσιο κύκλου διερεύνησης με πέντε βασικές φάσεις: προσανατολισμός (orientation), εννοιολόγηση (conceptualization), διερεύνηση (investigation), εξαγωγή συμπερασμάτων (conclusion) και συζήτηση (discussion). Στη φάση του προσανατολισμού, οι μαθητές εισάγονται στο πλαίσιο του θέματος και διαμορφώνουν κίνητρο για να ασχοληθούν με το πρόβλημα που πρόκειται να διερευνηθεί. Στη φάση της εννοιολόγησης, καλούνται να διατυπώσουν ερωτήματα ή να διαμορφώσουν υποθέσεις, αξιοποιώντας τις προϋπάρχουσες ιδέες και εμπειρίες τους (Pedaste et al., 2015). Ακολουθεί η φάση της διερεύνησης, κατά την οποία οι μαθητές σχεδιάζουν ή υλοποιούν πειράματα, συλλέγουν δεδομένα και τα αναλύουν, ώστε στη συνέχεια να περάσουν στη φάση των συμπερασμάτων, όπου συνδέουν τα ευρήματά τους με τα αρχικά ερωτήματα ή τις υποθέσεις τους. Τέλος, στη φάση της συζήτησης, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται, συγκρίνονται και επανεξετάζονται κριτικά, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να τα συνδέσουν με άλλες γνώσεις και να τα μεταφέρουν σε νέα πλαίσια (Pedaste et al., 2015). Το πλαίσιο αυτό προσφέρει έναν γενικό «σκελετό» φάσεων, μέσα στον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν διαφορετικά επίπεδα υποστήριξης, χωρίς όμως να υπαγορεύεται με λεπτομέρεια η διδακτική ακολουθία.

Μια πιο παιδαγωγικά συγκεκριμένη εικόνα για το πώς μπορεί να οργανωθεί μια διδακτική ακολουθία με στόχο την εννοιολογική αλλαγή προσφέρει το εποικοδομητικό μοντέλο διδακτικής ακολουθίας των Driver και Oldham (1986), το οποίο αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος CLIS. Το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει πέντε φάσεις:

προσανατολισμός, ανάδειξη ιδεών, αναδόμηση, εφαρμογή και ανασκόπηση. Στη φάση του προσανατολισμού, ο εκπαιδευτικός δημιουργεί το πλαίσιο και το κίνητρο για το νέο γνωστικό αντικείμενο, συνδέοντάς το με εμπειρίες των μαθητών και με ευρύτερα ερωτήματα, ώστε να γίνει σαφές γιατί αξίζει να διερευνηθεί (Driver & Oldham, 1986). Στη φάση της ανάδειξης ιδεών, οργανώνονται δραστηριότητες όπως συζητήσεις, προβλέψεις ή απλές παρατηρήσεις, οι οποίες φέρνουν στην επιφάνεια τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών. Οι αντιλήψεις αυτές καταγράφονται και συζητούνται ως αφετηρία της μαθησιακής διαδικασίας και όχι απλώς ως λάθη που πρέπει να διορθωθούν.

Η φάση της αναδόμησης αποτελεί τον κεντρικό άξονα της διδακτικής ακολουθίας. Σε αυτήν, οι μαθητές συμμετέχουν σε στοχευμένες δραστηριότητες, πειράματα και συζητήσεις, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να θέτουν σε δοκιμασία τις αρχικές τους ιδέες, να δημιουργούν γνωστικές συγκρούσεις και να προσφέρουν εμπειρίες μέσα από τις οποίες οι επιστημονικές έννοιες αναδεικνύονται ως πιο επεξηγηματικές και λειτουργικές (Driver & Oldham, 1986). Η αναδόμηση μπορεί να περιλαμβάνει την εισαγωγή νέων εννοιών ή την αναπλαισίωση ήδη υπάρχουσών, πάντοτε όμως σε σύνδεση με τα φαινόμενα που παρατηρούν οι μαθητές. Στη φάση της εφαρμογής, οι μαθητές καλούνται να αξιοποιήσουν τις νέες έννοιες και τους νέους τρόπους σκέψης σε διαφορετικά παραδείγματα ή προβλήματα, ώστε να εδραιώσουν τις αλλαγμένες αντιλήψεις τους και να διαπιστώσουν τη χρησιμότητά τους σε νέα πλαίσια. Τέλος, στη φάση της ανασκόπησης δίνεται χρόνος για συνολική επανεξέταση της μαθησιακής πορείας, για σύγκριση των αρχικών ιδεών με τις τρέχουσες αντιλήψεις και για ρητή συζήτηση των αλλαγών που έχουν συντελεστεί, τόσο σε επίπεδο γνώσεων όσο και σε επίπεδο στρατηγικών σκέψης (Driver & Oldham, 1986).

Το μοντέλο των Driver και Oldham ευθυγραμμίζεται στενά με τις αρχές της διερευνητικής μάθησης, καθώς προϋποθέτει την ενεργό συμμετοχή των μαθητών, τη συστηματική αξιοποίηση των αρχικών τους ιδεών και τη διαδοχική εμπλοκή τους με φαινόμενα, δεδομένα και εξηγήσεις. Ταυτόχρονα, παρέχει στον εκπαιδευτικό μια σαφή και πρακτικά αξιοποιήσιμη δομή για τον σχεδιασμό διδακτικών σειρών που στοχεύουν στην εννοιολογική αλλαγή (Driver & Oldham, 1986). Σε συνδυασμό με το συνθετικό πλαίσιο φάσεων που προτείνουν οι Pedaste et al. (2015), το εποικοδομητικό αυτό μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός για τη δόμηση δραστηριοτήτων διερευνητικής μάθησης, οι οποίες προσαρμόζονται στις ανάγκες των μαθητών και στοχεύουν ρητά στην

αναδιοργάνωση των εννοιολογικών τους δομών. Παράλληλα, σύγχρονες ανασκοπήσεις επισημαίνουν ότι ο βαθμός καθοδήγησης σε κάθε φάση του κύκλου διερεύνησης είναι καθοριστικός για την αποτελεσματικότητα των μοντέλων διερευνητικής μάθησης, ιδίως όταν πρόκειται για μαθητές μικρότερων ηλικιών ή για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες. Η διαπίστωση αυτή ενισχύει την ανάγκη σχεδιασμού δομημένων και καθοδηγούμενων διδακτικών ακολουθιών, με σαφή στηρίγματα σε κάθε στάδιο της μαθησιακής διαδικασίας (Geveke et al., 2016· Wilson et al., 2026).

1.2.2 Ρόλος της διερευνητικής μάθησης στη χημική εκπαίδευση

Στη χημική εκπαίδευση, η διερευνητική μάθηση φαίνεται να αποτελεί μια ιδιαίτερα κατάλληλη προσέγγιση για την αντιμετώπιση των δυσκολιών που σχετίζονται με τον αφηρημένο και πολυεπίπεδο χαρακτήρα των χημικών εννοιών. Οι μαθητές καλούνται να συνδέσουν διαφορετικά επίπεδα αναπαράστασης, δηλαδή μακροσκοπικές παρατηρήσεις, όπως η εμφάνιση και οι ιδιότητες των υλικών, με υπομικροσκοπικά μοντέλα, αλλά και με συμβολικές αναπαραστάσεις. Η σύνδεση αυτή, ωστόσο, δεν είναι καθόλου αυτονόητη και συχνά αποδεικνύεται ιδιαίτερα απαιτητική, ειδικά όταν η διδασκαλία περιορίζεται κυρίως σε μετωπική παρουσίαση και σε αναπαραγωγή αλγοριθμικών διαδικασιών (Stains & Talanquer, 2007). Σε αυτό το πλαίσιο, η διερευνητική προσέγγιση δημιουργεί διαφορετικές συνθήκες μάθησης. Μέσα από δραστηριότητες όπου οι μαθητές διατυπώνουν ερωτήματα, σχεδιάζουν πειράματα, συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα και συζητούν τις εξηγήσεις τους, δίνεται η δυνατότητα για ουσιαστικότερη σύνδεση των τριών επιπέδων αναπαράστασης. Παράλληλα, υποστηρίζεται η σταδιακή οικοδόμηση πιο συνεκτικών εννοιολογικών μοντέλων, τα οποία δεν παραμένουν αποσπασματικά αλλά συνδέονται με πραγματικά φαινόμενα (Hinostroza et al., 2024).

Εμπειρικά δεδομένα από τη διδασκαλία της Χημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δείχνουν ότι μορφές καθοδηγούμενης διερεύνησης μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, αλλά και στην ποιότητα των εξηγήσεων που δίνουν οι μαθητές. Οι Orosz, Németh, Kovács, Somogyi και Korom (2023), μέσα από μελέτη περίπτωσης σε μάθημα Χημείας, έδειξαν ότι μια διδακτική ακολουθία βασισμένη στην καθοδηγούμενη διερεύνηση οδήγησε όχι μόνο σε καλύτερες επιδόσεις, αλλά και σε πιο συνεκτικές εξηγήσεις, ενώ παράλληλα ενισχύθηκαν και οι μεταγνωστικές στρατηγικές των μαθητών. Παρόμοια ευρήματα προκύπτουν και από την έρευνα των

Alghamdi και Alanazi (2020), σχετικά με την εφαρμογή της διαδικασιοκεντρικής καθοδηγούμενης διερευνητικής διδασκαλίας (Process-Oriented Guided-Inquiry Learning) σε μαθητές Λυκείου στη Σαουδική Αραβία. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η συγκεκριμένη προσέγγιση συνέβαλε σημαντικά τόσο στη βελτίωση της επίδοσης όσο και στην ενεργό εμπλοκή των μαθητών, ενώ παράλληλα επηρέασε θετικά τις στάσεις τους απέναντι στη Χημεία. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι οι καλά δομημένες μορφές καθοδηγούμενης διερεύνησης μπορούν να υποστηρίξουν τους μαθητές στην αντιμετώπιση των απαιτήσεων του γνωστικού αντικείμενου, χωρίς να τους αφήνουν χωρίς καθοδήγηση.

Η σημασία της αξιοποίησης πολλαπλών αναπαραστάσεων μέσα σε διερευνητικά περιβάλλοντα φαίνεται ξεκάθαρα και στη μελέτη των Vilaro et al. (2017). Στη συγκεκριμένη παρέμβαση, που υλοποιήθηκε στην αρχή ενός μαθήματος Χημείας Λυκείου, οι μαθητές χρησιμοποίησαν μαγνητικά σωματιδιακά μοντέλα για να αναπαραστήσουν τον αέρα και να προχωρήσουν σε ταξινόμηση της ύλης. Η σύγκριση των σχεδίων των μαθητών πριν και μετά τη δραστηριότητα έδειξε σαφή αύξηση στο ποσοστό εκείνων που παρήγαγαν επιστημονικά αποδεκτές σωματιδιακές αναπαραστάσεις. Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει τη σημασία των χειραπτικών μοντέλων και της καθοδηγούμενης διερεύνησης στην ανάπτυξη πιο ορθών εννοιολογικών αναπαραστάσεων. Παράλληλα, έχει φανεί ότι η διερευνητική ενασχόληση με φαινόμενα όπως οι χημικές αντιδράσεις και η ταξινόμηση των χημικών διεργασιών μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να μετακινηθούν από επιφανειακά κριτήρια ταξινόμησης σε βαθύτερα, εννοιολογικά κριτήρια, ενισχύοντας έτσι την ικανότητά τους να ερμηνεύουν τα χημικά φαινόμενα με μεγαλύτερη συνοχή (Stains & Talanquer, 2007).

Πιο πρόσφατες μελέτες στη διδακτική της Χημείας αξιοποιούν δομημένα μοντέλα διερευνητικής μάθησης με σαφή στόχο τη μείωση των παρανοήσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη των Dewi et al. (2024), στην οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο ECIRR. Στο πλαίσιο αυτό, οι μαθητές καλούνται αρχικά να εκφράσουν τις ιδέες τους, στη συνέχεια να τις αντιπαραβάλουν με πειραματικά δεδομένα, να αναγνωρίσουν πιθανές ασυμφωνίες, να αναθεωρήσουν τις αντιλήψεις τους και, τέλος, να ενισχύσουν τις νέες εννοιολογικές δομές. Τα αποτελέσματα της παρέμβασης έδειξαν σημαντική μείωση των παρανοήσεων και βελτίωση στην ποιότητα των επιστημονικών εξηγήσεων. Αντίστοιχα, οι Mukti και LFX (2025) έδειξαν ότι η καθοδηγούμενη διερεύνηση μπορεί να ενισχύσει τόσο την εννοιολογική κατανόηση όσο και την ενεργό συμμετοχή των μαθητών, ιδιαίτερα όταν

συνοδεύεται από σαφή στηρίγματα στον σχεδιασμό των πειραμάτων, στην ανάλυση των δεδομένων και στην ανάπτυξη επιχειρηματολογίας.

Η διερευνητική μάθηση έχει μελετηθεί και σε μη τυπικά πλαίσια εκπαίδευσης, όπου φαίνεται να συμβάλλει και στη διατήρηση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τη Χημεία. Η έρευνα των Slapničar et al. (2024), η οποία πραγματοποιήθηκε σε πρόγραμμα χημικής εκπαίδευσης για χαρισματικούς μαθητές, έδειξε ότι δραστηριότητες βασισμένες στη διερεύνηση συνέβαλαν τόσο στην κατανόηση πιο σύνθετων εννοιών όσο και στην ενίσχυση της εσωτερικής παρακίνησης των μαθητών. Συνολικά, τα ευρήματα αυτά, τόσο από τυπικά όσο και από μη τυπικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, συγκλίνουν στο ότι η διερευνητική μάθηση, όταν σχεδιάζεται με σαφή δομή και συγκεκριμένη στόχευση, μπορεί να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο. Από τη μία πλευρά συμβάλλει στην εννοιολογική ανάπτυξη των μαθητών και, από την άλλη, ενισχύει τη διαμόρφωση θετικότερων στάσεων απέναντι στη Χημεία.

1.2.3 Σύνδεση διερευνητικής μάθησης με την αντιμετώπιση παρανοήσεων στα μίγματα

Η διερευνητική μάθηση συνδέεται στενά με την εννοιολογική αλλαγή, καθώς δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να δοκιμάσουν τις αρχικές τους ιδέες σε αντιπαραβολή με πειραματικά δεδομένα και να αναγνωρίσουν ασυμφωνίες ανάμεσα στις προβλέψεις και τις παρατηρήσεις τους (Chi, 2005· Geveke et al., 2016). Στην περίπτωση των μιγμάτων, οι μαθητές μπορούν να κληθούν να προβλέψουν αν ένα σύστημα υλικών αποτελεί καθαρή ουσία ή μίγμα, αν είναι ομογενές ή ετερογενές, ποια μέθοδος διαχωρισμού είναι κατάλληλη και πώς επηρεάζουν παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή η ανάδευση τον ρυθμό διάλυσης, και στη συνέχεια να ελέγξουν αυτές τις προβλέψεις μέσα από πειραματικές ή προσομοιωμένες δραστηριότητες (Coştu et al., 2007· Popović et al., 2025).

Εμπειρικές μελέτες που συνδυάζουν καθοδηγούμενη διερεύνηση με πλούσιο καθημερινό πλαίσιο και ρητή εστίαση στις παρανοήσεις δείχνουν ότι η σταδιακή καθοδήγηση, η χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων και ο συστηματικός αναστοχασμός πάνω στις αρχικές ιδέες των μαθητών μπορούν να οδηγήσουν σε ουσιαστική βελτίωση της κατανόησης εννοιών όπως τα στοιχεία, οι ενώσεις, τα μίγματα και οι διαδικασίες διαχωρισμού (Vilardo et al., 2017· Popović et al., 2025). Η έρευνα των Vilardo et al. (2017), όπου μαθητές Λυκείου χειρίστηκαν μαγνητικά σωματιδιακά μοντέλα του αέρα για να

ταξινομήσουν δείγματα ύλης, έδειξε ότι η καθοδηγούμενη διερεύνηση με χειραπτικά μοντέλα βοηθά στην αναδόμηση των σωματιδιακών αναπαραστάσεων και στη μείωση της σύγχυσης ανάμεσα σε μίγματα, καθαρές ουσίες και χημικές ενώσεις. Αντίστοιχα, το μοντέλο διερευνητικής διδασκαλίας με STEAM+X πλαίσιο των Poronici et al. (2025) σε μαθητές Δημοτικού βελτίωσε την ταξινόμηση και την περιγραφή ιδιοτήτων μιγμάτων και διαλυμάτων, παρότι παρέμειναν δυσκολίες στη συστηματική σύγκριση ομοιοτήτων και διαφορών ανάμεσα στις δύο έννοιες.

Για το κεφάλαιο των μιγμάτων στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση, ιδιαίτερα σημαντική είναι η μελέτη της Mutlu (2023), η οποία εφάρμοσε τη στρατηγική REACT εμπλουτισμένη με καθοδηγούμενα διερευνητικά πειράματα σε μαθητές Α΄ Γυμνασίου σε σύγκριση με συμβατική δασκαλοκεντρική διδασκαλία. Η διδασκαλία οργανώθηκε γύρω από καθημερινά παραδείγματα, όπως το αλάτι της θάλασσας και οι βιταμίνες, και στο στάδιο της εμπειρίας οι μαθητές σχεδίαζαν και υλοποιούσαν καθοδηγούμενα πειράματα, π.χ. σύγκριση μίγματος νερού με αλάτι και λαδιού ή μελέτη του ρυθμού διάλυσης δισκίων βιταμινών σε διαφορετικές συνθήκες (Mutlu, 2023). Χρησιμοποιώντας ως εργαλείο αξιολόγησης σκίτσα-διαλόγους με εναλλακτικές απόψεις (concept cartoons), μαζί με ατομικούς χάρτες προφίλ εννοιολογικής αλλαγής, η έρευνα έδειξε ότι η ομάδα που διδάχθηκε με REACT και διερευνητικά πειράματα πέτυχε υψηλότερες βαθμολογίες κατανόησης και παρουσίασε σημαντικά μεγαλύτερη μείωση παρανοήσεων σχετικά με τη διαλυτότητα, τον ρόλο διαλύτη και διαλυμένης ουσίας, τους παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό διάλυσης και τη διάκριση ομογενών και ετερογενών μιγμάτων, σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (Mutlu, 2023). Τα ποιοτικά δεδομένα από τις αιτιολογήσεις των μαθητών δείχνουν ότι πολλές διαδεδομένες παρανοήσεις, όπως ότι η ζάχαρη λιώνει ή εξαφανίζεται στο νερό, αντικαταστάθηκαν από σωματιδιακά συμβατές εξηγήσεις μετά την παρέμβαση, κάτι που υποστηρίζει την άποψη ότι οι εργαστηριακές δραστηριότητες, όταν εντάσσονται σε δομημένο πλαίσιο καθημερινών καταστάσεων και διερεύνησης, λειτουργούν ως ουσιαστικές νοητικές εμπλοκές και όχι απλώς ως επιβεβαιωτικά πειράματα (Mutlu, 2023· Coştu et al., 2007).

Σε πιο γενικό επίπεδο, μοντέλα διερευνητικής μάθησης στη χημεία που ενσωματώνουν ρητά τη γνωστική σύγκρουση, όπως το ECIRR, έχουν δείξει ότι μπορούν να μειώσουν σημαντικά παρανοήσεις σε ποικίλες ενότητες της ανόργανης χημείας, βελτιώνοντας παράλληλα την ποιότητα των εξηγήσεων των μαθητών (Dewi et al., 2024).

Στο συγκεκριμένο μοντέλο οι μαθητές διατυπώνουν τις αρχικές τους αντιλήψεις και προβλέψεις, τις φέρνουν σε αντιπαράθεση με πειραματικά δεδομένα ή αναπαραστάσεις που τις αμφισβητούν, αναγνωρίζουν και κατονομάζουν τις παρανοήσεις τους, συμμετέχουν σε δραστηριότητες αναδόμησης των εννοιών και στη συνέχεια ενισχύουν τις νέες αντιλήψεις μέσα από μεταγνωστικό αναστοχασμό και εφαρμογές σε νέα πλαίσια, κάτι που μπορεί να αξιοποιηθεί και στο περιεχόμενο των μιγμάτων (Dewi et al., 2024· Chi, 2005).

Τα ευρήματα από τις μελέτες συγκλίνουν στο ότι όταν οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά σε καθοδηγούμενες διερευνητικές δραστηριότητες που συνδέονται με καθημερινά συμφραζόμενα, αξιοποιούν μακροσκοπικές παρατηρήσεις και σωματιδιακά μοντέλα και καλούνται να αναστοχαστούν ρητά πάνω στις αρχικές τους ιδέες, είναι πολύ πιο πιθανό να εγκαταλείψουν επιφανειακές ταξινομήσεις και να αναπτύξουν βαθύτερη, συνεκτική κατανόηση των μιγμάτων και των διαδικασιών διαχωρισμού τους (Coştu et al., 2007· Vilardo et al., 2017· Popović et al., 2025· Mutlu, 2023).

1.3 Εκπαιδευτικές προσομοιώσεις για τη Χημεία

Η ενσωμάτωση ψηφιακών προσομοιώσεων στη διδασκαλία της Χημείας αναδεικνύεται τα τελευταία χρόνια ως μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, καθώς επιτρέπει την οπτικοποίηση αφηρημένων και υπομικροσκοπικών εννοιών μέσα από δυναμικά και διαδραστικά περιβάλλοντα μάθησης (Kefalis, Skordoulis, & Drigas, 2025· Mikropoulos, 2023). Μέσω των προσομοιώσεων, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να χειρίζονται παραμέτρους που είναι δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να ελεγχθούν στο σχολικό εργαστήριο, να παρατηρούν άμεσα τις συνέπειες των μεταβολών και να συνδέουν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις με υπομικροσκοπικά μοντέλα, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό για τη χημική κατανόηση (Kefalis et al., 2025· Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009). Παράλληλα, οι προσομοιώσεις προσφέρουν ένα ασφαλές και οικονομικό περιβάλλον, μέσα στο οποίο μπορούν να αναπαρασταθούν επικίνδυνα, χρονοβόρα ή δαπανηρά πειράματα. Το χαρακτηριστικό αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία σε σχολικές μονάδες με περιορισμένες εργαστηριακές υποδομές, αλλά και σε περιβάλλοντα όπου η πρόσβαση σε φυσικό εργαστήριο είναι αντικειμενικά δυσκολότερη (Kefalis et al., 2025· Egambaram, Hilton, Leigh, Richardson, Sarju, Slater & Turner, 2022· Hinostroza et al., 2024).

Συστηματικές ανασκοπήσεις και εμπειρικές μελέτες δείχνουν ότι οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, καθώς και στην ενίσχυση του κινήτρου και του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες, υπό την προϋπόθεση ότι εντάσσονται σε κατάλληλα σχεδιασμένα διδακτικά σενάρια και συνοδεύονται από επαρκή παιδαγωγική υποστήριξη (Kefalis et al., 2025· Hinostroza et al., 2024· Vavra, Janjic-Watrich, Loerke, Phillips, Norris & Macnab, 2011). Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι οι προσομοιώσεις δεν είναι αποτελεσματικές όταν χρησιμοποιούνται αποσπασματικά ή αποκλειστικά ως εντυπωσιακό οπτικό υλικό. Αντίθετα, η παιδαγωγική τους αξία ενισχύεται όταν συνδέονται άμεσα με τους μαθησιακούς στόχους, τα φύλλα εργασίας, την πειραματική διαδικασία και τη συζήτηση στην τάξη, ώστε να υποστηρίζεται η ενεργητική διερεύνηση και ο αναστοχασμός των μαθητών (Hinostroza et al., 2024· Mikropoulos, 2023· Gilbert, 2005).

Για μαθητές που δυσκολεύονται να διαχειριστούν συμβολικές αναπαραστάσεις ή εκτεταμένο γραπτό λόγο, οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως ενδιάμεσος σύνδεσμος ανάμεσα στην εμπειρική παρατήρηση και στην αφηρημένη εννοιολόγηση, προσφέροντας μια περισσότερο οπτική, πολυτροπική και αλληλεπιδραστική προσέγγιση της γνώσης (Gilbert, 2005· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Mikropoulos, 2023). Το χαρακτηριστικό αυτό τις καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλες και για το πλαίσιο της ειδικής αγωγής, όπου η πολυτροπική παρουσίαση της πληροφορίας και η δυνατότητα προσαρμογής του ρυθμού και του βαθμού δυσκολίας της δραστηριότητας αποτελούν βασικές προϋποθέσεις για ουσιαστική πρόσβαση στο διδακτικό περιεχόμενο (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023· Benite, França, Vargas & Benite, 2022).

Στην παρούσα εργασία, οι ψηφιακές προσομοιώσεις εξετάζονται ως εργαλεία που μπορούν να υποστηρίξουν τόσο τη βαθύτερη κατανόηση της σωματιδιακής φύσης της ύλης όσο και την αντιμετώπιση συγκεκριμένων παρανοήσεων που σχετίζονται με τα μίγματα και τις μεθόδους διαχωρισμού τους. Η αξιοποίησή τους εντάσσεται σε κατάλληλα σχεδιασμένες δραστηριότητες διερευνητικού τύπου, οι οποίες αξιοποιούν τη δυνατότητα ελέγχου μεταβλητών και τη σύνδεση πολλαπλών επιπέδων αναπαράστασης (macroscopic–symbolic–submicroscopic), προκειμένου να υποστηριχθεί ουσιαστικότερα η χημική κατανόηση των μαθητών (Gilbert & Treagust, 2009· Reina, This, & Reina, 2022· Stojanovska et al., 2012).

1.3.1 Θεωρητικό πλαίσιο ψηφιακών προσομοιώσεων (π.χ. PhET)

Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις, όπως αυτές της πλατφόρμας PhET, βασίζονται σε αρχές μάθησης μέσω διερεύνησης και οπτικοποίησης, προσφέροντας περιβάλλοντα στα οποία οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδρούν σε πραγματικό χρόνο με μοντέλα φυσικών και χημικών φαινομένων (Kefalis et al., 2025· Mikropoulos, 2023). Το θεωρητικό πλαίσιο που υποστηρίζει τη χρήση τους συνδέεται με τις θεωρίες πολυμεσικής μάθησης, σύμφωνα με τις οποίες ο συνδυασμός λεκτικών και οπτικών αναπαραστάσεων μπορεί να ενισχύσει τη μαθησιακή διαδικασία, όταν ο γνωστικός φόρτος παραμένει σε διαχειρίσιμα επίπεδα και όταν τα στοιχεία της διεπαφής είναι παιδαγωγικά ευθυγραμμισμένα με τους στόχους του μαθήματος (Gilbert, 2005· Gilbert, 2008· Vavra et al., 2011). Στο πλαίσιο αυτό, οι προσομοιώσεις λειτουργούν ως δυναμικά πολυμεσικά περιβάλλοντα, μέσα στα οποία ο μαθητής διερευνά, χειρίζεται μεταβλητές και παρατηρεί άμεσα τις συνέπειες των ενεργειών του, αντί να παραμένει παθητικός αποδέκτης πληροφορίας (Kefalis et al., 2025· Mikropoulos, 2023).

Παράλληλα, οι προσομοιώσεις συνδέονται στενά με τη σημασία των πολλαπλών αναπαραστάσεων στη Χημεία και με την ανάγκη οι μαθητές να μεταβαίνουν εύελκτα ανάμεσα στο μακροσκοπικό, το υπομικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο περιγραφής της ύλης και των χημικών μεταβολών (Gilbert & Treagust, 2009· Bucat & Mocerino, 2009). Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ψηφιακές αναπαραστάσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως γεφυρωτικές αναπαραστάσεις ανάμεσα σε αυτά τα τρία επίπεδα, διευκολύνοντας τη σύνδεση συγκεκριμένων παρατηρήσεων με αφηρημένα σωματιδιακά μοντέλα και συμβολικές εκφράσεις, ενώ παράλληλα υποστηρίζουν τη μετάβαση από πιο συγκεκριμένες σε πιο γενικευμένες μορφές σκέψης (Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009). Η ταυτόχρονη παρουσίαση της μακροσκοπικής εικόνας ενός συστήματος, της κίνησης των σωματιδίων σε υπομικροσκοπικό επίπεδο και γραφικών ή συμβολικών αναπαραστάσεων θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική για έννοιες όπως η δομή της ύλης, τα διαλύματα, τα μίγματα και οι χημικές αντιδράσεις, όπου η κατανόηση προϋποθέτει τη διαχείριση πολλαπλών επιπέδων αναπαράστασης ταυτόχρονα (Gilbert & Treagust, 2009· Stojanovska et al., 2012· Reina et al., 2022).

Επιπλέον, το σχεδιαστικό ύφος πολλών εκπαιδευτικών προσομοιώσεων, το οποίο αξιοποιεί έντονα χρώματα, απλά σχήματα και άμεσο χειρισμό μέσω λειτουργιών μεταφοράς και απόθεσης, περιορίζει τις γλωσσικές απαιτήσεις και επιτρέπει τον άμεσο χειρισμό των

μοντέλων από τους μαθητές με σχετικά χαμηλό γνωστικό κόστος (Mikropoulos, 2023). Η απλότητα του οπτικού σχεδιασμού και η αλληλεπιδραστικότητα μπορούν να προσαρμοστούν σε διαφορετικά μαθησιακά προφίλ, αξιοποιώντας πολυτροπικές μορφές αναπαράστασης, όπως εικόνα, κίνηση, ήχο και απλό κείμενο, γεγονός που διευκολύνει την πρόσβαση στο ίδιο περιεχόμενο από μαθητές με διαφορετικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023· Benite et al., 2022). Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα υποστηρικτικό για μαθητές που δυσκολεύονται να επεξεργαστούν πυκνά κείμενα ή συμβολική σημειογραφία, όπως συμβαίνει συχνά στο πλαίσιο των ΕΝΕΕΓΥΑ, καθώς επιτρέπει περισσότερο οπτικοποιημένες και διαδραστικές μορφές παρουσίασης της χημικής γνώσης και δημιουργεί γέφυρες ανάμεσα στην εμπειρική παρατήρηση και στην αφηρημένη εννοιολόγηση (Mikropoulos, 2023· Reina et al., 2022· Slapničar et al., 2018).

1.3.2 Οπτικοποίηση υπομικροσκοπικών φαινομένων

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ψηφιακών προσομοιώσεων είναι η δυνατότητα οπτικοποίησης υπομικροσκοπικών φαινομένων, τα οποία διαφορετικά θα παρέμεναν αόρατα για τους μαθητές και θα έπρεπε να αναπαρασταθούν μόνο μέσω στατικών εικόνων ή λεκτικών περιγραφών (Kefalis et al., 2025· Mikropoulos, 2023). Μέσα από κινούμενα γραφικά, σωματιδιακά μοντέλα και διαδραστικές αναπαραστάσεις, οι προσομοιώσεις επιτρέπουν στους μαθητές να παρακολουθήσουν την κίνηση, τη διάταξη και τις αλληλεπιδράσεις των σωματιδίων, να παρατηρήσουν πώς αυτές μεταβάλλονται όταν αλλάζουν οι συνθήκες και να συνδέσουν τις αλλαγές αυτές με μακροσκοπικές ιδιότητες, όπως η εμφάνιση, η διαλυτότητα ή οι μεταβολές φάσης (Reina et al., 2022· Slapničar et al., 2018· Stojanovska et al., 2012).

Ερευνητικά δεδομένα δείχνουν ότι η αξιοποίηση τέτοιων οπτικοποιήσεων μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση παρανοήσεων που σχετίζονται με τη σωματιδιακή φύση της ύλης, όπως η αντίληψη ότι δεν υπάρχει κενός χώρος ανάμεσα στα σωματίδια, ότι τα σωματίδια μεταβάλλουν το μέγεθός τους ανάλογα με την κατάσταση της ύλης ή ότι εξαφανίζονται όταν μια ουσία διαλύεται (Reina et al., 2022· Stojanovska et al., 2012). Η δυνατότητα των μαθητών να παρατηρούν την κίνηση και τη διάταξη των σωματιδίων πριν και μετά από μια μεταβολή, όπως η θέρμανση, η ψύξη ή η προσθήκη διαλύτη, βοηθά ώστε οι μακροσκοπικές αλλαγές που αντιλαμβάνονται —όπως η διαύγεια ενός διαλύματος, η μεταβολή του όγκου ή της φυσικής κατάστασης— να αποκτούν υπομικροσκοπική ερμηνεία

(Davidowitz & Chittleborough, 2009· Santos & Arroio, 2016). Παράλληλα, η αξιοποίηση πολλαπλών μορφών αναπαράστασης μέσα στις προσομοιώσεις, όπως εικόνες, διαγράμματα, σωματιδιακά μοντέλα και συμβολικές σημειογραφίες, έχει συνδεθεί με τη βελτίωση της ικανότητας των μαθητών να μεταφράζουν πληροφορίες από το ένα επίπεδο αναπαράστασης στο άλλο και να αναπτύσσουν πιο συνεκτικές νοητικές αναπαραστάσεις για τις χημικές διεργασίες (Davidowitz & Chittleborough, 2009· Gilbert & Treagust, 2009).

Για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, η δυνατότητα ελέγχου του ρυθμού της προσομοίωσης —μέσω παύσης, επανάληψης ή επιβράδυνσης των κινήσεων— σε συνδυασμό με την απλότητα της οπτικοποίησης και τη μείωση της έκτασης του γραπτού λόγου, έχει αναδειχθεί ως σημαντικός παράγοντας προσβασιμότητας και ενεργητικής συμμετοχής (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022). Ο εκπαιδευτικός μπορεί να διακόπτει τη ροή της προσομοίωσης, να εστιάζει σε μια συγκεκριμένη σκηνή, να ζητά από τους μαθητές να περιγράψουν προφορικά ή με απλό λεξιλόγιο όσα παρατηρούν και να συνδέουν σταδιακά τις εικόνες με λέξεις και σύμβολα, μετατρέποντας την υπομικροσκοπική οπτικοποίηση σε μια ακολουθία μικρών και διαχειρίσιμων βημάτων εννοιολογικής οικοδόμησης (Mikropoulos, 2023· Santos & Arroio, 2016). Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για έννοιες που σχετίζονται με τη δομή της ύλης, τη διάλυση και τη μίξη ουσιών, καθώς δημιουργεί το κατάλληλο υπόβαθρο για πιο στοχευμένες δραστηριότητες σχετικά με τα μίγματα και τις μεθόδους διαχωρισμού τους, όπου οι υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο (Reina et al., 2022· Stojanovska et al., 2012).

1.3.3 Εφαρμογές σε έννοιες μιγμάτων και διαχωρισμού

Στην περίπτωση των μιγμάτων, οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορούν να αξιοποιηθούν για την αναπαράσταση της διάταξης και της ανάμειξης διαφορετικών ειδών σωματιδίων, για την ανάδειξη των διαφορών ανάμεσα στις καθαρές ουσίες, στα ομογενή και στα ετερογενή μίγματα, καθώς και για την οπτικοποίηση διαδικασιών διαχωρισμού, όπως η διήθηση, η εξάτμιση και ο μαγνητικός διαχωρισμός (Coştu et al., 2007· Stains & Talanquer, 2007). Μέσα από τέτοιου τύπου αναπαραστάσεις, οι μαθητές μπορούν να συνδέσουν μακροσκοπικές παρατηρήσεις -όπως η εμφάνιση, η διαφάνεια, η διαστρωμάτωση ή η παρουσία ιζήματος- με την υπομικροσκοπική δομή των συστημάτων, υπερβαίνοντας απλουστευτικούς ή λανθασμένους κανόνες ταξινόμησης, όπως η αντίληψη

ότι κάθε διαφανές σύστημα αποτελεί καθαρή ουσία ή ότι τα μίγματα δεν μπορούν να διαχωριστούν με φυσικές μεθόδους (Coştu et al., 2007· Arini et al., 2025). Η οπτικοποίηση της κίνησης και της διάταξης των σωματιδίων σε διαφορετικά είδη μιγμάτων βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν γιατί ορισμένα μίγματα εμφανίζονται ομογενή, ενώ άλλα παραμένουν εμφανώς ανομοιογενή, καθώς και με ποιον τρόπο ο τύπος του μίγματος σχετίζεται με τις διαθέσιμες μεθόδους διαχωρισμού (Stains & Talanquer, 2007· Gilbert & Treagust, 2009).

Μελέτες που συνδυάζουν τη χρήση προσομοιώσεων με καθοδηγούμενη διερεύνηση δείχνουν ότι οι μαθητές μπορούν να αναπτύξουν βαθύτερη κατανόηση των κριτηρίων διάκρισης των μιγμάτων και της επιλογής κατάλληλων μεθόδων διαχωρισμού, όταν καλούνται να διατυπώσουν προβλέψεις, να ελέγξουν τις ιδέες τους μέσα στο περιβάλλον της προσομοίωσης και να αναστοχαστούν πάνω στα αποτελέσματα (Dewi et al., 2024· Mukti, 2025). Σενάρια στα οποία οι μαθητές καλούνται, για παράδειγμα, να επιλέξουν αν θα χρησιμοποιήσουν διήθηση, εξάτμιση ή μαγνητικό διαχωρισμό για τον διαχωρισμό ενός συγκεκριμένου μίγματος, να «τρέξουν» την προσομοίωση και στη συνέχεια να συγκρίνουν το αποτέλεσμα με την αρχική τους πρόβλεψη, δημιουργούν συνθήκες άμεσης ανατροφοδότησης και εννοιολογικής διαπραγμάτευσης (Dewi et al., 2024· Mukti, 2025). Η λογική αυτή ευθυγραμμίζεται με τα ευρήματα ερευνών σχετικά με τα μίγματα και τα διαλύματα σε φυσικά ή υβριδικά περιβάλλοντα μάθησης, όπου η διερεύνηση και η αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων βοηθούν τους μαθητές να εγκαταλείψουν απλουστευτικές ταξινομήσεις και να αναπτύξουν πιο συνεκτικές αντιλήψεις για τις ιδιότητες και τον διαχωρισμό των μιγμάτων (Popović et al., 2025· Mutlu, 2023). Επομένως, η αξιοποίηση προσομοιώσεων σε διερευνητικά σενάρια για τα μίγματα μπορεί να θεωρηθεί φυσική προέκταση των μοντέλων διερευνητικής διδασκαλίας που έχουν ήδη τεκμηριωθεί στη βιβλιογραφία της διδακτικής της Χημείας (Coştu et al., 2007· Dewi et al., 2024· Mukti, 2025).

Στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής, η χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων για έννοιες που σχετίζονται με τα μίγματα και τις διαδικασίες διαχωρισμού μπορεί να προσαρμοστεί με τρόπο που να υποστηρίζει την πολυαισθητηριακή μάθηση και τη διαφοροποίηση της διδασκαλίας, προσφέροντας εναλλακτικές μορφές παρουσίασης της πληροφορίας και ρυθμό εργασίας προσαρμοσμένο στις ανάγκες των μαθητών (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023). Ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιλέγει απλούστερες προσομοιώσεις με

σαφώς οριοθετημένες επιλογές, να περιορίζει τον αριθμό των μεταβλητών που χειρίζονται οι μαθητές, να συνοδεύει τη χρήση των προσομοιώσεων με εικονογραφημένα φύλλα εργασίας και να επιτρέπει την επανάληψη των βημάτων όσες φορές χρειάζεται, ώστε η κατανόηση των διαδικασιών διαχωρισμού να οικοδομείται σταδιακά και με σαφήνεια (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022).

Η δυνατότητα ελέγχου του ρυθμού, της πολυπλοκότητας και του βαθμού καθοδήγησης ευθυγραμμίζεται με τις αρχές του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση και επιτρέπει τη δημιουργία δραστηριοτήτων προσβάσιμων σε μαθητές με διαφορετικά γνωστικά και γλωσσικά προφίλ, χωρίς να μειώνεται το βάθος του επιστημονικού περιεχομένου (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023). Με αυτόν τον τρόπο, οι προσομοιώσεις δεν λειτουργούν μόνο ως μέσο οπτικοποίησης της σωματιδιακής δομής των μιγμάτων ή των επιμέρους βημάτων ενός διαχωρισμού, αλλά και ως εργαλείο διαφοροποιημένης διδασκαλίας, το οποίο υποστηρίζει την ενεργό συμμετοχή και την εννοιολογική εξέλιξη μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες στο γνωστικό αντικείμενο των μιγμάτων (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023).

1.4 Ειδική αγωγή και διαφοροποιημένη διδασκαλία Χημείας

Η εκπαίδευση μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες στο Γυμνάσιο προϋποθέτει τη συστηματική προσαρμογή του Αναλυτικού Προγράμματος, των διδακτικών μεθόδων και του εκπαιδευτικού υλικού, ώστε να διασφαλίζεται η ουσιαστική πρόσβαση στη μάθηση και η ενεργή συμμετοχή όλων των μαθητών (Mikropoulos, 2023). Οι μαθητές που φοιτούν σε ειδικές ή συμπεριληπτικές δομές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης συχνά παρουσιάζουν νοητικές, μαθησιακές ή άλλες δυσκολίες, οι οποίες επηρεάζουν την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, τη συγκέντρωση, τη μνήμη εργασίας και την ικανότητα διαχείρισης σύνθετων συμβολικών συστημάτων, όπως εκείνα που συναντώνται στη Χημεία (Zejnilagić-Hajrić, Delić, & Nuić, 2015). Για τον λόγο αυτό, η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στο συγκεκριμένο πλαίσιο χρειάζεται να λαμβάνει υπόψη τα ιδιαίτερα μαθησιακά προφίλ των μαθητών και να αξιοποιεί πολυαισθητηριακές, βιωματικές και οπτικοποιημένες προσεγγίσεις, ώστε να διευκολύνεται η κατανόηση εννοιών που διαφορετικά παραμένουν δυσπρόσιτες (Zejnilagić-Hajrić et al., 2015· Benite et al., 2022).

Ερευνητικές μελέτες έχουν αναδείξει τόσο τις δυσκολίες όσο και τις δυνατότητες που σχετίζονται με τη συμμετοχή μαθητών με αναπηρίες ή ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες

στη διδασκαλία της Χημείας, επισημαίνοντας εμπόδια που αφορούν την προσβασιμότητα του εργαστηριακού εξοπλισμού, τη μορφή και την πολυπλοκότητα του διδακτικού υλικού, τη γλώσσα των σχολικών εγχειριδίων και την ανεπαρκή προσαρμογή των διδακτικών δραστηριοτήτων (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015· Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022). Οι Zejnlagić-Hajrić et al. (2015) αναφέρουν ότι οι μαθητές με αναπηρίες συχνά δυσκολεύονται να παρακολουθήσουν εργαστηριακά πρωτόκολλα με πολλά διαδοχικά βήματα, να διαχειριστούν λεπτομερείς οδηγίες διατυπωμένες σε σύνθετη γλώσσα και να συνδέσουν τα πειραματικά δεδομένα με αφηρημένα σχήματα και συμβολισμούς, δυσκολίες που εντείνονται σε θεματικές όπως τα μίγματα και οι χημικές αντιδράσεις (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015). Αντίστοιχα, οι Benite et al. (2022) και Egambaram et al. (2022) επισημαίνουν ότι η έλλειψη προσαρμοσμένων υλικών, η περιορισμένη αξιοποίηση πολυτροπικών αναπαραστάσεων και η απουσία εναλλακτικών τρόπων έκφρασης της κατανόησης περιορίζουν τη συμμετοχή και την επίδοση των μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες στο μάθημα της Χημείας.

Παράλληλα, οι ίδιες μελέτες παρουσιάζουν παραδείγματα επιτυχημένων παρεμβάσεων που αξιοποιούν βοηθητικές τεχνολογίες, προσαρμοσμένα πειραματικά σενάρια, πολυτροπικές αναπαραστάσεις και απλοποιημένα φύλλα εργασίας, δείχνοντας ότι η συμμετοχή μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες στη χημική εκπαίδευση μπορεί να είναι ουσιαστική και παραγωγική, όταν υπάρχει κατάλληλος παιδαγωγικός σχεδιασμός (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Mikropoulos, 2023). Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση ψηφιακών προσομοιώσεων σε συνδυασμό με απλά και ασφαλή πειράματα θεωρείται ιδιαίτερα υποσχόμενη, καθώς επιτρέπει τη μείωση πρακτικών εμποδίων πρόσβασης, τη σταδιακή κλιμάκωση της πολυπλοκότητας και την προσαρμογή του ρυθμού και της μορφής παρουσίασης του περιεχομένου, χωρίς να θίγεται η επιστημονική εγκυρότητα της διδασκαλίας (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022). Στο υπόλοιπο της ενότητας 1.4, οι αρχές αυτές εξειδικεύονται στο πλαίσιο των μαθητών ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. και συνδέονται με διαφοροποιημένες παρεμβάσεις διερευνητικού τύπου για τη διδασκαλία των μιγμάτων.

1.4.1 Χαρακτηριστικά μαθητών Ειδικού Γυμνασίου

Οι μαθητές που φοιτούν σε ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., ως μαθητές με αναπηρίες ή και ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, μπορεί να παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα γνωστικών, μαθησιακών,

αισθητηριακών ή και συμπεριφορικών δυσκολιών, γεγονός που καθιστά τον μαθητικό πληθυσμό ιδιαίτερα ετερογενή (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015). Η ετερογένεια αυτή καθιστά αναγκαία τη διαφοροποίηση της διδασκαλίας και την παροχή εξατομικευμένης υποστήριξης, όπως επισημαίνεται και στη σχετική βιβλιογραφία για μαθητές με αναπηρίες και μαθησιακές δυσκολίες στις Φυσικές Επιστήμες (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015· Benite et al., 2022). Συχνά παρατηρούνται δυσκολίες στην κατανόηση σύνθετων λεκτικών διατυπώσεων, στη συγκράτηση μεγάλου όγκου πληροφοριών, στην οργάνωση της σκέψης σε διαδοχικά βήματα και στην αφηρημένη συλλογιστική, στοιχεία που επηρεάζουν άμεσα την πρόσληψη και επεξεργασία χημικών εννοιών (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015).

Στο πεδίο της Χημείας, οι δυσκολίες αυτές εκδηλώνονται, μεταξύ άλλων, στην κατανόηση της σωματιδιακής φύσης της ύλης, στη σύνδεση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με τα υπομικροσκοπικά μοντέλα, καθώς και στη χρήση συμβολικής σημειογραφίας, όπως οι χημικοί τύποι, τα σύμβολα και οι πίνακες (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015· Mikropoulos, 2023). Όσον αφορά ειδικότερα τις έννοιες των μιγμάτων, οι δυσκολίες αυτές μπορεί να εκφράζονται ως αδυναμία διάκρισης ανάμεσα σε καθαρές ουσίες και μίγματα, χρήση επιφανειακών κριτηρίων —όπως η διαφάνεια ή το χρώμα— για την ταξινόμηση των υλικών, σύγχυση μεταξύ ομογενών και ετερογενών μιγμάτων και δυσκολία παρακολούθησης των διαδοχικών σταδίων μιας διαδικασίας διαχωρισμού (Coştu et al. 2007· Zejnlagić-Hajrić et al., 2015). Παράλληλα, μαθητές με περιορισμένη μνήμη εργασίας ή μειωμένες εκτελεστικές λειτουργίες ενδέχεται να δυσκολεύονται να διατηρούν ταυτόχρονα στη σκέψη τους τα δεδομένα ενός πειράματος, τις οδηγίες και τις έννοιες που απαιτείται να εφαρμοστούν, γεγονός που επηρεάζει τη συμμετοχή τους τόσο σε εργαστηριακές δραστηριότητες όσο και σε ψηφιακά περιβάλλοντα διερεύνησης (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022).

Για τον λόγο αυτό, η διδασκαλία της Χημείας στο Ειδικό Γυμνάσιο χρειάζεται να στηρίζεται σε σαφή και απλοποιημένη γλώσσα, σε σταδιακά οργανωμένες δραστηριότητες με μικρά και ξεκάθαρα βήματα, στην αξιοποίηση χειραπτικού υλικού και οπτικών αναπαραστάσεων, καθώς και σε συχνή ανατροφοδότηση, ώστε να υποστηρίζεται η σταδιακή οικοδόμηση της κατανόησης (Benite et al., 2022· Mikropoulos, 2023). Ιδιαίτερη σημασία έχει η χρήση παραδειγμάτων από την καθημερινή ζωή των μαθητών, όπως απλά μίγματα τροφίμων ή οικείων υλικών, καθώς και η σύνδεση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με απλές και εικονογραφημένες αναπαραστάσεις, ώστε να μειώνεται ο

γνωστικός φόρτος και να ενισχύεται η νοηματοδότηση των εννοιών (Coştu et al., 2007· Mikropoulos, 2023).

Έρευνες της διεθνούς βιβλιογραφίας δείχνουν ότι, όταν λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των μαθητών με αναπηρίες και προσαρμόζονται ανάλογα οι διδακτικές στρατηγικές, η συμμετοχή τους στη χημική εκπαίδευση και η επίδοσή τους βελτιώνονται σημαντικά, τόσο ως προς την εννοιολογική κατανόηση όσο και ως προς τις στάσεις τους απέναντι στο μάθημα (Zejnilagić-Hajrić et al., 2015· Egambaram et al., 2022). Στο πλαίσιο αυτό, η αναγνώριση των ατομικών δυνατοτήτων και δυσκολιών κάθε μαθητή αποτελεί βασική προϋπόθεση για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών παρεμβάσεων στη Χημεία και ειδικότερα στη διδασκαλία των μιγμάτων, όπου απαιτείται συντονισμός λεκτικών, οπτικών και πρακτικών στοιχείων (Mikropoulos, 2023).

1.4.2 Διαφοροποιημένες προσεγγίσεις στις Φυσικές Επιστήμες

Η διαφοροποιημένη διδασκαλία και ο καθολικός σχεδιασμός για τη μάθηση UDL αποτελούν βασικά θεωρητικά και παιδαγωγικά πλαίσια για την προσαρμογή της διδασκαλίας στις ανάγκες όλων των μαθητών, συμπεριλαμβανομένων και των μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Rai, Choden, Lharchu & Rinchen, 2025· Mikropoulos, 2023). Στο πλαίσιο της Χημείας, η εφαρμογή αυτών των προσεγγίσεων μεταφράζεται σε διαφοροποίηση των μαθησιακών στόχων, του περιεχομένου, των διδακτικών διαδικασιών και των τρόπων αξιολόγησης, ώστε οι μαθητές να διαθέτουν πολλαπλούς τρόπους πρόσβασης στην πληροφορία, έκφρασης της κατανόησής τους και ενεργούς συμμετοχής στις δραστηριότητες (Rai et al., 2025· Mikropoulos, 2023). Η υιοθέτηση των αρχών του UDL επιτρέπει τον σχεδιασμό μαθημάτων που είναι εξ αρχής προσβάσιμα σε διαφορετικά μαθησιακά προφίλ, αντί να απαιτείται εκ των υστέρων προσαρμογή ενός ενιαίου σχεδίου διδασκαλίας για περιορισμένο αριθμό μαθητών (Rai et al., 2025· Mikropoulos, 2023).

Σε ό,τι αφορά τους τρόπους πρόσβασης στην πληροφορία, οι αρχές του UDL υποστηρίζουν τη χρήση πολλαπλών μορφών παρουσίασης, όπως προφορικές εξηγήσεις, απλοποιημένο κείμενο, εικόνες, διαγράμματα, βίντεο και ψηφιακές προσομοιώσεις, ώστε να καλύπτονται διαφορετικές ανάγκες και μαθησιακές προτιμήσεις (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022). Στη διδασκαλία της Χημείας, αυτό σημαίνει ότι έννοιες όπως η δομή της ύλης, τα διαλύματα ή οι κατηγορίες μιγμάτων μπορούν να παρουσιαστούν μέσα από συνδυασμό παραδειγμάτων της καθημερινής ζωής, εικονογραφημένων σχημάτων,

σωματιδιακών αναπαραστάσεων και σύντομων προσομοιώσεων, μειώνοντας την εξάρτηση από εκτεταμένο γραπτό λόγο (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023). Παράλληλα, η διαφοροποίηση στους τρόπους έκφρασης της κατανόησης επιτρέπει σε μαθητές που δυσκολεύονται στον γραπτό λόγο να αποδίδουν όσα έχουν κατανοήσει μέσω προφορικών απαντήσεων, επιλογής εικόνων, απλών διαγραμμάτων ή χειρισμού μοντέλων, χωρίς να μειώνεται το γνωστικό επίπεδο των δραστηριοτήτων (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022).

Οι αρχές του UDL δίνουν επίσης ιδιαίτερη έμφαση στους πολλαπλούς τρόπους εμπλοκής των μαθητών, μέσα από δραστηριότητες που συνδέονται με τα ενδιαφέροντά τους, παρέχουν δυνατότητες επιλογής και επιτρέπουν διαβαθμισμένη πρόκληση, υποστηρίζοντας έτσι την αυτορρυθμιζόμενη μάθηση (Rai et al., 2025· Mikropoulos, 2023). Στο πεδίο των Φυσικών Επιστημών, αυτό μπορεί να υλοποιηθεί μέσω απλών και ασφαλών πειραματικών δραστηριοτήτων, σεναρίων διερεύνησης με καθοδήγηση και δραστηριοτήτων που αξιοποιούν ψηφιακά περιβάλλοντα, όπου οι μαθητές επιλέγουν παραμέτρους, διατυπώνουν προβλέψεις και παρατηρούν αποτελέσματα μέσα σε ένα ελεγχόμενο πλαίσιο (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Mikropoulos, 2023). Η ενσωμάτωση τέτοιων δραστηριοτήτων έχει συνδεθεί με βελτίωση της πρόσβασης και της επίδοσης μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες στις Φυσικές Επιστήμες, ιδιαίτερα όταν συνοδεύεται από σαφείς οδηγίες, οργανωμένη δομή και συχνή ανατροφοδότηση (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022).

Στο πλαίσιο της διδασκαλίας των μιγμάτων και των μεθόδων διαχωρισμού, οι ίδιες αρχές μπορούν να εφαρμοστούν μέσω διαφοροποιημένων δραστηριοτήτων που συνδυάζουν χειραπτικό υλικό, εικονογραφημένα φύλλα εργασίας και απλές προσομοιώσεις, επιτρέποντας στους μαθητές να προσεγγίζουν τις έννοιες μέσα από διαφορετικούς τρόπους παρουσίασης και επεξεργασίας της πληροφορίας (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023). Οι μαθητές μπορούν να παρατηρούν πραγματικά μίγματα, να χειρίζονται υλικά σε απλά πειράματα, να βλέπουν σωματιδιακές αναπαραστάσεις μέσω προσομοιώσεων και να αποδίδουν όσα έχουν κατανοήσει είτε προφορικά είτε με απλά σχήματα και διαγράμματα, ανάλογα με τα δυνατά τους σημεία (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022). Η σύνδεση των αρχών της διαφοροποιημένης διδασκαλίας και του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση με διερευνητικές και πολυτροπικές δραστηριότητες για τα

μίγματα αναλύεται πιο συγκεκριμένα στην υποενότητα 1.4.3, όπου εξετάζεται η αξιοποίηση προσομοιώσεων και απλών πειραμάτων σε μαθητές ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ..

1.4.3 Σύνδεση με διερευνητική μάθηση και προσομοιώσεις για μίγματα

Η σύνδεση των αρχών της ειδικής αγωγής, της διαφοροποιημένης διδασκαλίας και του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση με τη διερευνητική μάθηση και τη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων αναδεικνύεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως ιδιαίτερα υποσχόμενη για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών σε μαθητές με αναπηρίες ή και ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025). Στο πλαίσιο αυτό, ο συνδυασμός σαφώς δομημένων διερευνητικών δραστηριοτήτων με πολυτροπικές αναπαραστάσεις και ευέλικτες μορφές συμμετοχής επιτρέπει τη σταδιακή οικοδόμηση εννοιών, ενώ ταυτόχρονα μειώνει εμπόδια πρόσβασης που σχετίζονται με τη γλώσσα, τον εργαστηριακό εξοπλισμό ή τις εκτελεστικές λειτουργίες (Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022). Ερευνητικές εργασίες δείχνουν ότι τα ψηφιακά περιβάλλοντα και οι τεχνολογίες υποστήριξης μπορούν να ενισχύσουν τη μάθηση μαθητών με αναπηρίες στις Φυσικές Επιστήμες, όταν εντάσσονται σε καλά οργανωμένα και πολυτροπικά μαθησιακά περιβάλλοντα που προβλέπουν εξαρχής διαφοροποίηση για διαφορετικά μαθησιακά προφίλ (Mikropoulos, 2023· Egambaram et al., 2022).

Το μοντέλο διερευνητικής μάθησης των Driver και Oldham, το οποίο οργανώνει τη διδασκαλία σε διαδοχικές φάσεις, όπως η ανάδειξη ιδεών, η αναδόμηση και η εφαρμογή, έχει αξιοποιηθεί ευρέως στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών και προσφέρει ένα κατάλληλο πλαίσιο για την ανάπτυξη δραστηριοτήτων που αξιοποιούν τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και τις φέρνουν σε αντιπαράθεση με νέα δεδομένα (Driver & Oldham, 1986). Η εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες απαιτεί προσαρμογές στον ρυθμό, στη γλωσσική διατύπωση και στη μορφή των δραστηριοτήτων, ωστόσο έρευνες δείχνουν ότι οι βασικές φάσεις του μπορούν να υποστηριχθούν αποτελεσματικά μέσω απλών και καθοδηγούμενων εργασιών, οπτικών βοηθημάτων και σαφώς οργανωμένων φύλλων εργασίας (Zejnilagić-Hajrić, Delić, & Nuić, 2015· Mikropoulos, 2023). Παράλληλα, πρόσφατες μελέτες αναδεικνύουν ότι η οργάνωση της διερεύνησης σε μικρά και διακριτά βήματα, με συνεχή οπτική και λεκτική υποστήριξη, επιτρέπει σε μαθητές με σύνθετες υποστηρικτικές ανάγκες να συμμετέχουν σε κύκλους

πρόβλεψης, παρατήρησης, εξήγησης και εφαρμογής, παρά τις σημαντικές δυσκολίες που ενδέχεται να αντιμετωπίζουν (Koebley, Wakeman, Ruhter, Pugalee & Karvonen, 2025).

Σε μαθησιακά περιβάλλοντα που συνδυάζουν τις αρχές του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση με διερευνητικές προσεγγίσεις, οι προσομοιώσεις, τα βίντεο, τα απλά πειράματα και τα διαφοροποιημένα φύλλα εργασίας λειτουργούν συμπληρωματικά, περιορίζοντας πρακτικά εμπόδια πρόσβασης και ενισχύοντας τη συμμετοχή μαθητών με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022). Η εργασία του Mikropoulos (2023) δείχνει ότι τα ψηφιακά εργαλεία μπορούν να πλαισιώσουν απλές πειραματικές δραστηριότητες, επιτρέποντας στους μαθητές να παρατηρούν υπομικροσκοπικές αναπαραστάσεις, να χειρίζονται παραμέτρους και να συνδέουν τις αλλαγές που παρατηρούν στην οθόνη με αλλαγές σε πραγματικά υλικά, γεγονός που ενισχύει τη νοηματοδότηση αφηρημένων εννοιών. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με τα ευρήματα των Benite et al. (2022) και Egambaram et al. (2022), οι οποίοι παρουσιάζουν παραδείγματα επιτυχημένων παρεμβάσεων σε εργαστηριακά περιβάλλοντα Χημείας για μαθητές με αναπηρίες, όπου προσαρμόζονται τόσο ο εξοπλισμός όσο και οι οδηγίες, ώστε να είναι προσβάσιμες σε μαθητές με διαφορετικές ανάγκες.

Στην περίπτωση των μιγμάτων, η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει τη σημασία δραστηριοτήτων που συνδυάζουν διερευνητικές προσεγγίσεις, χειραπτικό υλικό, απλοποιημένα και οπτικοποιημένα φύλλα εργασίας, καθώς και ψηφιακές προσομοιώσεις που αναπαριστούν έννοιες όπως η καθαρή ουσία, το μίγμα, τα ομογενή και τα ετερογενή μίγματα, καθώς και τις διαδικασίες διαχωρισμού (Coştu et al., 2007· Poponić et al., 2025· Mutlu, 2023). Η έρευνα των Coştu et al. (2007) δείχνει ότι η συστηματική διερευνητική ενασχόληση με απλά αναλογικά μοντέλα και πειράματα μπορεί να συμβάλει στην αναδόμηση παρανοήσεων σχετικά με τη διάκριση μιγμάτων και χημικών ενώσεων, αλλά και με τη δυνατότητα διαχωρισμού των συστατικών των μιγμάτων μέσω φυσικών μεθόδων. Παράλληλα, μελέτες τεκμηριώνουν ότι η καθοδηγούμενη διερεύνηση σε πλαίσιο καθημερινών καταστάσεων, η χρήση σωματιδιακών αναπαραστάσεων και η αξιοποίηση εργαλείων όπως τα σκίτσα-διάλογοι οδηγούν σε σημαντική βελτίωση της κατανόησης των μιγμάτων και σε μείωση των παρανοήσεων σε μαθητές Δημοτικού και Γυμνασίου (Poponić et al., 2025· Mutlu, 2023).

Μοντέλα διερευνητικής διδασκαλίας, όπως το ECIRR, το οποίο οργανώνει τη διδακτική πορεία σε φάσεις ανάδειξης, αντιπαράθεσης, ταυτοποίησης, αναδόμησης και

ενίσχυσης των εννοιών, έχουν εφαρμοστεί στη Χημεία για τη μείωση παρανοήσεων και μπορούν να συνδυαστούν με ψηφιακές προσομοιώσεις και απλά πειράματα στο περιεχόμενο των μιγμάτων (Dewi et al., 2024). Η μελέτη των Dewi et al. (2024) δείχνει ότι όταν οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν τις αρχικές τους ιδέες, να τις αντιπαραβάλουν με δεδομένα που προκύπτουν από προσομοιώσεις ή πειράματα, να αναγνωρίσουν τα σφάλματά τους και να συμμετάσχουν σε δραστηριότητες αναδόμησης και ενίσχυσης, η κατανόηση χημικών εννοιών βελτιώνεται ουσιαστικά. Αντίστοιχα, στρατηγικές όπως η προοδευτική πρόβλεψη και παρατήρηση που περιγράφονται από τους Mukti και LFX (2025), καθώς και η καθοδηγούμενη διερεύνηση σε ομαδικά πλαίσια, συμβαδίζουν με τη λογική του μοντέλου των Driver και Oldham (1986) και μπορούν να προσαρμοστούν στο περιεχόμενο των μιγμάτων με κατάλληλη κλιμάκωση του γνωστικού φορτίου.

Με βάση το παραπάνω θεωρητικό πλαίσιο, μια προσαρμοσμένη διδακτική παρέμβαση για τη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να αξιοποιεί το μοντέλο διερευνητικής μάθησης των Driver και Oldham, συνδυάζοντας χειραπτικό υλικό, εικονογραφημένα φύλλα εργασίας και ψηφιακές προσομοιώσεις σε διαδοχικές φάσεις πρόκλησης ιδεών, διερεύνησης, αναδόμησης και εφαρμογής (Driver & Oldham, 1986· Mikropoulos, 2023). Σε κάθε φάση μπορούν να ενσωματώνονται αρχές του καθολικού σχεδιασμού για τη μάθηση, όπως πολλαπλοί τρόποι παρουσίασης, εναλλακτικές μορφές έκφρασης της κατανόησης και διαφοροποιημένα επίπεδα εμπλοκής, ώστε να ανταποκρίνονται αποτελεσματικότερα στις ανάγκες των μαθητών ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. (Rai et al., 2025· Benite et al., 2022). Μια τέτοια προσέγγιση αναμένεται να συμβάλει στην εννοιολογική αλλαγή σχετικά με τις έννοιες των μιγμάτων και των μεθόδων διαχωρισμού, προσφέροντας στους μαθητές πολλαπλές και προσβάσιμες διαδρομές κατανόησης, ενώ παράλληλα ενισχύει τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή, στοιχεία που θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικά για τη μάθηση στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής (Mikropoulos, 2023· Koebley et al., 2025).

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εντάσσεται στο παραπάνω θεωρητικό πλαίσιο και επιδιώκει να σχεδιάσει και να αξιολογήσει μια προσαρμοσμένη διδακτική παρέμβαση για τη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές της Β΄ τάξης ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.. Η παρέμβαση αυτή αντλεί στοιχεία από τις αρχές της διαφοροποιημένης διδασκαλίας, της διερευνητικής μάθησης και της αξιοποίησης ψηφιακών προσομοιώσεων, όπως αυτές αναδεικνύονται στη σχετική βιβλιογραφία για μαθητές με μαθησιακές

δυσκολίες και για τη χρήση των τεχνολογιών πληροφορίας και επικοινωνιών στη διδασκαλία της Χημείας. Με αυτόν τον τρόπο, η εργασία φιλοδοξεί να συμβάλει τόσο στη διδακτική της Χημείας όσο και στο πεδίο της ειδικής αγωγής, προσφέροντας ένα παράδειγμα εμπειρικά τεκμηριωμένης και συμπεριληπτικής παρέμβασης στο γνωστικό αντικείμενο των μιγμάτων.

2. Ερευνητικό πλαίσιο και μεθοδολογία

2.1 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας

Ο κεντρικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μιας διδακτικής παρέμβασης για τη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές της Β΄ τάξης του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.. Η παρέμβαση βασίζεται στη διερευνητική μάθηση και στη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων και αποσκοπεί στην αντιμετώπιση εννοιολογικών δυσκολιών, καθώς και στην ενίσχυση της ενεργητικής συμμετοχής των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. Ειδικότερα, η παρέμβαση στοχεύει στη στήριξη των μαθητών, ώστε να μετακινηθούν από εμπειρικές, αποσπασματικές ή εσφαλμένες αντιλήψεις σχετικά με τα μίγματα και την ταξινόμηση των υλικών, προς πιο συνεκτικές και επιστημονικά αποδεκτές αναπαραστάσεις, προσαρμοσμένες στις ιδιαιτερότητες του πλαισίου της ειδικής αγωγής.

Σε συνάφεια με τον παραπάνω σκοπό, η έρευνα οργανώνεται γύρω από τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

Ποιες είναι οι αντιλήψεις και οι εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών της Β΄ τάξης του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. σχετικά με τα μίγματα, τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος και τις κατηγορίες ομογενών και ετερογενών μιγμάτων, πριν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης;

Πώς επηρεάζει η προτεινόμενη διδακτική παρέμβαση, η οποία βασίζεται σε διερευνητικές δραστηριότητες και στη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων, την κατανόηση των μαθητών του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. σχετικά με τα μίγματα και τις κατηγορίες τους, όπως αυτή αποτυπώνεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων των pre- και post- φύλλων εργασίας;

Σε ποιον βαθμό και με ποιον τρόπο η διδακτική παρέμβαση συμβάλλει στην ενίσχυση της συμμετοχής, του ενδιαφέροντος και της γνωστικής εμπλοκής των μαθητών της Β΄ τάξης ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. κατά τη διδασκαλία της έννοιας των μιγμάτων, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις και τις σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις με τους μαθητές;

2.2 Τύπος και σχεδιασμός της έρευνας

Η παρούσα μελέτη εντάσσεται στο πλαίσιο της έρευνας δράσης, καθώς επιδιώκει τη συστηματική διερεύνηση μιας εκπαιδευτικής πρακτικής στο φυσικό σχολικό περιβάλλον, με παράλληλο στόχο τη βελτίωση της διδασκαλίας και της μαθησιακής διαδικασίας (Cohen,

Manion & Morrison, 2018, σελ. 440-445· Kemmis, McTaggart, & Nixon, 2014, σελ. 63-68). Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης θεωρείται κατάλληλη, καθώς η έρευνα εστιάζει σε ένα συγκεκριμένο διδακτικό ζήτημα, δηλαδή στις αντιλήψεις και τις εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών σχετικά με τα μίγματα, και επιχειρεί να το αντιμετωπίσει μέσω μιας οργανωμένης, στοχευμένης και παιδαγωγικά τεκμηριωμένης παρέμβασης (Kemmis et al., 2014, σελ. 34-36).

Ο σχεδιασμός της έρευνας ακολουθεί τη λογική του σπειροειδούς κύκλου της έρευνας δράσης, ο οποίος περιλαμβάνει τα στάδια του σχεδιασμού, της εφαρμογής της δράσης, της συστηματικής παρατήρησης και του αναστοχασμού πάνω στα αποτελέσματα (Kemmis et al., 2014, σελ. 42-45· Mertler, 2017, σελ. 92-93). Στο πλαίσιο αυτό, η αρχική διερεύνηση των πρότερων αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος, καθώς και με τις κατηγορίες των ομογενών και ετερογενών μιγμάτων, αποτέλεσε τη βάση για τον σχεδιασμό της διδακτικής παρέμβασης. Παράλληλα, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την εφαρμογή της χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση της αποτελεσματικότητάς της σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης. Η διαδικασία αυτή συνάδει με την αντίληψη της έρευνας δράσης ως μορφής «εκπαιδευτικής έρευνας από τον/την εκπαιδευτικό», η οποία στοχεύει στη βελτίωση της καθημερινής διδακτικής πρακτικής μέσα από συνεχείς κύκλους παρέμβασης και αναστοχασμού (Cohen et al., 2018, σελ. 440-448).

Ως προς τη μεθοδολογική της συγκρότηση, η έρευνα έχει μικτό χαρακτήρα, καθώς συνδυάζει ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα, προκειμένου να αποδοθεί πληρέστερα η πολυπλοκότητα της μαθησιακής διαδικασίας στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 22-23, 188-190· Johnson & Christensen, 2020, σελ. 46-49). Τα ποσοτικά δεδομένα προκύπτουν από τη σύγκριση των επιδόσεων των μαθητών στα pre- και post- φύλλα εργασίας, μέσω των οποίων εξετάζεται η πιθανή μεταβολή στην κατανόηση βασικών εννοιών που σχετίζονται με τα μίγματα και τις κατηγορίες τους. Αντίστοιχα, τα ποιοτικά δεδομένα αντλούνται από τις παρατηρήσεις κατά την υλοποίηση της παρέμβασης και από σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις, οι οποίες συμβάλλουν στην αποτύπωση του βαθμού συμμετοχής, ενδιαφέροντος και γνωστικής εμπλοκής των μαθητών (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 22-23, 269-270· Mertler, 2017, σελ. 92-103).

Ο ερευνητικός σχεδιασμός μπορεί να χαρακτηριστεί ως μονο-ομαδικός, με προ- και μετα- μέτρηση στην ίδια ομάδα μαθητών, χωρίς ομάδα ελέγχου, επιλογή που

ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες του σχολικού πλαισίου και στις ιδιαιτερότητες της ειδικής εκπαίδευσης (Cohen et al., 2018, σελ. 280-287). Σε εφαρμοσμένες παρεμβάσεις αυτού του τύπου, ο στόχος δεν είναι η στατιστική γενίκευση των αποτελεσμάτων σε ευρύτερο πληθυσμό, αλλά η εις βάθος κατανόηση μιας συγκεκριμένης διδακτικής περίπτωσης και η εξαγωγή τεκμηριωμένων συμπερασμάτων για την εκπαιδευτική πρακτική μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο (Cohen et al., 2018, σελ. 186-189).

Η καταλληλότητα της έρευνας δράσης για την παρούσα μελέτη συνδέεται επίσης με το γεγονός ότι επιτρέπει την άμεση σύνδεση θεωρίας και πράξης, δίνοντας έμφαση σε παρεμβάσεις που είναι εφαρμόσιμες, προσαρμοσμένες στο πλαίσιο της τάξης και ευαίσθητες στις ιδιαίτερες εκπαιδευτικές ανάγκες των μαθητών (Koshy, 2010, σελ. 1-4, 9-10· Mertler, 2017, σελ. 92-93, 118-119). Ιδιαίτερα σε σχολικά περιβάλλοντα ειδικής αγωγής, η έρευνα δράσης αξιοποιείται συχνά για τον εντοπισμό μαθησιακών δυσκολιών, τη συλλογή αρχικών δεδομένων, την εφαρμογή στοχευμένων διδακτικών στρατηγικών και την επαναξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους μέσα από την ίδια τη διδακτική πράξη (Hine, 2013· Mertler, 2017, σελ. 1-3, 5-7).

2.3 Πλαίσιο υλοποίησης της έρευνας

Η παρούσα έρευνα υλοποιήθηκε στο Ενιαίο Ειδικό Επαγγελματικό Γυμνάσιο–Λύκειο (ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.), σχολική μονάδα ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης που ανήκει στο δίκτυο σχολείων ειδικής αγωγής του Υπουργείου παιδείας και λειτουργεί σε πόλη της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας. Η λειτουργία του σχολείου διέπεται από τον Ν. 3699/2008 «Ειδική Αγωγή και Εκπαίδευση ατόμων με αναπηρία ή με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες» (ΦΕΚ 199/Α΄/2008), ο οποίος καθορίζει το θεσμικό πλαίσιο για την παροχή εξειδικευμένης εκπαιδευτικής υποστήριξης σε μαθητές με διαγνωσμένες ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (ΕΕΑ), με στόχο την ισότιμη πρόσβαση στην εκπαίδευση και την ανάπτυξη των δυνατοτήτων τους (Ν. 3699/2008, άρθρα 1, 2, 5).

Τα ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. αποτελούν αυτοτελείς σχολικές μονάδες δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίες απευθύνονται σε μαθητές των οποίων οι εκπαιδευτικές ανάγκες δεν μπορούν να καλυφθούν επαρκώς στο πλαίσιο της γενικής εκπαίδευσης, ακόμη και με την παροχή υποστηρικτικών υπηρεσιών (Ν. 3699/2008, άρθρο 5). Σύμφωνα με το ισχύον θεσμικό πλαίσιο, η διάγνωση των ειδικών εκπαιδευτικών αναγκών και η εισήγηση για το κατάλληλο εκπαιδευτικό πλαίσιο (π.χ. φοίτηση σε ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.) πραγματοποιούνται από

τα αρμόδια κέντρα αξιολόγησης (ΚΕΔΔΥ/ΚΕΣΥ/ΚΕ.Δ.Α.Σ.Υ.), τα οποία διερευνούν τις εκπαιδευτικές, ψυχολογικές και κοινωνικές ανάγκες του μαθητή (Ν. 3699/2008, άρθρα 3–4).

Το ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. περιλαμβάνει δύο βαθμίδες εκπαίδευσης: το Ειδικό Γυμνάσιο, με τέσσερις τάξεις (Α΄, Β΄, Γ΄ και Δ΄ Γυμνασίου), και το Ειδικό Επαγγελματικό Λύκειο, επίσης με τέσσερις τάξεις (Α΄, Β΄, Γ΄ και Δ΄ Λυκείου), εξυπηρετώντας μαθητές με ΕΕΑ από την ευρύτερη περιοχή του Νομού Ηλείας (Ν. 4415/2016, άρθρο 48, παρ. 4). Η φοίτηση στο Ειδικό Γυμνάσιο ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. είναι τετραετής, όπως και η φοίτηση στο Ειδικό Επαγγελματικό Λύκειο, συγκροτώντας συνολικά οκτώ έτη δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στο πλαίσιο της ειδικής επαγγελματικής εκπαίδευσης (Ν. 4415/2016, άρθρο 48, παρ. 4). Η επιμήκυνση της διάρκειας φοίτησης συνδέεται με την ανάγκη προσαρμογής στους ρυθμούς μάθησης και στις αναπτυξιακές ανάγκες των μαθητών με ΕΕΑ, όπως προκύπτει από τον σκοπό της ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης (Ν. 3699/2008).

Στο Γυμνάσιο των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. εφαρμόζεται ωρολόγιο πρόγραμμα που περιλαμβάνει βασικά γνωστικά αντικείμενα αντίστοιχα με εκείνα του Γυμνασίου γενικής εκπαίδευσης (π.χ. Νεοελληνική Γλώσσα, Μαθηματικά, Φυσικές Επιστήμες, Ιστορία, Ξένες Γλώσσες κ.ά.), όπως ορίζεται στην αντίστοιχη υπουργική απόφαση (ΦΕΚ 4037/Β΄/2021). Παράλληλα, το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής καθορίζει αναλυτικά την ύλη και παρέχει ειδικές οδηγίες διδασκαλίας για τα μαθήματα του Γυμνασίου και του Λυκείου ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ, στο πλαίσιο της προσαρμογής της διδασκαλίας στις ιδιαίτερες εκπαιδευτικές ανάγκες των μαθητών με ΕΕΑ (ΙΕΠ, 2025). Στο Ειδικό Γυμνάσιο των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. η φοίτηση είναι τετραετής, γεγονός που επιτρέπει η διδασκαλία των βασικών μαθημάτων να εκτείνεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με το τριετές Γυμνάσιο γενικής εκπαίδευσης (Ν. 4415/2016, άρθρο 48). Το ωρολόγιο πρόγραμμα περιλαμβάνει γενικά μαθήματα, όπως Νεοελληνική Γλώσσα και Γραμματεία, Μαθηματικά, Φυσικές Επιστήμες, Ιστορία, Αγγλικά κ.ά., καθώς και μαθήματα τεχνολογικής και πρακτικής κατεύθυνσης, όπως Τεχνολογία, Πληροφορική και Οικιακή Οικονομία (ΦΕΚ 4037/Β΄/2021). Παράλληλα, στο πρόγραμμα εντάσσονται ο Σχολικός Επαγγελματικός Προσανατολισμός, η Ζώνη Δημιουργικών Δραστηριοτήτων και τα Εργαστήρια Δεξιοτήτων, τα οποία στοχεύουν στην ανάπτυξη πρακτικών, κοινωνικών και επαγγελματικών δεξιοτήτων των μαθητών (ΦΕΚ 4037/Β΄/2021).

Στο Ειδικό Επαγγελματικό Λύκειο των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. το πρόγραμμα σπουδών οργανώνεται σε τομείς και ειδικότητες, κατά ανάλογο τρόπο με την επαγγελματική δομή των Επαγγελματικών Λυκείων (ΕΠΑ.Λ.), παρέχοντας επαγγελματική εκπαίδευση και κατάρτιση σε συγκεκριμένους κλάδους (ΦΕΚ 2103/Β'/2017). Για τους τομείς και τις ειδικότητες του Λυκείου ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ το ΙΕΠ καθορίζει την ύλη και τις οδηγίες διδασκαλίας των μαθημάτων γενικής παιδείας και των τεχνολογικών-επαγγελματικών μαθημάτων, εναρμονισμένες με το πλαίσιο της επαγγελματικής δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (ΙΕΠ, 2025). Οι τομείς που προβλέπεται να λειτουργούν στα ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τον Τομέα Πληροφορικής, τον Τομέα Γεωπονίας, Τροφίμων και Περιβάλλοντος, τον Τομέα Υγείας, Πρόνοιας και Ευεξίας, τον Τομέα Μηχανολογίας, καθώς και τον Τομέα Διοίκησης και Οικονομίας με ειδικότητες σχετικές με τον τουρισμό, ανάλογα με τις δυνατότητες και τον εξοπλισμό κάθε σχολικής μονάδας (ΦΕΚ 2103/Β'/2017). Στο Λύκειο των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. οι μαθητές παρακολουθούν μαθήματα γενικής παιδείας, τεχνολογικά και επαγγελματικά μαθήματα του τομέα τους, καθώς και μαθήματα ειδικότητας στις ανώτερες τάξεις, σύμφωνα με την καθορισμένη ύλη και τις οδηγίες διδασκαλίας του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής (ΙΕΠ, 2025).

Η εκπαιδευτική διαδικασία στο ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. εντάσσεται στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης και οργανώνεται με βάση Εξατομικευμένα Προγράμματα Εκπαίδευσης, στα οποία αποτυπώνονται προσαρμοσμένοι εκπαιδευτικοί στόχοι και μορφές υποστήριξης ανάλογα με τις ανάγκες κάθε μαθητή (Ν. 3699/2008). Σύμφωνα με τις πρόσφατες οδηγίες για τη λειτουργία των θεσμών ενταξιακής εκπαίδευσης, η εκπαιδευτική παρέμβαση σχεδιάζεται και υλοποιείται κατόπιν αξιολόγησης και συναίνεσης της οικογένειας, με εφαρμογή εξατομικευμένων προγραμμάτων και συνεργασία των εμπλεκόμενων φορέων (ΥΠΑΙΘ, 2023). Η διαφοροποιημένη παιδαγωγική αποτελεί τη βασική μεθοδολογική αρχή για την εφαρμογή των ΕΕΠ, καθώς λαμβάνει υπόψη τη μαθητική ετερογένεια και προσαρμόζει το περιεχόμενο, τη διαδικασία και τα μαθησιακά αποτελέσματα στις δυνατότητες και στα ενδιαφέροντα κάθε μαθητή (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020).

Τα προγράμματα σπουδών της ειδικής αγωγής δίνουν έμφαση σε βιωματικές μορφές μάθησης, στη χρήση οπτικοποιημένου και πολυτροπικού υλικού και στη σύνδεση των σχολικών γνώσεων με την καθημερινή ζωή των μαθητών με ΕΕΑ, ώστε να διευκολύνεται η κατανόηση και η ενεργός συμμετοχή τους (ΙΕΠ, 2011). Στο πλαίσιο της ενταξιακής

εκπαίδευσης, η διαφοροποιημένη παιδαγωγική προτείνεται ως βασική μεθοδολογική προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τη μαθητική ετερογένεια και προσαρμόζει περιεχόμενο, διδακτικές διαδικασίες και μορφές αξιολόγησης στις δυνατότητες και στα ενδιαφέροντα κάθε μαθητή (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020). Η διαφοροποιημένη παιδαγωγική αναγνωρίζεται ως βασικό εργαλείο προώθησης της ενταξιακής εκπαίδευσης, καθώς επιτρέπει την προσαρμογή των εκπαιδευτικών πρακτικών σύμφωνα με τον πολυαισθητηριακό χαρακτήρα των δραστηριοτήτων, τα ενδιαφέροντα και το μαθησιακό στυλ των μαθητών, το επικοινωνιακό τους κίνητρο και τη Ζώνη Εγγύτερης Ανάπτυξης (ΖΕΑ), ώστε να διασφαλίζεται η ενεργή συμμετοχή όλων των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020).

Στο πλαίσιο της ενταξιακής εκπαίδευσης, η διαφοροποιημένη παιδαγωγική προϋποθέτει την αναγνώριση της ετερότητας του μαθητικού πληθυσμού και την αξιοποίηση της διαφορετικότητας ως στοιχείου εμπλουτισμού της εκπαιδευτικής διαδικασίας, αντί της προσπάθειας ομογενοποίησης (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020). Η αρχή αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για τη λειτουργία των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., όπου η ποικιλία ικανοτήτων, ενδιαφερόντων και μαθησιακών προφίλ των μαθητών με ΕΕΑ αντιμετωπίζεται ως αφετηρία για προσαρμογή του εκπαιδευτικού έργου και όχι ως εμπόδιο προς εξίσωση. Η διαφοροποιημένη παιδαγωγική, ως μεθοδολογική προσέγγιση, δεν περιορίζεται σε επιμέρους τεχνικές διδασκαλίας, αλλά συνιστά μια ολιστική αντίληψη που επανεξετάζει τους εκπαιδευτικούς στόχους, το περιεχόμενο της διδασκαλίας και τις διαδικασίες αξιολόγησης, στο πλαίσιο ενός ενταξιακού εκπαιδευτικού συστήματος. Βασίζεται στις αρχές των διεθνών συμβάσεων για τα δικαιώματα του παιδιού και των ατόμων με αναπηρίες, οι οποίες κατοχυρώνουν το δικαίωμα όλων των παιδιών σε εκπαίδευση χωρίς διακρίσεις και σε ενταξιακά, υποστηρικτικά περιβάλλοντα (ΟΗΕ, 1989· ΟΗΕ, 2006· Ν. 4074/2012). Σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα, η ειδική αγωγή και εκπαίδευση αποσκοπεί στην ανάπτυξη των δυνατοτήτων των μαθητών με αναπηρία ή/και ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, στην ενίσχυση της αυτονομίας τους και στη διευκόλυνση της κοινωνικής τους ένταξης μέσα από κατάλληλες εκπαιδευτικές υπηρεσίες σε όλες τις βαθμίδες (Ν. 3699/2008, άρθρο 1).

Σε οργανωτικό επίπεδο, τα ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό μαθητών ανά τμήμα. Ο αριθμός των φοιτούντων ανά τμήμα γενικής παιδείας, τομέα ή ειδικότητας ορίζεται από κατ' ελάχιστον πέντε (5) έως κατ' ανώτατο όριο εννέα (9) μαθητές,

με δυνατότητα περαιτέρω μείωσης σε εξαιρετικές περιπτώσεις, ώστε να διασφαλίζεται η εξατομικευμένη προσέγγιση και η ενεργός συμμετοχή όλων των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία (Ν. 3699/2008, άρθρο 8). Η διδακτική και υποστηρικτική ομάδα των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. περιλαμβάνει εκπαιδευτικούς γενικής και ειδικής αγωγής, εκπαιδευτικούς επαγγελματικών μαθημάτων, καθώς και Ειδικό Εκπαιδευτικό και Ειδικό Βοηθητικό Προσωπικό, με σκοπό την υποστήριξη της εκπαιδευτικής διαδικασίας και την κάλυψη των πολλαπλών αναγκών των μαθητών (Ν. 3699/2008, άρθρα 11, 12).

Τέλος, η υλικοτεχνική υποδομή των ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. περιλαμβάνει εξειδικευμένο εξοπλισμό και εποπτικά μέσα, καθώς και επαγγελματικά εργαστήρια ανά τομέα και ειδικότητα, τα οποία είναι εξοπλισμένα με κατάλληλα εργαλεία, υλικά και τεχνολογικά μέσα για την ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων και την προσαρμογή του εκπαιδευτικού υλικού στις ανάγκες των μαθητών (ΦΕΚ 2103/Β'/2017· ΙΕΠ, 2011). Η χρήση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) και των βοηθητικών τεχνολογιών στην ειδική αγωγή έχει τεκμηριωθεί ότι μπορεί να βελτιώσει την πρόσβαση στη γνώση, να ενισχύσει την αυτονομία και να αυξήσει τη συμμετοχή των μαθητών με αναπηρίες σε ακαδημαϊκές και επαγγελματικές δραστηριότητες (Bouck & Flanagan, 2010· Edyburn, 2013).

2.4 Δείγμα και συμμετέχοντες

Το εμπειρικό σκέλος της παρούσας έρευνας υλοποιήθηκε με τη συμμετοχή έξι μαθητών της Β' τάξης Γυμνασίου του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., οι οποίοι φοιτούσαν στο τμήμα στο οποίο εφαρμόστηκε η διδακτική παρέμβαση. Το δείγμα αποτελεί δείγμα ευκολίας, καθώς προέρχεται από το ήδη υπάρχον σχολικό πλαίσιο και αντανακλά την πραγματική σύνθεση της συγκεκριμένης τάξης, στοιχείο που θεωρείται συμβατό με τον χαρακτήρα και τον προσανατολισμό της έρευνας δράσης.

Ως προς το προφίλ των συμμετεχόντων, όλοι οι μαθητές φοιτούσαν σε τμήμα ειδικής αγωγής της Β' τάξης Ειδικού Γυμνασίου και παρουσίαζαν διαφορετικές εκπαιδευτικές και ψυχοκοινωνικές δυσκολίες. Στο δείγμα περιλαμβάνονταν μαθητές με δυσκολίες που εντάσσονται στο φάσμα των νοητικών και αναπτυξιακών διαταραχών, καθώς και μία περίπτωση χρόνιων σωματικών προβλημάτων υγείας. Η ετερογενής αυτή σύνθεση του μαθητικού πληθυσμού αναδεικνύει την πολυπλοκότητα του συγκεκριμένου

εκπαιδευτικού πλαισίου και τεκμηριώνει την ανάγκη για διαφοροποιημένες, παιδαγωγικά ευέλικτες και προσβάσιμες διδακτικές πρακτικές.

Η παρουσίαση των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων περιορίζεται αποκλειστικά σε στοιχεία που κρίνονται παιδαγωγικά και ερευνητικά συναφή με τον σκοπό της μελέτης και απαραίτητα για την ερμηνεία των ευρημάτων. Παράλληλα, η αναφορά στα δεδομένα αυτά πραγματοποιείται σε συγκεντρωτικό και ανώνυμο επίπεδο, ώστε να διασφαλίζεται η προστασία της ιδιωτικότητας των μαθητών και η τήρηση των δεοντολογικών αρχών που διέπουν την εκπαιδευτική έρευνα.

2.5 Ανάπτυξη της διδακτικής παρέμβασης

Η διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αποσκοπεί στην αντιμετώπιση των εννοιολογικών δυσκολιών και των εσφαλμένων αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τα μίγματα, μέσω της αξιοποίησης ψηφιακών προσομοιώσεων και διερευνητικών δραστηριοτήτων. Ο σχεδιασμός της παρέμβασης βασίστηκε στο εποικοδομιστικό μοντέλο διδασκαλίας των Driver και Oldham (1986), προσαρμοσμένο σε τρεις βασικές φάσεις: την εκμαίευση (elicitation), την αναδόμηση των ιδεών (restructuring of ideas) και την ανασκόπηση (review) (Driver & Oldham, 1986). Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου θεωρήθηκε κατάλληλη, καθώς έχει τεκμηριωθεί η αποτελεσματικότητά του στην ανίχνευση και αναδιοργάνωση των εσφαλμένων αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη μικροσκοπική φύση της ύλης και τις έννοιες των μιγμάτων (Arini et al., 2025· Dewi et al., 2024· Popović et al., 2025).

Η συνολική διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης ήταν τρία διδακτικά μαθήματα των 45 λεπτών, τα οποία υλοποιήθηκαν μέσα σε μία εβδομάδα, ώστε να εξασφαλιστεί επαρκής χρόνος για την εμβάθυνση στις βασικές έννοιες, τη διερευνητική δραστηριοποίηση των μαθητών και τη χρήση των ψηφιακών εργαλείων. Η παρέμβαση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος της Χημείας της Β΄ τάξης Ειδικού Γυμνασίου, σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών του ΙΕΠ (2011), το οποίο προβλέπει την προσαρμογή της διδακτέας ύλης στις ιδιαίτερες ανάγκες των μαθητών με ΕΕΑ μέσω της διαφοροποιημένης παιδαγωγικής (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020).

Η δομή της παρέμβασης ακολουθεί σπειροειδή λογική, όπου κάθε φάση βασίζεται στην προηγούμενη και συμβάλλει σταδιακά στην ανάπτυξη της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών. Κατά τη φάση της εκμαίευσης, διερευνώνται οι πρότερες αντιλήψεις των

μαθητών μέσω ερωτηματολογίου (pre-test) και συζήτησης στην τάξη. Στη φάση της αναδόμησης, οι μαθητές συμμετέχουν σε hands-on πειράματα και αξιοποιούν ψηφιακές προσομοιώσεις (PhET), προκειμένου να αμφισβητήσουν και να αναδιοργανώσουν τις αρχικές, μη επιστημονικές ιδέες τους. Τέλος, κατά τη φάση της ανασκόπησης, αξιολογείται η εννοιολογική αλλαγή μέσω post-test και αναστοχαστικής συζήτησης σχετικά με όσα προηγήθηκαν (Driver & Oldham, 1986· Posner et al., 1982· Vosniadou et al., 2008).

Η διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε επίσης με βάση τις αρχές του UDL (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025) και της διαφοροποιημένης παιδαγωγικής (Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020), παρέχοντας πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης της γνώσης, όπως οπτικά, απτικά και ψηφιακά μέσα, πολλαπλές μορφές έκφρασης της κατανόησης, όπως προφορική, γραπτή και διαγραμματική απόδοση, καθώς και διαφορετικά επίπεδα εμπλοκής μέσα από hands-on δραστηριότητες, προσομοιώσεις και συζήτηση. Με τον τρόπο αυτό επιδιώχθηκε η προσαρμογή της παρέμβασης στις διαφορετικές μαθησιακές ανάγκες των μαθητών με ΕΕΑ και η ενίσχυση της ενεργού συμμετοχής τους στη μαθησιακή διαδικασία.

2.5.1 Διδακτικοί στόχοι για τα μίγματα

Οι διδακτικοί στόχοι της παρέμβασης διαμορφώθηκαν με βάση τις βασικές εννοιολογικές δυσκολίες που έχουν καταγραφεί στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τα μίγματα και τη μικροσκοπική τους φύση (Nakhleh, 1992· Kind, 2004· Andersson, 1990· Suparman et al., 2024), καθώς και σύμφωνα με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών του ΙΕΠ (2011) για τα σχολεία ειδικής αγωγής. Οι στόχοι οργανώνονται σε τρεις κατηγορίες - γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις- σύμφωνα με την ταξινόμια εκπαιδευτικών στόχων (Κόκκος & Λιοναράκης, 1998, σελ. 134-136).

Ως προς το γνωστικό επίπεδο, οι στόχοι επικεντρώνονται στην εννοιολογική κατανόηση των μιγμάτων τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο. Οι μαθητές αναμένεται να μπορούν να διακρίνουν τις καθαρές ουσίες από τα μίγματα, κατανοώντας ότι οι καθαρές ουσίες διαθέτουν σταθερή χημική σύσταση, όπως το νερό, η ζάχαρη και το αλάτι, ενώ τα μίγματα αποτελούνται από δύο ή περισσότερες ουσίες που διατηρούν τις ιδιότητές τους και μπορούν να διαχωριστούν με φυσικές μεθόδους (Barke et al., 2008, σελ41-42· Kind, 2004· Suparman et al., 2024). Παράλληλα, αναμένεται να κατηγοριοποιούν τα μίγματα σε ομογενή και ετερογενή, αναγνωρίζοντας ότι τα ομογενή μίγματα ή διαλύματα παρουσιάζουν ομοιόμορφη εμφάνιση και τα συστατικά τους δεν

διακρίνονται με γυμνό μάτι, όπως συμβαίνει στο αλατόνερο, στον χυμό ή στον αέρα, ενώ στα ετερογενή μίγματα τα συστατικά παραμένουν διακριτά, όπως στο μίγμα νερού και άμμου, νερού και λαδιού ή στη σαλάτα (Stains & Talanquer, 2007· Stojanovska et al., 2012· Arini et al., 2025).

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην κατανόηση της μικροσκοπικής φύσης των μιγμάτων, καθώς οι μαθητές αναμένεται να αντιλαμβάνονται ότι τα μίγματα αποτελούνται από σωματίδια, δηλαδή μόρια ή άτομα των συστατικών τους, τα οποία διατηρούν την ταυτότητά τους και δεν μεταβάλλονται κατά την ανάμειξη (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Bucat & Mocerino, 2009). Στα ομογενή μίγματα τα σωματίδια κατανέμονται ομοιόμορφα, όπως τα μόρια ζάχαρης ανάμεσα στα μόρια νερού, ενώ στα ετερογενή μίγματα δημιουργούνται διακριτές περιοχές συγκέντρωσης των σωματιδίων (Andersson, 1990· Nakhleh, 1992). Οι μαθητές θα πρέπει επίσης να συνδέουν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις με μικροσκοπικές αναπαραστάσεις των μιγμάτων, εξηγώντας φαινόμενα όπως η «εξαφάνιση» της ζάχαρης στο νερό μέσα από τη διασπορά των μορίων της ανάμεσα στα μόρια του νερού, γεφυρώνοντας έτσι τα τρία επίπεδα αναπαράστασης της Χημείας —μακροσκοπικό, μικροσκοπικό και συμβολικό— (Gilbert & Treagust, 2009· Santos & Arroio, 2016· Slapničar et al., 2018).

Σε επίπεδο δεξιοτήτων, οι στόχοι αφορούν την ανάπτυξη διερευννητικών ικανοτήτων που σχετίζονται με τη μελέτη των μιγμάτων. Οι μαθητές αναμένεται να διατυπώνουν υποθέσεις σχετικά με τη συμπεριφορά των μιγμάτων, προβλέποντας τι θα συμβεί όταν αναμειγνύονται διαφορετικές ουσίες, όπως αν το αλάτι θα διαλυθεί στο νερό ή αν η άμμος θα σχηματίσει ομογενές ή ετερογενές μίγμα, και να αιτιολογούν τις προβλέψεις τους με βάση τις αντιλήψεις τους για τη μικροσκοπική φύση της ύλης (Hinostroza et al., 2024· Mukti, 2025· Dewi et al., 2024). Παράλληλα, θα πρέπει να αναπτύξουν την ικανότητα παρατήρησης και καταγραφής ιδιοτήτων των μιγμάτων, περιγράφοντας χαρακτηριστικά όπως η διαφάνεια, η ομοιομορφία, το χρώμα ή η κατακάθιση και οργανώνοντας τις παρατηρήσεις τους σε φύλλα εργασίας, πίνακες ή διαγράμματα (Dewi et al., 2024· Arini et al., 2025· Geveke et al., 2016).

Κεντρική θέση κατέχει επίσης η ικανότητα ερμηνείας πειραματικών αποτελεσμάτων, καθώς οι μαθητές θα πρέπει να αναλύουν δεδομένα από πειράματα διάλυσης και να διατυπώνουν συμπεράσματα, όπως ότι η ζάχαρη διαλύεται ομοιόμορφα στο νερό σχηματίζοντας ομογενές μίγμα, ενώ το λάδι παραμένει σε ξεχωριστό στρώμα και

σχηματίζει ετερογενές μίγμα (Geveke et al., 2016· Stains & Talanquer, 2007). Παράλληλα, επιδιώκεται η ανάπτυξη της ικανότητας δημιουργίας μικροσκοπικών αναπαραστάσεων μιγμάτων, μέσω σχεδίων και διαγραμμάτων που αποτυπώνουν τη διάταξη των σωματιδίων σε διαφορετικά μίγματα, όπως το αλατόνερο, ο αέρας ή το μίγμα νερού και άμμου (Gilbert & Treagust, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Santos & Arroio, 2016).

Εξίσου σημαντική θεωρείται η ικανότητα σύγκρισης διαφορετικών μιγμάτων, καθώς οι μαθητές αναμένεται να αναγνωρίζουν ομοιότητες και διαφορές τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο, κατανοώντας ότι διαφορετικά μίγματα εμφανίζουν διαφορετική μικροσκοπική δομή (Stojanovska et al., 2012· Popović et al., 2025). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται και στη χρήση ψηφιακών προσομοιώσεων, καθώς οι μαθητές θα πρέπει να εξοικειωθούν με την αξιοποίηση του PhET, ώστε να παρατηρούν τη μικροσκοπική συμπεριφορά των μιγμάτων και να εξάγουν συμπεράσματα για τη σχέση ανάμεσα στις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές ιδιότητες (Mikropoulos, 2023· Kefalis et al., 2025· Yildirim & Karabulut, 2023).

Η επικοινωνία επιστημονικών ιδεών αποτελεί επίσης σημαντική δεξιότητα, καθώς οι μαθητές καλούνται να εκφράζουν τις απόψεις και τα συμπεράσματά τους τόσο προφορικά όσο και γραπτά, χρησιμοποιώντας βασική επιστημονική ορολογία, όπως «μίγμα», «διάλυμα», «διαλύτης», «διαλυμένη ουσία», «ομογενές» και «ετερογενές», και να στηρίζουν τις εξηγήσεις τους σε πειραματικά δεδομένα (Mukti, 2025· Vilardo et al., 2017). Παράλληλα, αναμένεται να αναπτύξουν δεξιότητες κριτικού αναστοχασμού, συγκρίνοντας τις αρχικές τους αντιλήψεις -όπως ότι η ζάχαρη «εξαφανίζεται» στο νερό ή ότι η ανάμειξη ουσιών δημιουργεί πάντα νέα ουσία- με τα αποτελέσματα των πειραμάτων και τις επιστημονικές εξηγήσεις, αναγνωρίζοντας και αναθεωρώντας τις λανθασμένες τους ιδέες (Posner et al., 1982· Vosniadou et al., 2008· Taber, 2013).

Σε επίπεδο στάσεων, οι στόχοι σχετίζονται με την ανάπτυξη θετικής στάσης απέναντι στη Χημεία και ειδικότερα στη μελέτη των μιγμάτων. Οι μαθητές αναμένεται να αναπτύξουν ενδιαφέρον για την κατανόηση καθημερινών φαινομένων που σχετίζονται με μίγματα, αναγνωρίζοντας ότι αυτά υπάρχουν παντού στην καθημερινή ζωή, όπως στον αέρα, στους χυμούς, στο θαλασσίνο νερό, στα τρόφιμα ή στα καθαριστικά προϊόντα, και ότι η κατανόησή τους συμβάλλει στην ερμηνεία καθημερινών καταστάσεων και στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων (Coştu et al., 2007· Yildirim & Karabulut, 2023). Παράλληλα, επιδιώκεται η ενίσχυση της αυτοπεποίθησής τους σχετικά με την κατανόηση της

μικροσκοπικής φύσης της ύλης, μέσα από τη χρήση οπτικοποιήσεων και ψηφιακών εργαλείων που καθιστούν αφηρημένες έννοιες περισσότερο προσιτές και κατανοητές (Rai et al., 2025· Benite et al., 2022· Mikropoulos, 2023).

Ιδιαίτερη σημασία αποδίδεται επίσης στην ανάπτυξη στάσης επιστημονικού αναστοχασμού, καθώς οι μαθητές καλούνται να αναθεωρούν τις αρχικές τους αντιλήψεις όταν έρχονται αντιμέτωποι με πειραματικές αποδείξεις ή οπτικοποιήσεις που τις αμφισβητούν, αναγνωρίζοντας ότι η επιστήμη βασίζεται στη συνεχή αναθεώρηση των ιδεών μέσα από δεδομένα και αποδείξεις (Posner et al., 1982· Chi, 2005). Παράλληλα, αναμένεται να εκτιμήσουν τη συμβολή της τεχνολογίας στην οπτικοποίηση των μιγμάτων και της μικροσκοπικής φύσης της ύλης, αναγνωρίζοντας την αξία των ψηφιακών προσομοιώσεων ως εργαλείων που καθιστούν το αόρατο ορατό και διευκολύνουν την εννοιολογική κατανόηση (Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023· Kefalis et al., 2025).

Τέλος, επιδιώκεται η ανάπτυξη θετικής στάσης απέναντι στη συνεργατική μάθηση, καθώς οι μαθητές καλούνται να συμμετέχουν σε ομαδικές δραστηριότητες, να συνεργάζονται κατά την εκτέλεση πειραμάτων και να ανταλλάσσουν ιδέες για την ερμηνεία των παρατηρήσεών τους, κατανοώντας ότι η επιστήμη αποτελεί κοινωνική διαδικασία (Driver & Oldham, 1986· Arini et al., 2025). Παράλληλα, μέσα από τη συμμετοχή σε πειραματικές και ψηφιακές δραστηριότητες, αναμένεται να αναπτύξουν αίσθημα επιτυχίας και αυξημένη αυτοαποτελεσματικότητα στη μάθηση της Χημείας, μειώνοντας το άγχος που συχνά συνδέεται με τις Φυσικές Επιστήμες (Rai et al., 2025· Benite et al., 2022· Τσερμίδου & Ζώνιου-Σιδέρη, 2020).

Η τριμερής κατηγοριοποίηση των διδακτικών στόχων σε γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις διασφαλίζει μια ολιστική προσέγγιση της μάθησης, η οποία δεν περιορίζεται στην απομνημόνευση πληροφοριών, αλλά αποσκοπεί στην ανάπτυξη μαθητών που μπορούν να σκέφτονται κριτικά, να συμμετέχουν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία και να διαμορφώνουν θετική στάση απέναντι στην επιστήμη (Driver & Oldham, 1986).

2.5.2 Δομή και φάσεις του διδακτικού σεναρίου

Για την επίτευξη των διδακτικών στόχων που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, η παρέμβαση οργανώθηκε σε τρεις βασικές φάσεις, σύμφωνα με το μοντέλο CLIS των Driver

και Oldham (1986). Η πρώτη φάση, της εκμαίευσης (elicitation), αποσκοπεί στην ανάδειξη και καταγραφή των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος, καθώς και με την ταξινόμηση των μιγμάτων σε ομογενή και ετερογενή. Η δεύτερη φάση, της αναδόμησης των ιδεών (restructuring), στοχεύει στην επεξεργασία και αναδιοργάνωση των αντιλήψεων αυτών μέσα από πειραματικές δραστηριότητες, καθοδηγούμενη διερεύνηση και αξιοποίηση ψηφιακών προσομοιώσεων. Τέλος, η τρίτη φάση, της ανασκόπησης (review), επιδιώκει να υποστηρίξει τον αναστοχασμό των μαθητών και τη σταθεροποίηση των νέων εννοιολογικών δομών που διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Κάθε φάση της διδακτικής παρέμβασης παρουσιάζεται αναλυτικά στις επόμενες υποενότητες.

2.5.2.1 Φάση Εκμαίευσης

Η φάση της εκμαίευσης συμβάλλει άμεσα στην απάντηση του πρώτου ερευνητικού ερωτήματος, καθώς βασικός της στόχος είναι η συστηματική διερεύνηση και αποτύπωση των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών της Β΄ τάξης του Γυμνασίου ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ. σχετικά με τα μίγματα. Η συγκεκριμένη φάση έχει συνολική διάρκεια περίπου 45 λεπτών και οργανώνεται σε τρεις επιμέρους υποφάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν στα στάδια προσανατολισμός (orientation), ανάδειξη/ανάκληση ιδεών (elicitation) και διευκρίνιση και ανταλλαγή ιδεών (clarification and exchange of ideas) του μοντέλου CLIS (Driver & Oldham, 1986)

Η πρώτη υποφάση αφορά τον προσανατολισμό των μαθητών και την ενεργοποίηση των εμπειριών και των πρότερων γνώσεων τους γύρω από καθημερινά παραδείγματα μιγμάτων. Η δεύτερη υποφάση περιλαμβάνει την ατομική εκμαίευση των αντιλήψεων μέσω της συμπλήρωσης του pre-test, με στόχο την καταγραφή των αρχικών ιδεών και πιθανών παρανοήσεων των μαθητών σχετικά με τη διάκριση καθαρών ουσιών και μιγμάτων, καθώς και με τις κατηγορίες των ομογενών και ετερογενών μιγμάτων. Στην τρίτη υποφάση πραγματοποιείται ομαδική εκμαίευση και συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης, κατά την οποία οι μαθητές καλούνται να παρουσιάσουν και να συγκρίνουν τις απόψεις τους, να αιτιολογήσουν τις απαντήσεις τους και να ανταλλάξουν ιδέες με τους συμμαθητές τους. Στον Πίνακα 2-1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι υποφάσεις της φάσης εκμαίευσης, η

ενδεικτική διάρκειά τους, οι βασικές δραστηριότητες που υλοποιούνται και οι κύριοι διδακτικοί στόχοι κάθε υποφάσης

Πίνακας 2-1. Υποφάσεις της φάσης εκμείευσης

Υποφάση	Ενδεικτική διάρκεια	Βασικές δραστηριότητες	Παιδαγωγικός στόχος
Προσανατολισμός και ενεργοποίηση εμπειριών	5–10 λεπτά	Παρουσίαση αυθεντικών υλικών, όπως εμφιαλωμένο νερό, ζάχαρη, νερό με ζάχαρη ή νερό με φακές, σαλάτα, ξηροί καρποί και χυμοί. Οι μαθητές περιγράφουν προφορικά τα υλικά και τα συνδέουν με εμπειρίες της καθημερινής ζωής.	Ενεργοποίηση της προϋπάρχουσας γνώσης και των βιωματικών εμπειριών των μαθητών. Ανάδειξη αρχικών μακροσκοπικών κριτηρίων ταξινόμησης, όπως «φαίνεται καθαρό» ή «έχει κομμάτια».
Ατομική εκμείευση μέσω pre-test	10–15 λεπτά	Ατομική συμπλήρωση του pre-test «Μίγματα και καθαρές ουσίες» με two-tier ερωτήσεις που αφορούν μακροσκοπικές καταστάσεις και σωματιδιακές αναπαραστάσεις. Παρέχεται δυνατότητα προφορικών απαντήσεων όπου απαιτείται.	Συστηματική αποτύπωση των αρχικών αντιλήψεων σχετικά με τις καθαρές ουσίες, τα μίγματα, τα ομογενή και τα ετερογενή μίγματα, με προσαρμογές κατάλληλες για μαθητές ειδικής αγωγής.
Ομαδική εκμείευση και συζήτηση στην ολομέλεια	20–25 λεπτά	Οι μαθητές εργάζονται ομαδικά για την ταξινόμηση παραδειγμάτων σε κατηγορίες όπως «ένα ή περισσότερα υλικά» και «φαίνονται όλα ή φαίνεται σαν ένα». Ακολουθεί παρουσίαση και αιτιολόγηση των επιλογών στην ολομέλεια και καταγραφή χαρακτηριστικών φράσεων στον πίνακα.	Αποσαφήνιση και ανταλλαγή ιδεών μεταξύ των μαθητών. Ανάδειξη διαφορετικών τρόπων ταξινόμησης και εντοπισμός πιθανών αντιφάσεων στις αρχικές αντιλήψεις, ως βάση για εννοιολογική αλλαγή.

Στην πρώτη υποφάση, ο/η εκπαιδευτικός εισάγει στην τάξη αυθεντικά παραδείγματα από την καθημερινή εμπειρία των μαθητών, όπως εμφιαλωμένο νερό, ζάχαρη, νερό με διαλυμένη ζάχαρη, νερό με φακές, όσπρια, σαλάτα, μείγμα ξηρών καρπών και χυμούς με ή χωρίς κομμάτια. Οι μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν τα υλικά, να περιγράψουν όσα βλέπουν και να αναφέρουν καταστάσεις στις οποίες συναντούν αντίστοιχα παραδείγματα στην καθημερινότητά τους, χωρίς ακόμη να γίνεται χρήση των επιστημονικών όρων «μείγμα» και «καθαρή ουσία». Η αξιοποίηση πραγματικών αντικειμένων και πολυαισθητηριακών ερεθισμάτων, όπως η όραση, η αφή και η οσμή, βασίζεται στην εποικοδομητική θεώρηση της μάθησης ως διαδικασίας ενεργής οικοδόμησης νοήματος μέσα από εμπειρίες με προσωπική σημασία, ενώ η εκκίνηση από οικεία μακροσκοπικά παραδείγματα συνδέεται με προσεγγίσεις που υποστηρίζουν την ανάδειξη των πρότερων αντιλήψεων των μαθητών πριν από την εισαγωγή επιστημονικών εννοιών (Driver & Oldham, 1986· Arini et al., 2025· Dewi et al., 2024· Popović et al., 2025). Παράλληλα, η επιλογή των συγκεκριμένων παραδειγμάτων λαμβάνει υπόψη ερευνητικά ευρήματα σύμφωνα με τα οποία οι μαθητές βασίζονται συχνά σε μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως το αν ένα υλικό φαίνεται «καθαρό» ή αν περιέχει ορατά συστατικά, όταν επιχειρούν να το ταξινομήσουν, γεγονός που σχετίζεται με γνωστές παρανοήσεις γύρω από τα μίγματα και τις καθαρές ουσίες (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 6–9, 21–23, 27–29· Barke, et al., 2008, σελ. 37–45· Ayas et al., 2010).

Στη δεύτερη υποφάση, οι μαθητές συμπληρώνουν ατομικά το pre-test «Μίγματα και Καθαρές Ουσίες», το οποίο περιλαμβάνει ερωτήσεις τύπου two-tier σχετικές τόσο με μακροσκοπικές καταστάσεις της καθημερινότητας όσο και με σωματιδιακές αναπαραστάσεις. Οι μαθητές καλούνται να επιλέξουν απαντήσεις και αιτιολογήσεις με βάση τις προσωπικές τους αντιλήψεις, χωρίς καθοδήγηση από τον/την εκπαιδευτικό, ώστε να αποτυπωθούν οι αρχικές τους ιδέες για τις καθαρές ουσίες, τα μίγματα, καθώς και για τα ομογενή και ετερογενή μίγματα. Το pre-test έχει σχεδιαστεί με απλή και σαφή γλώσσα, συνοδεύεται από εικόνες και περιορισμένη έκταση κειμένου, ενώ παρέχεται η δυνατότητα ανάγνωσης των ερωτήσεων από τον/την εκπαιδευτικό ή προφορικής απάντησης από τους μαθητές, προσαρμογές που συνάδουν με τις αρχές της διαφοροποιημένης διδασκαλίας και του UDL για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Mikropoulos, 2023· Zejnilagić-Hajrić et al., 2015· Benite et al., 2022· Rai et al., 2025· Yildirim & Karabulut, 2023). Η αξιοποίηση του pre-test στην αρχή της παρέμβασης ακολουθεί τη λογική των pre–post

σχεδιασμών και των διαγνωστικών εργαλείων διερεύνησης παρανοήσεων, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία για την εννοιολογική αλλαγή και τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Driver & Oldham, 1986· Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023· Suparman et al., 2024).

Στην τρίτη υποφάση, η εκπαιδευτικός αξιοποιεί επιλεγμένες ερωτήσεις του pre-test και τις απαντήσεις των μαθητών ως αφετηρία για ομαδική εκμείευση και συζήτηση στην ολομέλεια, με στόχο την αποσαφήνιση και ανταλλαγή ιδεών. Αρχικά, οι μαθητές εργάζονται σε μικρές ομάδες δύο έως τριών ατόμων και καλούνται να εξετάσουν συγκεκριμένα παραδείγματα υλικών, όπως εμφιαλωμένο νερό, νερό με φακές, χυμό με ή χωρίς κομμάτια, μείγμα οσπρίων ή μείγμα ξηρών καρπών, και να τα ταξινομήσουν με βάση δύο διαδοχικά κριτήρια: πρώτα αν περιέχουν ένα ή περισσότερα υλικά και στη συνέχεια αν τα συστατικά διακρίνονται ή αν το δείγμα φαίνεται ενιαίο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, οι μαθητές συγκρίνουν τις απαντήσεις τους, συζητούν τις επιλογές τους και επιχειρούν να αιτιολογήσουν γιατί κάθε παράδειγμα ανήκει σε συγκεκριμένη κατηγορία, φέρνοντας στην επιφάνεια τα κριτήρια που ήδη χρησιμοποιούν για τη διάκριση καθαρών ουσιών, μιγμάτων, ομογενών και ετερογενών μιγμάτων. Στη συνέχεια, στην ολομέλεια της τάξης, εκπρόσωποι των ομάδων παρουσιάζουν τις επιλογές και τις αιτιολογήσεις τους, ενώ ο/η εκπαιδευτικός καταγράφει στον πίνακα χαρακτηριστικές φράσεις και διαφορετικές απόψεις, όπως «είναι ένα», «είναι δύο μαζί», «φαίνονται όλα» ή «φαίνεται σαν ένα», χωρίς ακόμη να εισάγει τον επιστημονικά αποδεκτό ορισμό. Η δραστηριότητα αυτή αντιστοιχεί στο στάδιο διευκρίνιση και ανταλλαγή ιδεών (clarification and exchange of ideas) του μοντέλου CLIS και αποσκοπεί στο να αναγνωρίσουν οι μαθητές ότι υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι ταξινόμησης και ερμηνείας των ίδιων υλικών, ώστε να αρχίσουν να εντοπίζουν πιθανές αντιφάσεις στις αρχικές τους αντιλήψεις, σύμφωνα με προσεγγίσεις εννοιολογικής αλλαγής που δίνουν έμφαση στην ανάδειξη και την αναμέτρηση με τις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών (Driver & Oldham, 1986· Novick & Nussbaum, 1978, 1981· Posner et al., 1982· Vosniadou et al., 2008· Taber, 2010, 2013, 2014· Chi, 2005).

Η συνολική μορφή και υλοποίηση της φάσης εκμείευσης ενσωματώνει αρχές προσβασιμότητας, πολυτροπικότητας και διαφοροποίησης, όπως προτείνεται στη διεθνή βιβλιογραφία για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες και για καθοδηγούμενη διερεύνηση, hands-on δραστηριότητες που αξιοποιούν αυθεντικά υλικά και ομαδοσυνεργατική εργασία (Trundle, 2008· Kohnke, 2022·

Mikropoulos, 2023· Egambaram et al., 2022· Benite et al., 2022· Zejnilagić-Hajrić et al., 2015). Με αυτόν τον τρόπο, η φάση της εκμαίευσης λειτουργεί ταυτόχρονα ως διαγνωστικό εργαλείο για το πρώτο ερευνητικό ερώτημα και ως αναπόσπαστο στοιχείο μιας εποικοδομητικής και συμπεριληπτικής διδακτικής παρέμβασης, προετοιμάζοντας το έδαφος για τη φάση της αναδόμησης, στην οποία θα αντιμετωπιστούν συστηματικά οι εντοπισμένες εννοιολογικές δυσκολίες.

2.5.2.2 Φάση Αναδόμησης

Η φάση της αναδόμησης συμβάλλει άμεσα στην απάντηση του δεύτερου και του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος, καθώς βασικός της στόχος είναι η σταδιακή μετακίνηση των μαθητών από διαισθητικές και καθημερινές κατηγοριοποιήσεις των υλικών προς περισσότερο επιστημονικά συμβατές αναπαραστάσεις. Οι αναπαραστάσεις αυτές αφορούν τόσο τη διάκριση ανάμεσα σε καθαρές ουσίες και μίγματα όσο και την ταξινόμηση των μιγμάτων σε ομογενή και ετερογενή. Η συγκεκριμένη φάση υλοποιείται σε μία διδακτική ώρα διάρκειας περίπου 45 λεπτών και οργανώνεται σε τέσσερις επιμέρους υποφάσεις, οι οποίες συνδυάζουν πειραματική διερεύνηση, ομαδοσυνεργατική εργασία και αξιοποίηση ψηφιακών προσομοιώσεων.

Μέσα από τις δραστηριότητες της φάσης αυτής, οι μαθητές καλούνται να παρατηρήσουν, να συγκρίνουν, να διατυπώσουν υποθέσεις και να επανεξετάσουν τις αρχικές τους ιδέες σχετικά με τη φύση των μιγμάτων και τα χαρακτηριστικά τους. Η αναδόμηση των αντιλήψεων υποστηρίζεται τόσο από άμεσες εμπειρίες με πραγματικά υλικά όσο και από οπτικοποιήσεις της μικροσκοπικής δομής των μιγμάτων μέσω ψηφιακών εργαλείων, ώστε να ενισχυθεί η σύνδεση ανάμεσα στο μακροσκοπικό και στο υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης. Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι επιμέρους υποφάσεις της φάσης αναδόμησης, η ενδεικτική διάρκειά τους, οι βασικές δραστηριότητες που υλοποιούνται και οι κύριοι διδακτικοί στόχοι κάθε υποφάσης.

Πίνακας 2-2. Υποφάσεις της φάσης αναδόμησης

Υποφάση	Ενδεικτική διάρκεια	Βασικές δραστηριότητες	Παιδαγωγικός στόχος
Υπενθύμιση και διατύπωση ερωτημάτων	5–8 λεπτά	Σύντομη υπενθύμιση της προηγούμενης φάσης εκμαίευσης. Παρουσίαση διαφορετικών κατατάξεων και συλλογική διατύπωση ερωτημάτων από την τάξη.	Επανενεργοποίηση των αρχικών ιδεών των μαθητών, εντοπισμός διαφωνιών και μετατροπή του ερευνητικού ερωτήματος σε κοινό ερώτημα της τάξης.
Πειραματική δραστηριότητα	15–20 λεπτά	Πείραμα σύγκρισης διαλύματος (νερό–ζάχαρη) και ετερογενούς μίγματος (νερό–άμμος). Παρατήρηση, ανάδευση, σύγκριση και καταγραφή αποτελεσμάτων σε φύλλο εργασίας.	Σύνδεση μακροσκοπικών παρατηρήσεων με κριτήρια ταξινόμησης και δημιουργία συνθηκών εννοιολογικής σύγκρουσης.
Ψηφιακή προσομοίωση PhET	10–12 λεπτά	Χρήση της προσομοίωσης «Sugar and Salt Solutions». Παρατήρηση του μακροσκοπικού και του σωματιδιακού επιπέδου και σύνδεση με τα πειραματικά αποτελέσματα.	Γεφύρωση μακροσκοπικού και υπομικροσκοπικού επιπέδου και κατανόηση της σωματιδιακής φύσης των μιγμάτων.
Διατύπωση κανόνων και εφαρμογή	10–12 λεπτά	Συλλογική διατύπωση λειτουργικών κανόνων για την καθαρή ουσία, το ομογενές και το ετερογενές μίγμα. Εφαρμογή των κανόνων σε νέα παραδείγματα.	Σταθεροποίηση νέων εννοιολογικών δομών και εφαρμογή των κριτηρίων ταξινόμησης σε διαφορετικά συμφραζόμενα.

Στην πρώτη υποφάση, διάρκειας περίπου 5–8 λεπτών, πραγματοποιείται σύντομη υπενθύμιση των δραστηριοτήτων της φάσης εκμαίευσης, με στόχο οι μαθητές να επαναφέρουν τις αρχικές τους ιδέες και να εντοπίσουν πιθανές διαφωνίες ή αντιφάσεις στις προηγούμενες κατηγοριοποιήσεις τους. Ο/η εκπαιδευτικός παρουσιάζει συνοπτικά τον τρόπο με τον οποίο οι ομάδες είχαν ταξινομήσει τα υλικά, για παράδειγμα σε «ένα υλικό» και «περισσότερα μαζί» ή σε «φαίνονται όλα τα κομμάτια» και «φαίνεται σαν ένα». Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε περιπτώσεις όπου εμφανίστηκαν διαφορετικές προσεγγίσεις, όπως στο γάλα, στο νερό βρύσης ή στους χυμούς με πολτό. Μέσα από σύντομη καθοδηγούμενη συζήτηση, οι μαθητές καλούνται να διατυπώσουν με δικά τους λόγια βασικά ερωτήματα, όπως «πώς μπορούμε να ξεχωρίζουμε αν κάτι είναι καθαρό υλικό ή μίγμα;» ή «πώς μπορούμε να καταλαβαίνουμε αν ένα μίγμα είναι “όλο ίδιο” ή έχει “κομμάτια”;». Με αυτόν τον τρόπο, το ερευνητικό ερώτημα μετατρέπεται σταδιακά σε ερώτημα της ίδιας της τάξης, πρακτική που συνδέεται με τη θέση ότι οι μαθητές χρειάζεται να κατανοούν τον σκοπό της διδασκαλίας και να συμμετέχουν ενεργά στη διαμόρφωση των ερωτημάτων της μαθησιακής διαδικασίας (Driver & Oldham, 1986).

Η δεύτερη υποφάση, διάρκειας περίπου 15–20 λεπτών, αποτελεί τον βασικό κορμό της φάσης αναδόμησης και οργανώνεται γύρω από συνδυασμό πειραματικής δραστηριότητας και καθοδηγούμενης διερεύνησης. Βασικός στόχος είναι η σύνδεση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με τη σωματιδιακή φύση της ύλης, καθώς και η μετάβαση από απλά αισθητηριακά κριτήρια, όπως «είναι διάφανο» ή «φαίνονται κομμάτια», σε πιο λειτουργικές και επιστημονικά συμβατές κατηγοριοποιήσεις. Οι μαθητές εργάζονται σε μικρές ομάδες δύο ή τριών ατόμων και πραγματοποιούν πείραμα σύγκρισης δύο μιγμάτων: ενός διαλύματος (νερό με ζάχαρη) και ενός ετερογενούς μίγματος (νερό με φακές). Κάθε ομάδα χρησιμοποιεί δύο διαφανή ποτήρια, στα οποία προστίθενται ίσες ποσότητες νερού και αντίστοιχα ζάχαρη ή φακές. Οι μαθητές ανακατεύουν τα υλικά και παρατηρούν την εμφάνιση πριν και μετά την ανάδευση, εξετάζοντας αν «φαίνονται κομμάτια», αν το μίγμα φαίνεται «όλο ίδιο» και αν τα συστατικά μπορούν να διαχωριστούν με απλά μέσα, όπως φίλτρο καφέ ή γάζα. Οι παρατηρήσεις καταγράφονται σε προσαρμοσμένο φύλλο εργασίας με εικόνες και απλές επιλογές. Η επιλογή της δραστηριότητας βασίζεται στη βιβλιογραφία σχετικά με τις παρανοήσεις για τα μίγματα και τα διαλύματα, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές συχνά θεωρούν ότι στα διαλύματα η ουσία «εξαφανίζεται» ή χρησιμοποιούν αποκλειστικά την ορατότητα των «κομματιών» ως κριτήριο ταξινόμησης (Nakhleh, 1992·

Kind, 2004, σελ. 7–8, 34–36 · Barke et al., 2008, σελ. 21–32, 37–45 · Ayas et al., 2010 · Dewi et al., 2024 · Arini et al., 2025 · Popović et al., 2025 · Suparman et al., 2024). Η καθοδηγούμενη διερεύνηση και η συζήτηση των αποτελεσμάτων συμβάλλουν στη δημιουργία συνθηκών εννοιολογικής σύγκρουσης και στη σταδιακή αναθεώρηση αυτών των αντιλήψεων (Dewi et al., 2024 · Arini et al., 2025 · Geveke et al., 2016 · Stains & Talanquer, 2007).

Στην τρίτη υποφάση, διάρκειας περίπου 10–12 λεπτών, αξιοποιείται ψηφιακή προσομοίωση PhET με στόχο τη σύνδεση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με το υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται η προσομοίωση «Sugar and Salt Solutions», μέσω της οποίας οι μαθητές παρατηρούν τη διάλυση ζάχαρης στο νερό τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε σωματιδιακό επίπεδο. Στο μικροσκοπικό παράθυρο της προσομοίωσης εμφανίζονται τα σωματίδια του διαλύτη και της διαλυμένης ουσίας ομοιόμορφα κατανεμημένα, ενώ ο/η εκπαιδευτικός καθοδηγεί τους μαθητές να συνδέσουν την εικόνα αυτή με το αποτέλεσμα του πειράματος, δηλαδή με το ποτήρι που «φαίνεται σαν ένα». Με τον τρόπο αυτό γίνεται σαφές ότι, παρόλο που το μίγμα εμφανίζεται ομοιογενές, εξακολουθεί να περιέχει διαφορετικά είδη σωματιδίων. Για την κατανόηση του ετερογενούς μίγματος αξιοποιούνται πραγματικά παραδείγματα, όπως νερό με φακές, μείγμα οσπρίων, σαλάτα ή μείγμα ξηρών καρπών, καθώς και απλές σωματιδιακές αναπαραστάσεις σε φύλλο εργασίας, οι οποίες δείχνουν τη μη ομοιόμορφη κατανομή των συστατικών. Οι μαθητές αντιστοιχίζουν εικόνες και παραδείγματα και εξηγούν με απλή γλώσσα τις διαφορές τους. Η χρήση πολλαπλών αναπαραστάσεων έχει αναδειχθεί ως ιδιαίτερα σημαντική στη διδακτική της Χημείας, καθώς υποστηρίζει τη σύνδεση του μακροσκοπικού με το υπομικροσκοπικό επίπεδο κατανόησης (De Vos & Verdonk, 1996 · Harrison & Treagust, 2003 · Bucat & Mocerino, 2009 · Gilbert & Treagust, 2009 · Santos & Arroio, 2016 · Slapničar et al., 2018 · Stojanovska et al., 2012).

Η τέταρτη υποφάση, διάρκειας περίπου 10–12 λεπτών, επικεντρώνεται στη διατύπωση λειτουργικών κανόνων και στην εφαρμογή των νέων εννοιών. Στο σημείο αυτό εντάσσεται δραστηριότητα σύνδεσης και οργάνωσης των εμπειριών των μαθητών γύρω από τη διάκριση «καθαρή ουσία – μίγμα», η οποία έχει αναδειχθεί ως ιδιαίτερα δύσκολη στη σχετική βιβλιογραφία (Kind, 2004, σελ. 21–23, 27–29 · Nakhleh, 1992 · Andersson, 1990 · Arini et al., 2025 · Popović et al., 2025). Ο/η εκπαιδευτικός γράφει στον πίνακα δύο στήλες, «Καθαρή ουσία (ένα υλικό)» και «Μίγμα (περισσότερα μαζί)», και οι μαθητές καλούνται

να ταξινομήσουν υλικά που έχουν ήδη μελετήσει, όπως εμφιαλωμένο νερό, νερό με ζάχαρη, και μίγμα φακές–νερού. Μέσα από καθοδηγούμενες ερωτήσεις διατυπώνονται συλλογικά απλοί λειτουργικοί κανόνες, όπως «Καθαρή ουσία: ένα μόνο είδος σωματιδίων» και «Μίγμα: δύο ή περισσότερα υλικά μαζί». Παράλληλα, γίνεται διάκριση ανάμεσα σε ομογενές και ετερογενές μίγμα. Οι διατυπώσεις αυτές δεν λειτουργούν ως τυπικοί επιστημονικοί ορισμοί, αλλά ως εργαλεία κατανόησης που συνδέουν το μακροσκοπικό με το σωματιδιακό επίπεδο (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Bucat & Mocerino, 2009). Προαιρετικά, οι μαθητές καταγράφουν ένα παράδειγμα καθαρής ουσίας και ένα παράδειγμα μίγματος στο τετράδιό τους. Στο τελευταίο μέρος της διδακτικής ώρας, καλούνται να εφαρμόσουν τις νέες έννοιες σε γνωστά και νέα παραδείγματα, αποφασίζοντας αν πρόκειται για καθαρές ουσίες ή μίγματα και, στην περίπτωση των μιγμάτων, αν είναι ομογενή ή ετερογενή, αιτιολογώντας τις απαντήσεις τους με βάση τα νέα κριτήρια. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στη σταθεροποίηση των νέων εννοιολογικών δομών και μειώνει την πιθανότητα επιστροφής σε προηγούμενες παρανοήσεις (Barke et al., 2008, σελ.21-32, 37-45· Kind, 2004, σελ. 13-14, 21-23, 29· Suparman et al., 2024· Stojanovska et al., 2012).

Συνολικά, η φάση της αναδόμησης αξιοποιεί τα δεδομένα που προέκυψαν από τη φάση της εκμαίευσης και δημιουργεί συνθήκες εννοιολογικής σύγκρουσης, συνδυάζοντας πειραματική διερεύνηση και ψηφιακές προσομοιώσεις, ώστε να γεφυρωθεί το μακροσκοπικό με το σωματιδιακό επίπεδο κατανόησης. Παράλληλα, ενσωματώνει αρχές προσβασιμότητας και διαφοροποίησης, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες μαθητών ειδικής αγωγής (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025· Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Zejnilagić-Hajrić et al., 2015· Koebley et al., 2024). Με τον τρόπο αυτό, συμβάλλει ουσιαστικά στην απάντηση του δεύτερου και του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος, που αφορούν την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης και τη δημιουργία προϋποθέσεων για εννοιολογική αλλαγή.

2.5.2.3 Φάση Ανασκόπησης

Μετά την ολοκλήρωση της φάσης της αναδόμησης, κατά την οποία οι μαθητές συμμετείχαν σε πειραματικές δραστηριότητες και αξιοποίησαν ψηφιακές προσομοιώσεις, ακολουθεί η φάση της ανασκόπησης. Η φάση αυτή αποσκοπεί στον συνειδητό αναστοχασμό των μαθητών σχετικά με τις αλλαγές που σημειώθηκαν στις αντιλήψεις τους,

καθώς και στη σταθεροποίηση των νέων εννοιολογικών δομών που διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.

Η φάση της ανασκόπησης συμβάλλει στην απάντηση και των τριών ερευνητικών ερωτημάτων, καθώς επιτρέπει την αποτίμηση των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών, την αξιολόγηση της εννοιολογικής αλλαγής που προέκυψε μέσα από τη διδακτική παρέμβαση και τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τη μαθησιακή διαδικασία. Βασικός στόχος της είναι οι μαθητές να συγκρίνουν τις τωρινές τους αντιλήψεις με εκείνες που είχαν στην αρχή της παρέμβασης, να αναγνωρίσουν πιθανές αλλαγές στις ιδέες τους και να αναπτύξουν στοιχεία μεταγνώσης, όπως «τι έμαθα», «τι άλλαξε στις σκέψεις μου» και «πώς το έμαθα».

Η φάση αυτή σχεδιάζεται ως μία διδακτική ώρα διάρκειας περίπου 45 λεπτών και οργανώνεται σε τέσσερις επιμέρους υποφάσεις, οι οποίες συνδυάζουν ατομικό αναστοχασμό, ομαδική συζήτηση και δραστηριότητες εφαρμογής των νέων γνώσεων. Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζονται συνοπτικά οι υποφάσεις της φάσης ανασκόπησης, η ενδεικτική διάρκειά τους, οι βασικές δραστηριότητες που υλοποιούνται και οι κύριοι στόχοι κάθε υποφάσης.

Πίνακας 2-3. Υποφάσεις της φάσης ανασκόπησης

Υποφάση	Ενδεικτική διάρκεια	Βασικές δραστηριότητες	Παιδαγωγικός στόχος
Επανεξέταση παραδειγμάτων	10–12 λεπτά	Επιστροφή σε παραδείγματα από τη φάση εκμαίευσης, όπως το νερό, οι χυμοί και η σαλάτα. Νέα κατάταξη των παραδειγμάτων με βάση τα νέα κριτήρια και αιτιολόγηση μέσω σωματιδιακής σκέψης.	Σταθεροποίηση των νέων εννοιολογικών δομών και περιορισμός της επαναφοράς προηγούμενων παρανοήσεων.
Σύγκριση pre-test και post-test	10–12 λεπτά	Επανεξέταση επιλεγμένων ερωτήσεων από το pre-test, σχολιασμός των αρχικών απαντήσεων και εξήγηση των αλλαγών στον τρόπο σκέψης των μαθητών.	Ενίσχυση του αναστοχασμού, κατανόηση των αλλαγών στις αντιλήψεις και ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων.
Σύνδεση αναπαραστάσεων	8–10 λεπτά	Αντιστοίχιση σωματιδιακών εικόνων με μακροσκοπικά παραδείγματα και επεξήγηση των όρων «ομογενές» και «ετερογενές» με λόγια των μαθητών.	Ενίσχυση της σύνδεσης μεταξύ μακροσκοπικού και υπομικροσκοπικού επιπέδου και αποφυγή επιστροφής σε αποκλειστικά μακροσκοπικές ερμηνείες.
Μεταγνωστικός αναστοχασμός	10–12 λεπτά	Οι μαθητές εκφράζουν τι τους βοήθησε περισσότερο στη μαθησιακή διαδικασία, όπως το πείραμα, η προσομοίωση PhET ή οι συζητήσεις, και επισημαίνουν σημεία που εξακολουθούν να τους δυσκολεύουν.	Ανάπτυξη μεταγνωστικής επίγνωσης και αναγνώριση αποτελεσματικών στρατηγικών μάθησης.

Στην πρώτη υποφάση, διάρκειας περίπου 10–12 λεπτών, οι μαθητές επανέρχονται σε παραδείγματα που είχαν αξιοποιηθεί τόσο στο pre-test όσο και στη φάση της εκμαίευσης, με στόχο να επανεξετάσουν τις αρχικές τους κατηγοριοποιήσεις υπό το πρίσμα των νέων γνώσεων που διαμορφώθηκαν κατά τη φάση της αναδόμησης. Ειδικότερα, εξετάζουν εκ νέου εικόνες και καταστάσεις που αφορούν το εμφιαλωμένο νερό, το απεσταγμένο νερό, χυμούς με και χωρίς «κομμάτια», νερό με ζάχαρη, νερό με φακές, μείγμα οσπρίων, ζάχαρη, αλάτι και μείγμα ξηρών καρπών. Οι μαθητές καλούνται να αποφασίσουν αν κάθε παράδειγμα αντιστοιχεί σε καθαρή ουσία ή μίγμα και, στην περίπτωση των μιγμάτων, να τα ταξινομήσουν σε ομογενή ή ετερογενή.

Σε αντίθεση με την αρχική φάση της εκμαίευσης, οι μαθητές αιτιολογούν πλέον τις απαντήσεις τους αξιοποιώντας τα νέα κριτήρια που έχουν διαμορφώσει μέσα από την πειραματική και διερευνητική διαδικασία. Ενδεικτικά, χρησιμοποιούν ερωτήματα όπως «φαίνεται όλο ίδιο ή διακρίνονται διαφορετικά μέρη;», «μπορούν να διαχωριστούν τα υλικά;» ή «πώς θα εμφανίζονταν τα σωματίδια σε μια μικροσκοπική εικόνα;». Η επιστροφή στα ίδια παραδείγματα λειτουργεί υποστηρικτικά για τη σταθεροποίηση των νέων εννοιολογικών δομών και περιορίζει την πιθανότητα επαναφοράς προηγούμενων παρανοήσεων σχετικά με τα μίγματα και τις καθαρές ουσίες (Barke et al., 2008, σελ. 25-30, 37-45· Kind, 2004, σελ. 13-14, 21-23, 29· Stojanovska et al., 2012· Suparman et al., 2024).

Η δεύτερη υποφάση, διάρκειας περίπου 10–12 λεπτών, επικεντρώνεται στη σύγκριση των αρχικών και τελικών αντιλήψεων των μαθητών μέσα από διαδικασία pre–post σύγκρισης. Επιλεγμένες ερωτήσεις από το αρχικό φύλλο εργασίας παρουσιάζονται ξανά στην τάξη και οι μαθητές καλούνται είτε να απαντήσουν εκ νέου είτε να σχολιάσουν τις αρχικές τους απαντήσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι απαντήσεις αυτές προβάλλονται ανώνυμα στην ολομέλεια, ώστε να αποτελέσουν αφετηρία συζήτησης και αναστοχασμού. Οι μαθητές εξηγούν αν και με ποιον τρόπο θα διαφοροποιούσαν πλέον τις αρχικές τους επιλογές, αναγνωρίζοντας αλλαγές στον τρόπο σκέψης τους.

Η διαδικασία αυτή δεν περιορίζεται στη διάκριση ανάμεσα σε «σωστό» και «λάθος», αλλά στοχεύει στην ενεργή επεξεργασία των ίδιων των αντιλήψεων των μαθητών και στην κατανόηση της πορείας της μάθησής τους. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία για την εννοιολογική αλλαγή, η συστηματική επανεξέταση των αρχικών ιδεών ενισχύει τον αναστοχασμό και συμβάλλει στη βαθύτερη αναδόμηση των εννοιών, ιδιαίτερα σε πεδία όπου εμφανίζονται ανθεκτικές παρανοήσεις, όπως τα μίγματα και τα διαλύματα (Gurel et

al., 2015· Rokhim et al., 2023· Taber, 2010, 2013, 2014· Nakhleh, 1992· Ayas et al., 2010· Arini et al., 2025· Popović et al., 2025· Suparman et al., 2024).

Η τρίτη υποφάση, διάρκειας περίπου 8–10 λεπτών, αξιοποιεί εκ νέου τις πολλαπλές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη φάση της αναδόμησης, με στόχο την ενίσχυση της σύνδεσης ανάμεσα στο μακροσκοπικό και στο υπομικροσκοπικό επίπεδο κατανόησης. Οι μαθητές καλούνται να αντιστοιχίσουν σωματιδιακές εικόνες ομογενών και ετερογενών μιγμάτων με μακροσκοπικά παραδείγματα από την καθημερινότητα και να εξηγήσουν με δικά τους λόγια τη σημασία των όρων «ομογενές» και «ετερογενές». Παράλληλα, δίνουν δικά τους παραδείγματα μιγμάτων από την καθημερινή εμπειρία τους και αιτιολογούν τις επιλογές τους.

Η δραστηριότητα αυτή συμβάλλει ουσιαστικά στη σύνδεση διαφορετικών επιπέδων αναπαράστασης της χημικής γνώσης, διαδικασία που θεωρείται κρίσιμη για την κατανόηση στη Χημεία (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009· Santos & Arroio, 2016· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Slapničar et al., 2018). Ιδιαίτερα κατά τη φάση της ανασκόπησης, η εκ νέου σύνδεση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με σωματιδιακές αναπαραστάσεις βοηθά τους μαθητές να μην επιστρέφουν σε αποκλειστικά αισθητηριακές ή μακροσκοπικές ερμηνείες των φαινομένων.

Η τέταρτη υποφάση, διάρκειας περίπου 10–12 λεπτών, επικεντρώνεται στη μεταγνωστική διάσταση της μάθησης. Οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν ποια στοιχεία της παρέμβασης θεωρούν ότι τους βοήθησαν περισσότερο να κατανοήσουν τις έννοιες των μιγμάτων, αναφερόμενοι, για παράδειγμα, στα πειράματα, στις προσομοιώσεις PhET, στις σωματιδιακές εικόνες ή στις συζητήσεις με την ομάδα τους. Παράλληλα, ενθαρρύνονται να αναγνωρίσουν σημεία που εξακολουθούν να τους δυσκολεύουν ή έννοιες που θεωρούν ότι χρειάζονται περισσότερη επεξεργασία.

Η διαδικασία αυτή συνδέεται με τη βιβλιογραφία που αναδεικνύει τον ρόλο της μεταγνωστικής/μετα-εννοιολογικής επίγνωσης στην εννοιολογική αλλαγή και στη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών των Φυσικών Επιστημών (Vosniadou et al., 2008· Taber, 2010, 2013, 2014). Για μαθητές ειδικής αγωγής, η μεταγνωστική υποστήριξη μπορεί να ενισχυθεί μέσω απλών οπτικών εργαλείων, όπως εικόνες, σύμβολα ή κλίμακες αξιολόγησης, σύμφωνα με τις αρχές του UDL (Rai et al., 2025· Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023).

Συνολικά, η φάση της ανασκόπησης επιτελεί διπλή λειτουργία. Από παιδαγωγική σκοπιά, υποστηρίζει τους μαθητές να αναγνωρίσουν τη μετάβαση από τις αρχικές στις νέες ιδέες τους και να αναπτύξουν στοιχεία μεταγνωστικής επίγνωσης σχετικά με τη μαθησιακή τους πορεία. Από ερευνητική σκοπιά, παρέχει τόσο ποσοτικά δεδομένα μέσω της σύγκρισης pre-post όσο και ποιοτικά στοιχεία, όπως χαρακτηριστικές φράσεις μαθητών, παρατηρήσεις και αιτιολογήσεις, τα οποία συμβάλλουν στην ερμηνεία της εννοιολογικής αλλαγής. Η συνδυαστική αξιοποίηση ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλη για την αποτίμηση παρεμβάσεων που στοχεύουν στην εννοιολογική αλλαγή στις Φυσικές Επιστήμες (Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023· Geveke et al., 2016· Vilardo et al., 2017). Με τον τρόπο αυτό, η φάση της ανασκόπησης συμβάλλει ουσιαστικά στην απάντηση και των τριών ερευνητικών ερωτημάτων που αφορούν τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών, την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης και τη δημιουργία συνθηκών εννοιολογικής αλλαγής.

2.5.3 Υλικό και ψηφιακές προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται

Η διδακτική παρέμβαση για τα μίγματα βασίζεται στον συνδυασμό πειραματικού υλικού και ψηφιακών προσομοιώσεων, με στόχο τη γεφύρωση του μακροσκοπικού με το υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης. Ο συνδυασμός αυτός θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικός για τη διδασκαλία της Χημείας, καθώς η αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων έχει αναδειχθεί στη βιβλιογραφία ως κρίσιμος παράγοντας για την κατανόηση αφηρημένων χημικών εννοιών και για τη σύνδεση των παρατηρήσιμων φαινομένων με τη σωματιδιακή φύση της ύλης (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009). Παράλληλα, η επιλογή των υλικών και των ψηφιακών εργαλείων σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις αρχές του UDL, ώστε να διασφαλίζεται η πρόσβαση όλων των μαθητών σε πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης της γνώσης, συμμετοχής στις δραστηριότητες και έκφρασης της κατανόησής τους (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025).

Σε ό,τι αφορά το πειραματικό υλικό, στη διδακτική παρέμβαση αξιοποιούνται πραγματικά μίγματα και καθημερινά υλικά, αντί για αποκλειστική χρήση εικόνων ή θεωρητικών παραδειγμάτων. Η επιλογή αυτή βασίζεται στην ανάγκη οι μαθητές να έχουν άμεση εμπειρία με τα υλικά, ώστε να μπορούν να τα παρατηρούν, να τα αγγίζουν και να αλληλεπιδρούν ενεργά με αυτά μέσα από πολυαισθητηριακές δραστηριότητες. Η

αξιοποίηση αυθεντικών υλικών και hands-on δραστηριοτήτων έχει συνδεθεί με την ενίσχυση της συμμετοχής, της κατανόησης και της εννοιολογικής αλλαγής, ιδιαίτερα σε μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (Benite et al., 2022· Mikropoulos, 2023· Yildirim & Karabulut, 2023).

Στη φάση της εκμαίευσης παρουσιάζονται στους μαθητές παραδείγματα από την καθημερινή ζωή, όπως εμφιαλωμένο νερό, ζάχαρη, νερό με ζάχαρη, χυμός χωρίς πολτό, μείγμα οσπρίων και μείγμα ξηρών καρπών, με στόχο την ενεργοποίηση πρότερων εμπειριών και αντιλήψεων σχετικά με τα μίγματα και τις καθαρές ουσίες. Στη φάση της αναδόμησης, οι μαθητές παρασκευάζουν δύο βασικά μίγματα: ένα διάλυμα νερού με ζάχαρη και ένα ετερογενές μίγμα νερού με φακές. Μέσα από τη σύγκριση των δύο αυτών παραδειγμάτων διερευνούν χαρακτηριστικά όπως η ομοιομορφία, η διαφάνεια, η παρουσία ορατών συστατικών και η δυνατότητα διαχωρισμού των υλικών. Στη φάση της ανασκόπησης, οι μαθητές επιστρέφουν στα αρχικά παραδείγματα και τα επανεξετάζουν με βάση τα νέα εννοιολογικά κριτήρια που διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Στον Πίνακα 2-4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά και τα μέσα που αξιοποιούνται σε κάθε φάση της διδακτικής παρέμβασης.

Πίνακας 2-4. Πειραματικό υλικό ανά φάση της διδακτικής παρέμβασης

Φάση	Υλικά και μέσα	Παιδαγωγικός σκοπός
Εκμαίευση	Δείγματα όπως εμφιαλωμένο νερό, νερό με ζάχαρη, χυμός πορτοκάλι χωρίς κομμάτια, ζάχαρη, νερό με φακές και μείγμα οσπρίων, καθώς και διαφανή δοχεία παρουσίασης.	Παρατήρηση και αρχική κατάταξη των παραδειγμάτων με βάση τα προσωπικά κριτήρια των μαθητών και εντοπισμός των αρχικών αντιλήψεων.
Αναδόμηση	Διαφανή ποτήρια, εμφιαλωμένο νερό, ζάχαρη, αλάτι, νερό με φακές, μείγμα ξηρών καρπών και οσπρίων, χυμός χωρίς κομμάτια, νερό με ζάχαρη, κουταλάκια ανάδευσης, φίλτρα καφέ ή γάζες. Προαιρετικά χρησιμοποιούνται λάδι και αλάτι.	Πειραματική διερεύνηση και σύγκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, με στόχο τη σύνδεση των παρατηρήσεων με τα επιστημονικά κριτήρια ταξινόμησης.
Ανασκόπηση	Τα ίδια δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στη φάση εκμαίευσης και φύλλα εργασίας με σωματιδιακές αναπαραστάσεις.	Επανεξέταση των παραδειγμάτων με βάση τα νέα κριτήρια και σύνδεση του μακροσκοπικού με το υπομικροσκοπικό επίπεδο αναπαράστασης.

Η επιλογή των υλικών βασίζεται σε τρία βασικά κριτήρια που υποστηρίζουν τόσο την πειραματική διερεύνηση όσο και τις αρχές της συμπεριληπτικής διδασκαλίας (Geveke et al., 2016· Stains & Talanquer, 2007). Το πρώτο κριτήριο αφορά την ασφάλεια και την προσβασιμότητα των υλικών. Όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι μη τοξικά, οικονομικά και εύκολα διαθέσιμα είτε στο σχολικό είτε στο οικιακό περιβάλλον, ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις εξοπλισμού ή εργαστηριακών υποδομών.

Το δεύτερο κριτήριο σχετίζεται με την οπτική και απτική σαφήνεια των υλικών. Η χρήση διαφανών δοχείων διευκολύνει την παρατήρηση των μεταβολών και των χαρακτηριστικών κάθε μίγματος, ενώ τα ίδια τα υλικά διαθέτουν διακριτές ιδιότητες που υποστηρίζουν τη σύγκριση και την ταξινόμηση. Για παράδειγμα, οι φακές εμφανίζουν ορατούς κόκκους και ανομοιογένεια, ενώ η ζάχαρη «εξαφανίζεται» οπτικά όταν διαλύεται στο νερό, επιτρέποντας στους μαθητές να διερευνήσουν τη διαφορά ανάμεσα σε ομογενή και ετερογενή μίγματα μέσα από άμεση εμπειρία.

Το τρίτο κριτήριο αφορά τις προσαρμογές για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες, με στόχο τη μείωση των αισθητηριακών και γλωσσικών εμποδίων και την ενίσχυση της πρόσβασης στο περιεχόμενο. Οι δραστηριότητες και τα υλικά σχεδιάζονται ώστε να παρέχουν πολλαπλές μορφές αναπαράστασης (π.χ. οπτικές αναπαραστάσεις, σχήματα, χειριστικά υλικά) και ποικίλους τρόπους συμμετοχής και αλληλεπίδρασης, σε συμφωνία με τις κατευθυντήριες αρχές του UDL για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Zejnilagić-Hajrić et al., 2015· Koebley et al., 2024· Yildirim & Karabulut, 2023).

Στη φάση της αναδόμησης, μετά την ολοκλήρωση της πειραματικής δραστηριότητας, αξιοποιείται η ψηφιακή προσομοίωση «Sugar and Salt Solutions» της πλατφόρμας PhET. Η συγκεκριμένη προσομοίωση επιλέχθηκε επειδή επιτρέπει την ταυτόχρονη παρουσίαση του μακροσκοπικού και του υπομικροσκοπικού επιπέδου της διάλυσης. Οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να προσθέτουν ζάχαρη ή αλάτι στο νερό και να παρατηρούν τη διαδικασία μέσα από δύο παράλληλα παράθυρα: το πρώτο παρουσιάζει το μίγμα στο ποτήρι σε μακροσκοπικό επίπεδο, ενώ το δεύτερο εμφανίζει τη διάταξη και την κίνηση των σωματιδίων σε υπομικροσκοπικό επίπεδο. Η προσομοίωση αξιοποιείται για περίπου 10–12 λεπτά κατά τη φάση της αναδόμησης, με στόχο οι μαθητές να συνδέσουν τις πειραματικές παρατηρήσεις τους με τη σωματιδιακή φύση της ύλης. Η χρήση ψηφιακών

προσομοιώσεων έχει συνδεθεί με τη βελτίωση της κατανόησης της σωματιδιακής φύσης της ύλης και με τη μείωση παρανοήσεων που σχετίζονται με τα μίγματα και τα διαλύματα (Slapničar et al., 2018· Stojanovska et al., 2012· Dewi et al., 2024· Arini et al., 2025· Suparman et al., 2024).

Η αξιοποίηση της ψηφιακής προσομοίωσης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για μαθητές με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες. Αρχικά, επιτρέπει την οπτικοποίηση διαδικασιών που δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμες, παρουσιάζοντας το σωματιδιακό επίπεδο με τρόπο ελεγχόμενο, επαναλήψιμο και περισσότερο κατανοητό για τους μαθητές (Slapničar et al., 2018· Davidowitz & Chittleborough, 2009). Επιπλέον, οι μαθητές μπορούν να εργάζονται με τον δικό τους ρυθμό, να σταματούν ή να επαναλαμβάνουν τη διαδικασία και να επιστρέφουν σε προηγούμενα στάδια της προσομοίωσης, δυνατότητες που διευκολύνουν ιδιαίτερα μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες και διαφορετικούς ρυθμούς μάθησης (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025). Παράλληλα, η διαδραστικότητα και η άμεση οπτική ανατροφοδότηση συμβάλλουν στην ενίσχυση της συμμετοχής, της προσοχής και της ενεργού εμπλοκής των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία (Dewi et al., 2024· Yildirim & Karabulut, 2023). Τέλος, το PhET αποτελεί ένα δωρεάν και εύκολα προσβάσιμο ψηφιακό εργαλείο μέσω διαδικτύου και διατίθεται σε πολλές γλώσσες, μεταξύ των οποίων και τα ελληνικά, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση στο ελληνικό σχολικό πλαίσιο και ειδικότερα σε περιβάλλοντα ειδικής αγωγής.

2.6 Εργαλεία συλλογής δεδομένων

Η παρούσα έρευνα δράσης υιοθετεί μεικτή μεθοδολογική προσέγγιση, συνδυάζοντας ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα για την πληρέστερη διερεύνηση της διδακτικής παρέμβασης και των αποτελεσμάτων της. Η αξιοποίηση πολλαπλών εργαλείων συλλογής δεδομένων επιτρέπει την τριγωνοποίηση των ευρημάτων, ενισχύοντας την εγκυρότητα και την αξιοπιστία της έρευνας (Cohen et al., 2018, σελ. 265-266· Mertler, 2017, σελ. 100-102). Ο συνδυασμός ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων θεωρείται ιδιαίτερα συμβατός με τη φύση της έρευνας δράσης, καθώς επιτρέπει αφενός τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της διδακτικής παρέμβασης και αφετέρου την κατανόηση των διαδικασιών, των εμπειριών και των δυσκολιών που αναδύονται κατά την εφαρμογή της στο πραγματικό σχολικό πλαίσιο (Koshy, 2010, σελ.1-8· Hine, 2013).

Τα εργαλεία συλλογής δεδομένων που επιλέχθηκαν συνδέονται άμεσα με τα τρία ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας μελέτης. Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα (EE1) αφορά τη διερεύνηση της εννοιολογικής κατανόησης των μιγμάτων από τους μαθητές, το δεύτερο (EE2) εστιάζει στη συμβολή της διερευνητικής διδασκαλίας και των ψηφιακών προσομοιώσεων στην εμπλοκή και συμμετοχή τους στη μαθησιακή διαδικασία, ενώ το τρίτο (EE3) εξετάζει τις προκλήσεις και τις δυνατότητες που προκύπτουν από την εφαρμογή των αρχών του UDL σε περιβάλλον ειδικής αγωγής. Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζεται συνοπτικά η αντιστοίχιση των εργαλείων συλλογής δεδομένων με τα ερευνητικά ερωτήματα, ο χρόνος χορήγησής τους και ο τύπος των δεδομένων που παράγουν.

Πίνακας 2-5. Εργαλεία συλλογής δεδομένων ανά ερευνητικό ερώτημα

Εργαλείο συλλογής δεδομένων	Ερευνητικό ερώτημα	Χρόνος χορήγησης	Τύπος δεδομένων
Pre-test	EE1	Πριν την παρέμβαση	Ποσοτικά και ποιοτικά
Post-test	EE1	Μετά την παρέμβαση	Ποσοτικά και ποιοτικά
Φύλλο εργασίας πειράματος	EE1, EE2	Κατά τη διάρκεια της φάσης αναδόμησης	Ποιοτικά
Φύλλο εργασίας προσομοίωσης PhET	EE1, EE2	Κατά τη διάρκεια της φάσης αναδόμησης	Ποιοτικά
Φύλλο εργασίας σωματιδιακών εικόνων	EE1, EE2	Κατά τη διάρκεια της φάσης αναδόμησης	Ποιοτικά
Φύλλο παρατήρησης εκπαιδευτικού	EE2, EE3	Κατά τη διάρκεια όλων των φάσεων	Ποιοτικά
Ημιδομημένες συνεντεύξεις	EE2, EE3	Μετά την παρέμβαση	Ποιοτικά

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους εργαλεία, η δομή τους, ο σκοπός τους και ο τρόπος με τον οποίο συμβάλλουν στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων.

2.6.1 Pre/post φύλλα εργασίας

Για τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με τα μίγματα, τις καθαρές ουσίες και τις κατηγορίες ομογενών και ετερογενών μιγμάτων, καθώς και για την αποτίμηση της επίδρασης της διδακτικής παρέμβασης, αξιοποιήθηκαν δύο αντίστοιχα γραπτά δοκίμια τύπου pre–post test, με κοινή δομή, αριθμό και θεματική ερωτήσεων. Τα δοκίμια αυτά λειτουργούν τόσο ως φύλλα εργασίας κατά τη φάση της εκμείωσης όσο και ως διαγνωστικά εργαλεία σύγκρισης πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, σε συμφωνία με τη λογική του εποικοδομητικού μοντέλου CLIS, σύμφωνα με το οποίο η διδασκαλία ξεκινά από τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και περιλαμβάνει τη συστηματική αξιοποίησή τους πριν και μετά τη διδακτική διαδικασία (Driver & Oldham, 1986).

Κάθε τεστ περιλαμβάνει ερωτήσεις τύπου two-tier, στις οποίες οι μαθητές καλούνται αφενός να επιλέξουν μία απάντηση πολλαπλής επιλογής (Α, Β ή Γ) και αφετέρου να επιλέξουν μία αιτιολόγηση από προκαθορισμένες επιλογές. Η συγκεκριμένη μορφή βασίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τα διαγνωστικά εργαλεία ανίχνευσης εναλλακτικών ιδεών, σύμφωνα με την οποία η απλή επιλογή μιας σωστής απάντησης δεν αρκεί για να διαπιστωθεί αν ο μαθητής διαθέτει ουσιαστική εννοιολογική κατανόηση ή αν η επιλογή του είναι τυχαία (Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023· Suparman et al., 2024). Οι αιτιολογήσεις σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικές μορφές σκέψης που καταγράφονται στη βιβλιογραφία για τις παρανοήσεις στη Χημεία (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 6-9, 21-23, 27-29· Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014), όπως εμπειρικές ή μακροσκοπικές εξηγήσεις («φαίνεται ίδιο παντού»), κοινωνικά ή καθημερινά κριτήρια («είναι από μπουκάλι», «από το σούπερ μάρκετ είναι καθαρό»), επιστημονικά συμβατές ερμηνείες («ένα μόνο είδος σωματιδίων», «δύο υλικά αναμεμειγμένα») αλλά και παρανοησιακές αντιλήψεις, όπως η ιδέα ότι «η ζάχαρη εξαφανίζεται» όταν διαλύεται στο νερό.

Το pre-test χορηγείται κατά τη φάση της εκμείωσης και οργανώνεται σε δύο βασικές ομάδες ερωτήσεων. Οι πρώτες ερωτήσεις (1–6) αναφέρονται σε μακροσκοπικές καταστάσεις της καθημερινής ζωής, όπως εμφιαλωμένο νερό, ζάχαρη, νερό με διαλυμένη ζάχαρη, νερό με φακές, χυμό χωρίς κομμάτια και μείγμα οσπρίων. Οι ερωτήσεις

αποσκοπούν στη διερεύνηση της διάκρισης καθαρής ουσίας–μίγματος και ομογενούς–ετερογενούς μίγματος μέσα από οικεία παραδείγματα. Η επιλογή καθημερινών παραδειγμάτων συνδέεται με ερευνητικά ευρήματα που δείχνουν ότι οι μαθητές διαμορφώνουν τις αντιλήψεις τους για τα μίγματα και τη δομή της ύλης κυρίως μέσα από μακροσκοπικές εμπειρίες και συχνά χρησιμοποιούν κριτήρια όπως η εξωτερική εμφάνιση, η έννοια της «καθαρότητας» στην καθημερινή γλώσσα ή η προέλευση του υλικού (Andersson, 1990· Popović et al., 2025· Arini et al., 2025· Ayas, Özmen & Çalık, 2010).

Οι επόμενες ερωτήσεις του δοκιμίου (7–9 στο pre-test και αντίστοιχα στο post-test) βασίζονται σε σωματιδιακές αναπαραστάσεις με απλές εικόνες «κουκκίδων», οι οποίες αναπαριστούν διαφορετικά είδη σωματιδίων. Στόχος των ερωτήσεων αυτών είναι να διερευνηθεί κατά πόσο οι μαθητές μπορούν να μεταφέρουν τη διάκριση καθαρής ουσίας–μίγματος και ομογενούς–ετερογενούς μίγματος από το μακροσκοπικό στο υπομικροσκοπικό επίπεδο, διαδικασία που έχει αναδειχθεί στη βιβλιογραφία ως ιδιαίτερα απαιτητική στο πεδίο της σωματιδιακής φύσης της ύλης (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Bucat & Mocerino, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Santos & Arroio, 2016· Ayas et al., 2010). Οι συγκεκριμένες εικόνες αξιοποιούν ευρήματα της σχετικής βιβλιογραφίας για συνήθεις παρανοήσεις, όπως η σύγχυση ανάμεσα σε ομογενή και ετερογενή μίγματα σε υπομικροσκοπικό επίπεδο, η αντίληψη ότι η παρουσία δύο ειδών σωματιδίων αρκεί πάντοτε για να χαρακτηριστεί ένα σύστημα ως ετερογενές ή η δυσκολία κατανόησης της καθαρής ουσίας ως συστήματος που περιλαμβάνει ένα μόνο είδος σωματιδίων (Novick & Nussbaum, 1978, 1981· Stojanovska et al., 2012· Arini et al., 2025).

Το post-test έχει σχεδιαστεί σε πλήρη αντιστοιχία με το pre-test ως προς τον αριθμό, τον τύπο και τη θεματική των ερωτήσεων, διατηρώντας τις ίδιες μακροσκοπικές και σωματιδιακές καταστάσεις. Σε ορισμένες αιτιολογήσεις έγιναν μικρές προσαρμογές στη διατύπωση, ώστε να είναι ελαφρώς πιο σύντομες και επιστημονικά σαφείς, χωρίς να μεταβάλλεται η έννοια που ελέγχεται σε κάθε ερώτηση. Η αντιστοιχία αυτή επιτρέπει την αξιοποίησή του τόσο για ποσοτική ανάλυση, μέσω της σύγκρισης των σωστών απαντήσεων πριν και μετά την παρέμβαση, όσο και για ποιοτική ανάλυση των αιτιολογήσεων των μαθητών. Η λογική αυτή συνδέεται με την έρευνα για την εννοιολογική αλλαγή, σύμφωνα με την οποία το ζητούμενο δεν είναι μόνο η βελτίωση της επίδοσης, αλλά κυρίως η αναδιοργάνωση των υποκείμενων εννοιολογικών πλαισίων των μαθητών (Vosniadou et al., 2008· Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014).

Κατά τον σχεδιασμό των δοκιμίων λήφθηκαν υπόψη οι ιδιαίτερες ανάγκες των μαθητών ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., καθώς και οι αρχές της διαφοροποιημένης διδασκαλίας και του UDL. Η γλώσσα των ερωτήσεων και των αιτιολογήσεων διαμορφώθηκε με τρόπο σύντομο και απλό, ενώ το κείμενο συνοδεύεται από εικόνες και σχήματα, ώστε να περιορίζεται το γνωστικό φορτίο ανά ερώτηση, στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό για μαθητές με δυσκολίες στη γλωσσική κατανόηση ή στη συγκέντρωση (Zejnlagić-Hajrić et al., 2015· Benite et al., 2022· Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025). Παράλληλα, η δομή τύπου two-tier ενθαρρύνει τους μαθητές να αναστοχαστούν πάνω στις επιλογές και στις αιτιολογήσεις τους, ενώ οι εικόνες και οι σωματιδιακές αναπαραστάσεις ενισχύουν την οπτικοποίηση των χημικών εννοιών, σε συμφωνία με τις προτάσεις της βιβλιογραφίας σχετικά με τον ρόλο της οπτικοποίησης στη μάθηση των Φυσικών Επιστημών (Gilbert, 2005, 2008· Vavra et al., 2011· Gilbert & Treagust, 2009).

Συνολικά, τα γραπτά δοκίμια pre-post σχεδιάστηκαν ως προσαρμοσμένα διαγνωστικά εργαλεία για μαθητές Β' Γυμνασίου ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., βασισμένα στις διεθνείς πρακτικές μελέτης των εναλλακτικών ιδεών στη Χημεία και ειδικότερα στο πεδίο των μιγμάτων και της σωματιδιακής φύσης της ύλης. Παράλληλα, αποτελούν το βασικό ποσοτικό μέσο αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης διδακτικής παρέμβασης. Το πλήρες κείμενο των φύλλων εργασίας του pre-test και του post-test, όπως χορηγήθηκαν στους μαθητές, παρατίθεται στα Παραρτήματα Α και Β αντίστοιχα.

2.6.2 Φύλλα εργασίας δραστηριοτήτων

Στη φάση της αναδόμησης αξιοποιήθηκαν τρία διαδοχικά φύλλα εργασίας, τα οποία συνόδευαν αντίστοιχες δραστηριότητες πειραματισμού, χρήσης προσομοίωσης και επεξεργασίας εικόνων, με στόχο την υποστήριξη της εννοιολογικής αλλαγής των μαθητών σχετικά με τα μίγματα και τη σωματιδιακή φύση της ύλης (Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014· Vosniadou et al., 2008). Τα φύλλα εργασίας λειτουργούν παράλληλα ως διδακτικά εργαλεία που καθοδηγούν τη διερευνητική μάθηση και ως μέσα συλλογής δεδομένων, καθώς μέσα από τις γραπτές απαντήσεις, τις παρατηρήσεις και τις εξηγήσεις των μαθητών καταγράφεται η εξέλιξη των αντιλήψεών τους (Creswell & Creswell, 2018, σελ.199-200· Mertler, 2017,σελ. 91-101). Ο σχεδιασμός τους βασίζεται στο θεωρητικό πλαίσιο της εννοιολογικής αλλαγής, της διερευνητικής μάθησης και των αρχών του UDL, όπως έχει ήδη

παρουσιάζεται στο θεωρητικό μέρος της εργασίας (Benite et al., 2022· Chi, 2005· Dewi et al., 2024· Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025· Vosniadou et al., 2008).

2.6.2.1 Φύλλο εργασίας πειραματικής δραστηριότητας

Το φύλλο εργασίας της πειραματικής δραστηριότητας είναι δομημένο σε διαδοχικά, μικρά βήματα, τα οποία οδηγούν τους μαθητές από απλές παρατηρήσεις σε πιο σύνθετες συγκρίσεις και αιτιολογήσεις, διευκολύνοντας την προοδευτική αναδόμηση των εννοιών (Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014). Κάθε ενότητα περιλαμβάνει σαφείς οδηγίες, αριθμημένες ερωτήσεις και ξεχωριστά πεδία απάντησης, ώστε να υποστηρίζεται η σταδιακή οικοδόμηση νοήματος από τους μαθητές και να διευκολύνεται η κωδικοποίηση των δεδομένων από τον/την ερευνητή/τρια (Creswell & Creswell, 2018, σελ.137-161, 199-200· Mertler, 2017, σελ.91-101). Η αλληλουχία «τι βλέπω – πώς αλλάζει – πώς το εξηγώ» ευθυγραμμίζεται με τα μοντέλα εννοιολογικής αλλαγής, τα οποία προτείνουν δραστηριότητες που προκαλούν τα αρχικά νοητικά μοντέλα και ενθαρρύνουν την αναδιαμόρφωσή τους μέσω αναστοχασμού (Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014· Vosniadou et al., 2008). Παράλληλα, η μορφή του φύλλου αντικατοπτρίζει αρχές καθοδηγούμενης διερεύνησης, καθώς οργανώνει τις πειραματικές ενέργειες και τις ερωτήσεις με τρόπο που προσφέρει υποστήριξη, χωρίς να αφαιρεί από τους μαθητές την ανάγκη να σκεφτούν και να αιτιολογήσουν (Costu et al., 2007· Geveke et al., 2016· Dewi et al., 2024· Mukti & LFX, 2025). Το πλήρες φύλλο εργασίας για την πειραματική δραστηριότητα παρατίθεται στο Παράρτημα Γ.

2.6.2.2 Φύλλο εργασίας προσομοίωσης PhET

Το φύλλο εργασίας για την προσομοίωση PhET έχει σχεδιαστεί ως «οδηγός διερεύνησης» της μικροσκοπικής αναπαράστασης των μιγμάτων, με διαδοχικές δραστηριότητες που ξεκινούν από προβλέψεις, συνεχίζονται με παρατήρηση της προσομοίωσης και καταλήγουν σε ερμηνείες και αναστοχασμό, υποστηρίζοντας μια δομημένη διαδικασία διερεύνησης (Hinostroza et al., 2024· Vilaro et al., 2017). Η ακολουθία πρόβλεψη–παρατήρηση–εξήγηση αποτυπώνεται ξεκάθαρα στις ερωτήσεις του φύλλου εργασίας, καθώς οι μαθητές καλούνται όχι μόνο να περιγράψουν όσα παρατηρούν στην οθόνη, αλλά και να συνδέσουν τη σωματιδιακή εικόνα με προηγούμενες εμπειρίες και

μακροσκοπικές ιδιότητες, όπως προτείνεται για την ανάπτυξη βαθύτερης κατανόησης στη Χημεία (Gilbert, 2005· Gilbert & Treagust, 2009).

Οι σύντομες και σαφείς διατυπώσεις, καθώς και τα διακριτά πεδία για προβλέψεις και συμπεράσματα, αντανakλούν προτάσεις της βιβλιογραφίας για φύλλα εργασίας που οργανώνουν τη διαδικασία διερεύνησης σε διαχειρίσιμα βήματα, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της καθοδηγούμενης διερεύνησης (Dewi et al., 2024· Geveke et al., 2016· Mukti & LFX, 2025). Παράλληλα, η έμφαση στη σύνδεση μακροσκοπικών και μικροσκοπικών αναπαραστάσεων μέσω στοχευμένων ερωτήσεων συνδέεται με τις προτάσεις των Bucat και Mocerino (2009), Davidowitz και Chittleborough (2009) και Santos και Arroio (2016) για τον σχεδιασμό φύλλων εργασίας που ενισχύουν τη μετάβαση ανάμεσα στα τρία επίπεδα αναπαράστασης στη Χημεία (μακροσκοπικό, μικροσκοπικό, συμβολικό). Το πλήρες φύλλο εργασίας για τη δραστηριότητα της προσομοίωσης παρατίθεται στο Παράρτημα Δ.

2.6.2.3 Φύλλο εργασίας με εικόνες

Το φύλλο εργασίας με εικόνες οργανώνεται γύρω από μια σειρά οπτικών αναπαραστάσεων καθημερινών μιγμάτων, οι οποίες συνοδεύονται από ερωτήσεις ταξινόμησης, περιγραφής και σωματιδιακής ερμηνείας των καταστάσεων, με στόχο τη συστηματική διερεύνηση της κατανόησης των μαθητών (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ.6-14,21-23). Η δομή «εικόνα – περιγραφή – κατηγοριοποίηση – εξήγηση» επαναλαμβάνεται σκόπιμα, ώστε οι μαθητές να εξασκούνται συστηματικά στη σύνδεση του μακροσκοπικού με το μικροσκοπικό επίπεδο, ενώ παράλληλα να παράγονται συγκρίσιμα γραπτά δεδομένα για διαφορετικές περιπτώσεις, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία για τις παρανοήσεις στη Χημεία (De Vos & Verdonk, 1996· Harrison & Treagust, 2003· Stojanovska et al., 2012).

Η επιλογή σταθερής μορφής, απλής γλώσσας και οπτικών στηριγμάτων ευθυγραμμίζεται με τις αρχές του UDL, οι οποίες προτείνουν πολλαπλούς τρόπους παρουσίασης και επεξεργασίας της πληροφορίας, καθώς και δομημένα φύλλα εργασίας για την υποστήριξη μαθητών με διαφοροποιημένες μαθησιακές ανάγκες (Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025· Zejnilagi-Hajri et al., 2015). Παράλληλα, η εστίαση σε γνωστές προβληματικές περιοχές, όπως η διάκριση μιγμάτων–καθαρών ουσιών και ομογενών–ετερογενών μιγμάτων, βασίζεται σε ερευνητικά ευρήματα που αναδεικνύουν σταθερές παρανοήσεις των μαθητών στις συγκεκριμένες έννοιες

(Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ.6-14, 21-23). Το πλήρες φύλλο εργασίας με εικόνες παρατίθεται στο Παράρτημα Ε.

2.6.3 Σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας αξιοποιήθηκαν σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις με μαθητές, με στόχο την εμβάθυνση στις εμπειρίες, τις αντιλήψεις και τις δυσκολίες τους σχετικά με τη διδακτική παρέμβαση και ειδικότερα με τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και την γνωστική εμπλοκή τους κατά τη διάρκειά της. Οι συνεντεύξεις πραγματοποιήθηκαν μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης, ώστε οι μαθητές να αναστοχαστούν συνολικά πάνω στη μαθησιακή τους πορεία και να συμπληρώσουν τα δεδομένα που προέκυψαν από τα pre/post τεστ, τα φύλλα εργασίας και το φύλλο παρατήρησης (Creswell & Creswell, 2018, σελ.162-205· Koshy, 2010, σελ.1-3,14-15· Mertler, 2017,σελ.91-97). Η επιλογή της ημιδομημένης μορφής επιτρέπει τόσο τη σύγκριση των απαντήσεων σε κοινές ερωτήσεις όσο και τη διατύπωση διευκρινιστικών ερωτήσεων από τον/την ερευνητή/τρια, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία της εκπαιδευτικής έρευνας (Cohen, Manion, & Morrison, 2018,σελ. 508-512· Creswell & Creswell, 2018,σελ.162-187).

Οι συνεντεύξεις βασίστηκαν σε οδηγό ερωτήσεων οργανωμένο σε τρεις θεματικές ενότητες: συμμετοχή, ενδιαφέρον και εμπλοκή. Η οργάνωση αυτή συνδέεται άμεσα με το τρίτο ερευνητικό ερώτημα της μελέτης, καθώς επιδιώκει να αποτυπώσει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τη μαθησιακή διαδικασία και αξιολόγησαν τη δική τους εμπλοκή στις δραστηριότητες της παρέμβασης. Η χρήση θεματικά οργανωμένου οδηγού συνέντευξης ανταποκρίνεται σε προτάσεις της βιβλιογραφίας για τις ημιδομημένες συνεντεύξεις, σύμφωνα με τις οποίες οι ερωτήσεις οργανώνονται σε σαφείς άξονες που εξυπηρετούν συγκεκριμένους ερευνητικούς στόχους (Cohen et al., 2018, σελ.508-512· Creswell & Creswell, 2018,σελ.162-187).

Η πρώτη θεματική ενότητα αφορά τη συμμετοχή των μαθητών στη διδακτική παρέμβαση και εστιάζει στον βαθμό στον οποίο οι ίδιοι αισθάνθηκαν ότι συμμετείχαν ενεργά στις δραστηριότητες, στις συζητήσεις και στις ομαδικές εργασίες (Cohen et al., 2018, σελ.508-515· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187). Η δεύτερη ενότητα σχετίζεται με το ενδιαφέρον των μαθητών για τη μαθησιακή διαδικασία και διερευνά ποια στοιχεία της παρέμβασης τους κέντρισαν περισσότερο την προσοχή, ποια τους δυσκόλεψαν

και ποια τους βοήθησαν να παραμείνουν ενεργοί κατά τη διάρκεια του μαθήματος (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187· Koshy, 2010, σελ. 14-15· Mertler, 2017, σελ. 91-97). Η τρίτη ενότητα αφορά την εμπλοκή των μαθητών και επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο οι ίδιοι αντιλήφθηκαν τη νοητική και πρακτική τους ενασχόληση με τις δραστηριότητες, τα φύλλα εργασίας, τις προσομοιώσεις και το πείραμα, σε συνάφεια με τη βιβλιογραφία για τη διερευνητική μάθηση και την ενεργητική συμμετοχή των μαθητών στην οικοδόμηση της γνώσης (Dewi et al., 2024· Geveke et al., 2016· Hinostroza et al., 2024· Vilardo et al., 2017). Επίσης, στην τρίτη θεματική ενότητα περιλαμβάνονται ερωτήσεις αναστοχασμού, που καλούν τους μαθητές να αποτιμήσουν συνολικά την εμπειρία τους από το μάθημα και να προτείνουν στοιχεία που θα ήθελαν να παραμείνουν ή να αλλάξουν σε μια μελλοντική επανάληψη της παρέμβασης (Cohen et al., 2018, σελ. 508-515· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187).

Οι συνεντεύξεις είναι σύντομες και εστιασμένες, ώστε να είναι διαχειρίσιμες για μαθητές Ειδικού Γυμνασίου και να μπορούν να ενταχθούν ρεαλιστικά στο σχολικό πλαίσιο. Η χρήση σαφών και απλών διατυπώσεων στις ερωτήσεις αντανακλά προτάσεις της βιβλιογραφίας για συνεντεύξεις με μαθητές, σύμφωνα με τις οποίες προτιμώνται συγκεκριμένες και κατανοητές ερωτήσεις που συνδέονται με άμεσες εμπειρίες των συμμετεχόντων (Cohen et al., 2018, σελ. 512-515· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187). Οι απαντήσεις των μαθητών θα αξιοποιηθούν στην ποιοτική ανάλυση μέσω θεματικής κωδικοποίησης, συμβάλλοντας στην τριγωνοποίηση των δεδομένων και στην ερμηνεία του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος της μελέτης (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187· Mertler, 2017, σελ. 100-101). Ο πλήρης οδηγός των σύντομων ημιδομημένων συνεντεύξεων παρατίθεται στο Παράρτημα Η.

2.6.4 Φύλλο παρατήρησης

Για τη συμπληρωματική συλλογή δεδομένων σχετικά με τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών χρησιμοποιήθηκε δομημένο φύλλο παρατήρησης, το οποίο σχεδιάστηκε ειδικά για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας. Το ίδιο φύλλο αξιοποιήθηκε και στις τρεις φάσεις της διδακτικής παρέμβασης (εκμείωση, αναδόμηση, ανασκόπηση), ώστε τα κριτήρια καταγραφής να παραμένουν σταθερά και να καθίσταται δυνατή η σύγκριση της συμπεριφοράς και της εμπλοκής των μαθητών στα διαφορετικά στάδια της παρέμβασης. Η χρήση δομημένου φύλλου παρατήρησης

ευθυγραμμίζεται με τη βιβλιογραφία για την εκπαιδευτική έρευνα και την έρευνα δράσης, σύμφωνα με την οποία η συστηματική παρατήρηση σε φυσικά περιβάλλοντα μάθησης αποτελεί βασική τεχνική συλλογής ποιοτικών δεδομένων (Cohen et al., 2018, σελ.542-549 · Creswell & Creswell, 2018, σελ.162-187· Koshy, 2010, σελ. 17-20· Mertler, 2017, σελ. 92-95).

Το φύλλο παρατήρησης οργανώνεται γύρω από τρεις βασικές διαστάσεις: τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών στις δραστηριότητες της παρέμβασης, όπως η συζήτηση εκμαίευσης, η εργασία με τα φύλλα εργασίας, οι πειραματικές δραστηριότητες και η χρήση της προσομοίωσης PhET. Η διάσταση της συμμετοχής αφορά ενδείξεις όπως η προσοχή, η ενεργός συμμετοχή και η συνεργασία στις ομάδες, οι οποίες αναγνωρίζονται ως βασικοί δείκτες εμπλοκής σε περιβάλλοντα διερεύνησης (Dewi et al., 2024· Geveke et al., 2016· Hinostroza et al., 2024· Vilardo et al., 2017). Η διάσταση του ενδιαφέροντος σχετίζεται με τη φανερή διάθεση των μαθητών να εμπλακούν στις δραστηριότητες, όπως η προθυμία συμμετοχής, τα θετικά σχόλια και η επιθυμία συνέχισης των δραστηριοτήτων, σύμφωνα με ερευνητικά ευρήματα που συνδέουν το ενδιαφέρον με την ποιότητα της συμμετοχής σε διερευνητικές δραστηριότητες (Dewi et al., 2024· Hinostroza et al., 2024).

Η γνωστική εμπλοκή αφορά τον βαθμό στον οποίο οι μαθητές προσπαθούν να ερμηνεύσουν φαινόμενα, να διατυπώσουν αιτιολογημένες απαντήσεις και να συνδέσουν νέες πληροφορίες με προϋπάρχουσες γνώσεις. Οι σχετικοί δείκτες περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, προσπάθειες εξήγησης των αποτελεσμάτων ενός πειράματος, περιγραφές της προσομοίωσης σε σωματιδιακό επίπεδο ή χρήση εννοιών που έχουν ήδη διδαχθεί, στοιχεία που συνδέονται με τις θεωρίες εννοιολογικής αλλαγής και «θεωρίες-πλαίσιο» (Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014· Vosniadou, 2008). Η παρατήρηση της γνωστικής εμπλοκής θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς η βαθύτερη κατανόηση των μιγμάτων και της σωματιδιακής φύσης της ύλης προϋποθέτει ενεργή επεξεργασία και αναδόμηση των αρχικών ιδεών των μαθητών (Barke et al., 2008, σελ. 2-3, 28-31, 41-42· Harrison & Treagust, 2003· Nakhleh, 1992).

Για καθεμία από τις τρεις διαστάσεις, ο/η παρατηρητής/τρια καταγράφει σύντομες και συγκεκριμένες παρατηρήσεις, ενώ παρέχεται βοηθητικός οδηγός με ενδεικτικά παραδείγματα σύντομων σημειώσεων (απαντήσεις 1 και 2), ώστε η καταγραφή να είναι πρακτικά εφαρμόσιμη κατά τη διάρκεια του μαθήματος. Η επιλογή σύντομων σημειώσεων,

σε συνδυασμό με σαφή κριτήρια ανά διάσταση, διευκολύνει τη μεταγενέστερη κωδικοποίηση και αντιπαραβολή των παρατηρήσεων ανά μαθητή ή ομάδα, όπως προτείνεται στη βιβλιογραφία για τη συστηματική ανάλυση δεδομένων παρατήρησης σε έρευνα δράσης (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187· Koshy, 2010, σελ. 10-12· Mertler, 2017, σελ. 92-95). Ο συνδυασμός δομημένων διαστάσεων με σύντομα ποιοτικά σχόλια αντανακλά τη λογική της «δομημένης παρατήρησης με πεδία σχολιασμού», η οποία προτείνεται για την ενίσχυση τόσο της αξιοπιστίας όσο και του πλούτου των δεδομένων (Cohen et al., 2018, σελ. 545-551, 560-561· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187).

Μέρος των δεικτών του φύλλου παρατήρησης εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αλληλεπιδρούν με τα διδακτικά εργαλεία της παρέμβασης, όπως τα φύλλα εργασίας, οι προσομοιώσεις και οι εικόνες, επιτρέποντας τη συσχέτιση της συμπεριφοράς τους με τα γραπτά προϊόντα που παράγουν. Η ποιότητα της εμπλοκής των μαθητών με τα εργαλεία αυτά έχει συνδεθεί με την ικανότητα σύνδεσης μακροσκοπικών, μικροσκοπικών και συμβολικών αναπαραστάσεων στη Χημεία (Bucat & Mocerino, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Gilbert, 2005· Gilbert & Treagust, 2009· Santos & Arroio, 2016). Με τον τρόπο αυτό, τα δεδομένα από το φύλλο παρατήρησης ενισχύουν την ερμηνεία των αποτελεσμάτων από τα pre/post τεστ και τα φύλλα εργασίας, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας της μαθησιακής πορείας των μαθητών (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 121-123, 167-171, 194-199).

Για τη διασφάλιση της συνέπειας και της αξιοπιστίας στη χρήση του φύλλου παρατήρησης καταρτίστηκε σύντομος βοηθητικός οδηγός συμπλήρωσης, στον οποίο διευκρινίζονται τα κριτήρια κάθε διάστασης και παρέχονται ενδεικτικά παραδείγματα σύντομων σημειώσεων. Ο οδηγός αυτός λειτουργεί ως εργαλείο υποστήριξης του/της παρατηρητή/τριας, ώστε η καταγραφή να είναι συστηματική και συγκρίσιμη μεταξύ των τριών φάσεων της παρέμβασης, σύμφωνα με τις προτάσεις της βιβλιογραφίας για σαφείς οδηγίες χρήσης δομημένων εργαλείων παρατήρησης στην εκπαιδευτική έρευνα και στην έρευνα δράσης (Cohen et al., 2018, σελ. 545-546· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 167-171, 194-199· Koshy, 2010, σελ. 5-8· Mertler, 2017, σελ. 91-102). Το πλήρες φύλλο παρατήρησης παρατίθεται στο Παράρτημα ΣΤ, ενώ ο βοηθητικός οδηγός συμπλήρωσής του παρατίθεται στο Παράρτημα Ζ.

2.7 Διαδικασία υλοποίησης της έρευνας

Η διαδικασία υλοποίησης της έρευνας οργανώθηκε σε τρεις διακριτές φάσεις: την προπαρασκευαστική φάση, τη φάση υλοποίησης της διδακτικής παρέμβασης και τη φάση μετα-αξιολόγησης. Η διάρθρωση αυτή ευθυγραμμίζεται με τον κυκλικό χαρακτήρα της έρευνας δράσης, ο οποίος περιλαμβάνει τα στάδια του σχεδιασμού, της δράσης, της παρατήρησης και του αναστοχασμού, καθώς και με τα στάδια σχεδιασμού και εφαρμογής εκπαιδευτικών παρεμβάσεων που περιγράφονται στη μεθοδολογική βιβλιογραφία (Koshy, 2010, σελ. 4-8· Mertler, 2017, σελ. 92).

2.7.1 Προπαρασκευαστική φάση

Στην προπαρασκευαστική φάση καθορίστηκαν ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, επιλέχθηκε το δείγμα των μαθητών και εξασφαλίστηκαν οι απαραίτητες άδειες και συναινέσεις από το σχολείο. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε η διδακτική παρέμβαση για τα μίγματα και τη σωματιδιακή φύση της ύλης, σε συνάφεια με το θεωρητικό πλαίσιο της εννοιολογικής αλλαγής, της διερευνητικής μάθησης και των αρχών του UDL. Παράλληλα, κατασκευάστηκαν τα εργαλεία συλλογής δεδομένων (pre/post τεστ, φύλλα εργασίας, φύλλο παρατήρησης και οδηγός συνεντεύξεων), με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία για τη χρήση πολλαπλών εργαλείων στην εκπαιδευτική έρευνα και στην έρευνα δράσης (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 32, 194-201· Koshy, 2010, σελ. 5-8· Mertler, 2017, σελ. 91-111). Ο σχεδιασμός των εργαλείων ακολούθησε τις γενικές κατευθύνσεις για συστηματικό μεθοδολογικό σχεδιασμό πριν από την κύρια φάση υλοποίησης μιας παρέμβασης, αν και δεν πραγματοποιήθηκε ξεχωριστή πιλοτική εφαρμογή τους, γεγονός που αποτελεί περιορισμό της παρούσας έρευνας (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 140-141· Mertler, 2017, σελ. 91-102).

2.7.2 Φάση υλοποίησης της διδακτικής παρέμβασης

Η φάση υλοποίησης περιλάμβανε τη διδασκαλία της ενότητας για τα μίγματα μέσα από τρεις διαδοχικές φάσεις (εκμαίευση, αναδόμηση, ανασκόπηση), όπως περιγράφονται αναλυτικά στην ενότητα με τις φάσεις. Στην αρχή της φάσης της εκμαίευσης χορηγήθηκε στους μαθητές το pre-test, με στόχο την αρχική αποτύπωση των ιδεών τους σχετικά με τα μίγματα και τη σωματιδιακή φύση της ύλης, σε συμφωνία με τη λογική των pre-post

σχεδιασμών που αξιοποιούνται σε εκπαιδευτικές παρεμβάσεις για τη διερεύνηση της εννοιολογικής αλλαγής (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 137-161· Driver & Oldham, 1986· Gurel et al., 2015· Suparman et al., 2024).

Κατά τη φάση της αναδόμησης, οι μαθητές εργάστηκαν με τα φύλλα δραστηριοτήτων (πειραματική δραστηριότητα, προσομοίωση PhET και φύλλο με εικόνες), με στόχο την υποστήριξη της εννοιολογικής αλλαγής μέσα από διερευνητικές, πολυτροπικές και διαφοροποιημένες δραστηριότητες, όπως προτείνεται από σύγχρονες μελέτες στη διδακτική της Χημείας (Bucat & Mocerino, 2009· Gilbert & Treagust, 2009· Mikropoulos, 2023). Στη φάση της ανασκόπησης, οι μαθητές κλήθηκαν να αναστοχαστούν πάνω σε βασικές έννοιες και δραστηριότητες της ενότητας, ενώ χορηγήθηκε το post-test, το οποίο είχε αντίστοιχο δομικό και θεματικό περιεχόμενο με το pre-test, ώστε να διερευνηθεί πιθανή αλλαγή στις αντιλήψεις τους σχετικά με τα μίγματα και τη σωματιδιακή φύση της ύλης (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 137-161· Driver & Oldham, 1986· Gurel et al., 2015). Η ενσωμάτωση του post-test στη φάση της ανασκόπησης ευθυγραμμίζεται με τη λογική της αποτίμησης της μάθησης στο τέλος μιας διδακτικής ενότητας σε συνδυασμό με δραστηριότητες αναστοχασμού, όπως προτείνεται στο πλαίσιο της εννοιολογικής αλλαγής (Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014· Vosniadou et al., 2008).

Καθ' όλη τη διάρκεια της υλοποίησης, το φύλλο παρατήρησης χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή δεικτών συμμετοχής, ενδιαφέροντος και εμπλοκής των μαθητών, ενώ οι γραπτές απαντήσεις στα φύλλα εργασίας συλλέχθηκαν ως βασικά ποιοτικά δεδομένα για την ανάλυση της μαθησιακής τους πορείας. Η συνδυαστική αξιοποίηση πολλαπλών εργαλείων κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (pre/post τεστ, φύλλα εργασίας και παρατήρηση) ανταποκρίνεται στις προτάσεις για τριγωνοποίηση δεδομένων στην εκπαιδευτική έρευνα και στην έρευνα δράσης (Cohen et al., 2018, σελ. 265-280· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 194-205· Mertler, 2017, σελ. 91-102).

2.7.3 Φάση μετα-αξιολόγησης

Μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης και τη χορήγηση του post-test πραγματοποιήθηκαν σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις σε δυο επιλεγμένους μαθητές. Στόχος τους ήταν η εμβάθυνση στις εμπειρίες των μαθητών σχετικά με τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και την εμπλοκή τους κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, καθώς και η περαιτέρω διερεύνηση του τρίτου ερευνητικού ερωτήματος. Οι συνεντεύξεις βασίστηκαν σε θεματικά

οργανωμένο οδηγό ερωτήσεων και αξιοποιήθηκαν συμπληρωματικά προς τα υπόλοιπα δεδομένα της έρευνας, στο πλαίσιο μιας μικτής μεθοδολογικής προσέγγισης, όπου τα ποιοτικά δεδομένα χρησιμοποιούνται για την ερμηνεία και τον εμπλουτισμό των ποσοτικών ευρημάτων (Cohen et al., 2018, σελ. 508-527· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 194-195· Mertler, 2017, σελ. 91-102). Η φάση της μετα-αξιολόγησης ολοκληρώνει τον κύκλο της έρευνας δράσης, καθώς παρέχει το απαραίτητο υλικό για αναστοχασμό πάνω στη διδακτική παρέμβαση και για τον σχεδιασμό βελτιώσεων σε μελλοντικές εφαρμογές της (Koshy, 2010, σελ. 5-9· Mertler, 2017, σελ. 91-102).

2.8 Μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας περιλάμβανε συνδυασμό περιγραφικής ποσοτικής ανάλυσης και ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου, αντανακλώντας τον μικτό χαρακτήρα του ερευνητικού σχεδιασμού και της έρευνας δράσης. Τα ποσοτικά δεδομένα που προέκυψαν από τα pre/post τεστ αναλύθηκαν με τη χρήση περιγραφικών στατιστικών μέτρων, ενώ τα ποιοτικά δεδομένα από τα τεστ, τα φύλλα εργασίας, το φύλλο παρατήρησης και τις συνεντεύξεις αναλύθηκαν μέσω διαδικασιών κωδικοποίησης και κατηγοριοποίησης του περιεχομένου σε θεματικούς άξονες, σύμφωνα με τις προτάσεις της μεθοδολογικής βιβλιογραφίας για την εκπαιδευτική έρευνα (Cohen et al., 2018, σελ. 643-650· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 137-161, σελ. · Mertler, 2017, σελ. 91-102).

2.8.1 Περιγραφική ανάλυση ποσοτικών δεδομένων

Τα ποσοτικά δεδομένα της έρευνας προέκυψαν από τις κλειστού τύπου ερωτήσεις του pre/post τεστ, οι οποίες βαθμολογήθηκαν με βάση προκαθορισμένα κριτήρια ορθών και λανθασμένων απαντήσεων, ώστε να προκύψει ο συνολικός αριθμός σωστών απαντήσεων για κάθε μαθητή. Η αξιολόγηση αυτή στηρίχθηκε αποκλειστικά στις επιλογές απάντησης (Α, Β, Γ, Δ), όπως καταγράφονται στα φύλλα pre-test και post-test, ενώ οι αιτιολογήσεις αναλύθηκαν χωριστά στο πλαίσιο της ποιοτικής ανάλυσης. Για κάθε ερώτηση του τεστ υπολογίστηκαν συχνότητες και ποσοστά σωστών και λανθασμένων απαντήσεων τόσο στο pre όσο και στο post, με στόχο την αποτύπωση των μεταβολών στις επιδόσεις των μαθητών σε επίπεδο επιμέρους εννοιών, πρακτική που προτείνεται στην περιγραφική ανάλυση εκπαιδευτικών δεδομένων (Cohen et al., 2018, σελ. 643-647, 668-675, 754-761· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 137-161). Επιπλέον, υπολογίστηκαν ο μέσος όρος και το εύρος των συνολικών επιδόσεων των μαθητών στο pre και στο post, ώστε να διερευνηθεί η γενική

τάση βελτίωσης σε επίπεδο τάξης, σε συνάφεια με τη χρήση μέσων τιμών σε έρευνες με μικρά εκπαιδευτικά δείγματα (Cohen et al., 2018, σελ. 762-765· Mertler, 2017, σελ. 91-102).

Τα αποτελέσματα της περιγραφικής ανάλυσης οργανώθηκαν σε πίνακες και, όπου κρίθηκε απαραίτητο, παρουσιάστηκαν και με απλά γραφήματα (π.χ. ραβδογράμματα προ-μετά), ώστε να διευκολύνεται η σύγκριση των επιδόσεων μεταξύ pre και post και να αναδεικνύονται τα μοτίβα αλλαγής στις απαντήσεις των μαθητών (Cohen et al., 2018, σελ. 754-761· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 137-161). Η επιλογή περιορισμού της ανάλυσης σε περιγραφικά στατιστικά μέτρα, χωρίς τη χρήση πιο σύνθετων στατιστικών ελέγχων, συνδέεται με το μικρό μέγεθος του δείγματος και με τον χαρακτήρα της έρευνας δράσης, όπου η έμφαση δίνεται κυρίως στην παιδαγωγική ερμηνεία των δεδομένων και όχι στη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων, όπως επισημαίνεται στη σχετική βιβλιογραφία (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 91-102· Mertler, 2017, σελ. 137-161).

2.8.2 Ποιοτική ανάλυση περιεχομένου

Για την επεξεργασία των ποιοτικών δεδομένων της έρευνας εφαρμόστηκε ποιοτική ανάλυση περιεχομένου, με στόχο τη συστηματική κωδικοποίηση και ομαδοποίηση των απαντήσεων και παρατηρήσεων σε κατηγορίες και θεματικούς άξονες. Τα ποιοτικά δεδομένα περιλάμβαναν τις επιλογές αιτιολόγησης στις κλειστού τύπου ερωτήσεις των pre/post τεστ (δηλαδή τις προκαθορισμένες λεκτικές αιτιολογήσεις που επέλεξαν οι μαθητές), τις απαντήσεις στα φύλλα εργασίας, τις σημειώσεις των φύλλων παρατήρησης και τα απομαγνητοφωνημένα αποσπάσματα από τις σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις, σε συμφωνία με τη σύσταση για αξιοποίηση πολλαπλών πηγών δεδομένων στην ποιοτική ανάλυση εκπαιδευτικής έρευνας (Cohen et al., 2018, σελ. 471–504, 506–540, 542–585· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162–187· Mertler, 2017, σελ. 91–100)

Η διαδικασία της ανάλυσης ακολούθησε τα βασικά στάδια που προτείνονται για την ποιοτική ανάλυση περιεχομένου. Αρχικά πραγματοποιήθηκε επανειλημμένη ανάγνωση του συνόλου των δεδομένων, ώστε να διαμορφωθεί μια συνολική εικόνα των απαντήσεων και των μοτίβων που αναδύονται (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162–187). Στη συνέχεια εφαρμόστηκε αρχική κωδικοποίηση, με την απόδοση σύντομων περιγραφικών κωδικών σε τμήματα κειμένου και σε προκαθορισμένες λεκτικές επιλογές (όπως λέξεις, φράσεις ή προτάσεις), που σχετίζονταν με τις βασικές έννοιες της έρευνας, όπως σωστές σωματιδιακές εξηγήσεις, τυπικές παρανοήσεις, δείκτες συμμετοχής, ενδιαφέροντος και γνωστικής

εμπλοκής, καθώς και στάσεις απέναντι στις δραστηριότητες (Cohen et al., 2018, σελ. 668–675· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162–187). Οι κωδικοί αυτοί ομαδοποιήθηκαν σε ευρύτερες κατηγορίες και υποκατηγορίες, οι οποίες συνδέθηκαν με τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, διαδικασία που στη βιβλιογραφία περιγράφεται ως ανάπτυξη θεμάτων και κατηγοριών στην ποιοτική ανάλυση (Cohen et al., 2018, σελ. 643-647, 668-675· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162-187· Mertler, 2017, σελ.91-102).

Συγκεκριμένα, για την ποιοτική ανάλυση των αιτιολογήσεων των pre/post test, οι προκαθορισμένες λεκτικές αιτιολογήσεις που συνόδευαν κάθε κλειστού τύπου ερώτηση οργανώθηκαν σε ορισμένες βασικές ομάδες, ώστε να διακρίνονται οι επιστημονικά συμβατές ερμηνείες από τις εμπειρικές/μακροσκοπικές εξηγήσεις, τις καθημερινές/κοινωνικές αιτιολογήσεις και τις παρανοησιακές αντιλήψεις, σε συμφωνία με τη σχετική συζήτηση στη διεθνή βιβλιογραφία για τις εναλλακτικές ιδέες και τις παρανοήσεις στη Χημεία (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 6–9, 21–23, 27–29 · Barke et al., 2008, σελ. 24–30 και 37–45 · Chi, 2005· Taber, 2010, 2013, 2014). Οι ομάδες αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 2-6 και αξιοποιήθηκαν ως συμπληρωματική πηγή πληροφόρησης για την εξέλιξη των εννοιολογικών πλαισίων των μαθητών από το pre-test στο post-test. Οι ίδιες κατηγορίες εφαρμόστηκαν ως αναλυτικό πλαίσιο και στις λεκτικές φράσεις των φύλλων εργασίας (π.χ. «όλο ίδιο», «δεν βλέπω κομμάτια», «κάθεται κάτω»), ώστε να διατηρείται συνέπεια στην ερμηνεία των τρόπων με τους οποίους οι μαθητές νοηματοδοτούν τα μίγματα και τη διάλυση.

Πίνακας 2-6. Βασικές ομάδες αιτιολογήσεων στις ερωτήσεις των pre-και post-test

Ομάδα	Περιγραφή	Ενδεικτικά παραδείγματα από τις αιτιολογήσεις των τεστ
Επιστημονικά συμβατές αιτιολογήσεις	Βασίζονται σε χημικές έννοιες (είδος υλικού ή σωματιδίων, ανάμειξη, ομοιόμορφη κατανομή).	«είναι ένα μόνο είδος υλικού», «έχω δύο υλικά ανακατεμένα (νερό + ζάχαρη)», «τα σωματίδια είναι ανακατεμένα παντού»
Εμπειρικές / μακροσκοπικές αιτιολογήσεις	Βασίζονται στην εξωτερική όψη και στο αν το δείγμα φαίνεται ίδιο παντού ή έχει κομμάτια	«φαίνεται ίδιο παντού», «δεν βλέπω κομμάτια», «δεν είναι ίδιο παντού»
Καθημερινές / κοινωνικές αιτιολογήσεις	Χρησιμοποιούν τη γλώσσα της καθημερινότητας γύρω από την “καθαρότητα” και στοιχεία όπως συσκευασία ή προέλευση.	«είναι από μπουκάλι και το λένε καθαρό», «από το σούπερ μάρκετ, είναι καθαρό»
Παρανοησιακές αιτιολογήσεις	Εκφράζουν εναλλακτικές, μη επιστημονικά ορθές ιδέες για τα μίγματα και τη διάλυση.	«η ζάχαρη εξαφανίζεται και δεν υπάρχει πια», σύγχυση «δύο ειδών σωματιδίων = ετερογενές μίγμα»
Άλλες αιτιολογήσεις	Δεν εντάσσονται καθαρά σε κάποια από τις παραπάνω ομάδες.	Επιλογή «Άλλο»

Η επιλογή της ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου κρίθηκε κατάλληλη, καθώς επιτρέπει την αξιοποίηση τόσο προϋπαρχουσών κατηγοριών, που προκύπτουν από το θεωρητικό πλαίσιο, όπως είδη παρανοήσεων για τα μίγματα και δείκτες συμμετοχής, ενδιαφέροντος και γνωστικής εμπλοκής, όσο και αναδυόμενων κατηγοριών που προκύπτουν από τα ίδια τα δεδομένα, όπως προτείνεται σε ποιοτικές εκπαιδευτικές έρευνες (Cohen et al., 2018, σελ. 674–675· Creswell & Creswell, 2018, σελ. 162–187). Τα ποιοτικά ευρήματα από τις αιτιολογήσεις των pre/post τεστ, τα φύλλα εργασίας, τα φύλλα παρατήρησης και τις σύντομες ημιδομημένες συνεντεύξεις οργανώθηκαν σε θεματικούς άξονες που αντιστοιχούν στα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, όπως η εννοιολογική αλλαγή για τα μίγματα και τη σωματιδιακή φύση της ύλης, ο τρόπος με τον οποίο οι μαθητές εργάστηκαν με τα φύλλα δραστηριοτήτων και οι εμπειρίες συμμετοχής, ενδιαφέροντος και γνωστικής εμπλοκής τους. Στο πλαίσιο αυτό, οι συνεντεύξεις αναλύθηκαν με την ίδια διαδικασία κωδικοποίησης και ομαδοποίησης, με έμφαση σε θεματικές όπως η εμπειρία της συμμετοχής, το ενδιαφέρον για τις δραστηριότητες, η γνωστική εμπλοκή (π.χ. προσπάθειες αναγνώρισης μιγμάτων, σύνδεσης με καθημερινά παραδείγματα και εξήγησης όσων συμβαίνουν στις δραστηριότητες) και οι αντιληπτές από τους ίδιους τους μαθητές δυσκολίες (π.χ. στη γλώσσα των φύλλων εργασίας και στις οδηγίες των δραστηριοτήτων), λειτουργώντας συμπληρωματικά προς τις παρατηρήσεις και τα φύλλα εργασίας στην ερμηνεία του πώς οι μαθητές βίωσαν τη διδακτική παρέμβαση. Στη συνέχεια, τα ευρήματα αυτά συσχετίστηκαν με τα ποσοτικά αποτελέσματα των pre/post τεστ, στο πλαίσιο της τριγωνοποίησης δεδομένων σε μικτές μεθοδολογικές προσεγγίσεις και έρευνα δράσης (Creswell & Creswell, 2018, σελ. 188-205· Mertler, 2017, σελ. 100-102).

Σημειώνεται ότι, στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας δράσης, η ανάλυση των ποσοτικών δεδομένων περιορίστηκε σε περιγραφικά στατιστικά μέτρα, ενώ το ποιοτικό σκέλος της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων υποστηρίχθηκε από δύο παρατηρήτριες, οι οποίες ανέλαβαν από τρεις μαθητές η καθεμία. Οι επιλογές αυτές, παρότι συνάδουν με τον μικρής κλίμακας και διερευννητικό χαρακτήρα της έρευνας δράσης, εγείρουν ζητήματα που σχετίζονται με την αξιοπιστία και την εγκυρότητα της ανάλυσης των ποιοτικών δεδομένων, όπως επισημαίνεται στη σχετική βιβλιογραφία (Cohen et al., 2018, σελ. 247-279· Mertler, 2017, σελ. 91-102). Ζητήματα που συνδέονται με τις συγκεκριμένες επιλογές, καθώς και με τον σχεδιασμό των εργαλείων συλλογής δεδομένων, συζητούνται αναλυτικότερα στην ενότητα των περιορισμών της έρευνας.

3. Αποτελέσματα

3.1 Περιγραφικά στοιχεία του δείγματος

Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτελείται από έξι μαθητές της Β' τάξης Γυμνασίου του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., οι οποίοι φοιτούν στο ίδιο τμήμα και διδάσκονται από την ίδια εκπαιδευτικό, γεγονός που διασφαλίζει κοινές σχολικές και διδακτικές συνθήκες για όλους τους συμμετέχοντες. Για την προστασία της ανωνυμίας και της ιδιωτικότητάς τους, οι μαθητές κωδικοποιούνται με τους δείκτες Μ1 έως Μ6, χωρίς καμία αναφορά σε προσωπικά στοιχεία ταυτοποίησης. Για τις ανάγκες της διδακτικής παρέμβασης, οι έξι μαθητές οργανώθηκαν σε τρεις μικρές ομάδες εργασίας: την ομάδα Α (Μ1, Μ2), την ομάδα Β (Μ3, Μ5) και την ομάδα Γ (Μ4, Μ6). Η ομαδοποίηση αυτή αποσκοπούσε στην ενίσχυση της συνεργατικής μάθησης και της αμοιβαίας υποστήριξης μεταξύ των μαθητών, χωρίς να θίγεται η ανωνυμία τους.

Συνολικά, το δείγμα χαρακτηρίζεται ως μικρό, εστιασμένο και ετερογενές, στοιχείο που συνάδει με τον χαρακτήρα της έρευνας δράσης σε πλαίσιο ειδικής αγωγής και επιτρέπει τη, σε βάθος, μελέτη των μαθησιακών διαδικασιών σε ένα συγκεκριμένο και αυθεντικό σχολικό περιβάλλον. Η περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του δείγματος κρίνεται απαραίτητη για την ερμηνεία των ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων που ακολουθούν, με την επιφύλαξη ότι δεν παρατίθενται λεπτομερείς εξατομικευμένες πληροφορίες, προκειμένου να προστατεύεται η ανωνυμία των συμμετεχόντων.

3.2 Αποτελέσματα pre/post φύλλων εργασίας

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του pre-test και του post-test δείχνει τάση συνολικής βελτίωσης της επίδοσης των μαθητών μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης. Συγκεκριμένα, ο μέσος όρος των σωστών απαντήσεων αυξήθηκε από 4,0 στο pre-test σε 7,0 στο post-test, ενώ το εύρος των επιδόσεων μεταβλήθηκε από 2–6 σωστές απαντήσεις πριν από την παρέμβαση σε 6–9 σωστές απαντήσεις μετά την εφαρμογή της. Η μεταβολή αυτή μπορεί, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μικρού δείγματος, να ερμηνευθεί ως ένδειξη ενίσχυσης της κατανόησης βασικών πτυχών της έννοιας των μιγμάτων, χωρίς ωστόσο να υποδηλώνει εξάλειψη των επιμέρους δυσκολιών και των διαφοροποιήσεων που παρατηρούνται μεταξύ των μαθητών.

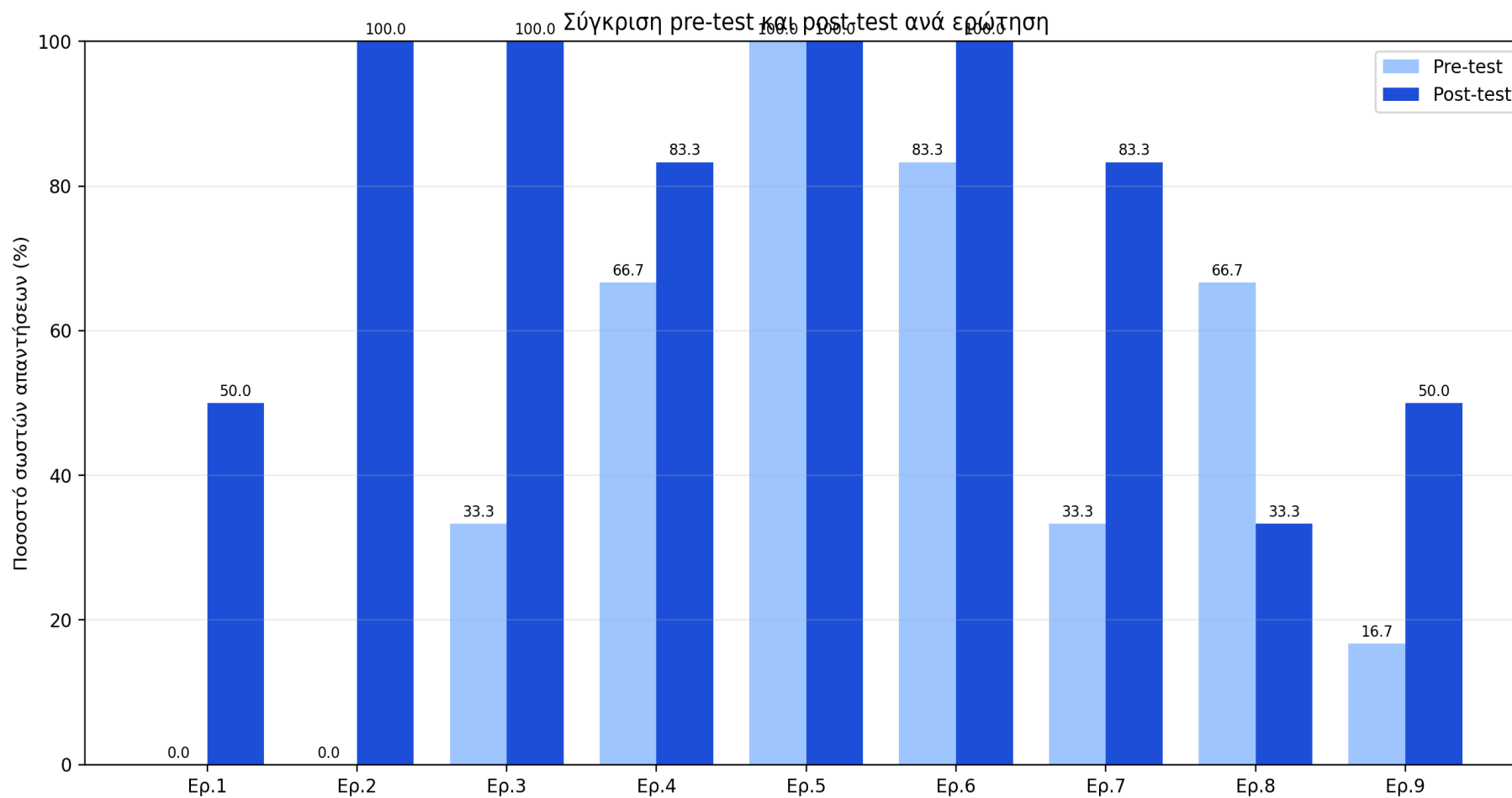
Η συνολική εικόνα των επιδόσεων ανά ερώτηση παρουσιάζεται στον Πίνακα 3-1, όπου καταγράφονται οι συχνότητες και τα ποσοστά σωστών και λανθασμένων απαντήσεων

στο pre-test και στο post-test. Με βάση τα δεδομένα, οι σημαντικότερες θετικές μεταβολές εντοπίζονται στις ερωτήσεις που αφορούν τη ζάχαρη, το νερό με ζάχαρη, το εμφιαλωμένο νερό και τη διάκριση μεταξύ καθαρής ουσίας και μίγματος. Αντίθετα, η μοναδική αρνητική μεταβολή καταγράφεται στην ερώτηση που σχετίζεται με το ομογενές μίγμα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη έννοια ενδέχεται να παραμένει περισσότερο ασταθής και απαιτητική για τους μαθητές.

Πίνακας 3-1. Συχνότητες και ποσοστά σωστών και λανθασμένων απαντήσεων ανά ερώτηση στο pre-test και στο post-test

Ερώτηση	Σωστές pre (v)	Λανθασμένες pre (v)	Σωστές pre (%)	Λανθασμένες pre (%)	Σωστές post (v)	Λανθασμένες post (v)	Σωστές post (%)	Λανθασμένες post (%)	Μεταβολή σωστών (v)	Μεταβολή σωστών (π.μ.)
Ερ.1 Εμφιαλωμένο νερό	0	6	0,0	100,0	3	3	50,0	50,0	3	50,0
Ερ.2 Ζάχαρη	0	6	0,0	100,0	6	0	100,0	0,0	6	100,0
Ερ.3 Νερό + ζάχαρη	2	4	33,3	66,7	6	0	100,0	0,0	4	66,7
Ερ.4 Νερό + φακές	4	2	66,7	33,3	5	1	83,3	16,7	1	16,7
Ερ.5 Χυμός χωρίς κομμάτια	6	0	100,0	0,0	6	0	100,0	0,0	0	0,0
Ερ.6 Όσπρια	5	1	83,3	16,7	6	0	100,0	0,0	1	16,7
Ερ.7 Καθαρή ουσία ή μίγμα	2	4	33,3	66,7	5	1	83,3	16,7	3	50,0
Ερ.8 Ομογενές μίγμα	4	2	66,7	33,3	2	4	33,3	66,7	-2	-33,3
Ερ.9 Ετερογενές μίγμα	1	5	16,7	83,3	3	3	50,0	50,0	2	33,3

Η οπτική αποτύπωση των μεταβολών ανά ερώτηση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-1, το οποίο διευκολύνει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του pre-test και του post-test για καθεμία από τις επιμέρους έννοιες που εξετάστηκαν. Από το ραβδόγραμμα φαίνεται ιδιαίτερα η σημαντική αύξηση των σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις που αφορούν τη ζάχαρη και το νερό με ζάχαρη, καθώς και η διατήρηση υψηλής επίδοσης στην ερώτηση για τον χυμό χωρίς κομμάτια. Παράλληλα, αποτυπώνεται η μείωση της επίδοσης στην ερώτηση για το ομογενές μίγμα, η οποία διαφοροποιείται από τη γενικότερη τάση βελτίωσης που παρατηρείται στις υπόλοιπες ερωτήσεις.



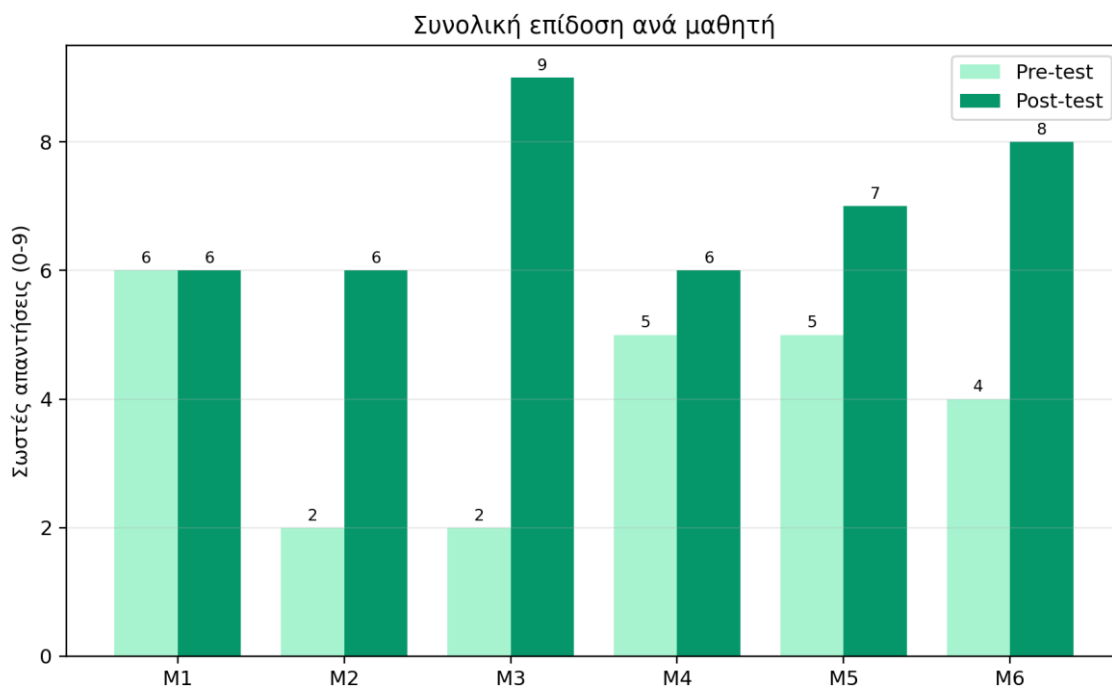
Σχήμα 3-1. Σύγκριση ποσοστών σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στο pre-test και στο post-test

Σε επίπεδο ατομικής επίδοσης, τα δεδομένα δείχνουν ότι πέντε από τους έξι μαθητές αύξησαν τον συνολικό αριθμό των σωστών απαντήσεών τους, ενώ ένας μαθητής διατήρησε σταθερή επίδοση μεταξύ των δύο μετρήσεων. Ειδικότερα, ο μαθητής M3 εμφάνισε τη μεγαλύτερη μεταβολή, καθώς από 2 σωστές απαντήσεις στο pre-test έφτασε στις 9 στο post-test. Σημαντική αύξηση καταγράφηκε επίσης στους μαθητές M2 και M6, οι οποίοι αύξησαν τη συνολική τους επίδοση κατά 4 σωστές απαντήσεις. Θετική, αν και μικρότερη, μεταβολή παρατηρήθηκε στους μαθητές M4 και M5, ενώ ο μαθητής M1 διατήρησε το ίδιο επίπεδο επίδοσης τόσο στο pre-test όσο και στο post-test. Τα παραπάνω αποτυπώνονται αναλυτικά στον Πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-2. Συνολική επίδοση ανά μαθητή στο pre-test και στο post-test

Κωδικός μαθητή	Σύνολο σωστών pre	Σύνολο σωστών post	Μεταβολή
M1	6	6	0
M2	2	6	4
M3	2	9	7
M4	5	6	1
M5	5	7	2
M6	4	8	4

Η ίδια μεταβολή παρουσιάζεται και στο Σχήμα 3.2, το οποίο επιτρέπει την άμεση σύγκριση της συνολικής επίδοσης κάθε μαθητή στο pre-test και στο post-test. Όπως φαίνεται στο ραβδόγραμμα, η βελτίωση δεν ήταν ομοιόμορφη για όλους τους μαθητές, αλλά παρουσίασε διαφορετικό βαθμό έντασης, με ορισμένους να εμφανίζουν ιδιαίτερα σημαντική αύξηση και άλλους πιο περιορισμένες μεταβολές. Η οπτική αυτή απεικόνιση μπορεί, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μικρού δείγματος, να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η διδακτική παρέμβαση συνδέθηκε με συνολικά θετική τάση στην επίδοση, με την ανταπόκριση όμως των μαθητών να διαφοροποιείται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και το μαθησιακό προφίλ του καθενός.



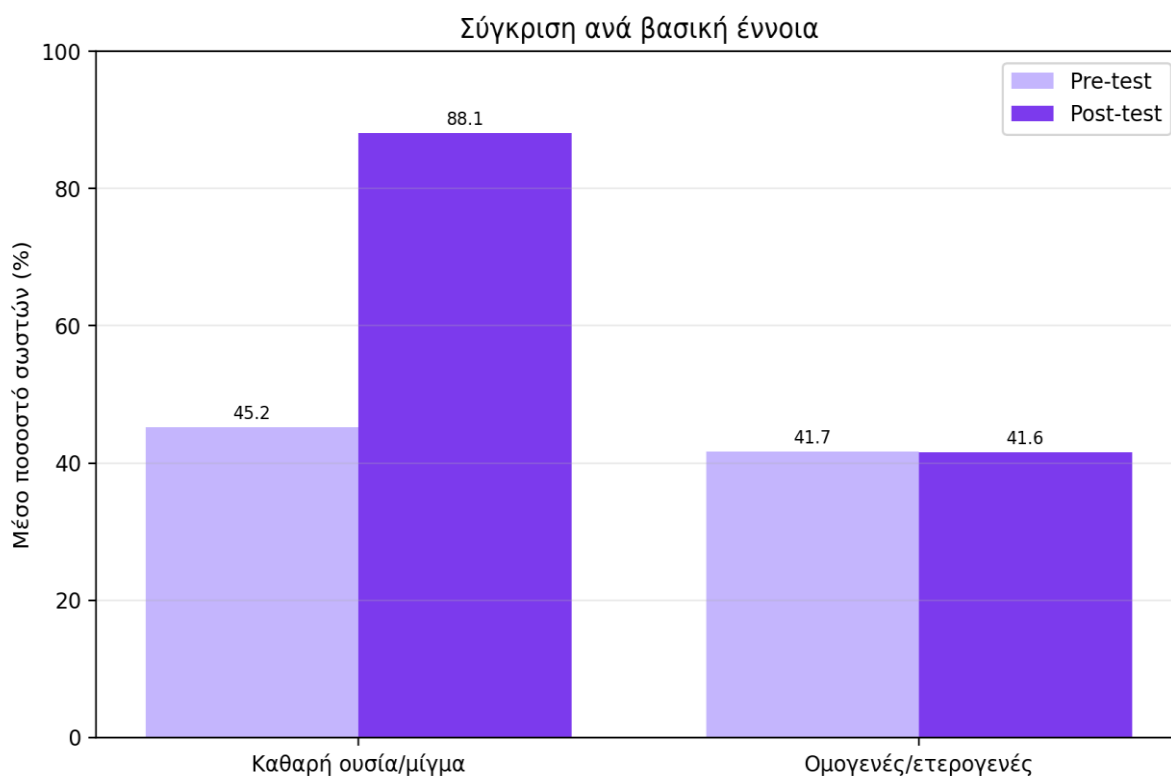
Σχήμα 3-2. Συνολική επίδοση ανά μαθητή στο pre-test και στο post-test

Πέρα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων ανά ερώτηση και ανά μαθητή, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εξέτασή τους σε επίπεδο βασικών εννοιών. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 3-3, η μέση επίδοση στις ερωτήσεις που αφορούν τη διάκριση μεταξύ καθαρής ουσίας και μίγματος αυξήθηκε από 45,2% στο pre-test σε 88,1% στο post-test, καταγράφοντας αύξηση κατά 42,9 ποσοστιαίες μονάδες. Αντίθετα, στις ερωτήσεις που σχετίζονται με τη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, η μέση επίδοση παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητη, καθώς από 41,7% στο pre-test διαμορφώθηκε σε 41,6% στο post-test. Το εύρημα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι οι μαθητές φαίνεται να προσέγγισαν ευκολότερα τη βασική διάκριση μεταξύ μίγματος και καθαρής ουσίας, ενώ συνέχισαν να αντιμετωπίζουν δυσκολίες όταν κλήθηκαν να προσδιορίσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια το είδος του μίγματος.

Πίνακας 3-3. Μεταβολές στην επίδοση ανά βασική έννοια

Έννοια	Pre-test (%)	Post-test (%)	Μεταβολή (π.μ.)
Διάκριση καθαρής ουσίας/μίγματος	45,2	88,1	42,9
Διάκριση ομογενούς/ετερογενούς μίγματος	41,7	41,6	-0,1

Η σύγκριση αυτή αποτυπώνεται και στο Σχήμα 3-3, στο οποίο γίνεται πιο ορατή η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο βασικών εννοιολογικών περιοχών. Η πρώτη περιοχή, που αφορά τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος, εμφανίζει έντονη αύξηση της επίδοσης από το pre-test στο post-test, ενώ η δεύτερη, που σχετίζεται με τη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, δεν παρουσιάζει αντίστοιχη μεταβολή. Το εύρημα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η παρέμβαση φαίνεται να υποστήριξε περισσότερο την κατανόηση γενικότερων και ευκολότερα αναγνωρίσιμων κατηγοριών, ενώ οι πιο σύνθετες εννοιολογικές διακρίσεις εξακολούθησαν να αποτελούν πεδίο δυσκολίας για τους μαθητές.



Σχήμα 3-3. Σύγκριση μέσου ποσοστού σωστών απαντήσεων ανά βασική έννοια

Συνολικά, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του pre-test και του post-test αναδεικνύει μια τάση βελτίωσης της μαθησιακής επίδοσης στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο. Η πρόοδος αυτή εντοπίζεται κυρίως στην αναγνώριση βασικών παραδειγμάτων μιγμάτων και στη διάκριση μεταξύ καθαρής ουσίας και μίγματος, ενώ εξακολουθούν να παρατηρούνται δυσκολίες σε πιο σύνθετες εννοιολογικές διακρίσεις, όπως η διαφοροποίηση μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος. Κατά συνέπεια, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας μπορούν να ερμηνευθούν ως ενδείξεις θετικής μετακίνησης στην κατανόηση των μαθητών, χωρίς να τεκμηριώνουν οριστικά την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης.

3.2.1 Μεταβολές στην κατανόηση βασικών εννοιών (ουσία-μίγμα, ομογενές-ετερογενές μίγμα)

Η εξέταση των αποτελεσμάτων του pre-test και του post-test δείχνει ότι στο συγκεκριμένο δείγμα η διδακτική παρέμβαση συνδέθηκε με μεταβολές στην κατανόηση βασικών εννοιών που σχετίζονται με τα μίγματα, χωρίς ωστόσο οι μεταβολές αυτές να είναι ομοιόμορφες σε όλες τις εννοιολογικές περιοχές. Ειδικότερα, η μεγαλύτερη αύξηση καταγράφεται στις ερωτήσεις που αφορούν τη διάκριση μεταξύ καθαρής ουσίας και μίγματος, ενώ πιο περιορισμένη και λιγότερο σταθερή εμφανίζεται η μεταβολή στις ερωτήσεις που σχετίζονται με τη διάκριση μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος. Το εύρημα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι οι μαθητές φαίνεται να κατανόησαν ευκολότερα τη βασική κατηγοριοποίηση ενός δείγματος ως μίγμα ή καθαρής ουσίας, αλλά αντιμετώπισαν μεγαλύτερες δυσκολίες όταν κλήθηκαν να προβούν σε πιο σύνθετες εννοιολογικές διακρίσεις εντός της ίδιας κατηγορίας.

Στη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος, η συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων εμφανίζεται βελτιωμένη στο post-test. Η μέση επίδοση στις σχετικές ερωτήσεις αυξήθηκε από 45,2% στο pre-test σε 88,1% στο post-test, στοιχείο που μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ενίσχυσης της κατανόησης των μαθητών ως προς το αν ένα δείγμα αποτελείται από ένα μόνο συστατικό ή από περισσότερα. Η βελτίωση αυτή αποτυπώνεται χαρακτηριστικά σε επιμέρους ερωτήσεις, όπως εκείνες που αφορούν τη ζάχαρη, το νερό με ζάχαρη και τη γενική κατηγοριοποίηση καθαρής ουσίας ή μίγματος, στις οποίες οι σωστές απαντήσεις αυξήθηκαν αισθητά από το pre-test στο post-test. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι, μετά την

παρέμβαση, ορισμένοι μαθητές φαίνεται να ήταν σε θέση να αναγνωρίζουν ότι η συνύπαρξη διαφορετικών συστατικών αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της έννοιας του μίγματος.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστική είναι η μεταβολή στις ερωτήσεις για τη ζάχαρη και το νερό με ζάχαρη. Στην περίπτωση της ζάχαρης, το ποσοστό των σωστών απαντήσεων αυξήθηκε από 0% στο pre-test σε 100% στο post-test, ενώ στην περίπτωση του νερού με ζάχαρη αυξήθηκε από 33,3% σε 100%. Αντίστοιχα, στην ερώτηση που αφορούσε τη διάκριση καθαρής ουσίας ή μίγματος, οι σωστές απαντήσεις αυξήθηκαν από 33,3% σε 83,3%. Οι μεταβολές αυτές μπορούν, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μικρού δείγματος, να ερμηνευθούν ως ενδείξεις ότι μετά τη διδακτική παρέμβαση ορισμένοι μαθητές φαίνεται να μπορούσαν συχνότερα να αναγνωρίζουν περιπτώσεις στις οποίες διαφορετικά συστατικά συνυπάρχουν ή συνδυάζονται, ακόμη και όταν το μίγμα δεν παρουσιάζει εμφανή διαχωρισμό των συστατικών του.

Αντίθετα, η εικόνα που προκύπτει για τη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος είναι πιο σύνθετη. Η μέση επίδοση στις σχετικές ερωτήσεις παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητη, καθώς από 41,7% στο pre-test διαμορφώθηκε σε 41,6% στο post-test. Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι, παρά τη γενική βελτίωση που καταγράφηκε στη συνολική επίδοση των μαθητών, η κατανόηση της συγκεκριμένης διάκρισης δεν φαίνεται να σταθεροποιήθηκε στον ίδιο βαθμό. Ειδικότερα, στην ερώτηση για το ομογενές μίγμα παρατηρείται μείωση των σωστών απαντήσεων από 66,7% σε 33,3%, ενώ στην ερώτηση για το ετερογενές μίγμα καταγράφεται αύξηση από 16,7% σε 50,0%. Η αντίθετη κατεύθυνση των δύο αυτών μεταβολών μπορεί να θεωρηθεί ότι αντανακλά μια ακόμη μη πλήρως σταθεροποιημένη και συνεκτική κατανόηση της διάκρισης μεταξύ των δύο τύπων μιγμάτων.

Η εικόνα αυτή επιτρέπει την ερμηνεία ότι οι μαθητές φαίνεται να βασίζονται ευκολότερα σε άμεσα παρατηρήσιμα, μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως η παρουσία περισσότερων του ενός υλικών ή η εξουκείωση με παραδείγματα της καθημερινής ζωής. Όταν, όμως, απαιτείται πιο σύνθετη εννοιολογική επεξεργασία, όπως ο προσδιορισμός του αν ένα μίγμα είναι ομογενές ή ετερογενές, οι απαντήσεις τους φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από επιφανειακά ή αποσπασματικά κριτήρια. Με άλλα λόγια, τα δεδομένα μπορούν να ερμηνευθούν ως ένδειξη ότι η βασική αναγνώριση της έννοιας του μίγματος υποστηρίχθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από τη διδακτική παρέμβαση, ενώ η μετάβαση σε πιο

εξειδικευμένες κατηγοριοποιήσεις παρέμεινε πιο απαιτητική και δεν φαίνεται να ολοκληρώθηκε στον ίδιο βαθμό για όλους τους μαθητές.

Τα αποτελέσματα αυτά δεν θα πρέπει να ερμηνευθούν ως ένδειξη πλήρους κατάκτησης ή πλήρους αδυναμίας κατανόησης των συγκεκριμένων εννοιών, αλλά ως αποτύπωση μιας διαφοροποιημένης μαθησιακής πορείας στο πλαίσιο του συγκεκριμένου δείγματος. Η σαφής βελτίωση στη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος δείχνει ότι η παρέμβαση ενδέχεται να λειτούργησε υποστηρικτικά ως προς την οικοδόμηση ενός πιο σταθερού εννοιολογικού πλαισίου για ορισμένους μαθητές. Παράλληλα, η περιορισμένη μεταβολή στη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος αναδεικνύει ότι ορισμένες εννοιολογικές δυσκολίες εξακολουθούν να παραμένουν ενεργές και πιθανόν να απαιτούν περαιτέρω διδακτική επεξεργασία, επαναφορά και σύνδεση με πολλαπλές αναπαραστάσεις. Υπό αυτή την έννοια, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του pre-test και του post-test δεν αναδεικνύει μόνο το κατά πόσο παρατηρείται βελτίωση, αλλά και τα σημεία στα οποία η μάθηση φαίνεται να έχει προχωρήσει περισσότερο, καθώς και εκείνα στα οποία εξακολουθούν να εμφανίζονται ενδείξεις αστάθειας ή σύγχυσης.

3.2.2 Ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής και μείωσης παρανοήσεων

Η σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών στο pre-test και στο post-test παρέχει ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής σε σχέση με τις έννοιες των μιγμάτων και των καθαρών ουσιών. Αν και δεν μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι αρχικές αντιλήψεις αναδομήθηκαν πλήρως σε όλες τις περιπτώσεις, τα δεδομένα δείχνουν ότι μετά τη διδακτική παρέμβαση ορισμένοι μαθητές φαίνεται να μετακινήθηκαν από απαντήσεις που βασίζονταν κυρίως σε επιφανειακά ή καθημερινά κριτήρια προς απαντήσεις περισσότερο συμβατές με την επιστημονική ερμηνεία. Η μετατόπιση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στις περιπτώσεις όπου οι μαθητές κλήθηκαν να αναγνωρίσουν ότι ένα υλικό μπορεί να αποτελεί μίγμα ακόμη και όταν εμφανίζεται ομοιόμορφο ή όταν τα συστατικά του δεν διακρίνονται άμεσα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μεταβολή στις απαντήσεις που αφορούν τη ζάχαρη και το νερό με διαλυμένη ζάχαρη. Στο pre-test, οι λανθασμένες απαντήσεις σε αυτές τις ερωτήσεις υποδηλώνουν ότι αρκετοί μαθητές συνέδεαν την έννοια του μίγματος κυρίως με την ορατή παρουσία διαφορετικών συστατικών ή με την ύπαρξη διακριτών «κομματιών». Αντίθετα, δυσκολεύονταν να αναγνωρίσουν ως μίγμα ένα σύστημα στο οποίο τα συστατικά δεν ήταν εμφανή σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η μετάβαση σε πλήρως σωστές απαντήσεις στο post-test και για τις δύο ερωτήσεις μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη

αποδυνάμωσης της αντίληψης σύμφωνα με την οποία ένα μίγμα προϋποθέτει την ορατή διάκριση των συστατικών του. Παράλληλα, φαίνεται να ενισχύθηκε η κατανόηση ότι η ανάμιξη δύο υλικών εξακολουθεί να συνιστά μίγμα, ακόμη και όταν το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται ενιαίο ή διαυγές.

Ενδείξεις εννοιολογικής μετατόπισης προκύπτουν επίσης από τις απαντήσεις που σχετίζονται με τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος σε συμβολικό επίπεδο, όπως στην ερώτηση με τις σωματιδιακές αναπαραστάσεις. Η βελτίωση στην αναγνώριση της καθαρής ουσίας μέσα από την εικόνα με τα όμοια σωματίδια δείχνει ότι ορισμένοι μαθητές δεν περιορίστηκαν πλέον αποκλειστικά σε εμπειρικά χαρακτηριστικά της καθημερινότητας, αλλά άρχισαν να συνδέουν την έννοια της καθαρής ουσίας με την παρουσία ενός μόνο είδους δομικών συστατικών. Το εύρημα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως ένδειξη μιας πρώτης μετάβασης από την απλή περιγραφική αναγνώριση παραδειγμάτων σε μια περισσότερο οργανωμένη εννοιολογική κατηγοριοποίηση. Με όρους εννοιολογικής αλλαγής, φαίνεται ότι για ορισμένους μαθητές άρχισε να αμφισβητείται η προηγούμενη, περισσότερο εμπειρική λογική ταξινόμησης και να διαμορφώνεται ένα πιο συνεκτικό ερμηνευτικό πλαίσιο.

Παρόμοια τάση παρατηρείται και στην περίπτωση του εμφιαλωμένου νερού. Στο pre-test καμία απάντηση δεν ήταν σωστή, γεγονός που υποδηλώνει ότι το εμφιαλωμένο νερό αντιμετωπιζόταν ως «καθαρό», πιθανώς λόγω της καθημερινής χρήσης του όρου, της οπτικής ομοιομορφίας ή της αντίληψης ότι κάτι διαυγές και συσκευασμένο είναι κατ' ανάγκη καθαρή ουσία. Στο post-test, η αύξηση των σωστών απαντήσεων δείχνει ότι ορισμένοι μαθητές μετακινήθηκαν προς την αναγνώριση ότι το εμφιαλωμένο νερό περιέχει και άλλα διαλυμένα συστατικά και, επομένως, μπορεί να θεωρηθεί μίγμα. Παρότι η μεταβολή αυτή δεν αφορά το σύνολο των μαθητών, αποτελεί ένδειξη αποδυνάμωσης μιας συνηθισμένης εναλλακτικής αντίληψης, σύμφωνα με την οποία η οπτική καθαρότητα ταυτίζεται με την επιστημονική έννοια της καθαρής ουσίας.

Ωστόσο, οι ενδείξεις εννοιολογικής αλλαγής δεν εμφανίζονται με την ίδια ένταση σε όλες τις έννοιες. Οι δυσκολίες που εξακολουθούν να καταγράφονται στη διάκριση μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος δείχνουν ότι ορισμένες παρανοήσεις παρέμειναν ενεργές ή δεν αντικαταστάθηκαν από πιο σταθερές επιστημονικές αντιλήψεις. Η μείωση των σωστών απαντήσεων στην ερώτηση για το ομογενές μίγμα, σε συνδυασμό με τη βελτίωση που παρατηρήθηκε στην ερώτηση για το ετερογενές μίγμα, υποδηλώνει ότι

οι μαθητές δυσκολεύτηκαν να εφαρμόσουν με συνέπεια τα ίδια κριτήρια σε διαφορετικά παραδείγματα και αναπαραστάσεις. Με άλλα λόγια, ενώ η βασική ιδέα του μίγματος φαίνεται να ενισχύθηκε, η εσωτερική διαφοροποίηση των μιγμάτων σε επιμέρους κατηγορίες παρέμεινε λιγότερο σταθερή.

Το εύρημα αυτό συνδέεται με μια γνωστή δυσκολία της εννοιολογικής αλλαγής, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές μεταβάλλουν ευκολότερα αρχικές αντιλήψεις όταν η νέα ερμηνεία συνδέεται με απτά παραδείγματα και σαφή κριτήρια, ενώ δυσκολεύονται περισσότερο όταν απαιτείται αναδιοργάνωση πιο σύνθετων νοητικών κατηγοριών. Στην παρούσα περίπτωση, η αναγνώριση ότι ο συνδυασμός διαφορετικών υλικών συνιστά μίγμα φαίνεται να έγινε περισσότερο προσιτή, ενώ η διάκριση ανάμεσα στο ομογενές και το ετερογενές μίγμα δεν σταθεροποιήθηκε στον ίδιο βαθμό. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι ορισμένοι μαθητές ενδέχεται να εξακολούθησαν να χρησιμοποιούν παλαιότερα κριτήρια ταξινόμησης χωρίς να έχει ολοκληρωθεί η εννοιολογική τους αναδόμηση.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η διαφοροποίηση που παρατηρείται μεταξύ των μαθητών. Το γεγονός ότι πέντε από τους έξι μαθητές βελτίωσαν τη συνολική τους επίδοση και ότι σε ορισμένες περιπτώσεις η μεταβολή ήταν ιδιαίτερα σημαντική δείχνει ότι η παρέμβαση δημιούργησε συνθήκες που ευνόησαν τη σταδιακή αναθεώρηση αρχικών αντιλήψεων. Παράλληλα, η έλλειψη πλήρους ομοιομορφίας στις απαντήσεις υπενθυμίζει ότι η εννοιολογική αλλαγή δεν εξελίσσεται με τον ίδιο τρόπο και με τον ίδιο ρυθμό για όλους τους μαθητές, ιδιαίτερα σε ένα μικρό και ετερογενές εκπαιδευτικό πλαίσιο. Για τον λόγο αυτό, τα ευρήματα είναι προτιμότερο να ερμηνευθούν ως ενδείξεις πορείας προς μια πιο συνεκτική κατανόηση και όχι ως πλήρης υπέρβαση όλων των παρανοήσεων.

Συνολικά, τα δεδομένα του pre-test και του post-test επιτρέπουν να υποστηριχθεί ότι η διδακτική παρέμβαση φαίνεται να συνέβαλε στη σταδιακή αποδυνάμωση ορισμένων εναλλακτικών αντιλήψεων που σχετίζονται με τα μίγματα, ιδιαίτερα εκείνων που συνδέονται με την αναγνώριση των μιγμάτων ως συνδυασμού διαφορετικών υλικών ακόμη και όταν τα συστατικά τους δεν είναι άμεσα ορατά. Παράλληλα, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι πιο σύνθετες διακρίσεις, όπως αυτή μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, εξακολούθησαν να παρουσιάζουν αστάθεια, γεγονός που υποδηλώνει ότι η εννοιολογική αναδόμηση βρισκόταν ακόμη σε εξέλιξη και δεν είχε ολοκληρωθεί στον ίδιο βαθμό για όλους τους μαθητές. Με αυτή την έννοια, η παρέμβαση δεν φαίνεται απλώς να βελτίωσε τις επιδόσεις των μαθητών, αλλά να λειτουργήσει ως πλαίσιο μέσα στο οποίο

άρχισαν να διαμορφώνονται ουσιαστικές, έστω και σταδιακές, μετατοπίσεις στον τρόπο με τον οποίο νοηματοδοτούν τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με τα μίγματα.

Οι ποιοτικές μεταβολές στις αιτιολογήσεις των μαθητών στα pre/post tests παρέχουν επιπλέον ενδείξεις εννοιολογικής μετακίνησης, χωρίς όμως να τεκμηριώνουν πλήρη και σταθερή αναδόμηση των σχετικών εννοιών. Στις ερωτήσεις που αφορούν τη ζάχαρη, το νερό με διαλυμένη ζάχαρη και το εμφιαλωμένο νερό, παρατηρούνται σε ορισμένους μαθητές μετακινήσεις από αιτιολογήσεις που στηρίζονται κυρίως σε καθημερινά ή επιφανειακά κριτήρια (π.χ. οπτική καθαρότητα, συσκευασία, χρήση της έκφρασης «καθαρή ζάχαρη») προς αιτιολογήσεις περισσότερο συμβατές με την επιστημονική ερμηνεία, όπου τονίζεται η συνύπαρξη δύο υλικών ή η παρουσία διαλυμένων συστατικών στο νερό. Αντίστοιχα, σε ερωτήσεις με σωματιδιακές αναπαραστάσεις, ορισμένοι μαθητές φαίνεται να εγκαταλείπουν παρανοησιακές εξηγήσεις, όπως η ιδέα ότι το διαλυμένο υλικό «εξαφανίζεται», και να υιοθετούν αιτιολογήσεις που αναφέρονται σε ένα μόνο είδος σωματιδίων για τις καθαρές ουσίες ή σε δύο είδη σωματιδίων κατανεμημένα σε όλο τον όγκο του δοχείου για τα διαλύματα. Με δεδομένο το μικρό μέγεθος και την ετερογένεια του δείγματος, οι μεταβολές αυτές θα πρέπει να ερμηνεύονται ως ενδείξεις σταδιακής εννοιολογικής μετακίνησης, οι οποίες συνδέονται με τη διδακτική παρέμβαση, χωρίς να γενικεύονται σε ευρύτερο μαθητικό πληθυσμό ή να θεωρούνται οριστική εξάλειψη των παρανοήσεων

3.3 Ποιοτικά ευρήματα από φύλλα εργασίας, φύλλα παρατήρησης και συνεντεύξεις

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα ποιοτικά ευρήματα που προέκυψαν από την ανάλυση των διαφορετικών εργαλείων συλλογής δεδομένων που αξιοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τα φύλλα εργασίας που συνόδευαν το πείραμα και τη χρήση της προσομοίωσης, το φύλλο εργασίας με εικόνες αναγνώρισης καθαρών ουσιών και μιγμάτων, οι ζωγραφιές που παρήγαγαν οι μαθητές στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων, τα φύλλα παρατήρησης που συμπληρώθηκαν στις τρεις φάσεις της διδασκαλίας, καθώς και οι ημιδομημένες συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης.

Τα δεδομένα αυτά λειτουργούν συμπληρωματικά προς τα ποσοτικά ευρήματα των pre-test και post-test και συμβάλλουν σε μια βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο

οι μαθητές προσέγγισαν τις έννοιες των μιγμάτων, διαμόρφωσαν τις απαντήσεις τους και συμμετείχαν στις διερευνητικές δραστηριότητες. Παράλληλα, παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις στρατηγικές σκέψης που αξιοποίησαν, τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν, καθώς και με τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποίησαν τη γλώσσα και τη βασική ορολογία της Χημείας κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας.

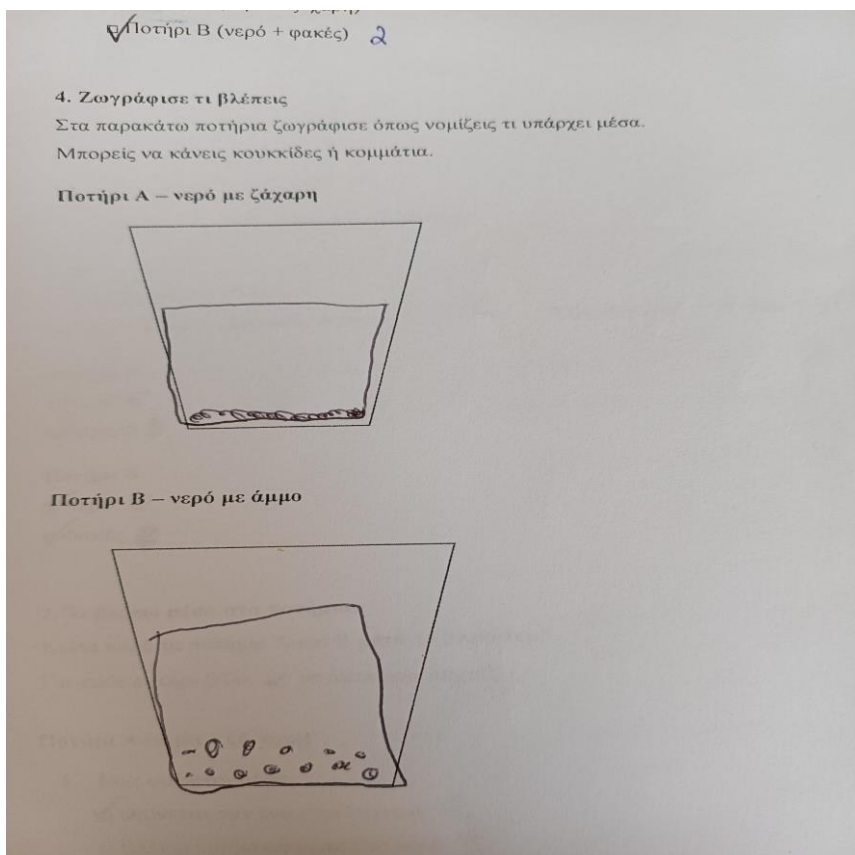
3.3.1 Τύποι εναλλακτικών αντιλήψεων που εντοπίστηκαν

Η ανάλυση των απαντήσεων στα pre-test και post-test, σε συνδυασμό με τα φύλλα εργασίας, το φύλλο εργασίας με τις εικόνες, τις ζωγραφιές των μαθητών και τα ποιοτικά δεδομένα από τις συνεντεύξεις, ανέδειξε ορισμένα επαναλαμβανόμενα μοτίβα εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με τις έννοιες της καθαρής ουσίας, του μίγματος και των κατηγοριών ομογενούς και ετερογενούς μίγματος. Παρότι οι αντιλήψεις αυτές δεν εκδηλώνονται με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους μαθητές, συνθέτουν ένα πλαίσιο συνηθισμένων γνωστικών δυσκολιών, το οποίο παραμένει ορατό τόσο πριν όσο και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μετά τη διδακτική παρέμβαση.

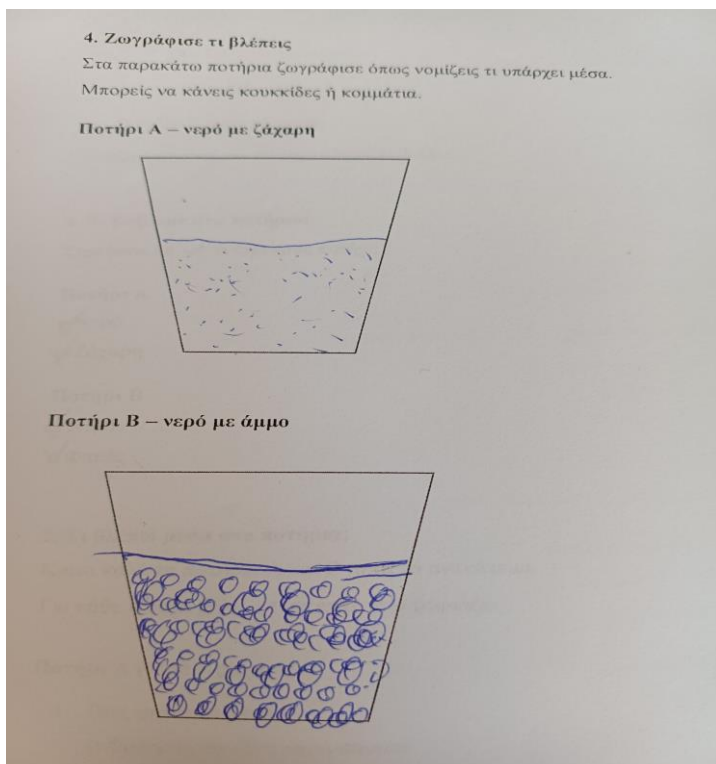
Ένα πρώτο χαρακτηριστικό μοτίβο αφορά τη σύνδεση της έννοιας του μίγματος με την οπτική αναγνώριση διαφορετικών συστατικών. Στο pre-test, αλλά και σε ορισμένα φύλλα εργασίας, η αναγνώριση ενός δείγματος ως μίγμα φαίνεται να εξαρτάται συχνά από το αν «φαίνονται» διαφορετικά υλικά ή διακριτά «κομμάτια». Αυτό είναι εμφανές σε παραδείγματα όπως το νερό με φακές ή τα όσπρια, όπου οι μαθητές επικαλούνται ρητά την παρουσία διαφορετικών στοιχείων που μπορούν να παρατηρήσουν. Αντίθετα, όταν τα συστατικά δεν είναι ορατά σε μακροσκοπικό επίπεδο, όπως στο εμφιαλωμένο νερό ή στο νερό με διαλυμένη ζάχαρη, αρκετοί μαθητές τείνουν αρχικά να τα αντιμετωπίζουν ως καθарές ουσίες ή, γενικότερα, ως μη τυπικά μίγματα. Η στάση αυτή συνδέεται με την αντίληψη ότι ένα μίγμα προϋποθέτει πάντοτε την ορατή διάκριση των συστατικών του.

Το ίδιο μοτίβο αποτυπώνεται και στις ζωγραφιές των μαθητών που προέκυψαν από το φύλλο εργασίας του πειράματος. Στη ζωγραφιά του μαθητή M1 (Εικόνα 3-1), τόσο το ποτήρι με νερό και ζάχαρη όσο και το ποτήρι με νερό και φακές αναπαρίστανται με «κομμάτια» συγκεντρωμένα στον πυθμένα, σαν η ζάχαρη να μην έχει διαλυθεί αλλά να συμπεριφέρεται με τρόπο παρόμοιο με τις φακές. Αντίθετα, ο μαθητής M4 (Εικόνα 3-2) αποδίδει το νερό με ζάχαρη με πολλές μικρές γραμμές κατανεμημένες σε όλο τον όγκο του υγρού, ενώ το νερό με φακές αναπαρίσταται με μεγαλύτερα κυκλικά «κομμάτια» κυρίως στο κάτω μέρος του δοχείου. Με αυτόν τον τρόπο διαφοροποιεί το διάλυμα από το

ετερογενές μίγμα. Η αντίθεση ανάμεσα στις δύο ζωγραφιές υποδηλώνει ότι, ενώ ορισμένοι μαθητές εξακολουθούν να θεωρούν ότι η ζάχαρη παραμένει συγκεντρωμένη στον πάτο του δοχείου, άλλοι αρχίζουν να υιοθετούν αναπαραστάσεις που αποδίδουν το διαλυμένο συστατικό ως κατανεμημένο σε ολόκληρο τον όγκο του νερού.



Εικόνα 3-1. Ζωγραφιά του μαθητή Μ1 από το φύλλο εργασίας του πειράματος. Και στα δύο ποτήρια, το δεύτερο υλικό αναπαρίσταται ως διακριτά «κομμάτια» συγκεντρωμένα στον πυθμένα, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο μαθητής δεν φαίνεται να διαφοροποιεί τη διαδικασία της διάλυσης από την απλή ανάμειξη υλικών.



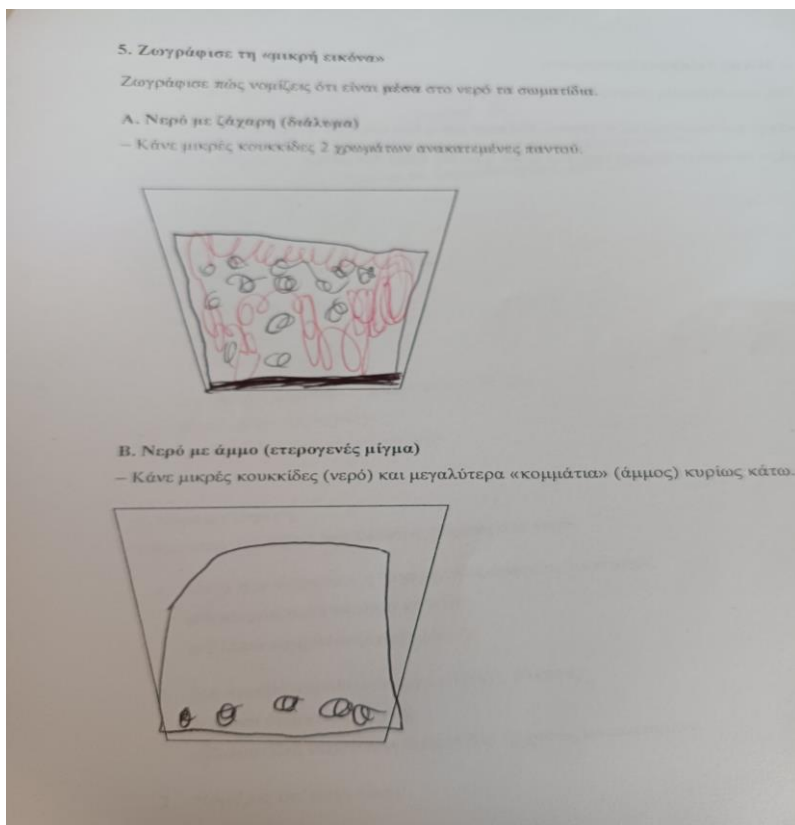
Εικόνα 3-2. Ζωγραφιά του μαθητή M4 από το φύλλο εργασίας του πειράματος. Στην αναπαράσταση του νερού με ζάχαρη, η ζάχαρη αποδίδεται με μικρά σημάδια κατανεμημένα σε όλο τον όγκο του υγρού, ενώ στο νερό με άμμο η άμμος απεικονίζεται ως μεγαλύτερα «κομμάτια» συγκεντρωμένα στο κάτω μέρος του δοχείου, γεγονός που υποδηλώνει διάκριση μεταξύ διαλύματος και ετερογενούς μίγματος.

Στο ίδιο πλαίσιο εντάσσεται και η επιμονή της αντίληψης ότι η οπτική καθαρότητα ταυτίζεται με την έννοια της καθαρής ουσίας. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του εμφιαλωμένου νερού, το οποίο σε μέρος των απαντήσεων – τόσο στα τεστ όσο και στις συνεντεύξεις – ταξινομείται ως «καθαρή ουσία» λόγω της διαυγούς εμφάνισής του και της συσχέτισής του με ένα «καθαρό» προϊόν, και όχι με βάση την παρουσία διαλυμένων συστατικών. Στη συνέντευξή του, ο μαθητής M1 αναφέρει ότι «στην αρχή το εμφιαλωμένο νερό... ήταν καθαρή ουσία» και, όταν ερωτάται αν άλλαξε γνώμη μετά το μάθημα, απαντά και πάλι «καθαρή ουσία», διατηρώντας την αρχική του κατηγοριοποίηση. Το απόσπασμα αυτό δείχνει ότι, παρά τη συνολική βελτίωση που καταγράφηκε στις σχετικές ερωτήσεις, η καθημερινή χρήση του όρου «καθαρό» και η οπτική εικόνα του εμφιαλωμένου νερού εξακολουθούν να επηρεάζουν την εννοιολόγηση σε ατομικό επίπεδο.

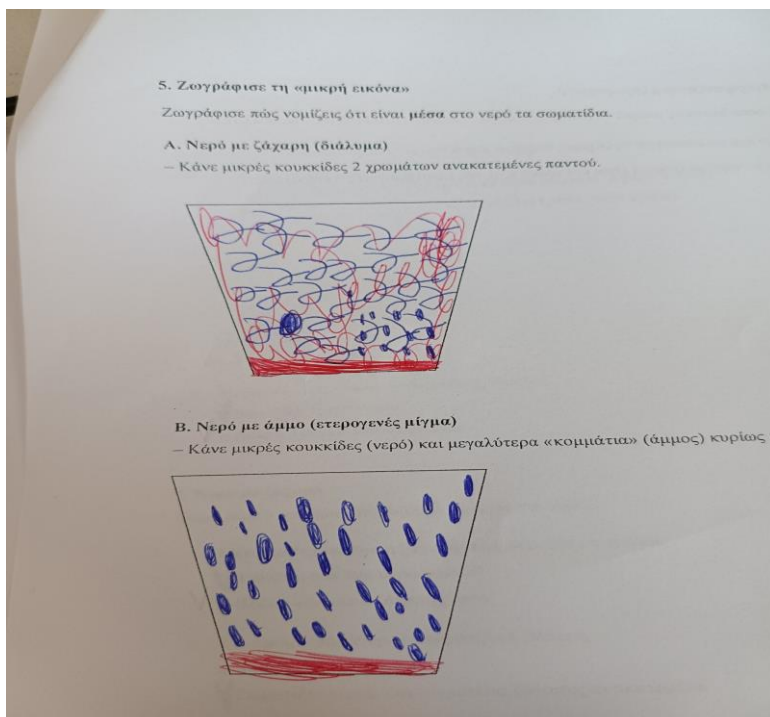
Μια ακόμη εναλλακτική αντίληψη αφορά το τι συμβαίνει στο υλικό που διαλύεται κατά τον σχηματισμό ομογενών μιγμάτων. Στις ερωτήσεις που αφορούν το νερό με

διαλυμένη ζάχαρη, αλλά και σε ορισμένα σχόλια των μαθητών, εμφανίζονται διατυπώσεις που παραπέμπουν στην ιδέα ότι η ζάχαρη «χάνεται» ή «παύει να υπάρχει», επειδή δεν είναι πλέον ορατή στο τελικό διάλυμα. Χαρακτηριστικά, ο μαθητής Μ1, όταν ερωτάται τι συμβαίνει όταν ανακατέψουμε νερό με ζάχαρη, απαντά: «Νερό θα γίνει. Δε θα φαίνεται η ζάχαρη», ενώ για το μίγμα φακές με νερό σχολιάζει ότι «φαίνονται». Η απάντηση αυτή υποδηλώνει ότι αναγνωρίζει ως τυπικό μίγμα μια κατάσταση όπου τα δύο υλικά είναι ορατά, ενώ στην περίπτωση του διαλύματος εστιάζει στο γεγονός ότι η ζάχαρη δεν φαίνεται, χωρίς να την αντιμετωπίζει ρητά ως συστατικό που εξακολουθεί να υπάρχει μέσα στο μίγμα.

Οι αντιλήψεις αυτές αποτυπώνονται και στις μικροσκοπικές αναπαραστάσεις που παρήγαγαν οι μαθητές στο φύλλο εργασίας της προσομοίωσης. Στη ζωγραφιά του μαθητή Μ1 (Εικόνα 3-3), το διάλυμα ζάχαρης αναπαρίσταται με μικρές κουκκίδες δύο χρωμάτων κατανεμημένες σε όλο τον όγκο του νερού, ενώ οι φακές σχεδιάζονται ως λίγο μεγαλύτερα «κομμάτια» στον πυθμένα, στοιχείο που συνάδει με τη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος η οποία αναδείχθηκε μέσα από την προσομοίωση. Αντίθετα, στη ζωγραφιά του μαθητή Μ2 (Εικόνα 3-4), το διάλυμα ζάχαρης αποδίδεται με μπλε και κόκκινες γραμμές και σωματίδια κατανεμημένα σε όλο τον όγκο του υγρού, αλλά και με μια έντονη χρωματική ζώνη στον πυθμένα. Παρόμοια, στο νερό με φακές αποτυπώνεται με ένα συνεχές κόκκινο στρώμα στο κάτω μέρος του δοχείου και μπλε σωματίδια στο υγρό. Η αναπαράσταση αυτή υποδηλώνει μια ενδιάμεση κατανόηση, καθώς ο μαθητής φαίνεται να έχει υιοθετήσει την ιδέα της ύπαρξης διαφορετικών τύπων σωματιδίων, αλλά εξακολουθεί να θεωρεί ότι το διαλυμένο υλικό συγκεντρώνεται περισσότερο στον πυθμένα. Το στοιχείο αυτό συνδέεται με τις δυσκολίες που παρατηρούνται στη νοητική αναπαράσταση της διαδικασίας της διάλυσης.



Εικόνα 3-3. Ζωγραφιά του μαθητή M1 από το φύλλο εργασίας της προσομοίωσης. Το διάλυμα ζάχαρης αναπαρίσταται με κουκκίδες δύο χρωμάτων κατανεμημένες σε όλο τον όγκο του νερού, ενώ οι φακές αποδίδονται ως λίγο μεγαλύτερα σωματίδια στον πυθμένα, αντανakλώντας μια περισσότερο σωματιδιακή προσέγγιση μετά τη χρήση της προσομοίωσης.



Εικόνα 3-4. Ζωγραφιά του μαθητή M2 από το φύλλο εργασίας της προσομοίωσης. Στο διάλυμα ζάχαρης αποδίδονται δύο τύποι σωματιδίων κατανεμημένοι σε όλο τον όγκο του υγρού, αλλά και μια έντονη συγκέντρωση στον πυθμένα, ενώ στο νερό με φακές οι φακές αναπαρίστανται ως συνεχές στρώμα στο κάτω μέρος του δοχείου. Η αναπαράσταση αυτή υποδηλώνει μια ενδιάμεση κατανόηση της διαδικασίας της διάλυσης και της διάκρισης μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος.

Πιο σύνθετες εναλλακτικές αντιλήψεις εντοπίζονται στη διάκριση μεταξύ ομογενούς και ετερογενούς μίγματος. Τα δεδομένα δείχνουν ότι αρκετοί μαθητές δυσκολεύονται να χρησιμοποιήσουν με συνέπεια το κριτήριο της ομοιομορφίας ή της κατανομής των συστατικών στον χώρο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, για παράδειγμα, η ύπαρξη «ενός υλικού» συνδέεται με την έννοια του ομογενούς, ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για καθαρή ουσία ή μίγμα, ενώ η παρουσία δύο υλικών συνδέεται γενικότερα με την έννοια του μίγματος, χωρίς σαφή διαφοροποίηση ανάμεσα σε ομογενές και ετερογενές μίγμα. Η δυσκολία σταθεροποίησης των σχετικών όρων αναδεικνύεται χαρακτηριστικά στη συνέντευξη του μαθητή M2, ο οποίος προσπαθεί να ανακαλέσει τον σχετικό κανόνα, δηλώνοντας αρχικά ότι «όταν έχουμε δύο υλικά μαζί, είναι μείγμα. Όταν έχουμε ένα, είναι ετερογενές», στη συνέχεια διορθώνει σε «ομογενές» και λίγο αργότερα αναφέρει ότι «όταν έχουμε ένα υλικό, έχουμε μείγμα», πριν καταλήξει ότι «δύο υλικά... είναι μείγμα» και ότι «όταν έχουμε ένα υλικό, αυτό είναι ομογενές». Το απόσπασμα αυτό δείχνει ότι, παρά την

επαφή του μαθητή με τις σχετικές έννοιες κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, οι όροι και οι μεταξύ τους σχέσεις παραμένουν ασταθείς και επιρρεπείς σε σύγχυση.

Παράλληλα, εντοπίζονται εναλλακτικές αντιλήψεις που σχετίζονται με την επίδραση της καθημερινής γλώσσας και των συνηθισμένων πλαίσίων αναφοράς. Σε ορισμένες απαντήσεις των τεστ και των φύλλων εργασίας, ο χαρακτηρισμός μιας ουσίας ως «καθαρής» ή «μη καθαρής» συνδέεται με την προέλευσή της, όπως για παράδειγμα «είναι από το σούπερ μάρκετ» ή «τη λέμε καθαρή ζάχαρη», καθώς και με τον τρόπο που χρησιμοποιείται ο όρος στην καθημερινή ζωή, όπως στην έκφραση «έτσι τη λέμε όλοι», και όχι με τα επιστημονικά κριτήρια που παρουσιάστηκαν στο μάθημα. Σε συνδυασμό με τις δυσκολίες που ανέφεραν οι ίδιοι οι μαθητές σχετικά με ορισμένους όρους -χαρακτηριστικά, ο μαθητής M1 σημείωσε ότι «κάποιες λέξεις ήταν δύσκολες» - οι παρατηρήσεις αυτές δείχνουν ότι η καθημερινή γλώσσα και η επιστημονική ορολογία της Χημείας συνυπάρχουν και, σε ορισμένες περιπτώσεις, συγκρούονται κατά τη μαθησιακή διαδικασία.

Συνολικά, τα ποιοτικά δεδομένα από τα φύλλα εργασίας, τις ζωγραφιές και τις συνεντεύξεις δείχνουν ότι οι μαθητές εξακολουθούν σε σημαντικό βαθμό να βασίζονται σε εμπειρικά κριτήρια, όπως η ορατότητα των συστατικών και η καθημερινή σημασία όρων όπως «καθαρό», προκειμένου να διακρίνουν καθαρές ουσίες, μίγματα και τύπους μιγμάτων. Παρότι σε ορισμένες ζωγραφιές και λεκτικές διατυπώσεις διαφαίνονται ενδείξεις μετακίνησης προς περισσότερο σωματιδιακές και συστηματικές αναπαραστάσεις, οι αρχικές καθημερινές αντιλήψεις παραμένουν ενεργές και συχνά συνυπάρχουν με τα νέα στοιχεία κατανόησης που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.

3.3.2 Τρόπος με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τις προσομοιώσεις και τη διερεύνηση

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται τα ποιοτικά ευρήματα που αφορούν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τις διερευνητικές δραστηριότητες της διδακτικής παρέμβασης για τα μίγματα, με έμφαση στη συμμετοχή τους στο πείραμα, στη χρήση της προσομοίωσης και στην αξιοποίηση των φύλλων εργασίας. Τα δεδομένα προέρχονται από τα φύλλα παρατήρησης που συμπληρώθηκαν κατά τις τρεις φάσεις της διδασκαλίας, από τα φύλλα εργασίας του πειράματος και της προσομοίωσης, καθώς και από τις ημιδομημένες συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν με τους μαθητές M1 και M2 μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης.

Οι καταγραφές στα φύλλα παρατήρησης δείχνουν ότι οι περισσότεροι μαθητές συμμετείχαν ενεργά στις δραστηριότητες, ιδιαίτερα όταν αυτές περιλάμβαναν χειρισμό

υλικών, μετακίνηση στον χώρο και συνεργασία σε μικρές ομάδες. Στις δραστηριότητες όπου οι μαθητές καλούνταν να σηκωθούν, να ταξινομήσουν δείγματα μιγμάτων ή να πραγματοποιήσουν το πείραμα με το φίλτρο καφέ, παρατηρήθηκαν αυξημένα επίπεδα εμπλοκής, συνεργατική αλληλεπίδραση και συχνές, έστω σύντομες, λεκτικές ανταλλαγές σχετικά με την εκτέλεση των εργασιών. Χαρακτηριστικά, ο μαθητής M2 περιγράφει ότι συμμετείχε στη δραστηριότητα ταξινόμησης λέγοντας πως «είχα σηκωθεί πάνω στο τραπέζι και έβαζα στο τραπέζι εκείνο που ήταν με ένα υλικό και εκείνο που ήταν με περισσότερο υλικό», ενώ αναφέρει επίσης ότι συνεργάστηκε με τον συμμαθητή του «που είμαστε εκεί με τον M1 και γράφαμε τις ασκήσεις». Η περιγραφή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι επιβεβαιώνει τα δεδομένα των φύλλων παρατήρησης, σύμφωνα με τα οποία οι μαθητές φαίνεται να ανταποκρίνονται θετικότερα όταν η δραστηριότητα έχει σαφή πρακτικό προσανατολισμό, επιτρέπει την κίνηση και ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας.

Το πείραμα με το φίλτρο καφέ αναδείχθηκε, τόσο μέσα από τις παρατηρήσεις όσο και από τις συνεντεύξεις, ως μία από τις δραστηριότητες που φαίνεται να ενεργοποίησαν περισσότερο τους μαθητές. Στα φύλλα παρατήρησης καταγράφεται ότι παρακολούθησαν με ενδιαφέρον τη διαδικασία διαχωρισμού των μιγμάτων, διατυπώνοντας συχνά ερωτήσεις σχετικά με το «τι μένει στο φίλτρο» και «τι περνάει στο ποτήρι», ενώ οι περισσότεροι ολοκλήρωσαν τις αντίστοιχες δραστηριότητες των φύλλων εργασίας με σχετικά περιορισμένη ανάγκη πρόσθετης καθοδήγησης. Στη συνέντευξή του, ο M1 αναφέρει ότι «το πείραμα» ήταν η δραστηριότητα που του άρεσε περισσότερο, ενώ ο M2 το χαρακτήρισε «εύκολο» και δήλωσε ότι θα ήθελε να επαναλάβει «αυτό που σηκώνομουν πάνω στο τραπέζι... που ξεχωρίζαμε τα υλικά». Οι αναφορές αυτές, σε συνδυασμό με τα δεδομένα παρατήρησης, μπορούν να ερμηνευθούν ως ένδειξη ότι η πειραματική διάσταση της διερεύνησης λειτούργησε ως σημαντικός παράγοντας ενίσχυσης της συμμετοχής και της θετικής εμπειρίας των μαθητών.

Αντίθετα, τα φύλλα εργασίας και οι συνεντεύξεις αναδεικνύουν ότι η γραπτή διάσταση των δραστηριοτήτων αποτέλεσε για ορισμένους μαθητές πηγή δυσκολίας. Σε δραστηριότητες που απαιτούσαν συμπλήρωση πινάκων, διατύπωση συμπερασμάτων ή χρήση της σχολικής ορολογίας, τα φύλλα παρατήρησης καταγράφουν αυξημένη ανάγκη υποστήριξης, συχνές ερωτήσεις προς τον εκπαιδευτικό και καθυστερήσεις στην ολοκλήρωση των εργασιών. Ο μαθητής M1 αναφέρει ότι «οι εργασίες, λίγο» τον

δυσκόλεψαν και ότι «κάποιες λέξεις ήταν δύσκολες», ενώ ταυτόχρονα επισημαίνει ότι «οι οδηγίες... διευκόλυναν», δείχνοντας ότι οι γλωσσικές απαιτήσεις των δραστηριοτήτων μπορούν να μετριαστούν όταν παρέχονται σαφείς και δομημένες οδηγίες. Αντίστοιχα, ο M2 αναφέρει ότι «ρώταγα... στη φωτοτυπία... έλεγα τι πάει και τι όχι» όταν συναντούσε δυσκολίες, γεγονός που μπορεί να θεωρηθεί ότι υποδηλώνει πως τα φύλλα εργασίας λειτούργησαν όχι μόνο ως μέσο καταγραφής των απαντήσεων αλλά και ως αφορμή για στοχευμένη υποστήριξη από τον εκπαιδευτικό.

Η αξιοποίηση της προσομοίωσης και του αντίστοιχου φύλλου εργασίας φαίνεται να λειτούργησε με διαφορετικό τρόπο για κάθε μαθητή. Από τις ζωγραφιές που παρήγαγαν προκύπτει ότι αρκετοί προσπάθησαν να αναπαραστήσουν τη «μικροσκοπική εικόνα» των μιγμάτων, χρησιμοποιώντας διαφορετικά χρώματα και σχήματα για να αποδώσουν το νερό, τη ζάχαρη και τον άμμο. Ο M2 αναφέρει ότι του άρεσε ιδιαίτερα «αυτό με τις εικόνες... τα κυκλάκια που ήταν κόκκινο και μπλε... αυτό που είχαμε κάνει εκεί στον υπολογιστή» και δηλώνει ότι η προσομοίωση «με βοήθησε». Η αναφορά αυτή συνδέεται άμεσα με τις ζωγραφιές του, στις οποίες αξιοποιεί διαφορετικά χρώματα για να αναπαραστήσει διαφορετικούς τύπους σωματιδίων, γεγονός που μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η οπτική και δυναμική διάσταση της προσομοίωσης αποτέλεσε για τον ίδιο σημαντικό υποστηρικτικό στοιχείο στην κατανόηση της ανάμειξης σε σωματιδιακό επίπεδο.

Ο M1, αντίθετα, εμφανίζεται πιο επιφυλακτικός απέναντι στην προσομοίωση. Όταν ερωτάται αν τον βοήθησε, απαντά ότι τον βοήθησε «λίγο» και αναφέρει ότι τη θυμάται λιγότερο σε σύγκριση με το πείραμα, επανερχόμενος στις «εργασίες» ως κύρια πηγή δυσκολίας. Παρ' όλα αυτά, στις ζωγραφιές του από το φύλλο εργασίας της προσομοίωσης αποτυπώνει το διάλυμα ζάχαρης με δύο τύπους σωματιδίων κατανεμημένους σε όλο τον όγκο του νερού, σε αντίθεση με τη ζωγραφιά του από το φύλλο εργασίας του πειράματος, όπου τόσο η ζάχαρη όσο και η άμμος παρουσιάζονταν ως «κομμάτια» συγκεντρωμένα στον πυθμένα. Ο συνδυασμός αυτών των δεδομένων μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι, παρότι ο ίδιος δεν αξιολογεί την προσομοίωση ως ιδιαίτερα ευχάριστη ή εύκολη δραστηριότητα, η επαφή του με τη μικροσκοπική αναπαράσταση φαίνεται να συνδέεται με μετατόπιση προς περισσότερο σωματιδιακές αναπαραστάσεις.

Ως προς τη συνολική συναισθηματική εμπλοκή τους, οι μαθητές περιγράφουν το μάθημα για τα μίγματα ως μια γενικά ευχάριστη εμπειρία, παρά τις επιμέρους δυσκολίες που συνάντησαν. Ο M2 δηλώνει ότι το μάθημα ήταν «ευχάριστο» και ότι «συμμετείχα»,

ενώ αναφέρει ως αγαπημένη δραστηριότητα «αυτό που σηκωνόμασταν πάνω στο τραπέζι... που ξεχωρίσαμε τα υλικά». Αντίστοιχα, ο M1 αναφέρει ότι ενδιαφέρθηκε για το μάθημα επειδή «δεν τα ήξερε» και σημειώνει ότι θα μπορούσε να ξαναχρησιμοποιήσει την προσομοίωση «γιατί όχι», αν και επισημαίνει ότι «κάποιες λέξεις ήταν δύσκολες» και ότι «οι εργασίες, λίγο» τον δυσκόλεψαν. Συνολικά, τα ποιοτικά δεδομένα μπορούν να ερμηνευθούν ως ένδειξη ότι οι διερευνητικές δραστηριότητες λειτούργησαν ως σημαντικό κίνητρο συμμετοχής και ενδιαφέροντος, ιδιαίτερα όταν περιλάμβαναν πείραμα, χειρισμό υλικών και οπτικές αναπαραστάσεις, ενώ οι κυριότερες δυσκολίες φαίνεται να σχετίζονταν με τις γλωσσικές απαιτήσεις και τη συμπλήρωση των γραπτών φύλλων εργασίας.

3.4 Σύνθεση ποσοτικών και ποιοτικών ευρημάτων

Η παρούσα ενότητα επιχειρεί τη σύνθεση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων της έρευνας, με στόχο τη συνολική αποτύπωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης. Η σύνθεση οργανώνεται με βάση τα τρία ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, τα οποία αφορούν τις αρχικές αντιλήψεις και τις εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών πριν από την παρέμβαση, την επίδρασή της στην κατανόηση των μίγμάτων και των κατηγοριών τους, καθώς και τη συμβολή της στη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών κατά τη διδακτική διαδικασία.

Σε σχέση με το πρώτο και το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, τα δεδομένα δείχνουν ότι πριν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης οι μαθητές προσέγγιζαν την έννοια του μίγματος κυρίως με εμπειρικά και μακροσκοπικά κριτήρια. Η ορατότητα των συστατικών φαίνεται να αποτελούσε βασικό κριτήριο για την αναγνώριση ενός δείγματος ως μίγματος, ενώ η οπτική καθαρότητα οδηγούσε συχνά στην ταύτιση διαυγών υλικών, όπως το εμφιαλωμένο νερό ή το νερό με διαλυμένη ζάχαρη, με την έννοια της καθαρής ουσίας. Παράλληλα, οι μαθητές παρουσίαζαν δυσκολίες στη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, καθώς και στη νοητική αναπαράσταση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάλυση μιας ουσίας στο νερό.

Τα ποσοτικά δεδομένα από τη σύγκριση του pre-test και του post-test δείχνουν τάση συνολικής βελτίωσης στην αναγνώριση και ταξινόμηση των δειγμάτων που σχετίζονται με τα μίγματα και τις καθαρές ουσίες μετά την παρέμβαση, ενώ τα ποιοτικά ευρήματα

επιτρέπουν την πληρέστερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συντελέστηκε αυτή η μεταβολή. Πιο συγκεκριμένα, οι ποιοτικές μεταβολές στις αιτιολογήσεις των μαθητών στα pre/post tests, από αναφορές που βασίζονται κυρίως σε καθημερινά και επιφανειακά κριτήρια προς αιτιολογήσεις περισσότερο συμβατές με την επιστημονική ερμηνεία των μιγμάτων και των καθαρών ουσιών, λειτουργούν ως συμπληρωματικές ενδείξεις σταδιακής εννοιολογικής μετακίνησης, χωρίς όμως να τεκμηριώνουν πλήρη και σταθερή αναδόμηση των σχετικών εννοιών. Η ίδια τάση αποτυπώνεται και στις ζωγραφιές ορισμένων μαθητών, όπως του M4 στο φύλλο εργασίας του πειράματος και του M1 στο φύλλο εργασίας της προσομοίωσης, όπου παρατηρείται μετάβαση από αναπαραστάσεις στις οποίες το δεύτερο υλικό αποδίδεται ως ορατό «κομμάτι» στον πυθμένα του δοχείου προς πιο κατανεμημένες και σωματιδιακές απεικονίσεις των διαλυμάτων.

Παράλληλα, οι συνεντεύξεις δείχνουν ότι ορισμένες αρχικές αντιλήψεις εξακολουθούν να παραμένουν ενεργές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο μαθητής M1, ο οποίος αναφέρει ότι στο νερό με ζάχαρη «νερό θα γίνει, δε θα φαίνεται», ενώ συνεχίζει να χαρακτηρίζει το εμφιαλωμένο νερό ως «καθαρή ουσία» ακόμη και μετά τη διδασκαλία. Η σύγκλιση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων μπορεί, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μικρού δείγματος, να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι η παρέμβαση φαίνεται να ενισχύει την κατανόηση βασικών εννοιών που σχετίζονται με τα μίγματα, χωρίς όμως να εξαλείφει πλήρως τις αρχικές εμπειρικές ή καθημερινές αντιλήψεις, οι οποίες εξακολουθούν να συνυπάρχουν με νεότερα στοιχεία κατανόησης.

Σε σχέση με το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, η σύνθεση των ποιοτικών δεδομένων από τα φύλλα παρατήρησης, τις συνεντεύξεις και τα φύλλα εργασίας δείχνει ότι η παρέμβαση φαίνεται να συνδέθηκε με θετική συμμετοχή, στο ενδιαφέρον και στη γνωστική εμπλοκή των μαθητών, ιδιαίτερα όταν η διδασκαλία περιλάμβανε πρακτικό χειρισμό υλικών, οπτικές αναπαραστάσεις και συνεργατικές δραστηριότητες. Οι μαθητές φαίνεται ότι συμμετείχαν πιο ενεργά στις δραστηριότητες ταξινόμησης και στο πείραμα, όπου είχαν τη δυνατότητα να κινηθούν, να χειριστούν υλικά και να συνεργαστούν με τους συμμαθητές τους.

Χαρακτηριστικά, ο M2 περιγράφει ότι «είχα σηκωθεί πάνω στο τραπέζι και έβαζα... εκείνο που ήταν με ένα υλικό και εκείνο που ήταν με περισσότερο υλικό», ενώ αναφέρει ότι το μάθημα ήταν «ευχάριστο» και ότι του άρεσε ιδιαίτερα τόσο η δραστηριότητα ταξινόμησης όσο και η προσομοίωση με «τα κυκλάκια που ήταν κόκκινο

και μπλε». Από την άλλη πλευρά, ο M1 αναγνωρίζει ως πιο θετική εμπειρία το πείραμα, αλλά επισημαίνει ότι «οι εργασίες, λίγο» τον δυσκόλεψαν και ότι «κάποιες λέξεις ήταν δύσκολες», αναδεικνύοντας ότι η συμμετοχή των μαθητών δεν συνδέεται μόνο με το ενδιαφέρον που προκαλεί μια δραστηριότητα, αλλά και με τον βαθμό στον οποίο η γλώσσα και η δομή της είναι προσβάσιμες. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να ερμηνευθούν ως ένδειξη ότι η διερευνητική και πολυτροπική φύση της παρέμβασης λειτούργησε ενισχυτικά ως προς τη συμμετοχή των μαθητών, χωρίς ωστόσο να αναιρεί την ανάγκη για γλωσσική απλοποίηση, σαφείς οδηγίες και συνεχή υποστήριξη, ιδιαίτερα στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής.

Συνολικά, η σύνθεση των ευρημάτων δείχνει ότι, στο πλαίσιο του συγκεκριμένου μικρού δείγματος και χωρίς ομάδα ελέγχου, η διδακτική παρέμβαση φαίνεται να συνδέεται με υποστήριξη τόσο της γνωστικής όσο και της συμμετοχικής διάστασης της μάθησης γύρω από τα μίγματα. Από τη μία πλευρά, καταγράφεται πρόοδος στην αναγνώριση και ταξινόμηση βασικών κατηγοριών, καθώς και ενδείξεις μετακίνησης προς πιο συνεκτικές αναπαραστάσεις των μιγμάτων και της διαδικασίας της διάλυσης. Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα επιβεβαιώνουν ότι η ενεργή εμπλοκή των μαθητών φαίνεται να ενισχύεται ιδιαίτερα μέσα από το πείραμα, τη συνεργασία και τις οπτικές ή ψηφιακές αναπαραστάσεις. Ταυτόχρονα, οι δυσκολίες που εξακολουθούν να παρατηρούνται, τόσο σε επίπεδο εννοιών όσο και σε επίπεδο γλώσσας και διατύπωσης, δείχνουν ότι η εννοιολογική αλλαγή και η ουσιαστική συμμετοχή αποτελούν σταδιακές διαδικασίες που απαιτούν χρόνο, επανάληψη και διαφοροποιημένη παιδαγωγική υποστήριξη. Η αναλυτικότερη συζήτηση των συμπερασμάτων αυτών και των συνεπειών τους για τη διδακτική πράξη παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

4. Συζήτηση, συμπεράσματα και προτάσεις

4.1 Συζήτηση των ευρημάτων σε σχέση με τη βιβλιογραφία

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας συζητούνται στη συνέχεια σε συνάρτηση με τη βιβλιογραφία που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, με στόχο να αναδειχθεί τόσο ο βαθμός σύγκλισης της μελέτης με προηγούμενες ερευνητικές εργασίες όσο και η ιδιαίτερη σημασία των αποτελεσμάτων της στο πλαίσιο της διδασκαλίας της Χημείας σε μαθητές Ειδικού Γυμνασίου. Η ανάλυση των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων έδειξε ότι οι μαθητές προσέρχονται στη διδασκαλία των μιγμάτων έχοντας ήδη διαμορφωμένες εμπειρικές αντιλήψεις, οι οποίες συνδέονται κυρίως με την ορατότητα των συστατικών, την καθημερινή χρήση του όρου «καθαρό» και τη δυσκολία σύνδεσης των μακροσκοπικών παρατηρήσεων με πιο δομικές ή σωματιδιακές ερμηνείες της ύλης. Η εικόνα αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τη σχετική βιβλιογραφία για τις παρανοήσεις που αφορούν τα μίγματα, τις καθαρές ουσίες και τη σωματιδιακή φύση της ύλης, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές συχνά βασίζονται σε άμεσα αντιληπτά χαρακτηριστικά των υλικών και δυσκολεύονται να μεταβούν σε πιο αφηρημένες και επιστημονικά συμβατές ερμηνείες.

Παράλληλα, τα αποτελέσματα της παρέμβασης δείχνουν ότι η αξιοποίηση διερευνητικών δραστηριοτήτων, πειραματικών διαδικασιών και ψηφιακών προσομοιώσεων μπορεί να υποστηρίξει ουσιαστικά την εννοιολογική μετακίνηση των μαθητών, χωρίς όμως αυτή να είναι πλήρης, γραμμική ή ομοιόμορφη για όλους. Το εύρημα αυτό συνδέεται άμεσα με τις θεωρήσεις της εννοιολογικής αλλαγής, σύμφωνα με τις οποίες οι αρχικές ιδέες των μαθητών δεν αντικαθίστανται άμεσα από τις επιστημονικές έννοιες, αλλά συχνά συνυπάρχουν με νέες μορφές κατανόησης για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στην παρούσα έρευνα αυτό έγινε εμφανές τόσο μέσα από τις μεταβολές των επιδόσεων μεταξύ pre-test και post-test όσο και μέσα από τις ζωγραφιές, τις λεκτικές διατυπώσεις και τις συνεντεύξεις των μαθητών, όπου παρατηρήθηκαν ταυτόχρονα ενδείξεις βελτίωσης αλλά και διατήρησης ορισμένων αρχικών εναλλακτικών αντιλήψεων.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα ευρήματα δεν περιορίζονται μόνο στην εννοιολογική διάσταση της μάθησης, αλλά αναδεικνύουν και τη σημασία του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές βίωσαν τη μαθησιακή διαδικασία. Οι δραστηριότητες που βασίζονταν στον χειρισμό υλικών, στη συνεργασία και στην οπτική αναπαράσταση της γνώσης φάνηκε να ενισχύουν τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών, εύρημα που συνάδει με τη βιβλιογραφία για τη διερευνητική μάθηση, τη χρήση

προσομοιώσεων στις Φυσικές Επιστήμες και τη σημασία των πολυτροπικών και διαφοροποιημένων προσεγγίσεων στην ειδική αγωγή. Ταυτόχρονα, οι δυσκολίες που καταγράφηκαν στη γλώσσα, στη χρήση της επιστημονικής ορολογίας και στην επεξεργασία των γραπτών φύλλων εργασίας υπενθυμίζουν ότι η αποτελεσματικότητα αντίστοιχων παρεμβάσεων δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το επιστημονικό περιεχόμενό τους, αλλά και από τον βαθμό στον οποίο είναι παιδαγωγικά προσαρμοσμένες στις δυνατότητες και στις ανάγκες των μαθητών.

Με βάση τα παραπάνω, η συζήτηση των ευρημάτων οργανώνεται σε δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος αφορά τις παρανοήσεις των μαθητών σχετικά με τα μίγματα, τη διάκριση καθαρής ουσίας και μίγματος και την πορεία της εννοιολογικής αλλαγής που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της παρέμβασης. Ο δεύτερος εστιάζει στον ρόλο της διερευνητικής μάθησης και των ψηφιακών προσομοιώσεων στη συμμετοχή, στην κατανόηση και στη συνολική μαθησιακή εμπειρία των μαθητών στο πλαίσιο του ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ..

4.1.1 Παρανοήσεις στα μίγματα και εννοιολογική αλλαγή

Ένα από τα βασικά ευρήματα της μελέτης είναι ότι οι μαθητές της Β΄ τάξης Ειδικού Γυμνασίου προσέρχονται στη διδασκαλία των μιγμάτων έχοντας ήδη διαμορφωμένες εμπειρικές αντιλήψεις, οι οποίες λειτουργούν ως ερμηνευτικά σχήματα για την αναγνώριση και την κατηγοριοποίηση των υλικών. Οι αντιλήψεις αυτές σχετίζονται κυρίως με τη σύνδεση του μίγματος με την ορατή παρουσία δύο ή περισσότερων συστατικών, με την ταύτιση της οπτικής καθαρότητας με την έννοια της καθαρής ουσίας και με τη δυσκολία κατανόησης της διάλυσης ως διαδικασίας κατά την οποία το διαλυμένο συστατικό εξακολουθεί να υπάρχει, παρότι δεν είναι μακροσκοπικά ορατό. Η εικόνα αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με τη σχετική βιβλιογραφία, καθώς οι Nakhleh (1992), Kind (2004, σελ. 7–8, 21–23 και 27–29) και Barke et al. (2008, σελ. 26–30 και 37–45) επισημαίνουν ότι οι μαθητές συχνά χρησιμοποιούν καθημερινά, αισθητηριακά ή επιφανειακά κριτήρια προκειμένου να αποφασίσουν αν κάτι είναι ουσία ή μίγμα, χωρίς να στηρίζονται σε πιο συστηματικά επιστημονικά κριτήρια.

Η δυσκολία αυτή γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στις περιπτώσεις όπου τα συστατικά δεν είναι άμεσα ορατά, όπως στο εμφιαλωμένο νερό ή στο νερό με διαλυμένη ζάχαρη. Στα δεδομένα της παρούσας μελέτης, αλλά και στις συνεντεύξεις των μαθητών, αναδείχθηκε ότι η διαύγεια ενός δείγματος λειτουργεί συχνά ως ένδειξη «καθαρότητας», ενώ η απουσία

ορατού διαχωρισμού οδηγεί ορισμένους μαθητές στο να μη θεωρούν το διάλυμα μίγμα. Το εύρημα αυτό συμφωνεί με προηγούμενες μελέτες που δείχνουν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να διακρίνουν ανάμεσα στην καθημερινή σημασία του όρου «καθαρό» και στην επιστημονική έννοια της καθαρής ουσίας, ενώ παράλληλα αντιμετωπίζουν δυσκολίες στη μετάβαση από το μακροσκοπικό επίπεδο παρατήρησης στο μικροσκοπικό ή σωματιδιακό επίπεδο εξήγησης (Andersson, 1990· Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 9–13, 21–23 και 27–29). Επιπλέον, οι Harrison and Treagust (2003), de Vos and Verdonk (1996), Gilbert and Treagust (2009) και Davidowitz and Chittleborough (2009) έχουν δείξει ότι η κατανόηση των χημικών εννοιών προϋποθέτει τη συστηματική σύνδεση πολλαπλών επιπέδων αναπαράστασης, κάτι που δεν επιτυγχάνεται αυτονόητα μόνο μέσα από τη μακροσκοπική εμπειρία.

Αντίστοιχα, οι δυσκολίες που εντοπίστηκαν στη διάκριση ομογενούς και ετερογενούς μίγματος επιβεβαιώνουν ότι οι σχετικοί όροι παραμένουν γνωστικά ασταθείς για τους μαθητές, ακόμη και μετά τη διδασκαλία. Οι μαθητές συχνά συνέδεαν την ύπαρξη δύο υλικών γενικά με την έννοια του μίγματος, χωρίς να μπορούν πάντοτε να εξηγήσουν με συνέπεια τι διαφοροποιεί το ομογενές από το ετερογενές μίγμα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρήθηκε σύγχυση ανάμεσα στις κατηγορίες «ένα υλικό», «ομογενές» και «καθαρή ουσία». Η διαπίστωση αυτή συνάδει με τις αναφορές των Stains and Talanquer (2007) και Stojanovska et al. (2012), σύμφωνα με τις οποίες οι μαθητές συχνά χρησιμοποιούν τους όρους της Χημείας ως λεκτικές ετικέτες που δεν έχουν ακόμη ενσωματωθεί σε συνεκτικά εννοιολογικά σχήματα. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς υποδηλώνει ότι η δυσκολία δεν αφορά μόνο την ανάκληση της σωστής ορολογίας, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται οι ίδιες οι έννοιες στο νοητικό σύστημα των μαθητών.

Παρά τις δυσκολίες αυτές, τα αποτελέσματα της παρέμβασης δείχνουν ότι καταγράφηκε μετακίνηση στην κατανόηση των μαθητών, ιδιαίτερα ως προς την αναγνώριση παραδειγμάτων μιγμάτων και τη διάκριση ορισμένων κατηγοριών μετά τη διδασκαλία. Η βελτίωση που αποτυπώθηκε στα post-test, αλλά και σε ορισμένες ζωγραφιές και λεκτικές διατυπώσεις των μαθητών, υποδηλώνει ότι η παρέμβαση δημιούργησε συνθήκες αναδόμησης της σκέψης τους, τουλάχιστον σε βασικό επίπεδο. Ωστόσο, η ποιοτική ανάλυση έδειξε ότι η μετακίνηση αυτή δεν ήταν ούτε πλήρης ούτε ομοιόμορφη. Για παράδειγμα, η συνύπαρξη πιο σωματιδιακών αναπαραστάσεων σε ορισμένες ζωγραφιές

με την ταυτόχρονη επιμονή λεκτικών σχημάτων όπως «δεν φαίνεται» ή «καθαρή ουσία» δείχνει ότι οι νέες γνώσεις δεν αντικατέστησαν πλήρως τις αρχικές, αλλά άρχισαν να συνυπάρχουν με αυτές. Η εικόνα αυτή είναι συμβατή με έρευνες που υποστηρίζουν ότι η βελτίωση στις επιδόσεις δεν συνεπάγεται απαραίτητα πλήρη αναδιοργάνωση των υποκείμενων αντιλήψεων των μαθητών (Gurel et al., 2015· Rokhim et al., 2023· Suparman et al., 2024).

Η παραπάνω διαπίστωση ερμηνεύεται πειστικά μέσα από τις θεωρίες της εννοιολογικής αλλαγής. Σύμφωνα με τις προσεγγίσεις των Posner et al. (1982), Vosniadou et al. (2008), Taber (2010, 2013, 2014) και Chi (2005), η εννοιολογική αλλαγή δεν αποτελεί απλή διόρθωση μεμονωμένων λαθών, αλλά μια σταδιακή αναδιοργάνωση προϋπαρχόντων νοητικών πλαισίων, τα οποία διαθέτουν συχνά εσωτερική συνοχή και αντλούν τη δυναμική τους από την καθημερινή εμπειρία του μαθητή. Από αυτή την οπτική, το γεγονός ότι οι μαθητές παρουσίασαν βελτίωση στις επιδόσεις τους χωρίς να εγκαταλείψουν πλήρως ορισμένες αρχικές ιδέες δεν συνιστά αποτυχία της παρέμβασης, αλλά αναμενόμενο στάδιο μιας ευρύτερης διαδικασίας εννοιολογικής μετάβασης. Η παρατήρηση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο της ειδικής αγωγής, όπου η μάθηση συχνά εξελίσσεται με πιο αργούς, αποσπασματικούς ή μη γραμμικούς ρυθμούς και όπου η σταθεροποίηση νέων εννοιών απαιτεί επανάληψη, πολλαπλές αναπαραστάσεις και συστηματική παιδαγωγική υποστήριξη (Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025· Benite et al., 2022).

Επιπλέον, η μελέτη δείχνει ότι η εννοιολογική αλλαγή στα μίγματα δεν μπορεί να εξεταστεί ανεξάρτητα από τη γλώσσα με την οποία οι μαθητές καλούνται να σκεφτούν και να εκφράσουν τις έννοιες. Οι αναφορές των μαθητών σε «δύσκολες λέξεις», αλλά και η σύγχυση ανάμεσα σε όρους όπως «ομογενές», «ετερογενές», «καθαρή ουσία» και «μίγμα», αναδεικνύουν ότι ένα μέρος των δυσκολιών είναι ταυτόχρονα εννοιολογικό και γλωσσικό. Το στοιχείο αυτό συνδέεται με τη βιβλιογραφία που υπογραμμίζει ότι οι έννοιες της Χημείας δεν αποτελούν απλές περιγραφές φαινομένων, αλλά εξειδικευμένες γλωσσικές και συμβολικές κατασκευές, οι οποίες απαιτούν σταδιακή οικοδόμηση και προσεκτική παιδαγωγική διαμεσολάβηση (Gilbert & Treagust, 2009· Bucat & Mocerino, 2009· Santos & Arroio, 2016). Συνεπώς, οι παρανοήσεις των μαθητών για τα μίγματα δεν πρέπει να αντιμετωπίζονται ως απλά λάθη προς διόρθωση, αλλά ως ενδείξεις του τρόπου με τον οποίο νοηματοδοτούν τις έννοιες με βάση τις εμπειρίες, τη γλώσσα και τα διαθέσιμα σχήματα σκέψης τους.

Συνολικά, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας συγκλίνουν με τη βιβλιογραφία ως προς το ότι οι έννοιες των μιγμάτων, της καθαρής ουσίας και των κατηγοριών ομογενών και ετερογενών μιγμάτων αποτελούν πεδίο αυξημένης εννοιολογικής δυσκολίας για τους μαθητές (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 21–23 και 27–29 · Barke et al., 2008, σελ. 26–30 και 37–45· Stojanovska et al., 2012). Ταυτόχρονα, δείχνουν ότι ακόμη και σε ένα πλαίσιο ειδικής αγωγής μπορούν να υποστηριχθούν μετακινήσεις στην κατανόηση, όταν η διδασκαλία οργανώνεται με τρόπο που λαμβάνει υπόψη τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών, αξιοποιεί πολλαπλές μορφές αναπαράστασης και προσφέρει ευκαιρίες για σταδιακή αναδιαπραγμάτευση των ιδεών τους (Driver & Oldham, 1986· Dewi et al., 2024· Arini et al., 2025). Από το σημείο αυτό προκύπτει και η ανάγκη να εξεταστεί πιο ειδικά ο ρόλος της διερευνητικής μάθησης και των ψηφιακών προσομοιώσεων στην πορεία της παρέμβασης, ζήτημα που συζητείται στην επόμενη υποενότητα.

4.1.2 Ρόλος διερευνητικής μάθησης και προσομοιώσεων στο ΕΝΕΕΓΥΛ

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η διδακτική παρέμβαση, η οποία οργανώθηκε γύρω από διερευνητικές δραστηριότητες και τη χρήση ψηφιακής προσομοίωσης, επηρέασε όχι μόνο την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών αλλά και τον τρόπο με τον οποίο συμμετείχαν στη μαθησιακή διαδικασία. Η αυξημένη εμπλοκή τους στις δραστηριότητες του πειράματος, η ενεργότερη συμμετοχή στις διαδικασίες παρατήρησης, ταξινόμησης και συζήτησης, καθώς και η γενικότερη ενίσχυση του ενδιαφέροντός τους κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, υποδηλώνουν ότι η μάθηση φαίνεται να λειτουργήσει αποτελεσματικότερα όταν οι μαθητές δεν περιορίστηκαν σε παθητική παρακολούθηση, αλλά είχαν τη δυνατότητα να διερευνήσουν, να χειριστούν υλικά και να διατυπώσουν σκέψεις γύρω από τα φαινόμενα που μελετούσαν. Η εικόνα αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία για τη διερευνητική μάθηση, σύμφωνα με την οποία η ενεργητική εμπλοκή του μαθητή αποτελεί βασική προϋπόθεση για ουσιαστικότερη επεξεργασία των εννοιών και για σταδιακή αναδόμηση των αρχικών του αντιλήψεων (Driver & Oldham, 1986; Pedaste et al., 2015; Hinostroza et al., 2024).

Η σημασία της διερευνητικής μάθησης αναδεικνύεται ιδιαίτερα όταν η διδασκαλία της Χημείας αφορά έννοιες που είναι εν μέρει αφηρημένες και δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές μέσα από την καθημερινή εμπειρία. Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι μαθητές

ανταποκρίθηκαν περισσότερο όταν είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν πραγματικά υλικά, να συγκρίνουν περιπτώσεις, να συζητήσουν τις απαντήσεις τους και να συνδέσουν τις έννοιες με απτές εμπειρίες. Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί με ερευνητικά δεδομένα που υποστηρίζουν ότι οι μορφές καθοδηγούμενης διερεύνησης είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, ιδίως όταν οι μαθητές χρειάζονται υποστήριξη για να μεταβούν από την εμπειρική παρατήρηση στη συγκρότηση εννοιολογικών σχέσεων (Geveke et al., 2016; Vilardo et al., 2017; Mukti & LFX, 2025). Παράλληλα, η οργάνωση της παρέμβασης σε φάσεις ανάδειξης αρχικών ιδεών, αναδόμησης και ανασκόπησης αντανακλά βασικές αρχές του εποικοδομητικού μοντέλου των Driver και Oldham (1986), οι οποίες φαίνεται ότι λειτούργησαν υποστηρικτικά και στο παρόν πλαίσιο.

Εξίσου σημαντικός αναδείχθηκε ο ρόλος της ψηφιακής προσομοίωσης, η οποία έδωσε στους μαθητές τη δυνατότητα να προσεγγίσουν με πιο οπτικό και δυναμικό τρόπο φαινόμενα που δεν είναι εύκολο να ερμηνευθούν μόνο μέσα από τη μακροσκοπική εμπειρία. Η αξιοποίησή της δεν λειτούργησε απλώς ως τεχνολογικό συμπλήρωμα της διδασκαλίας, αλλά ως εργαλείο που υποστήριξε την ορατοποίηση διαδικασιών όπως η διάλυση και βοήθησε ορισμένους μαθητές να μετακινηθούν πέρα από το κριτήριο της άμεσης ορατότητας των συστατικών. Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με μελέτες που δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά στη διδασκαλία της Χημείας, διευκολύνοντας τη σύνδεση ανάμεσα στο μακροσκοπικό, το μικροσκοπικό και το συμβολικό επίπεδο αναπαράστασης (Gilbert, 2005; Gilbert & Treagust, 2009; Davidowitz & Chittleborough, 2009; Kefalis et al., 2025). Στο ίδιο πλαίσιο, ο Mikropoulos (2023) επισημαίνει ότι τα ψηφιακά περιβάλλοντα μάθησης μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά όταν εντάσσονται σε έναν ευρύτερο παιδαγωγικό σχεδιασμό με σαφείς στόχους και κατάλληλη διαμεσολάβηση.

Ωστόσο, τα δεδομένα δείχνουν ότι η θετική συμβολή της προσομοίωσης δεν ήταν αυτόματη, ούτε ίδια για όλους τους μαθητές. Παρότι αρκετοί έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη χρήση της και φάνηκε να ωφελήθηκαν από τον οπτικό της χαρακτήρα, καταγράφηκαν δυσκολίες που σχετίζονταν με τη γλώσσα, την κατανόηση των οδηγιών, την ορολογία και γενικότερα με την ανάγκη καθοδήγησης κατά την επεξεργασία του ψηφιακού περιβάλλοντος. Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί με τη βιβλιογραφία που επισημαίνει ότι οι τεχνολογικές εφαρμογές δεν είναι από μόνες τους αποτελεσματικές, αλλά η παιδαγωγική τους αξία εξαρτάται από το επίπεδο υποστήριξης που παρέχεται στους μαθητές και από τον

βαθμό στον οποίο προσαρμόζονται στις μαθησιακές τους ανάγκες (Benite et al., 2022; Egambaram et al., 2022; Mikropoulos, 2023). Με άλλα λόγια, η προσομοίωση φαίνεται να λειτουργήσει πιο ουσιαστικά όταν συνδυάστηκε με προφορική υποστήριξη, καθοδηγητικές ερωτήσεις, απλοποιημένη γλώσσα και σύνδεση με τις εμπειρίες που προέκυψαν από το πείραμα.

Η διάσταση αυτή αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο πλαίσιο του EN.E.E.ΓΥ.-Λ., όπου η ετερογένεια των μαθητών και οι διαφοροποιημένες γνωστικές, γλωσσικές και μαθησιακές ανάγκες καθιστούν αναγκαία τη χρήση ευέλικτων και πολυτροπικών μορφών διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μαθητές ανταποκρίθηκαν θετικότερα όταν η γνώση παρουσιαζόταν μέσω περισσότερων του ενός τρόπων, δηλαδή μέσα από τον προφορικό λόγο, την εικόνα, τον χειρισμό υλικών, τη συνεργατική δραστηριότητα και την ψηφιακή οπτικοποίηση. Η εικόνα αυτή συνδέεται άμεσα με τις αρχές του UDL, σύμφωνα με τις οποίες η παροχή πολλαπλών μορφών αναπαράστασης, δράσης και εμπλοκής ενισχύει την προσβασιμότητα της μάθησης και διευκολύνει τη συμμετοχή διαφορετικών μαθητών σε κοινές μαθησιακές διαδικασίες (Mikropoulos, 2023; Rai et al., 2025). Παράλληλα, έρευνες όπως εκείνες των Zejnilagić-Hajrić et al. (2015), Benite et al. (2022) και Yildirim και Karabulut (2023) υποστηρίζουν ότι σε περιβάλλοντα με αυξημένες μαθησιακές διαφοροποιήσεις, η αποτελεσματική διδασκαλία των φυσικών επιστημών απαιτεί συνδυασμό οπτικών, πρακτικών και καθοδηγούμενων στρατηγικών, εύρημα που επιβεβαιώνεται και από την παρούσα μελέτη.

Επιπλέον, τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η αυξημένη συμμετοχή των μαθητών δεν θα πρέπει να ερμηνευθεί μόνο ως ένδειξη ενδιαφέροντος, αλλά και ως στοιχείο βαθύτερης γνωστικής ενεργοποίησης. Το γεγονός ότι οι μαθητές ενεπλάκησαν περισσότερο όταν κλήθηκαν να συγκρίνουν περιπτώσεις, να αιτιολογήσουν επιλογές, να παρατηρήσουν αλλαγές και να αναστοχαστούν πάνω στις αρχικές τους ιδέες δείχνει ότι η διερευνητική και υποστηριζόμενη από προσομοιώσεις διδασκαλία μπορεί να ενισχύσει όχι μόνο τη διάθεση συμμετοχής αλλά και την ποιότητα της νοητικής επεξεργασίας. Το εύρημα αυτό είναι συμβατό με προσεγγίσεις που συνδέουν τη διερευνητική μάθηση με βαθύτερη γνωστική εμπλοκή, ιδιαίτερα όταν η διερεύνηση είναι οργανωμένη, καθοδηγούμενη και σαφώς συνδεδεμένη με εννοιολογικούς στόχους (Dewi et al., 2024; Popović et al., 2025; Wilson et al., 2026). Στην παρούσα περίπτωση, ο συνδυασμός πειράματος, συζήτησης, εικόνας και

προσομοίωσης φαίνεται ότι λειτούργησε ως ένα πλέγμα αλληλοσυμπληρούμενων εμπειριών που ευνόησε τη σταδιακή οικοδόμηση νοήματος.

Συνολικά, τα ευρήματα υποστηρίζουν ότι η διερευνητική μάθηση και οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορούν να αποτελέσουν ιδιαίτερα γόνιμα εργαλεία για τη διδασκαλία της έννοιας των μιγμάτων στο ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ., υπό την προϋπόθεση ότι δεν αντιμετωπίζονται ως αυτάρκεις τεχνικές, αλλά ως στοιχεία ενός προσεκτικά σχεδιασμένου, διαφοροποιημένου και παιδαγωγικά υποστηριζόμενου μαθησιακού πλαισίου. Η συμβολή τους φαίνεται να είναι μεγαλύτερη όταν ενεργοποιούν πολλαπλές μορφές συμμετοχής, μειώνουν τον βαθμό αφαιρετικότητας των χημικών εννοιών και επιτρέπουν στους μαθητές να μετακινηθούν σταδιακά από την εμπειρική παρατήρηση προς περισσότερο επιστημονικά αποδεκτές ερμηνείες. Από την άποψη αυτή, η μελέτη συνδέει τη βιβλιογραφία για τη διερευνητική μάθηση, τις προσομοιώσεις και τη διαφοροποιημένη διδασκαλία με μια συγκεκριμένη εφαρμογή στην ειδική αγωγή, αναδεικνύοντας ότι ο παιδαγωγικός σχεδιασμός παραμένει ο καθοριστικός παράγοντας για την εκπαιδευτική αξία των εργαλείων αυτών (Driver & Oldham, 1986; Pedaste et al., 2015; Mikropoulos, 2023; Rai et al., 2025).

4.2 Παιδαγωγικές και πρακτικές προεκτάσεις

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας αναδεικνύουν ότι η διδασκαλία της έννοιας των μιγμάτων στο πλαίσιο του ΕΝΕΕΓΥΛ δεν μπορεί να περιορίζεται στη μετάδοση ορισμών και στη λεκτική παρουσίαση των κατηγοριών των υλικών, αλλά απαιτεί διδακτικές προσεγγίσεις που να λαμβάνουν υπόψη τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών, τις γλωσσικές και γνωστικές τους δυσκολίες, καθώς και την ανάγκη για ενεργή συμμετοχή στη μαθησιακή διαδικασία. Η ανάδειξη εναλλακτικών ιδεών σχετικά με το τι είναι μίγμα, καθαρή ουσία, ομογενές και ετερογενές μίγμα, σε συνδυασμό με τη βελτίωση που καταγράφηκε μετά την εφαρμογή της παρέμβασης, δείχνει ότι η κατανόηση τέτοιων εννοιών ενισχύεται όταν η διδασκαλία οργανώνεται γύρω από διερευνητικές δραστηριότητες, πολλαπλές αναπαραστάσεις και κατάλληλη παιδαγωγική υποστήριξη. Η εικόνα αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία που αντιμετωπίζει τη μάθηση των φυσικών επιστημών ως διαδικασία εννοιολογικής αναδόμησης και όχι ως απλή απομνημόνευση πληροφοριών, ενώ παράλληλα υπογραμμίζει τη σημασία της καθοδήγησης, της

οπτικοποίησης και της διαφοροποίησης, ιδίως σε μαθητές με ετερογενείς μαθησιακές ανάγκες (Driver & Oldham, 1986; Pedaste et al., 2015; Mikropoulos, 2023; Rai et al., 2025).

Παράλληλα, τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι οι παιδαγωγικές επιλογές δεν επηρεάζουν μόνο το επίπεδο της γνωστικής κατανόησης, αλλά και τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη γνωστική εμπλοκή των μαθητών. Η θετική ανταπόκριση των μαθητών σε δραστηριότητες που συνδύαζαν πείραμα, συζήτηση, οπτικό υλικό και ψηφιακή προσομοίωση υποδηλώνει ότι η αποτελεσματική διδασκαλία στη Χημεία, και ιδιαίτερα στην ειδική αγωγή, προϋποθέτει ένα μαθησιακό περιβάλλον στο οποίο οι έννοιες παρουσιάζονται με προσβάσιμο, πολυτροπικό και βιωματικό τρόπο. Από την άποψη αυτή, η παρούσα έρευνα δεν προσφέρει μόνο συμπεράσματα για τη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση, αλλά και ευρύτερες ενδείξεις για τον σχεδιασμό διδασκαλιών που μπορούν να εφαρμοστούν σε αντίστοιχα εκπαιδευτικά πλαίσια. Στο πλαίσιο αυτό, οι παιδαγωγικές και πρακτικές προεκτάσεις της μελέτης αφορούν, αφενός, συγκεκριμένες προτάσεις για τη διδασκαλία των μιγμάτων στην ειδική αγωγή και, αφετέρου, γενικότερες κατευθύνσεις για τον σχεδιασμό διαφοροποιημένων παρεμβάσεων στη διδασκαλία της Χημείας (Benite et al., 2022; Egambaram et al., 2022; Mikropoulos, 2023; Yildirim Karabulut, 2023).

4.2.1 Προτάσεις για διδασκαλία μιγμάτων στην ειδική αγωγή

Με βάση τα ευρήματα της παρούσας έρευνας, η διδασκαλία των μιγμάτων στην ειδική αγωγή είναι σημαντικό να οργανώνεται με τρόπο που να ξεκινά από τις ήδη υπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και να δημιουργεί ευκαιρίες σταδιακής αναδόμησής τους. Οι δυσκολίες που καταγράφηκαν ως προς τη διάκριση ανάμεσα σε μίγμα και καθαρή ουσία, αλλά και ως προς την κατανόηση της διαφοράς ομογενούς και ετερογενούς μίγματος, δείχνουν ότι οι μαθητές δεν αρκεί να εκτεθούν στους επιστημονικούς όρους, αλλά χρειάζονται συστηματική υποστήριξη για να συνδέσουν τις νέες έννοιες με εμπειρίες, παρατηρήσεις και απτές αναπαραστάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτει ως βασική παιδαγωγική αρχή η αξιοποίηση διδακτικών ακολουθιών που περιλαμβάνουν ανάδειξη αρχικών ιδεών, διερεύνηση, σύγκριση περιπτώσεων, αναστοχασμό και αναδιατύπωση των αρχικών απόψεων των μαθητών, σε συμφωνία με εποικοδομητικές και διερευνητικές προσεγγίσεις της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών (Driver & Oldham, 1986; Pedaste et al., 2015; Dewi et al., 2024).

Μία πρώτη πρακτική κατεύθυνση αφορά τη συστηματική χρήση χειροπιαστών, οικείων και καθημερινών παραδειγμάτων μιγμάτων, ώστε οι μαθητές να μπορούν να στηρίζονται σε εμπειρίες που έχουν νόημα για τους ίδιους. Υλικά όπως νερό με ζάχαρη, νερό με λάδι, χυμός με ίζημα, φακές με ρύζι ή αλάτι με άμμο διευκολύνουν τη σύγκριση περιπτώσεων και επιτρέπουν στους μαθητές να παρατηρούν άμεσα ομοιότητες και διαφορές. Ωστόσο, τα ευρήματα της έρευνας δείχνουν ότι η άμεση παρατήρηση από μόνη της δεν αρκεί, καθώς αρκετοί μαθητές τείνουν να συνδέουν την έννοια του μίγματος αποκλειστικά με την ορατότητα των συστατικών. Για τον λόγο αυτό, η πρακτική διερεύνηση χρειάζεται να συνοδεύεται από στοχευμένες ερωτήσεις, λεκτική καθοδήγηση και επαναλαμβανόμενη συζήτηση, ώστε οι μαθητές να μετακινούνται από την απλή περιγραφή προς την ερμηνεία των φαινομένων (Nakhleh, 1992· Kind, 2004, σελ. 13–29· Costu et al., 2007· Arini et al., 2025).

Μία δεύτερη σημαντική πρόταση αφορά την αξιοποίηση πολλαπλών μορφών αναπαράστασης κατά τη διδασκαλία. Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι οι μαθητές ανταποκρίθηκαν θετικότερα όταν οι έννοιες παρουσιάστηκαν όχι μόνο με λεκτικό τρόπο, αλλά και μέσω εικόνων, πειραματικών δραστηριοτήτων, ζωγραφικών αναπαραστάσεων και ψηφιακής προσομοίωσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την έννοια των μιγμάτων, επειδή η κατανόηση της διάλυσης και των ομογενών μιγμάτων απαιτεί μετάβαση από το μακροσκοπικό επίπεδο παρατήρησης σε πιο αφηρημένες ή μικροσκοπικές ερμηνείες. Η χρήση εικόνων, σχημάτων, οπτικοποιήσεων και δυναμικών προσομοιώσεων μπορεί να υποστηρίξει αυτή τη μετάβαση, εφόσον συνοδεύεται από παιδαγωγική διαμεσολάβηση και δεν αντιμετωπίζεται ως αυτάρκης τεχνολογική λύση (Gilbert, 2005; Gilbert & Treagust, 2009; Mikropoulos, 2023; Kefalis et al., 2025).

Παράλληλα, η διδασκαλία των μιγμάτων στην ειδική αγωγή φαίνεται σκόπιμο να στηρίζεται σε γλωσσική απλοποίηση και σταδιακή εισαγωγή της επιστημονικής ορολογίας. Στην παρούσα έρευνα αναδείχθηκε ότι όροι όπως «ομογενές», «ετερογενές» και «καθαρή ουσία» αποτέλεσαν για αρκετούς μαθητές πηγή σύγχυσης, όχι μόνο σε επίπεδο ονομασίας αλλά και σε επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης. Επομένως, η διδασκαλία χρειάζεται να δίνει χώρο στην αποσαφήνιση της σημασίας των όρων, στη σύνδεσή τους με συγκεκριμένα παραδείγματα και στη συχνή επαναχρησιμοποίησή τους μέσα σε ποικίλα συμφραζόμενα. Η πρακτική αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία που υπογραμμίζει ότι η μάθηση της Χημείας είναι στενά δεμένη με τη σταδιακή κατάκτηση ενός εξειδικευμένου γλωσσικού και

συμβολικού συστήματος, το οποίο δεν είναι αυτονόητα προσβάσιμο σε όλους τους μαθητές (Bucat & Mocerino, 2009; Davidowitz & Chittleborough, 2009; Santos & Arroio, 2016).

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της παρέμβασης υποδεικνύουν ότι η διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές ειδικής αγωγής είναι πιο αποτελεσματική όταν οργανώνεται σε μικρά, σαφή και διαδοχικά βήματα. Η σταδιακή μετάβαση από το συγκεκριμένο στο πιο αφηρημένο, από το χειραπτικό στο εικονικό και από την εμπειρική παρατήρηση στη λεκτική γενίκευση φαίνεται να διευκολύνει την κατανόηση και να μειώνει τη γνωστική επιβάρυνση των μαθητών. Μια τέτοια πορεία συνδέεται τόσο με το μοντέλο διδακτικής ακολουθίας που προτείνουν οι Driver και Oldham (1986), όπου η διδασκαλία οργανώνεται γύρω από φάσεις ανάδειξης αρχικών ιδεών, διερεύνησης, αναδόμησης και ανασκόπησης, όσο και με σύγχρονες προσεγγίσεις σταδιακής μετάβασης από το «Concrete–Pictorial–Abstract» και τις αρχές διαφοροποιημένης και προσβάσιμης διδασκαλίας, οι οποίες προτείνουν κλιμακωτή οικοδόμηση της γνώσης και υποστήριξη της επεξεργασίας των εννοιών μέσα από διαφορετικά μέσα και βαθμούς δυσκολίας (Driver & Oldham, 1986· Yildirim & Karabulut, 2023· Mikropoulos, 2023· Rai et al., 2025).

Τέλος, μία ακόμη ουσιαστική πρόταση αφορά την ενίσχυση της συμμετοχής των μαθητών μέσα από συνεργατικές και ημι-δομημένες δραστηριότητες, στις οποίες ο εκπαιδευτικός καθοδηγεί χωρίς να αφαιρεί την πρωτοβουλία των μαθητών. Η θετική ανταπόκριση των μαθητών σε δραστηριότητες πειράματος, ταξινόμησης και συζήτησης δείχνει ότι η εμπλοκή τους ενισχύεται όταν έχουν ενεργό ρόλο, όταν καλούνται να εκφράσουν γνώμη και όταν νιώθουν ότι η συμβολή τους έχει αξία μέσα στη μαθησιακή διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, η διδασκαλία των μιγμάτων στην ειδική αγωγή χρειάζεται να σχεδιάζεται όχι μόνο με στόχο την ορθή κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης, αλλά και με στόχο τη δημιουργία ενός υποστηρικτικού περιβάλλοντος στο οποίο οι μαθητές μπορούν να συμμετέχουν με ασφάλεια, να πειραματίζονται, να κάνουν λάθη και να αναστοχάζονται πάνω σε αυτά. Η αρχή αυτή βρίσκεται σε συμφωνία τόσο με τη λογική της διερευνητικής μάθησης όσο και με τις αρχές του UDL, που δίνουν έμφαση σε πολλαπλές μορφές συμμετοχής και εμπλοκής (Geveke et al., 2016; Benite et al., 2022; Mikropoulos, 2023; Rai et al., 2025).

4.2.2 Κατευθύνσεις για σχεδιασμό διαφοροποιημένων παρεμβάσεων στη Χημεία

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας υποδεικνύουν ότι ο αποτελεσματικός σχεδιασμός παρεμβάσεων στη Χημεία, ιδιαίτερα σε πλαίσια ειδικής αγωγής, χρειάζεται να βασίζεται σε ένα διαφοροποιημένο, ευέλικτο και πολυτροπικό διδακτικό πλαίσιο. Η βελτίωση στην κατανόηση των μιγμάτων και η ενίσχυση της συμμετοχής των μαθητών δείχνουν ότι η συνδυασμένη αξιοποίηση διερευνητικών δραστηριοτήτων, χειραπτικών εμπειριών, ψηφιακών προσομοιώσεων και πολλαπλών μορφών αναπαράστασης μπορεί να αποτελέσει πρότυπο για τη διδασκαλία και άλλων εννοιών της Χημείας. Σε αυτή τη λογική, οι αρχές της καθοδηγούμενης διερευνητικής μάθησης και του UDL προσφέρουν ένα συνεκτικό πλαίσιο για τον σχεδιασμό μαθησιακών περιβαλλόντων με ποικιλία τρόπων παρουσίασης, έκφρασης και συμμετοχής (Pedaste et al., 2015· Mikropoulos, 2023· Benite et al., 2022· Rai et al., 2025).

Μια βασική κατεύθυνση είναι η συστηματική ενσωμάτωση πολλαπλών μορφών αναπαράστασης, με ρητή διασύνδεση ανάμεσα σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις, εικονικές/μικροσκοπικές αναπαραστάσεις και λεκτικές–συμβολικές διατυπώσεις. Παρόμοιοι σχεδιασμοί μπορούν να εφαρμοστούν σε έννοιες όπως η διάλυση, οι χημικές αντιδράσεις ή η δομή της ύλης, όπου η μετάβαση μεταξύ μακροσκοπικού, μικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου αποτελεί γνωστό σημείο δυσκολίας. Οι παρεμβάσεις χρειάζεται επομένως να προβλέπουν εναλλαγή και σύνδεση ανάμεσα σε πειραματικές δραστηριότητες, εικόνες/σχήματα και δυναμικές προσομοιώσεις, ώστε να υποστηρίζεται η οικοδόμηση συνεκτικών νοητικών αναπαραστάσεων (Gilbert & Treagust, 2009· Bucat & Mocerino, 2009· Davidowitz & Chittleborough, 2009· Mikropoulos, 2023).

Παράλληλα, η διαφοροποίηση του μαθήματος στη Χημεία προϋποθέτει διαβαθμισμένη γνωστική και γλωσσική υποστήριξη, μέσω προσαρμογών στο περιεχόμενο, στη διαδικασία και στα προϊόντα της μάθησης. Στο πνεύμα του UDL, είναι σημαντικό να προβλέπονται δραστηριότητες και υλικό διαφορετικού επιπέδου δυσκολίας, καθώς και εναλλακτικοί τρόποι με τους οποίους οι μαθητές μπορούν να εκφράσουν την κατανόησή τους, όπως γραπτές απαντήσεις, ζωγραφιές, ταξινομήσεις ή προφορικές εξηγήσεις. Η προσέγγιση αυτή συνάδει με έρευνες που αναδεικνύουν την ανάγκη για πολλαπλά μέσα έκφρασης, ιδιαίτερα σε τάξεις με ετερογενή μαθησιακά προφίλ (Zejnilagi-Hajri et al., 2015· Benite et al., 2022· Egambaram et al., 2022· Mikropoulos, 2023).

Τέλος, τα δεδομένα της έρευνας υπογραμμίζουν τη χρησιμότητα δομημένων αλλά ευέλικτων καθοδηγούμενων διερευνητικών ακολουθιών, όπως εκείνη των Driver και Oldham, οι οποίες περιλαμβάνουν φάσεις προσανατολισμού, ανάδειξης αρχικών ιδεών, διερεύνησης, αναδόμησης και ανασκόπησης. Η μεταφορά τέτοιων ακολουθιών σε άλλες ενότητες της Χημείας, σε συνδυασμό με ακολουθίες τύπου CPA (συγκεκριμένο–εικονικό–αφηρημένο), μπορεί να μειώσει τη γνωστική επιβάρυνση και να υποστηρίξει τη σταδιακή οικοδόμηση της κατανόησης σε μαθητές με διαφορετικές ανάγκες (Driver & Oldham, 1986· Sweller, 1988· Sweller et al., 1998· Yildirim Karabulut, 2023· Mikropoulos, 2023).

4.3 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα, παρά τα θετικά ευρήματα που προέκυψαν, παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Πρώτος βασικός περιορισμός είναι το μικρό μέγεθος του δείγματος, καθώς στην παρέμβαση συμμετείχαν μόνο έξι μαθητές από ένα μόνο ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Λ.. Το γεγονός αυτό περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων σε άλλους μαθητικούς πληθυσμούς, άλλα σχολεία ειδικής αγωγής ή πλαίσια γενικής εκπαίδευσης, όπου οι εκπαιδευτικές ανάγκες, τα γνωστικά προφίλ και οι συνθήκες διδασκαλίας ενδέχεται να διαφέρουν σημαντικά.

Ένας ακόμη σημαντικός περιορισμός αφορά τη διάρκεια και το εύρος της παρέμβασης. Η διδακτική παρέμβαση υλοποιήθηκε σε τρεις μόνο διδακτικές ώρες και επικεντρώθηκε αποκλειστικά στην ενότητα των μιγμάτων, γεγονός που δεν επέτρεψε ούτε την επέκτασή της σε ευρύτερο φάσμα εννοιών της Χημείας ούτε την εις βάθος επεξεργασία ακόμη και της συγκεκριμένης θεματικής. Ως εκ τούτου, ο διαθέσιμος χρόνος δεν ήταν επαρκής για πολλαπλές επαναλήψεις, ανατροφοδότηση σε μεγαλύτερη διάρκεια ή έλεγχο της διατήρησης των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε μεταγενέστερο χρόνο.

Περιορισμός προκύπτει επίσης από τον ερευνητικό σχεδιασμό, καθώς δεν χρησιμοποιήθηκε ομάδα ελέγχου. Επομένως, αν και η σύγκριση pre-test και post-test έδειξε βελτίωση στις επιδόσεις των μαθητών, δεν μπορεί να αποδοθεί με απόλυτη βεβαιότητα το σύνολο της μεταβολής αποκλειστικά στην παρέμβαση. Ο σχεδιασμός αυτός είναι λειτουργικός σε μικρής κλίμακας εκπαιδευτικές έρευνες και έρευνες δράσης, αλλά περιορίζει την ισχύ των αιτιακών συμπερασμάτων.

Επιπλέον, τα εργαλεία συλλογής δεδομένων δεν είχαν δοκιμαστεί εκ των προτέρων ως προς την εγκυρότητα και την αντικειμενικότητά τους, κάτι που αποτελεί μεθοδολογικό περιορισμό της μελέτης. Αν και η παρουσία δύο παρατηρητριών ενίσχυσε την αξιοπιστία της παρατήρησης και συνέβαλε σε πιο προσεκτική καταγραφή της μαθητικής συμμετοχής, του ενδιαφέροντος και της γνωστικής εμπλοκής, δεν πραγματοποιήθηκε τυπικός έλεγχος αξιοπιστίας μεταξύ κριτών, γεγονός που περιορίζει την ισχύ των ποιοτικών συμπερασμάτων. Η έλλειψη προηγούμενης στάθμισης ή πιλοτικής εφαρμογής των εργαλείων σημαίνει ότι απαιτείται προσοχή στην αποτίμηση των δεδομένων, ενώ τα ευρήματα της έρευνας μπορούν να θεωρηθούν ενδεικτικά και παιδαγωγικά χρήσιμα, χωρίς όμως να διεκδικούν ισχυρή γενικευσιμότητα.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι, παρότι δεν παρουσιάστηκαν απουσίες μαθητών ή τεχνικά προβλήματα κατά την υλοποίηση της παρέμβασης, στοιχεία που υποστήριξαν την ομαλή εφαρμογή της, αυτό δεν αναιρεί τους παραπάνω περιορισμούς που σχετίζονται με το δείγμα, τη διάρκεια και τον σχεδιασμό της έρευνας. Έτσι, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο κατάλληλα για ερμηνεία μέσα στο συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο και ως βάση για περαιτέρω διερεύνηση, παρά για άμεση γενίκευση σε ευρύτερες συνθήκες.

4.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε ενθαρρυντικά ευρήματα ως προς τη συμβολή μιας διαφοροποιημένης διδακτικής παρέμβασης, βασισμένης στη διερευνητική μάθηση και στις ψηφιακές προσομοιώσεις, στη διδασκαλία των μιγμάτων σε μαθητές ειδικής αγωγής. Ωστόσο, οι περιορισμοί της έρευνας υποδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω μελέτες που θα επιτρέψουν βαθύτερη κατανόηση της αποτελεσματικότητας παρόμοιων παρεμβάσεων και θα ενισχύσουν την ερευνητική τεκμηρίωση στο πεδίο της Διδακτικής της Χημείας στην ειδική αγωγή.

Μια πρώτη πρόταση αφορά την υλοποίηση αντίστοιχων ερευνών με μεγαλύτερο και πιο ετερογενές δείγμα μαθητών, από περισσότερα σχολεία και από διαφορετικά πλαίσια ειδικής και γενικής εκπαίδευσης. Ένας τέτοιος σχεδιασμός θα επέτρεπε τη σύγκριση των ευρημάτων ανάμεσα σε διαφορετικές ομάδες μαθητών και θα ενίσχυε τη δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί αν η ίδια διδακτική προσέγγιση εμφανίζει αντίστοιχη αποτελεσματικότητα και σε άλλες ενότητες της Χημείας με αυξημένο βαθμό αφαιρετικότητας, όπως η δομή της ύλης, οι χημικές αντιδράσεις ή η διάλυση.

Μια δεύτερη κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα είναι η εφαρμογή παρεμβάσεων μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας. Η υλοποίηση περισσότερων διδακτικών συναντήσεων θα μπορούσε να δώσει στους μαθητές περισσότερο χρόνο για διερεύνηση, επανατροφοδότηση, αναστοχασμό και σταδιακή εννοιολογική αναδόμηση, ενώ θα επέτρεπε και την εξέταση της διατήρησης των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε βάθος χρόνου μέσω καθυστερημένης επαναξιολόγησης. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε επίσης η μελέτη του κατά πόσο η συστηματική χρήση προσομοιώσεων και διαφοροποιημένων δραστηριοτήτων σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα μπορεί να ενισχύσει όχι μόνο τη γνωστική επίδοση αλλά και τη σταθερότητα της συμμετοχής και του ενδιαφέροντος των μαθητών.

Επιπλέον, μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν πιο ισχυρούς μεθοδολογικούς σχεδιασμούς, όπως η ύπαρξη ομάδας ελέγχου ή η σύγκριση διαφορετικών τύπων παρεμβάσεων. Με αυτόν τον τρόπο θα ήταν δυνατό να αποτιμηθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η ειδική συμβολή επιμέρους στοιχείων της παρέμβασης, όπως οι ψηφιακές προσομοιώσεις, οι χειραπτικές δραστηριότητες, τα στοιχεία καθοδηγούμενης διερεύνησης ή οι αρχές τουUDL. Παράλληλα, η ανάπτυξη, πιλοτική εφαρμογή και έλεγχος των ερευνητικών εργαλείων ως προς την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους θα ενίσχυε τη μεθοδολογική ποιότητα αντίστοιχων μελετών στο μέλλον.

Τέλος, χρήσιμη θα ήταν η διεύρυνση των ερευνητικών ερωτημάτων πέρα από τη μέτρηση της εννοιολογικής κατανόησης. Μελλοντικές μελέτες μπορούν να εξετάσουν συστηματικότερα τη συμβολή τέτοιων παρεμβάσεων στη συμμετοχή των μαθητών, στην αυτοπεποίθησή τους απέναντι στη Χημεία, στη συνεργασία μέσα στην τάξη και στη δυνατότητά τους να μεταφέρουν τις γνώσεις τους σε νέες καταστάσεις. Μια τέτοια κατεύθυνση είναι συνεπής με τη βιβλιογραφία που αντιμετωπίζει τη μάθηση της Χημείας ως διαδικασία όχι μόνο γνωστική αλλά και κοινωνική, αναπαραστατική και παιδαγωγικά διαφοροποιημένη.

Βιβλιογραφία

- Alghamdi, A. K., & Alanazi, F. H. (2020). Process-Oriented Guided-Inquiry Learning in Saudi Secondary School Chemistry Instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(12).
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformations (Age 12-16). *Studies in Science Education* 18: 53 – 85 <https://doi.org/10.1080/03057269008559981>
- Arini, A. D., Azizah, U., Satriawan, M., & Saphira, H. V. (2025). Analyzing students' misconceptions based on submicroscopic level representation in elements, compounds, and mixtures. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(2), 25–34.
<https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i2.10052>
- Ayas, A., Özmen, H., & Çalik, M. (2010). Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 165–184. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9167-x>
- Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2008). *Misconceptions in chemistry: Addressing perceptions in chemical education*. Springer Science & Business Media.
- Benite, C. R. M., França, F. A., Vargas, G. N., & Benite, A. M. C. (2022). Chemistry teaching for visually impaired students: Experimentation with the use of assistive technology. *Educação Química em Punto de Vista*, 6.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. S., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable?. *Journal of chemical education*, 63(1), 64.
- Bouck, E. C., & Flanagan, S. (2010). Virtual manipulatives: What they are and how teachers can use them. *Intervention in School and Clinic*, 45(3), 186–191.
<https://doi.org/10.1177/1053451209349530>
- Bucat, B., & Mocerino, M. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 11–29). Springer.
- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199.
https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1

- Chophel, Y. (2022). Remediating misconceptions related to particulate nature of matter using video animation: An action research. *International Research Journal of Science*, 2(1), 65-77. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6496773>
- Civangönül, B. D., & Çıbık, A. S. (2023). The Development of a Concept Test for “Pure Matter and Mixtures” Unit. *Participatory Educational Research*, 10(6), 14-40.
<http://dx.doi.org/10.17275/per.23.87.10.6>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research meth Cods in education* (8th ed.). Routledge.
- Costu, B., Ünal, S., & Ayas, A. (2007). A Hands-on Activity to promote Conceptual Change about mixtures and chemical compounds. *Journal of Baltic Science Education*, 6(1).
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.
- Davidowitz, B., & Chittleborough, G. (2009). Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: Diagrams. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 169–191). Springer.
- De Vos, W., & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 657–664.
- Dewi, Y. C., Fikriyah, A., Qomaria, N., Yamin, Y., & Hartiningsih, T. (2024). Reduction of student misconceptions about elements, compounds, and mixtures through the guided inquiry learning model. *Edu Sains: Jurnal Pendidikan Sains dan Matematika*, 12(2), 153–162.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13(1), 105–122.
<http://dx.doi.org/10.1080/03057268608559933>
- Edyburn, D. L. (2013). Critical issues in advancing the special education technology evidence base. *Exceptional Children*, 80(1), 7–24. <https://doi.org/10.1177/001440291308000101>
- Ελλάδα. (2008). Νόμος 3699/2008: Ειδική αγωγή και εκπαίδευση ατόμων με αναπηρία ή με ειδικές εκπαιδευτικές ανάγκες (ΦΕΚ Α΄ 199/02-10-2008). Εθνικό Τυπογραφείο
- Ελλάδα. (2012). Νόμος 4074/2012: Κύρωση της Σύμβασης για τα δικαιώματα των ατόμων με αναπηρίες και του Προαιρετικού Πρωτοκόλλου στη Σύμβαση για τα δικαιώματα των ατόμων με αναπηρίες (ΦΕΚ Α΄ 88/09-04-2012).

- Ελλάδα. (2016). *Νόμος 4415/2016: Ρυθμίσεις για την ελληνόγλωσση εκπαίδευση, τη διαπολιτισμική εκπαίδευση και άλλες διατάξεις* (Άρθρο 48, ΦΕΚ Α' 159/06-09-2016). Εθνικό Τυπογραφείο.
- Ελλάδα. (2017). *Μετατροπή και μετονομασία των υφιστάμενων σχολικών μονάδων σε Ενιαία Ειδικά Επαγγελματικά Γυμνάσια-Λύκεια και καθορισμός των τομέων και ειδικοτήτων* (Κοινή υπουργική απόφαση 100575/Δ3/2017, ΦΕΚ Β' 2103/19-06-2017).
- Ελλάδα. (2021). *Ωρολόγιο πρόγραμμα των μαθημάτων του Γυμνασίου ΕΝ.Ε.Ε.ΓΥ.-Α. – «Εργαστήρια δεξιοτήτων στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση»* (Υπουργική απόφαση 103832/Δ3/26-08-2021, ΦΕΚ Β' 4037/02-09-2021).
- Egambaram, O., Hilton, K., Leigh, J., Richardson, R., Sarju, J., Slater, A., & Turner, B. (2022). The future of laboratory chemistry learning and teaching must be accessible. *Journal of Chemical Education*, 99(12), 3814–3821.
- García Franco, A., & Taber, K. S. (2009). Secondary students' thinking about familiar phenomena. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1917–1952.
<https://doi.org/10.1080/09500690802307730>
- Geveke, C., Steenbeek, H., Doornenbal, J., & van Geert, P. (2016). Improving pupils' conceptual understanding by a connected in-school and out-of-school science program. *American Journal of Educational Research*, 4(1), 115–125. <https://doi.org/10.12691/education-4-1-18>
- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 9–27). Springer.
- Gilbert, J. K. (2008). Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 3–24). Springer.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Towards a coherent model for macro, submicro and symbolic representations in chemical education. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple representations in chemical education* (pp. 333–350). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8872-8_15
- González-Gómez, D., Airado-Rodríguez, D., Acedo, M. A. D., & Niño, L. V. M. (2017). Change in elementary school students' misconceptions on material systems after a theoretical-practical instruction. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 9(3), 499–510.

- Gurel, D., Eryilmaz, A., & McDermott, L. C. (2015). A review and comparison of diagnostic instruments to identify students' misconceptions in science. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(5).
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1369a>
- Haidar, A. H., & Abraham, M. R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 919-938. <https://doi.org/10.1002/tea.3660281004>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2003). The particulate nature of matter. In *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 189–212). Kluwer Academic Publishers.
https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_9
- Hine, G. S. C. (2013). The importance of action research in teacher education programs. *Issues in Educational Research*, 23(2), 151–163.
- Hinostroza, J. E., Armstrong-Gallegos, S., & Villafaena, M. (2024). Roles of digital technologies in inquiry-based learning. *Social Sciences & Humanities Open*, 9, 100874.
<https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100874>
- Hu, B., Zhu, L., & Bi, H. (2024). Effect of computer simulations on student ability to translate chemical representations when learning the particulate nature of matter concept. *Journal of Chemical Education*, 101(10), 4149-4160.
- Johnson, R. B., & Christensen, L. (2020). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches* (7th ed.). SAGE.
- Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. (2011). *Αναλυτικά προγράμματα σπουδών για τα σχολεία ειδικής αγωγής και εκπαίδευσης*. Ανακτήθηκε από
<https://prosvasimo.iep.edu.gr/el/analytika-programmata-eidikhs-agwghs-kai-ekpaideushs>
- Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής. (2025). *Υλη και οδηγίες διδασκαλίας μαθημάτων ΕΝΕΕΓΥΑ για το σχολικό έτος 2025–2026*. Ανακτήθηκε από <https://www.iep.edu.gr/yli-kai-odigies-didaskalias-mathimaton-eneegyil-gia-to-scholiko-etos-2025-2026/>
- Kefalis, C., Skordoulis, C., & Drigas, A. (2025). Digital simulations in STEM education. *Encyclopedia*, 5(1), 10. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010010>
- Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). *The action research planner: Doing critical participatory action research*. Springer.
- Kind, V. (2004). *Beyond appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*. (2nd ed.). Royal Society of Chemistry

- Koebley, S., Wakeman, S., Ruhter, L., Pugalee, D., & Karvonen, M. (2024). Making science-inquiry learning accessible. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 27(1), 6. <https://doi.org/10.14448/jesed.16.0005>
- Kohnke, S. (2022). Making inquiry accessible for students with disabilities. *The Science Teacher*, 89(5), 36-41. <https://doi.org/10.1080/00368555.2022.12293697>
- Κόκκος, Α., & Λιοναράκης, Α. (επιμ.). (1998). *Ανοικτή και εξ αποστάσεως εκπαίδευση* (Τόμος Β). Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Koshy, V. (2010). *Action research for improving educational practice* (2nd ed.). SAGE.
- Lee, J., Lee, G. G., & Hong, H. G. (2023). Automated assessment of student hand drawings. *Journal of Science Education and Technology*, 32(4), 549–566. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10042-3>
- Mertler, C. A. (2017). *Action research: Improving schools and empowering educators* (5th ed.). SAGE.
- Mikropoulos, T. A. (2023). Digital technology supports science education for students with disabilities. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11317-9>
- Mishra, B., & Kumar, R. (2023). Reviewing the Literature on Students' Understanding About the Particulate Nature of Matter. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(3), 1-13.
- Mukti, T. D., & LFX, E. W. (2025). Guided Inquiry with socio-scientific issues approach in Improving Student Chemical Literacy Skills. *JPI (Jurnal Pendidikan Indonesia)*, 14(1), 55-65. <https://doi.org/10.23887/jpiundiksha.v14i1.84489>
- Mutlu, A. (2023). React Strategy Instruction Enriched with Inquiry-Based Experiments: Exploring Middle School Students' Understanding of Mixtures. *Journal of Science Learning*, 6(4), 401-413.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study. *Science education*, 62(3), 273-81.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' Understanding of the Particulate Nature of Matter: A Cross-Age Study. *Science education*, 65(2), 187-96.

- Nuić, I., & Glažar, S. A. (2023). The effects of E-learning units on 13-14-year-old students' misconceptions regarding some elementary chemical concepts. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 88(4), 451-465. <https://doi.org/10.2298/jsc220704092n>
- Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών. (1989). *Σύμβαση για τα δικαιώματα του παιδιού*. Ανακτήθηκε από <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-child>
- Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών. (2006). *Σύμβαση για τα δικαιώματα των ατόμων με αναπηρίες*. Ανακτήθηκε από <https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/convention-rights-persons-disabilities>
- Orosz, G., Németh, V., Kovács, L., Somogyi, Z., & Korom, E. (2023). Guided inquiry-based learning in secondary-school chemistry classes: A case study. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 50-70.
- Parsons, S. A., & Brown, P. U. (2023). *The teacher's guide to action research for special education in PK–12 classrooms*. Rowman & Littlefield.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., ... & 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>
- Permatasari, M. B., Rahayu, S., & Dasna, I. W. (2022). Chemistry Learning Using Multiple Representations: A Systematic Literature Review. *Journal of Science Learning*, 5(2), 334-341.
- Popović, E., Balać, S., Stepanović, M. B., Maričić, O., & Petrović, D. (2025). How primary students understand mixtures and solutions. *Science International Journal*, 4(2), 1–6. <https://doi.org/10.35120/sciencej0402001p>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Putica, K., & Kozić, M. (2023). A cross-age study of the concept of matter. *Uzdanica*, 20(1), 171–182. <https://doi.org/10.46793/Uzdanica20.1.171P>
- Rai, R., Choden, K., Lhapchu, L., & Rinchen, S. (2025). Integrating universal design for learning principles. *Journal of Research in Education and Pedagogy*, 2(3), 464–477. <https://doi.org/10.70232/jrep.v2i3.85>

- Reina, M., This, H., & Reina, A. (2022). Improving the understanding of chemistry by using the right words. *Journal of Chemical Education*, 99(8), 2999–3006.
- Rizzo, K. L., & Taylor, J. C. (2016). Effects of inquiry-based instruction on science achievement for students with disabilities: An analysis of the literature. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 19(1), 2.
- Rokhim, D. A., Widarti, H. R., & Sutrisno, S. (2023). Five-tier instrument to identify students' misconceptions. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 15(4), 202–207.
<https://doi.org/10.17807/orbital.v15i4.17709>
- Santos, V. C., & Arroio, A. (2016). The representational levels in chemical education. *Journal of Turkish Science Education*, 13(1), 3–18. <https://doi.org/10.12973/tused.10153a>
- Slapničar, M., Ribič, L., Devetak, I., & Vinko, L. (2024). Inquiry-based chemistry education activities in a non-formal educational setting for gifted students. *Center for Educational Policy Studies Journal*, 14(1), 143-169. <https://doi.org/10.26529/cepsj.1706>
- Slapničar, M., Tompa, V., Glažar, S. A., & Devetak, I. (2018). Students' misconceptions regarding sub-micro and symbolic levels. *Journal of Baltic Science Education*, 17(4), 620.
- Stains, M., & Talanquer, V. (2007). Classification of chemical substances. *International Journal of Science Education*, 29(5), 643–661. <https://doi.org/10.1080/09500690600931129>
- Stojanovska, M. I., Soptrajanov, B. T., & Petrusevski, V. M. (2012). Addressing misconceptions about the particulate nature of matter. *Creative Education*, 3(5), 619–631.
<https://doi.org/10.4236/ce.2012.35091>
- Suparman, A. R., Rohaeti, E., & Wening, S. (2024). Student misconception in chemistry. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(2), 238–252.
<https://doi.org/10.47750/pegegog.14.02.28>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*, 10(3), 251-296.
- Taber, K. S. (2010). Intuitions, conceptions and frameworks. In M. J. Jacobson & P. Reimann (Eds.), *New science of learning* (pp. 163–182). Springer.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(2), 156-168.

- Taber, K. S. (2014). The significance of implicit knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 447–461. <https://doi.org/10.1039/c4rp00124a>
- Trundle, K. C. (2008). Inquiry-based science instruction for students with disabilities. *Chap*, 7, 79-85.
- Τσερμίδου, Λ., & Ζώνιου-Σιδέρη, Α. (2020). *Η διαφοροποιημένη παιδαγωγική στο πλαίσιο της ενταξιακής εκπαίδευσης: Ερευνώντας τις πρακτικές τελειόφοιτων νηπιαγωγών. Διάλογοι! Θεωρία και πράξη στις επιστήμες αγωγής και εκπαίδευσης*, 6, 209–238. <https://doi.org/10.12681/dial.23328>
- Υπουργείο Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού. (2023). *Οδηγίες – κατευθύνσεις για τη λειτουργία των θεσμών ενταξιακής εκπαίδευσης για το σχολικό έτος 2023–2024* (Εγκύκλιος 138415/Δ3/04-12-2023, ΑΔΑ: 636546ΝΚΠΔ-ΘΦΓ)
- Vavra, K. L., Janjic-Watrich, V., Loerke, K., Phillips, L. M., Norris, S. P., & Macnab, J. (2011). Visualization in science education. *Alberta Science Education Journal*, 41(1), 22–30.
- Vilardo, D. A., MacKenzie, A. H., & Yezierski, E. J. (2017). Using students’ conceptions of air. *Journal of Chemical Education*, 94(2), 206–210.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. *International handbook of research on conceptual change*, 1, 3-34.
- Wilson, S. E., Therrien, W. J., Gersib, J., Rojo, M., VanUitert, V. J., Lovette, G., ... & Doabler, C. T. (2026). Inquiry-Based Science Instruction for Students With Disabilities: A Systematic and Meta-Analytic Review. *Science Education*, 110(2), 639-653.
- Yildirim, H. H., & Karabulut, H. A. (2023). The effectiveness of concrete-pictorial-abstract learning strategy. *Elementary School Forum (Mimbar Sekolah Dasar)*, 10(1), 240–252. <https://doi.org/10.53400/mimbar-sd.v10i1.53231>
- Zejniliagić-Hajrić, M., DeliĆ, E., & Nuić, I. (2015). Students with disabilities and chemistry education. *Bulletin of the Chemists & Technologists of Bosnia & Herzegovina*, (44).

Παράρτημα Α: «PRE TEST»

PRE TEST – Μίγματα και Καθαρές ουσίες

Β' ΕΝΕΕΓΥΛ – Χημεία

Κωδικός μαθητή:

Ημερομηνία:/...../.....

Οδηγία:

Σε κάθε ερώτηση:

Διάβασε.

Κύκλωσε **μία** απάντηση (Α, Β ή Γ).

Κύκλωσε **μία** αιτιολογία (1, 2, 3 ή 4).

Ερώτηση 1 – Εμφιαλωμένο νερό

Έχουμε ένα μπουκάλι εμφιαλωμένο νερό.

Τι νομίζεις ότι είναι;

Α. Καθαρή ουσία

Β. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε μία)

1. Γιατί φαίνεται ίδιο παντού, όπου κι αν το κοιτάξω.
2. Γιατί είναι από μπουκάλι και το λένε «καθαρό» στο μαγαζί (είναι συσκευασμένο).
3. Γιατί έχει μέσα και άλλα πράγματα (π.χ. άλατα) διαλυμένα στο νερό.
4. Άλλο

Ερώτηση 2 – Ζάχαρη

Έχουμε ζάχαρη σε σακουλάκι.

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Καθαρή ουσία

B. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε μία)

1. Γιατί είναι «ένα πράγμα», όλα τα κομματάκια είναι ίδια μεταξύ τους.
2. Γιατί είναι από το σούπερ μάρκετ και τη λέμε «καθαρή ζάχαρη».
3. Γιατί μπορεί να έχει και άλλα πράγματα ανακατεμένα μέσα.
4. Άλλο

Ερώτηση 3 – Νερό με διαλυμένη ζάχαρη

Σε ένα ποτήρι έχουμε νερό και μέσα διαλυμένη ζάχαρη (δεν βλέπουμε κόκκους, φαίνεται διαυγές).

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Καθαρή ουσία

B. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε μία)

1. Γιατί φαίνεται σαν ένα πράγμα, **ίδιο παντού** μέσα στο ποτήρι.
2. Γιατί έχω ανακατέψει μαζί νερό και ζάχαρη, **είναι δύο υλικά μαζί**.
3. Γιατί η ζάχαρη «εξαφανίστηκε» και νομίζω ότι **δεν υπάρχει πια μέσα**.
4. Άλλο

Ερώτηση 4 – Νερό με φακές

Σε ένα άλλο ποτήρι έχουμε νερό και φακές. Βλέπουμε τις φακές μέσα στο νερό.

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Καθαρή ουσία

B. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε μία)

1. Γιατί βλέπω **δύο διαφορετικά πράγματα** μέσα στο ποτήρι (νερό και φακές).
2. Γιατί φαίνονται **κομμάτια / κόκκοι** φακών μέσα στο νερό.

3. Γιατί μπορώ να χωρίσω τις φακές από το νερό (π.χ. με **φίλτρο ή προσεκτικό άδειασμα**).

4. Άλλο

Ερώτηση 5 – Χυμός χωρίς κομμάτια

Κοιτάζουμε ένα ποτήρι χυμό **χωρίς κομμάτια** (φαίνεται όλος ίδιος).

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Ομογενές μίγμα

B. Ετερογενές μίγμα

Γ. Δεν είναι μίγμα

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί φαίνεται σαν ένα πράγμα, **ίδιο παντού**, δεν αλλάζει από σημείο σε σημείο.

2. Γιατί μέσα έχει και άλλα διαλυμένα (π.χ. ζάχαρη, γεύση), **δηλαδή είναι μίγμα**.

3. Γιατί δεν βλέπω κομμάτια ή σποράκια να **ξεχωρίζουν**.

4. Άλλο

Ερώτηση 6 – Όσπρια

Κοιτάζουμε ένα μπολ με **όσπρια** (κομμάτια από διαφορετικά όσπρια).

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Ομογενές μίγμα

B. Ετερογενές μίγμα

Γ. Δεν είναι μίγμα

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί βλέπω πολλά **διαφορετικά** κομμάτια (π.χ. φακές, φασόλια).

2. Γιατί μπορώ να ξεχωρίσω και να πάρω **ένα-ένα** τα κομμάτια με το πιρούνι.

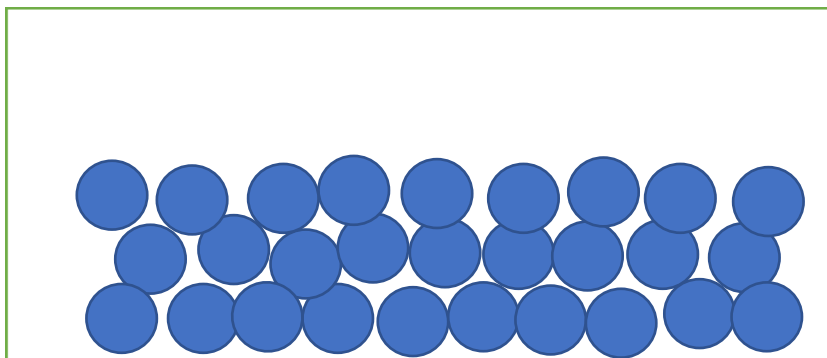
3. Γιατί δεν είναι «ίδιο παντού», άλλα κομμάτια εδώ, άλλα εκεί.

4. Άλλο

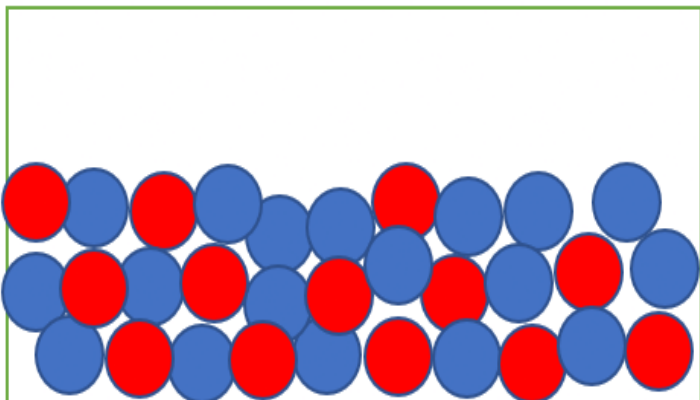
Ερώτηση 7 – Καθαρή ουσία ή μίγμα (σωματίδια)

Κοίτα τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Α: μέσα στο κουτί υπάρχουν πολλές **ίδιες** κουκκίδες, σκορπισμένες παντού.



Εικόνα Β: μέσα στο κουτί υπάρχουν **δύο είδη** κουκκίδων (π.χ. κόκκινες και μπλε), ανακατεμένες.



Ποια εικόνα νομίζεις ότι δείχνει **καθαρή ουσία**;

A. Εικόνα Α

B. Εικόνα Β

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

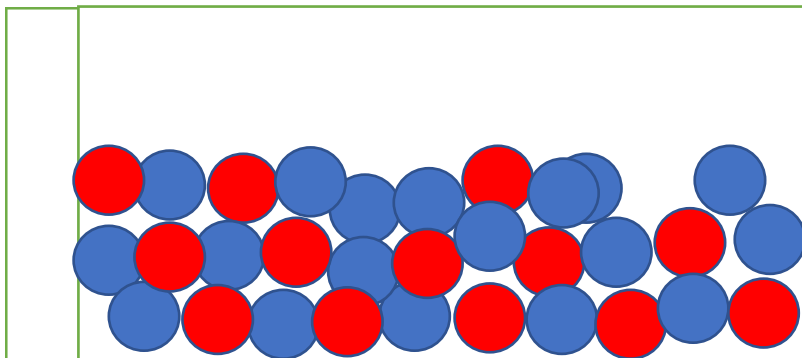
Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί έχει **ένα μόνο είδος** σωματιδίων (όλες οι κουκκίδες ίδιες).
2. Γιατί έχει **δύο διαφορετικά** είδη σωματιδίων (δύο χρώματα).
3. Γιατί φαίνονται όλα ίδια παντού μέσα στο κουτί.
4. Άλλο

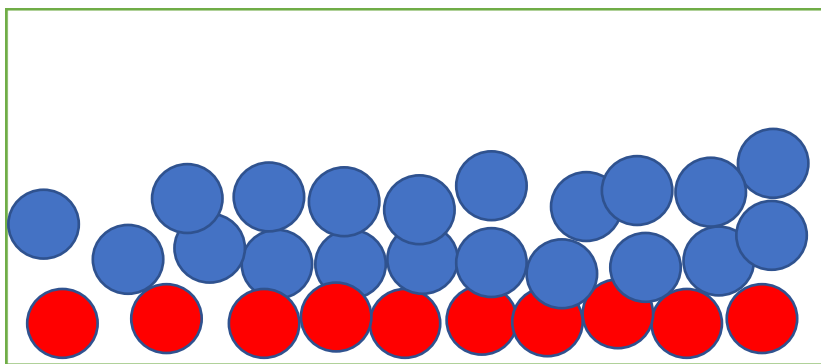
Ερώτηση 8 – Ποια εικόνα δείχνει ομογενές μίγμα;

Κοίτα τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Γ: μέσα στο κουτί υπάρχουν δύο είδη κουκκίδων, ανακατεμένες **παντού** ομοιόμορφα.



Εικόνα Δ: στο κουτί υπάρχουν μπλε κουκκίδες παντού, αλλά οι κόκκινες κουκκίδες είναι μαζεμένες κάτω.



Ποια εικόνα νομίζεις ότι δείχνει **ομογενές μίγμα**;

A. Εικόνα Γ

B. Εικόνα Δ

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί τα σωματίδια είναι ανακατεμένα **παντού**, ίδια σε όλο το κουτί.
2. Γιατί τα σωματίδια είναι **μαζεμένα σε ένα σημείο** και δεν είναι παντού.
3. Γιατί υπάρχουν δύο είδη σωματιδίων στο κουτί.
4. Άλλο

Ερώτηση 9 – Ποια εικόνα ταιριάζει με «νερό με φακές»;

Κοίτα πάλι τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Γ: δύο είδη κουκκίδων, ανακατεμένα ομοιόμορφα παντού.

Εικόνα Δ: μπλε κουκκίδες παντού, και κόκκινες κουκκίδες συγκεντρωμένες σε μια ζώνη στο κάτω μέρος (σαν να «κάθονται»).

Ποια εικόνα νομίζεις ότι ταιριάζει καλύτερα με το **νερό με φακές**;

A. Εικόνα Γ

B. Εικόνα Δ

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί τα σωματίδια της φακής είναι **μαζεμένα σε ένα μέρος** (π.χ. κάτω).
2. Γιατί όλα τα σωματίδια είναι ίδια και **ανακατεμένα παντού**.
3. Γιατί το μίγμα είναι ομογενές, **ίδιο σε όλο το κουτί**.
4. Άλλο

Παράρτημα Β: «POST TEST»

POST TEST – Μίγματα και Καθαρές ουσίες

B' ΕΝΕΕΓΥΛ – Χημεία

Κωδικός μαθητή:

Ημερομηνία:/...../.....

Οδηγία:

Σε κάθε ερώτηση:

Διάβασε.

Κύκλωσε **μία** απάντηση (Α, Β ή Γ).

Κύκλωσε **μία** αιτιολογία (1, 2, 3 ή 4).

Ερώτηση 1 – Εμφιαλωμένο νερό

Έχουμε ένα μπουκάλι εμφιαλωμένο νερό.

Τι νομίζεις ότι είναι;

Α. Καθαρή ουσία

Β. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί αποτελείται από ένα μόνο είδος υλικού
2. Γιατί φαίνεται ίδιο παντού
3. Γιατί έχει διαλυμένα και άλλα (π.χ. άλατα) μέσα στο νερό
4. Άλλο

Ερώτηση 2 – Ζάχαρη

Έχουμε ζάχαρη σε σακουλάκι.

Τι νομίζεις ότι είναι;

Α. Καθαρή ουσία

Β. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί είναι ένα μόνο είδος υλικού
2. Γιατί όλοι τη λέμε «καθαρή ζάχαρη»
3. Γιατί μπορεί να έχει και άλλα πράγματα μέσα
4. Άλλο

Ερώτηση 3 – Νερό με διαλυμένη ζάχαρη

Σε ένα ποτήρι έχουμε νερό και μέσα διαλυμένη ζάχαρη (δεν βλέπουμε κόκκους, φαίνεται διαυγές).

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Καθαρή ουσία

B. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί έχω δύο υλικά ανακατεμένα (νερό +ζάχαρη)

2. Γιατί φαίνεται σαν ένα «πράγμα», ίδιο παντού

3. Γιατί η ζάχαρη «χάθηκε» και δεν υπάρχει πια

4. Άλλο

Ερώτηση 4 – Νερό με φακές

Σε ένα άλλο ποτήρι έχουμε νερό και φακές. Βλέπουμε τις φακές μέσα στο νερό.

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Καθαρή ουσία

B. Μίγμα

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί βλέπω δύο διαφορετικά υλικά μέσα στο ποτήρι

2. Γιατί φαίνονται κομμάτια / κόκκοι φακής

3. Γιατί μπορώ να χωρίσω τη φακή από το νερό

4. Άλλο

Ερώτηση 5 – Χυμός χωρίς κομμάτια

Κοιτάζουμε ένα ποτήρι χυμό **χωρίς κομμάτια** (φαίνεται όλος ίδιος).

Τι νομίζεις ότι είναι;

A. Ομογενές μίγμα

B. Ετερογενές μίγμα

Γ. Δεν είναι μίγμα

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί φαίνεται σαν ένα πράγμα, ίδιο παντού
2. Γιατί είναι μίγμα αλλά τα συστατικά έχουν ανακατευνθεί καλά
3. Γιατί δεν βλέπω καθόλου κομμάτια
4. Άλλο

Ερώτηση 6 – Όσπρια

Κοιτάζουμε ένα μπολ με **όσπρια** (κομμάτια από διαφορετικά όσπρια).

Τι νομίζεις ότι είναι;

- A. Ομογενές μίγμα
- B. Ετερογενές μίγμα
- Γ. Δεν είναι μίγμα

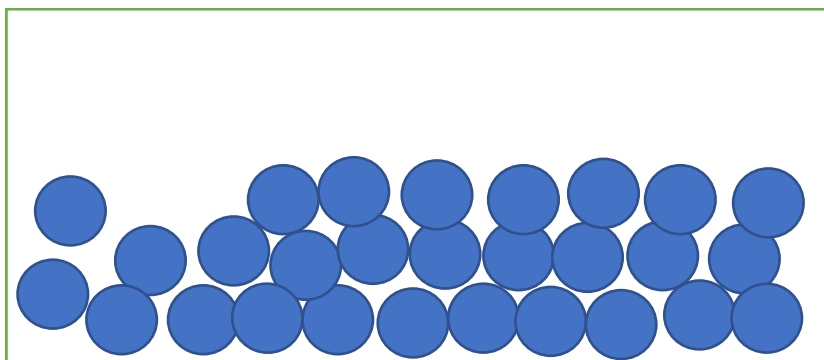
Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί έχει πολλά διαφορετικά υλικά μαζί
2. Γιατί βλέπω τα κομμάτια και μπορώ να τα ξεχωρίσω
3. Γιατί δεν είναι «ίδιο παντού»
4. Άλλο

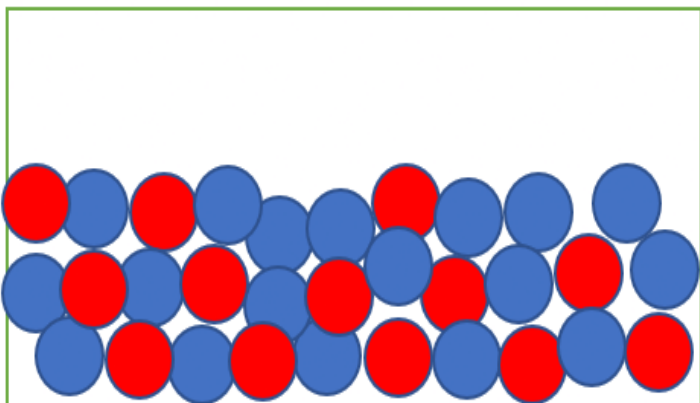
Ερώτηση 7 – Καθαρή ουσία ή μίγμα (σωματίδια)

Κοίτα τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Α: μέσα στο κουτί υπάρχουν πολλές **ίδιες** κουκκίδες, σκορπισμένες παντού.



Εικόνα Β: μέσα στο κουτί υπάρχουν **δύο είδη** κουκκίδων (κόκκινες και μπλε), ανακατεμένες.



Ποια εικόνα νομίζεις ότι δείχνει **καθαρή ουσία**;

A. Εικόνα A

B. Εικόνα B

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

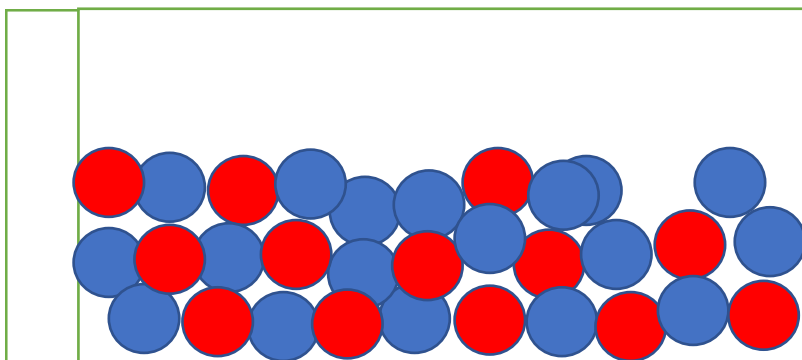
Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί έχει **ένα μόνο είδος** σωματιδίων (όλες οι κουκκίδες ίδιες).
2. Γιατί έχει **δύο διαφορετικά** είδη σωματιδίων (δύο χρώματα).
3. Γιατί φαίνονται όλα ίδια παντού μέσα στο κουτί.
4. Άλλο

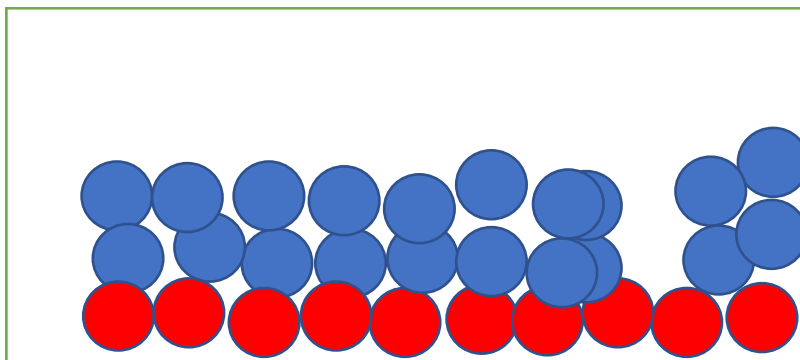
Ερώτηση 8 – Ποια εικόνα δείχνει ομογενές μίγμα;

Κοίτα τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Γ: μέσα στο κουτί υπάρχουν δύο είδη κουκκίδων, ανακατεμένες **παντού** ομοιόμορφα.



Εικόνα Δ: στο κουτί υπάρχουν μπλε κουκκίδες παντού, αλλά οι κόκκινες κουκκίδες είναι **μαζεμένες κάτω**.



Ποια εικόνα νομίζεις ότι δείχνει **ομογενές μίγμα**;

A. Εικόνα Γ

B. Εικόνα Δ

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί τα σωματίδια είναι ανακατεμένα **παντού**, ίδια σε όλο το κουτί.
2. Γιατί τα σωματίδια είναι **μαζεμένα σε ένα σημείο** και δεν είναι παντού.
3. Γιατί υπάρχουν δύο είδη σωματιδίων στο κουτί.
4. Άλλο

Ερώτηση 9 – Ποια εικόνα ταιριάζει με «νερό με φακές»;

Κοίτα πάλι τις δύο εικόνες με τα «σωματίδια»:

Εικόνα Γ: δύο είδη κουκκίδων, ανακατεμένα ομοιόμορφα παντού.

Εικόνα Δ: μπλε κουκκίδες παντού, και κόκκινες κουκκίδες συγκεντρωμένες σε μια ζώνη στο κάτω μέρος (σαν να «κάθονται»).

Ποια εικόνα νομίζεις ότι ταιριάζει καλύτερα με το **νερό με φακές**;

A. Εικόνα Γ

B. Εικόνα Δ

Γ. Δεν ξέρω / δεν είμαι σίγουρος/η

Γιατί; (διάλεξε **μία**)

1. Γιατί τα σωματίδια της άμμου είναι **μαζεμένα σε ένα μέρος** (π.χ. κάτω).
2. Γιατί όλα τα σωματίδια είναι ίδια και **ανακατεμένα παντού**.
3. Γιατί το μίγμα είναι ομογενές, **ίδιο σε όλο το κουτί**.
4. Άλλο

Παράρτημα Γ: «Φύλλο εργασίας – Πείραμα μιγμάτων»

Νερό με ζάχαρη – Νερό με φακές

Κωδικός μαθητή: Ομάδα:

Σήμερα θα φτιάξουμε δύο μίγματα:

- Ποτήρι Α: νερό με ζάχαρη
- Ποτήρι Β: νερό με φακές

Θα παρατηρήσεις και θα σημειώσεις τι βλέπεις.

1. Τι βάζουμε στα ποτήρια;

Σημείωσε με ✓ τι έχει κάθε ποτήρι:

Ποτήρι Α

- ☐ Νερό
- ☐ Ζάχαρη

Ποτήρι Β

- ☐ Νερό
- ☐ Φακές

2. Τι βλέπω μέσα στα ποτήρια;

Κοίτα καλά τα ποτήρια Α και Β **μετά** το ανακάτεμα.

Για κάθε ποτήρι βάλε ✓ σε αυτό που ταιριάζει.

Ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)

1. Πώς φαίνεται μέσα;
 - ☐ Φαίνεται σαν ένα υγρό παντού
 - ☐ Βλέπω κομμάτια μέσα στο νερό

2. Μπορώ να δω τη ζάχαρη;
 - ☐ Ναι, βλέπω τη ζάχαρη
 - ☐ Όχι, δεν βλέπω τη ζάχαρη
3. Μπορώ να χωρίσω τη ζάχαρη από το νερό με φίλτρο;
 - ☐ Ναι, μπορώ εύκολα
 - ☐ Όχι, δεν μπορώ εύκολα

Ποτήρι Β (νερό + φακές)

1. Πώς φαίνεται μέσα;
 - ☐ Φαίνεται σαν ένα υγρό παντού
 - ☐ Βλέπω κομμάτια μέσα στο νερό
2. Πού πάνε οι φακές;
 - ☐ Μένει παντού όμοια
 - ☐ Πάει προς τα κάτω / κάθεται κάτω
3. Μπορώ να χωρίσω τις φακές από το νερό με φίλτρο;
 - ☐ Ναι, μπορώ εύκολα
 - ☐ Όχι, δεν μπορώ εύκολα

3. Σύγκριση

Κύκλωσε τη σωστή απάντηση για κάθε πρόταση.

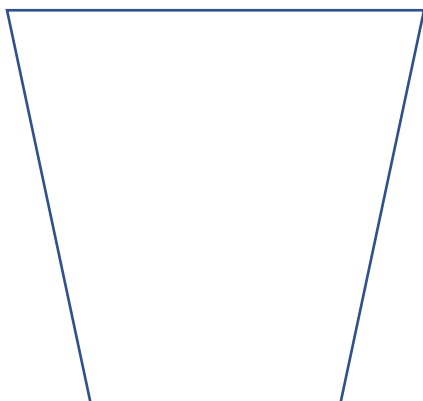
1. Σε ποιο ποτήρι **το μίγμα φαίνεται “όλο ίδιο”**;
 - ☐ Ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)
 - ☐ Ποτήρι Β (νερό + φακές)
2. Σε ποιο ποτήρι **βλέπω κομμάτια**;
 - ☐ Ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)
 - ☐ Ποτήρι Β (νερό + φακές)
3. Σε ποιο ποτήρι **μπορώ να χωρίσω πιο εύκολα** τα υλικά;
 - ☐ Ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)
 - ☐ Ποτήρι Β (νερό + φακές)

4. Ζωγράφισε τι βλέπεις

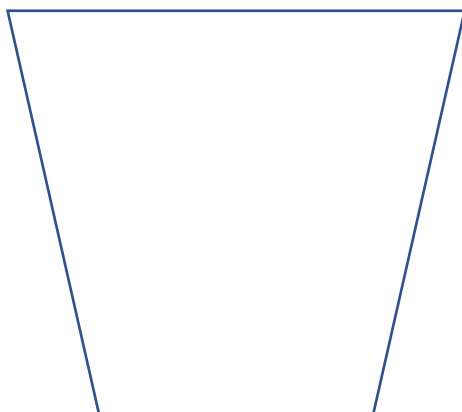
Στα παρακάτω ποτήρια ζωγράφισε όπως νομίζεις τι υπάρχει μέσα.

Μπορείς να κάνεις κουκκίδες ή κομμάτια.

Ποτήρι Α – νερό με ζάχαρη



Ποτήρι Β – νερό με άμμο



Παράρτημα Δ: «Φύλλο εργασίας – Προσομοίωση PhET»

«Ζάχαρη και αλάτι στο νερό»

Κωδικός μαθητή: **Ομάδα:**

Στην οθόνη θα δούμε τι γίνεται **μέσα στο νερό** όταν βάζουμε ζάχαρη ή αλάτι.

Θα παρατηρήσεις το ποτήρι (έξω) και τα σωματίδια (μέσα, πολύ μικρά).

1. Καθαρό νερό

Κοίτα πρώτα την εικόνα με **σκέτο νερό**.

1. Τι βλέπεις στο ποτήρι;
 - ☐ Μόνο νερό
 - ☐ Νερό με κάτι άλλο
2. Στο «μικρό παράθυρο» (σωματίδια), βλέπεις:
 - ☐ Ένα είδος σωματιδίων
 - ☐ Πολλά διαφορετικά σωματίδια

2. Νερό με ζάχαρη

Τώρα στην προσομοίωση βάζουμε **ζάχαρη** στο νερό.

1. Μετά που «χάνεται» η ζάχαρη, πώς φαίνεται το ποτήρι;
 - ☐ Φαίνεται σαν ένα υγρό παντού
 - ☐ Βλέπω κομμάτια ζάχαρης μέσα
2. Στο «μικρό παράθυρο» (σωματίδια), βλέπεις:
 - ☐ Μόνο σωματίδια νερού
 - ☐ Σωματίδια νερού **και** σωματίδια ζάχαρης ανακατεμένα
3. Νομίζεις ότι αυτό είναι:
 - ☐ Ένα υλικό
 - ☐ Περισσότερα υλικά μαζί (μίγμα)

3. Νερό με αλάτι (προαιρετικά)

Αν ο/η εκπαιδευτικός βάλει **αλάτι** στο νερό στην προσομοίωση:

1. Πώς φαίνεται το ποτήρι;
 - ☐ Φαίνεται σαν ένα υγρό παντού
 - ☐ Βλέπω κομμάτια αλατιού μέσα
2. Στο «μικρό παράθυρο» βλέπεις:
 - ☐ Μόνο σωματίδια νερού
 - ☐ Σωματίδια νερού **και** σωματίδια αλατιού ανακατεμένα
3. Νομίζεις ότι αυτό είναι:
 - ☐ Ένα υλικό
 - ☐ Περισσότερα υλικά μαζί (μίγμα)

4. Σύγκριση με τα ποτήρια του πειράματος

Θυμήσου το **ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)** και το **ποτήρι Β (νερό + φακές)** από το πείραμα.

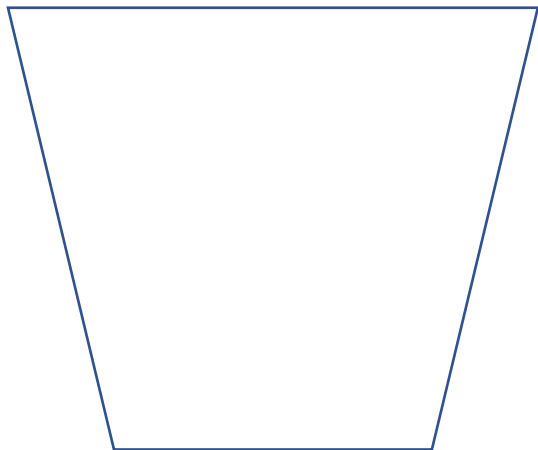
1. Ποιο ποτήρι του πειράματος σου θυμίζει περισσότερο η προσομοίωση με τη ζάχαρη;
 - ☐ Ποτήρι Α (νερό + ζάχαρη)
 - ☐ Ποτήρι Β (νερό + φακές)
2. Ποιο από τα παρακάτω ταιριάζει καλύτερα στο **νερό με ζάχαρη**;
 - ☐ Φαίνεται σαν ένα υγρό, αλλά έχει δύο είδη σωματιδίων ανακατεμένα.
 - ☐ Βλέπω μεγάλα κομμάτια που κάθονται κάτω.
3. Ποιο από τα παρακάτω ταιριάζει καλύτερα στο **νερό με φακές**;
 - ☐ Φαίνεται παντού ίδιο.
 - ☐ Βλέπω κομμάτια/συσσωματώματα που μπορώ να χωρίσω.

5. Ζωγράφισε τη «μικρή εικόνα»

Ζωγράφισε πώς νομίζεις ότι είναι **μέσα** στο νερό τα σωματίδια.

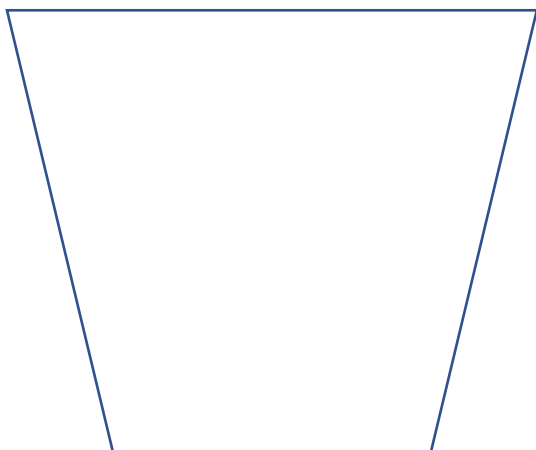
A. Νερό με ζάχαρη (διάλυμα)

– Κάνε μικρές κουκκίδες 2 χρωμάτων ανακατεμένες παντού.



B. Νερό με άμμο (ετερογενές μίγμα)

– Κάνε μικρές κουκκίδες (νερό) και μεγαλύτερα «κομμάτια» (άμμος) κυρίως κάτω.



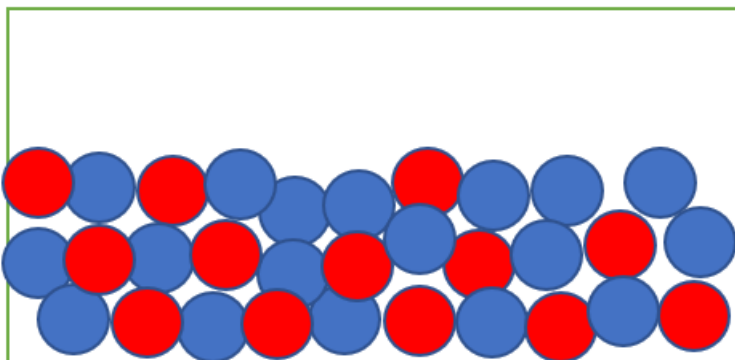
Παράρτημα Ε: «Φύλλο εργασίας – Σωματιδιακές εικόνες»

Φύλλο εργασίας – «Τι βλέπω “μέσα” στα μίγματα;»

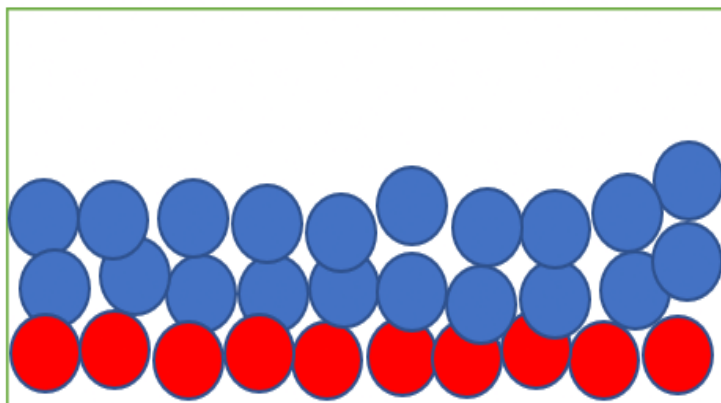
Κωδικός μαθητή: Ομάδα:

1. Κοίτα τις εικόνες

Εικόνα 1



Εικόνα 2



2. Πού είναι όλα καλά ανακατεμένα;

1. Σε ποια εικόνα είναι τα σωματίδια **ανακατεμένα παντού**;

☐ Εικόνα 1

☐ Εικόνα 2

2. Σε ποια εικόνα βλέπεις “κομμάτια” μαζεμένα;

☐ Εικόνα 1

☐ Εικόνα 2

3. Ποιο μίγμα ταιριάζει;

Κύκλωσε τη σωστή απάντηση.

1. Η **Εικόνα 1** σου θυμίζει περισσότερο:

☐ Νερό με ζάχαρη

☐ Νερό με φακές

2. Η **Εικόνα 2** σου θυμίζει περισσότερο:

☐ Νερό με ζάχαρη

☐ Νερό με φακές

4. Ομογενές ή ετερογενές;

Βάλε ✓.

1. Η **Εικόνα 1** είναι:

☐ Ομογενές μίγμα (όλα φαίνονται/είναι ίδια παντού)

☐ Ετερογενές μίγμα (βλέπω κομμάτια, δεν είναι ίδιο παντού)

2. Η **Εικόνα 2** είναι:

☐ Ομογενές μίγμα (όλα φαίνονται/είναι ίδια παντού)

☐ Ετερογενές μίγμα(βλέπω κομμάτια, δεν είναι ίδιο παντού)

5. Γράψε με μια φράση

Συμπλήρωσε με 1–2 απλές λέξεις.

• Ομογενές μίγμα: (π.χ. «όλο ίδιο», «δε βλέπω κομμάτια»)

• Ετερογενές μίγμα: (π.χ. «κομμάτια», «κάθεται κάτω»)

Παράρτημα ΣΤ: «Φύλλο παρατήρησης»

Στοιχεία παρατήρησης

Πεδίο	Συμπλήρωση
Θέμα μαθήματος	Μίγματα
Τάξη	Β' ΕΝΕΕΓΥΛ
Ημερομηνία	
Διδακτική ώρα	
Κωδικός μαθητή	
Παρατηρητής/τρια	
Δραστηριότητα	

Οδηγία συμπλήρωσης

Σημείωσε ✓ όπου η συμπεριφορά παρατηρήθηκε, – όπου δεν παρατηρήθηκε και γράψε σύντομο σχόλιο όπου χρειάζεται. Το φύλλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε μαθητή ξεχωριστά ή για μικρή ομάδα μαθητών.

Πίνακας παρατήρησης

Κατηγορία	Τι παρατηρώ	✓	–	Σύντομη σημείωση
Συμμετοχή	Απαντά σε ερωτήσεις του/της εκπαιδευτικού			
Συμμετοχή	Συμμετέχει στη συζήτηση με λόγο ή πράξη			
Συμμετοχή	Συνεργάζεται με συμμαθητές			
Συμμετοχή	Παίρνει μέρος στην πρακτική δραστηριότητα ή στο πείραμα			

Συμμετοχή	Ακολουθεί βασικές οδηγίες της δραστηριότητας			
Ενδιαφέρον	Παρακολουθεί το μάθημα με σχετική προσοχή			
Ενδιαφέρον	Κοιτάζει το υλικό, το πείραμα ή τον/την εκπαιδευτικό			
Ενδιαφέρον	Δείχνει περιέργεια ή κάνει ερωτήσεις			
Ενδιαφέρον	Δείχνει προθυμία να συμμετάσχει			
Ενδιαφέρον	Παραμένει στη δραστηριότητα χωρίς συχνή απομάκρυνση			
Γνωστική εμπλοκή	Αναγνωρίζει παραδείγματα μιγμάτων			
Γνωστική εμπλοκή	Ξεχωρίζει βασικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων			
Γνωστική εμπλοκή	Συνδέει το μάθημα με καθημερινά παραδείγματα			
Γνωστική εμπλοκή	Εκφράζει απορίες ή σκέψεις για αυτό που παρατηρεί			
Γνωστική εμπλοκή	Δοκιμάζει να εξηγήσει τι συμβαίνει στη δραστηριότητα			

Γενικές παρατηρήσεις

Στοιχεία που βοήθησαν τον/τη μαθητή/μαθήτριά να

συμμετάσχει:.....

.....

.....

Σημεία που φάνηκε να προκαλούν περισσότερο

ενδιαφέρον:.....

.....
.....

Δυσκολίες ή ανάγκες υποστήριξης που

παρατηρήθηκαν:.....

.....
.....

Χαρακτηριστικά λόγια ή αντιδράσεις του/της

μαθητή/μαθήτριας:.....

.....
.....

Παράρτημα Ζ: «Βοηθητικός οδηγός»

Κατηγορία	Δείκτης παρατήρησης	Ενδεικτική σύντομη σημείωση 1	Ενδεικτική σύντομη σημείωση 2
<i>Συμμετοχή</i>	Απαντά σε ερωτήσεις του/της εκπαιδευτικού	Απάντησε μετά από προφορική προτροπή	Έδωσε σύντομη αυθόρμητη απάντηση
<i>Συμμετοχή</i>	Συμμετέχει στη συζήτηση με λόγο ή πράξη	Πήρε τον λόγο στη συζήτηση	Συμμετείχε δείχνοντας ή σχολιάζοντας
<i>Συμμετοχή</i>	Συνεργάζεται με συμμαθητές	Συνεργάστηκε ομαλά με συμμαθητή/συμμαθήτρια	Αντάλλαξε υλικά και ιδέες με την ομάδα
<i>Συμμετοχή</i>	Παίρνει μέρος στην πρακτική δραστηριότητα ή στο πείραμα	Συμμετείχε ενεργά στον χειρισμό υλικών	Πήρε μέρος στο πείραμα με καθοδήγηση
<i>Συμμετοχή</i>	Ακολουθεί βασικές οδηγίες της δραστηριότητας	Ακολούθησε τα βήματα της δραστηριότητας	Χρειάστηκε επανάληψη οδηγίας για να συνεχίσει
<i>Ενδιαφέρον</i>	Παρακολουθεί το μάθημα με σχετική προσοχή	Παρέμεινε προσηλωμένος/η στη δραστηριότητα	Παρακολουθούσε με μικρές αποσπάσεις προσοχής

<i>Ενδιαφέρον</i>	Κοιτάζει το υλικό, το πείραμα ή τον/την εκπαιδευτικό	Εστίαζε οπτικά στο πείραμα	Παρακολουθούσε το εποπτικό υλικό
<i>Ενδιαφέρον</i>	Δείχνει περιέργεια ή κάνει ερωτήσεις	Ρώτησε τι θα συμβεί στη συνέχεια	Έδειξε περιέργεια για το αποτέλεσμα
<i>Ενδιαφέρον</i>	Δείχνει προθυμία να συμμετάσχει	Ζήτησε να πάρει μέρος στη δραστηριότητα	Ανταποκρίθηκε πρόθυμα όταν του/της ζητήθηκε
<i>Ενδιαφέρον</i>	Παραμένει στη δραστηριότητα χωρίς συχνή απομάκρυνση	Παρέμεινε στη θέση του/της καθ' όλη τη διάρκεια	Επανήλθε στη δραστηριότητα μετά από υπενθύμιση
<i>Γνωστική εμπλοκή</i>	Αναγνωρίζει παραδείγματα μιγμάτων	Ανέφερε σωστό παράδειγμα μίγματος	Αναγνώρισε μίγμα από καθημερινό παράδειγμα
<i>Γνωστική εμπλοκή</i>	Ξεχωρίζει βασικά χαρακτηριστικά των μιγμάτων	Εντόπισε βασικό χαρακτηριστικό του μίγματος	Ξεχώρισε δύο διαφορετικά υλικά στο μίγμα
<i>Γνωστική εμπλοκή</i>	Συνδέει το μάθημα με καθημερινά παραδείγματα	Σύνδεσε το μάθημα με εμπειρία από το σπίτι	Έφερε δικό του/της παράδειγμα από την καθημερινότητα
<i>Γνωστική εμπλοκή</i>	Εκφράζει απορίες ή σκέψεις για αυτό που παρατηρεί	Διατύπωσε απορία για το πείραμα	Εξέφρασε σκέψη για αυτό που παρατήρησε

Γνωστική εμπλοκή	Δοκιμάζει να εξηγήσει τι συμβαίνει στη δραστηριότητα	Προσπάθησε να εξηγήσει το αποτέλεσμα	Έδωσε δική του/της ερμηνεία για τη διαδικασία
---------------------	---	---	---

Παράρτημα Η: «Ημιδομημένη Συνέντευξη»

Σύντομη εισαγωγή για τον/τη μαθητή/μαθήτριά

Γεια σου. Σε ευχαριστώ που θα μιλήσεις μαζί μου για το μάθημα που κάναμε για τα μίγματα. Θέλω να μάθω πώς ήταν για εσένα αυτό το μάθημα, τι σου άρεσε, τι σε δυσκόλεψε και πώς συμμετείχες.

Δεν υπάρχουν σωστές ή λάθος απαντήσεις. Μπορείς να πεις ελεύθερα τη γνώμη σου. Όσα πεις θα χρησιμοποιηθούν μόνο για την εργασία και το όνομά σου δεν θα γραφτεί πουθενά. Αν κάποια ερώτηση σε δυσκολεύει, μπορείς να το πεις και θα τη διατυπώσω πιο απλά.

A. Ερωτήσεις για τη συμμετοχή

1. Με ποιους τρόπους πήρες μέρος στο μάθημα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Μίλησες, απάντησες ή έκανες κάποια δραστηριότητα;

Συνεργάστηκες με άλλους μαθητές;

Υπήρχε στιγμή που ήθελες να συμμετάσχεις περισσότερο;

2. Τι σε βοήθησε να συμμετέχεις περισσότερο στο μάθημα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Σε βοήθησαν τα υλικά, οι εικόνες, το πείραμα ή οι οδηγίες;

Σε βοήθησε ο τρόπος που εξηγούσε ο/η εκπαιδευτικός;

Σε βοήθησε η συνεργασία με την ομάδα σου;

3. Σε σχέση με άλλα μαθήματα Φυσικών Επιστημών, πώς ήταν αυτό το μάθημα για εσένα ως προς τη συμμετοχή σου;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Συμμετείχες περισσότερο ή λιγότερο;

Σε ποιο σημείο του μαθήματος πήρες πιο εύκολα μέρος;

Τι έκανε τη συμμετοχή σου πιο εύκολη ή πιο δύσκολη;

B. Ερωτήσεις για το ενδιαφέρον

4. Πώς σου φάνηκε το μάθημα για τα μίγματα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Τι θυμάσαι περισσότερο από αυτό το μάθημα;

Υπήρχε κάτι που σου έκανε εντύπωση;

Πώς ένιωσες την ώρα του μαθήματος;

5. Τι σου άρεσε περισσότερο από όσα κάναμε για τα μίγματα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Ποια δραστηριότητα σου άρεσε περισσότερο;

Υπήρχε κάτι που σε έκανε να θέλεις να προσέχεις περισσότερο;

Τι θα ήθελες να ξανακάνουμε;

6. Υπήρχε κάτι που σε δυσκόλεψε ή δεν σου άρεσε στο μάθημα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Σε δυσκόλεψαν οι λέξεις, οι οδηγίες ή η δραστηριότητα;

Υπήρχε κάτι που δεν κατάλαβες καλά;

Τι θα σε βοηθούσε περισσότερο για να σου αρέσει ή να το παρακολουθείς πιο εύκολα;

Γ. Ερωτήσεις για τη γνωστική εμπλοκή

7. Τι έμαθες ή τι κατάλαβες καλύτερα για τα μίγματα μέσα από αυτό το μάθημα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Μπορείς να μου πεις ένα παράδειγμα μίγματος;

Τι θυμάσαι ότι συμβαίνει όταν ανακατεύουμε υλικά;

Έμαθες κάτι καινούριο που δεν ήξερες πριν;

8. Υπήρχε στιγμή που σκέφτηκες, απορούσες ή προσπάθησες να εξηγήσεις κάτι μέσα στο μάθημα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Θυμάσαι κάποια ερώτηση που έκανες ή ήθελες να κάνεις;

Προσπάθησες να βρεις γιατί έγινε κάτι στο πείραμα ή στη δραστηριότητα;

Άλλαξες γνώμη για κάτι αφού το είδες ή το συζητήσαμε;

9. Σε σχέση με άλλα μαθήματα Φυσικών Επιστημών, πώς ήταν αυτό το μάθημα για εσένα ως προς το πόσο εύκολα καταλάβαινες αυτά που κάναμε;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Ήταν πιο εύκολο ή πιο δύσκολο να καταλάβεις αυτά που κάναμε;

Υπήρχε κάτι που σε βοήθησε να σκεφτείς καλύτερα;

Σε βοήθησε κάποια δραστηριότητα να καταλάβεις καλύτερα την έννοια των μιγμάτων;

Δ. Ερώτηση αναστοχασμού

10. Αν ξανακάναμε αυτό το μάθημα, τι θα ήθελες να κρατήσουμε ίδιο και τι να αλλάξουμε;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Τι θα ήθελες να υπάρχει ξανά;

Τι θα σε βοηθούσε να συμμετέχεις ακόμη περισσότερο;

Τι θα έκανε το μάθημα πιο ευχάριστο ή πιο κατανοητό;

11. Τελικά, πώς θα περιέγραφες με δικά σου λόγια την εμπειρία σου από το μάθημα για τα μίγματα;

Ενδεικτικές διερευνητικές ερωτήσεις:

Τι κρατάς περισσότερο από αυτή την εμπειρία;

Ποια λέξη ή φράση θα χρησιμοποιούσες για να περιγράψεις το μάθημα;

Τι έμαθες για τον εαυτό σου ως μαθητή/μαθήτρια μέσα από αυτό το μάθημα;

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.