



Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακή Ειδίκευση

Καθηγητών Φυσικών Επιστημών (ΚΦΕ)

Διπλωματική Εργασία

Ηλεκτροχημική κινητική:
Μεταφορά επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Στυλιανός Τριγώνης

Επιβλέπων καθηγητής Α': **ΚΟΛΙΑΔΗΜΑ ΑΘΑΝΑΣΙΑ**

Επιβλέπων καθηγητής Β': **ΚΑΠΟΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

Πάτρα,

Σεπτέμβριος 2026

Περίληψη

Η Ηλεκτροχημεία αποτελεί ένα απαιτητικό πεδίο των Φυσικών Επιστημών, καθώς οι μαθητές αντιμετωπίζουν σοβαρές δυσκολίες στη διασύνδεση του μακροσκοπικού, του υπομικροσκοπικού και του συμβολικού επιπέδου αναπαράστασης, καθώς και στην κατανόηση των μηχανισμών μεταφοράς φορτίου και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μιας διαθεματικής STEM διδακτικής παρέμβασης για τη διδασκαλία βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων σε μαθητές της Β' τάξης Γενικού Λυκείου. Η έρευνα ακολούθησε οιονεί πειραματικό σχεδιασμό και συμμετείχαν 95 μαθητές, εκ των οποίων οι 47 αποτέλεσαν την ομάδα παρέμβασης και οι 48 την ομάδα ελέγχου. Η STEM παρέμβαση διήρκεσε 4 διδακτικές ώρες και συνδύασε θεωρητική διδασκαλία με συνεργατική κατασκευή γαλβανικών στοιχείων στο εργαστήριο. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν προ-τεστ και μετά-τεστ, που συμπληρώθηκαν και από τις 2 ομάδες, 2 φύλλα εργασίας και 1 ερωτηματολόγιο αξιολόγησης, που συμπληρώθηκαν μόνο από την ομάδα παρέμβασης. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν παρόμοια αρχική εικόνα των δύο ομάδων ως προς τις προϋπάρχουσες γνώσεις που εξετάστηκαν. Μετά τη διδασκαλία, η ομάδα STEM παρουσίασε υψηλότερα ποσοστά σωστών απαντήσεων από την ομάδα ελέγχου και στις οκτώ ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής του μετά-τεστ, ενώ στην ανοικτή ερώτηση ολοκληρωμένη εξήγηση της μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική έδωσε το 78,7% της ομάδας STEM έναντι 39,6% της ομάδας ελέγχου. Η ανάλυση των φύλλων εργασίας έδειξε επίσης ότι οι περισσότερες ομάδες ήταν σε θέση να συνδέσουν τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό ρεύμα. Παράλληλα, οι μαθητές αξιολόγησαν θετικά τη STEM μαθησιακή εμπειρία, ενώ το 44,7% δήλωσε ότι η παρέμβαση αύξησε το ενδιαφέρον του για μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM. Συνολικά, τα ευρήματα δείχνουν πως η STEM παρέμβαση είναι δυνατόν να συμβάλλει στην κατανόηση βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων, καθώς και στη σύνδεση εννοιών της Χημείας και της Φυσικής.

Λέξεις-κλειδιά: STEM εκπαίδευση, ηλεκτροχημεία, γαλβανικά στοιχεία, οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, διερευνητική μάθηση, δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Abstract

Electrochemistry represents a challenging field within Science Education, as students frequently experience difficulties in connecting the macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels of representation, as well as in understanding the mechanisms of charge transfer and electrical energy production. The aim of this master's thesis was to design, implement, and evaluate an interdisciplinary STEM teaching intervention for teaching fundamental concepts of electrochemistry and the operation of galvanic cells to second-year upper secondary school students. The study followed a quasi-experimental design involving 95 students, of whom 47 constituted the intervention group and 48 the control group. The STEM intervention lasted 4 teaching hours and combined theoretical instruction with collaborative construction of galvanic cells in the laboratory. Data were collected through pre- and post-tests completed by both groups, as well as 2 worksheets and 1 evaluation questionnaire completed exclusively by the intervention group. The data were analyzed using a combination of quantitative and qualitative methods. The results indicated that the 2 groups had similar prior knowledge. Following instruction, the STEM group demonstrated higher percentages of correct answers compared to the control group on all eight multiple-choice questions of the post-test. In the open-ended question, 78.7% of the STEM group provided a complete explanation of the conversion of chemical energy into electrical energy, compared with 39.6% of the control group. Worksheet analysis further indicated that most student groups were able to connect redox reactions with electron transfer and electrical current. Furthermore, students evaluated the STEM learning experience positively, with 44.7% stating that the intervention increased their interest in future STEM studies or careers. Overall, the findings suggest that the STEM intervention may contribute to the understanding of fundamental electrochemistry concepts and the operation of galvanic cells, as well as to bridging concepts between Chemistry and Physics.

Keywords: STEM education, electrochemistry, galvanic cells, redox reactions, inquiry-based learning, secondary education

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	3
Κατάλογος Πινάκων	5
Κατάλογος σχημάτων.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
1.1 Γενικός προβληματισμός.....	7
1.2 Εκπαιδευτικά κενά.....	7
1.3 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα.....	7
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο & Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	9
2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο	9
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία.....	35
3.1 Ερευνητική προσέγγιση και σχεδιασμός έρευνας	35
3.2 Δείγμα και συμμετέχοντες στην έρευνα	35
3.3 Η διδακτική παρέμβαση με βάση την προσέγγιση STEM	36
3.4 Εργαλεία Συλλογής Δεδομένων	45
3.5 Διαδικασία συλλογής και Ανάλυσης δεδομένων.....	47
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα & Συζήτηση	49
4.1 Άξονας 1: Βελτίωση Κατανόησης βασικών εννοιών ηλεκτροχημείας και λειτουργίας γαλβανικών στοιχείων.....	49
4.2 Άξονας 2: Ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διερεύνησης και διαθεματικής σύνδεσης	57
4.3 Άξονας 3: Στάσεις και αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στη STEM προσέγγιση	71
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	77
5.1 Σύνοψη των Κύριων Ευρημάτων	77
5.2 Περιορισμοί της έρευνας	80
5.3 Προτάσεις.....	81
Βιβλιογραφικός Κατάλογος.....	83
Παράρτημα Α	87
Παράρτημα Β	91
Παράρτημα Γ	95
Παράρτημα Δ	99
Παράρτημα Ε	104

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1 Αριθμός μαθητών Β λυκείου ανά τμήμα.

Πίνακας 3.2 Κατανομή ομάδων στο τμήμα Β1 (τμήμα παρέμβασης)

Πίνακας 3.3 Κατανομή ομάδων στο τμήμα Β2 (τμήμα παρέμβασης)

Πίνακας 3.4 Δομή της διδασκαλίας στην ομάδα της παρέμβασης.

Πίνακας 3.5 Δομή διδασκαλίας της ομάδας ελέγχου.

Πίνακας 3.6 Εργαλεία αξιολόγησης και σκοπός χρήσης τους.

Πίνακας 4.1. Ποσοστό σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου στο προ-τεστ.

Πίνακας 4.2 Ποσοστό σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου στο μετα-τεστ.

Πίνακας 4.3 Πειραματικές μετρήσεις διαφοράς δυναμικού.

Πίνακας 4.4 Μέση τιμή, τυπική απόκλιση και εύρος των μέσων τιμών.

Πίνακας 4.5 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθητών.

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου αξιολόγησης.

Πίνακας Δ.1 Κατανομή ομάδων

Πίνακας Δ.2 Καταγραφή μετρήσεων

Πίνακας Δ.3. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών της αναγωγής, της οξείδωσης, της ηλεκτροαπόθεσης και της ηλεκτροδιάλυσης. (Καραντώνης 2015, p 4)

Σχήμα 2.2. Αναλυτικό διάγραμμα ενός Γαλβανικού στοιχείου. (π.χ απλή μπαταρία), που δείχνει την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολυτικό σύνδεσμο. (Καραντώνης 2015, p 6)

Σχήμα 2.3 Η αποτύπωση ενός Ηλεκτρολυτικού στοιχείου συνδεδεμένου με εξωτερική πηγή. (Καραντώνης 2015, p 7)

Σχήμα 2.4 Ροή ηλεκτρονίων σε μια μπαταρία από την άνοδο προς την κάθοδο. (Fiveable, 2025)

Σχήμα 4.2. Ποσοστά σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση του μετα-τεστ για την ομάδα παρέμβασης και την ομάδα ελέγχου.

Σχήμα 4.3 Ποσοστό θετικών απαντήσεων («Συμφωνώ» και «Συμφωνώ απόλυτα») στις προτάσεις αξιολόγησης της διδακτικής παρέμβασης STEM (n = 47).

Σχήμα Γ.1 Γαλβανικό στοιχείο. (δημιουργήθηκε με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης).

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικός προβληματισμός

Η ηλεκτροχημεία αποτελεί σήμερα έναν από τους πιο σημαντικούς κλάδους της φυσικοχημείας, καθώς αποτελεί τη βάση διάφορων τεχνολογικών εξελίξεων, όπως για παράδειγμα τη λειτουργία των μπαταριών ιόντων λιθίου, κινητά τηλέφωνα και τους φορητούς υπολογιστές τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τις εφαρμογές της πράσινης ενέργειας. Όμως, παρά την ευρεία πρακτική εφαρμογή του συγκεκριμένου τομέα, περιλαμβάνει έννοιες των οποίων η βαθιά κατανόηση είναι δύσκολη.

1.2 Εκπαιδευτικά κενά

Στα πλαίσια της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, η διδασκαλία των φυσικών επιστημών αντιμετωπίζει ένα διαχρονικό πρόβλημα κατανόησης των αφηρημένων επιστημονικών εννοιών από τους μαθητές. Πιο συγκεκριμένα, η παραδοσιακή διδασκαλία, η οποία συνήθως περιορίζεται σε παρουσιάσεις και αποστήθιση ορισμών, φαίνεται πως διαιωνίζει το πρόβλημα αυτό.

Ειδικότερα στον κλάδο της ηλεκτροχημείας, από τη μελέτη της σύγχρονης βιβλιογραφίας φαίνεται πως οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης κατανοούν λάθος ή μερικώς ή και δεν διδάσκονται καθόλου διάφορα φαινόμενα και έννοιες, όπως για παράδειγμα η λειτουργία της γέφυρας άλατος, η ροή των ηλεκτρονίων και ο προσδιορισμός των ηλεκτροδίων αλλά εν τέλη και η λειτουργία των συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας – γαλβανικών στοιχείων, που καθημερινά χρησιμοποιούν. Στην Ελλάδα παρατηρείται έλλειψη ερευνητικών δεδομένων που να αξιολογούν ολοκληρωμένες διδακτικές παρεμβάσεις STEM για την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών, ειδικά σε μαθητές της Β' Λυκείου. Η επιλογή της Β Λυκείου ήταν εσκεμμένη αφού τότε οι μαθητές αντιμετωπίζουν τον Ηλεκτρισμό με μεγαλύτερη ωριμότητα και επιστημονική επάρκεια, αλλά και το μάθημα της Φυσικής Γενικής Παιδείας της Β Λυκείου με την δεδομένη σήμερα διδακτέα ύλη, δίνει χρονικά την δυνατότητα διαθεματικών - STEM παρεμβάσεων πέρα από το πρόγραμμα σπουδών.

1.3 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύνδεση της επιστημονικής γνώσης της ηλεκτροχημικής κινητικής με τη διδακτική πράξη, μέσω του σχεδιασμού και της εφαρμογής μιας STEM διδακτικής παρέμβασης, με στόχο τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητάς της στη βελτίωση της

κατανόησης των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων από μαθητές της Β΄ Γενικού Λυκείου.

Τα ερευνητικά ερωτήματα είναι τα εξής:

1. Η εφαρμογή μιας STEM διδακτικής παρέμβασης συμβάλλει στη βελτίωση της κατανόησης των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και του τρόπου λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων, σε σύγκριση με τη συμβατική διδασκαλία;
2. Πώς επηρεάζει η STEM διδακτική παρέμβαση την ικανότητα των μαθητών να συνδέουν τις έννοιες της Χημείας (οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις) με τις έννοιες της Φυσικής (ηλεκτρικό ρεύμα, ηλεκτρική ενέργεια);
3. Πως αξιολογούν οι μαθητές την εμπειρία τους από τη συμμετοχή τους στη STEM διδακτική παρέμβαση ως προς την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου, τη συνεργασία, τη συμμετοχή και το ενδιαφέρον τους κατά τη μαθησιακή διαδικασία;
4. Σε ποιο βαθμό η συμμετοχή των μαθητών στη STEM διδακτική παρέμβαση επηρεάζει το ενδιαφέρον τους για μελλοντικές πανεπιστημιακές σπουδές ή επαγγέλματα που σχετίζονται με τις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία (STEM);

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο & Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1.1 Αρχές Ηλεκτροχημείας: Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, μεταφορά φορτίου και ηλεκτροχημικά στοιχεία (μπαταρίες)

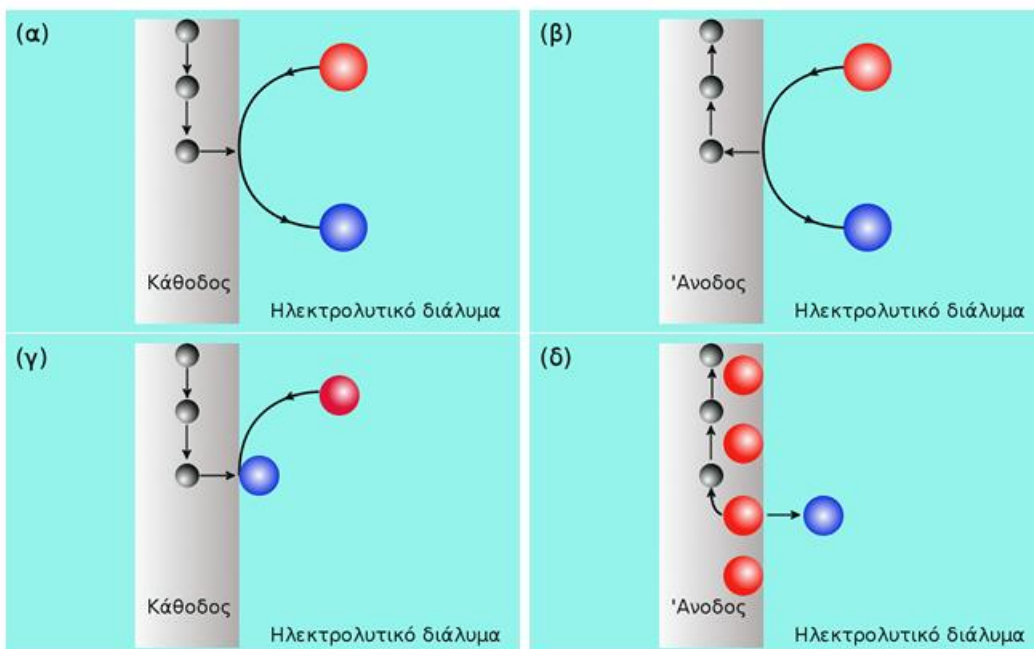
Η ηλεκτροχημεία είναι ο κλάδος της φυσικοχημείας που μελετά τις χημικές αντιδράσεις που είτε καταναλώνουν είτε παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι αντιδράσεις αυτές ονομάζονται ηλεκτροχημικές και αποτελούν τη βάση για πολλές τεχνολογικές ή και βιοχημικές εφαρμογές, όπως οι μπαταρίες, η παραγωγή αλουμινίου και η λειτουργία των συσσωρευτών. (Καραντώνης 2015, p 1)

Οξειδοαναγωγικές Αντιδράσεις

Στο επίκεντρο της ηλεκτροχημείας βρίσκονται οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την ανταλλαγή ηλεκτρονίων μεταξύ χημικών ειδών (ιόντα, μόρια, άτομα). Πιο συγκεκριμένα, η οξείδωση είναι η διεργασία κατά την οποία ένα χημικό είδος χάνει ηλεκτρόνια, αυξάνοντας τον αριθμό οξείδωσής του και πραγματοποιείται στο ηλεκτρόδιο που ονομάζεται άνοδος, ενώ η αναγωγή είναι η διεργασία κατά την οποία ένα χημικό είδος προσλαμβάνει ηλεκτρόνια, μειώνοντας τον αριθμό οξείδωσής του και πραγματοποιείται στο ηλεκτρόδιο που ονομάζεται κάθοδος. Σε ένα ομογενές διάλυμα, αυτές οι αντιδράσεις συμβαίνουν τυχαία μέσω συγκρούσεων σωματιδίων, χωρίς να παράγεται αξιοποιήσιμο ρεύμα. Αντίθετα, στα ηλεκτροχημικά συστήματα, οι αντιδράσεις είναι ετερογενείς, καθώς λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια στερεών ηλεκτροδίων, επιτρέποντας την κατευθυνόμενη ροή φορτίου. (Καραντώνης 2015, p 2)

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ετερογενών διεργασιών, όπου η μεταλλική επιφάνεια συμμετέχει ενεργά, είναι η ηλεκτροαπόθεση και η ηλεκτροδιάλυση. Η ηλεκτροαπόθεση είναι το είδος της ηλεκτροχημικής αντίδρασης (αναγωγής) όπου το προϊόν δεν παραμένει στο διάλυμα, αλλά επικάθεται στη μεταλλική επιφάνεια του ηλεκτροδίου και πραγματοποιείται συνήθως στην κάθοδο, όπου ιόντα από το διάλυμα προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και ανάγονται σε στοιχειακή μορφή πάνω στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Σε συνθήκες όπου η μεταφορά φορτίου (ηλεκτρονίων) είναι γρήγορη αλλά η κίνηση των ιόντων αργή, η ηλεκτροαπόθεση μπορεί να φτάσει στην τιμή του οριακού ρεύματος (i_L), όταν η συγκέντρωση των ιόντων στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου μηδενιστεί. (Καραντώνης 2015, p 2, 3, 152, 153) Αντίστροφα, η ηλεκτροδιάλυση είναι η διεργασία, κατά την οποία το ίδιο το χημικό στοιχείο που αποτελεί τη μεταλλική επιφάνεια του ηλεκτροδίου χάνει ηλεκτρόνια (οξειδώνεται) και μεταπηδά

από το μεταλλικό πλέγμα στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα ως ιόν και λαμβάνει χώρα στην άνοδο. Αντίθετα με την ηλεκτροαπόθεση, στην ηλεκτροδιάλυση δεν αναμένεται η οριακή τιμή ρεύματος, καθώς η συγκέντρωση των παραγόμενων ιόντων στην επιφάνεια δεν μπορεί να λάβει τιμή μηδέν. Ωστόσο, η αύξηση του ρεύματος μπορεί να σταματήσει εάν η επιφάνεια του ηλεκτροδίου καλυφθεί από μη ηλεκτροενεργά είδη, όπως είναι ένα δυσδιάλυτο στερεό άλας. (Καραντώνης 2015, p 2, 3, 154-156)



Σχήμα 2.1 Σχηματική αναπαράσταση των διεργασιών της αναγωγής, της οξείδωσης, της ηλεκτροαπόθεσης και της ηλεκτροδιάλυσης. (Καραντώνης 2015, p 4)

Επεξηγήσεις σχήματος:

- Οι γκριζες σφαίρες αναπαριστούν ηλεκτρόνια, ενώ οι κόκκινες και οι γαλάζιες σφαίρες αναπαριστούν χημικά είδη.
- Χωρίς αλλαγή φάσης με αδρανή ηλεκτρόδια (π.χ. Pt, C) εικόνες (α), (β) και με αλλαγή φάσης και ηλεκτρόδια που συμμετέχουν στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις εικόνες (γ), (δ).

Μεταφορά Φορτίου και Ηλεκτρικό Ρεύμα

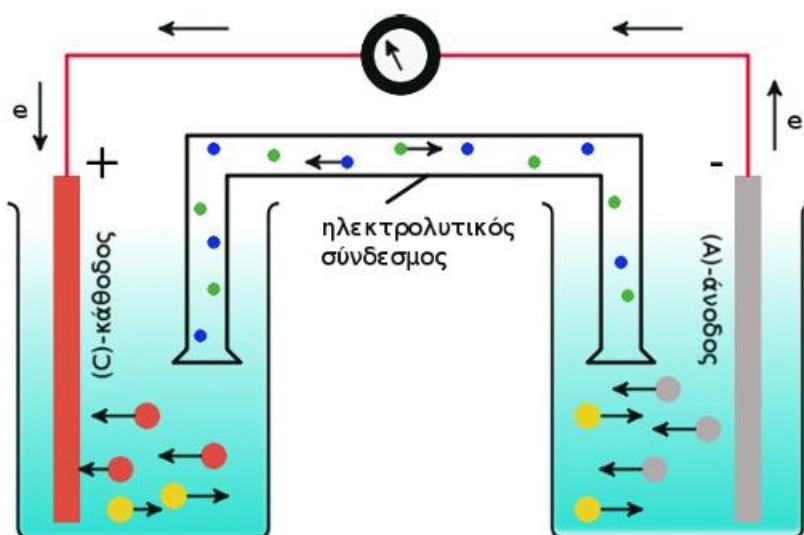
Η παραγωγή ή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με τη ροή φορτίου προς μια ορισμένη κατεύθυνση. Αυτή η ροή φορτίου, εκδηλώνεται ως ηλεκτρονικό ρεύμα στους μεταλλικούς αγωγούς

(καλώδια) που συνδέουν τα ηλεκτρόδια, όπου το φορτίο μεταφέρεται μέσω της ροής των ηλεκτρονίων, ενώ μέσα στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα εμφανίζεται ως ιοντικό ρεύμα και οφείλεται στη ροή των ιόντων. Συγκεκριμένα, η ροή του φορτίου επιτυγχάνεται με την κίνηση των κατιόντων (θετικά ιόντα) προς την κάθοδο και των ανιόντων (αρνητικά ιόντα) προς την άνοδο. Η ηλεκτρική συνέχεια του κυκλώματος διασφαλίζεται στην ηλεκτροχημική διεπιφάνεια, δηλαδή στην επιφάνεια επαφής του ηλεκτροδίου με το διάλυμα, όπου οι αντιδράσεις μεταφοράς φορτίου επιτρέπουν στο κύκλωμα να «κλείσει» και να λειτουργήσει το σύστημα. (Καραντώνης 2015, p 4, 7)

Ηλεκτροχημικά Στοιχεία (Μπαταρίες)

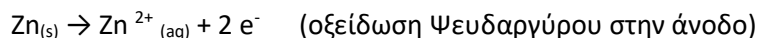
Τα ηλεκτροχημικά στοιχεία χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους, στα γαλβανικά και στα ηλεκτρολυτικά στοιχεία.

Τα γαλβανικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα είναι μια απλή μπαταρία, αποτελούν την κατηγορία στην οποία, οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται αυθόρμητα. Στα συστήματα αυτά, η χημική ενέργεια των αντιδρώντων μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει ένα εξωτερικό κύκλωμα. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι το στοιχείο Daniell, που χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια χαλκού και ψευδαργύρου τα οποία είναι εμβαπτισμένα σε διαλύματα των ιόντων τους, με αποτέλεσμα να επιτρέπεται η παραγωγή ρεύματος μέσω της αυθόρμητης οξείδωσης του ψευδαργύρου και της αναγωγής των ιόντων χαλκού. (Καραντώνης 2015, p 4)

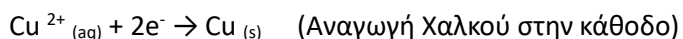


Σχήμα 2.2. Αναλυτικό διάγραμμα ενός Γαλβανικού στοιχείου. (π.χ απλή μπαταρία), που δείχνει την άνοδο, την κάθοδο και τον ηλεκτρολυτικό σύνδεσμο. (Καραντώνης 2015, p 6)

Επεξήγηση εικόνας: (Α) άνοδος - ηλεκτρόδιο Zn και (C) Κάθοδος - ηλεκτρόδιο Cu, ηλεκτρολυτικό διάλυμα: ιόντα Cu^{2+} (κόκκινες σφαίρες), ιόντα Zn^{2+} (γκρι σφαίρες), ιόντα SO_4^{2-} (κίτρινες σφαίρες). Στην άνοδο πραγματοποιείται η οξείδωση. Τα άτομα του ψευδαργύρου δίνουν δύο ηλεκτρόνια και μεταπηδούν από το μεταλλικό πλέγμα στο διάλυμα ως ιόντα Zn^{2+} (γκρι σφαίρες).



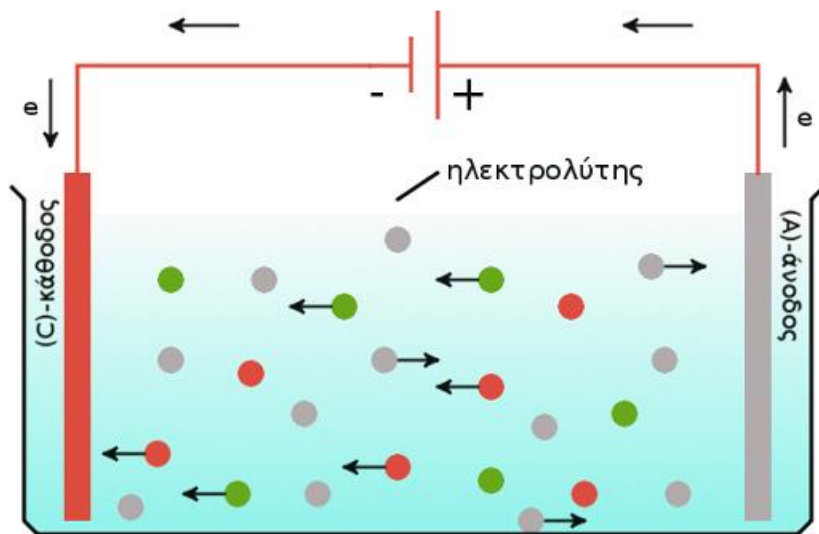
Τα ηλεκτρόνια που απελευθερώθηκαν κινούνται μέσω του εξωτερικού μεταλλικού αγωγού προς το ηλεκτρόδιο του Cu, όπου συμβαίνει η αναγωγή. Τα ιόντα χαλκού Cu^{2+} (κόκκινες σφαίρες) που βρίσκονται στο διάλυμα προσλαμβάνουν τα ηλεκτρόνια από το ηλεκτρόδιο και ανάγονται σε στοιχειακό χαλκό, ο οποίος επικάθεται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου (ηλεκτροαπόθεση).



Ο ηλεκτρολυτικός σύνδεσμος - γέφυρα άλατος ή πορώδες διάφραγμα, συνδέει ιοντικά τα διαλύματα των δύο ημιστοιχείων με τέτοιο τρόπο ώστε να εμποδίζεται η ανάμιξη των διαλυμάτων και ταυτόχρονα να διασφαλίζεται η ηλεκτροουδετερότητα κάθε ημιστοιχείου.

Συνήθως πρόκειται για έναν γυάλινο σωλήνα σχήματος U που περιέχει ένα πυκνό διάλυμα ισχυρού ηλεκτρολύτη (π.χ., KNO_3) ή άλλο κατάλληλο αδρανές άλας, ενσωματωμένο σε πηκτή άγαρ-άγαρ. Ο ρόλος της γέφυρας είναι εξαιρετικά σημαντικός στα γαλβανικά στοιχεία, αφού χωρίς αυτή, τα δύο ημιστοιχεία πολύ γρήγορα θα φορτιζόνταν (θετικά η άνοδος που χάνει ηλεκτρόνια και αρνητικά η κάθοδος που τα προσλαμβάνει) με αποτέλεσμα το πολύ ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που θα σχηματιζόταν να εμποδίσει την περαιτέρω κυκλοφορία ηλεκτρονίων και την διακοπή λειτουργίας του στοιχείου. Ο ισχυρός ηλεκτρολύτης της γέφυρας παρέχει θετικά ιόντα στην κάθοδο και αρνητικά ιόντα στην άνοδο διατηρώντας το κάθε ημιστοιχείο ηλεκτρικά ουδέτερο.

Στα ηλεκτρολυτικά στοιχεία (πχ επαναφορτιζόμενη μπαταρία σε λειτουργία φόρτισης) οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις δεν πραγματοποιούνται αυθόρμητα, αλλά για να εξελιχθούν απαιτείται η εφαρμογή μιας εξωτερικής διαφοράς δυναμικού από μια ηλεκτρική πηγή, ώστε να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. (Καραντώνης 2015, p5, 6)



Σχήμα 2.3 Η αποτύπωση ενός Ηλεκτρολυτικού στοιχείου συνδεδεμένου με εξωτερική πηγή. (Καραντώνης 2015, p 7)

Επεξήγηση εικόνας: (C) Κάθοδος Cu και (Α) άνοδος Pt. Το ηλεκτρολυτικό διάλυμα περιέχει ιόντα Cu^{2+} (κόκκινες σφαίρες), ιόντα H^+ (πράσινες σφαίρες) και ιόντα SO_4^{2-} (γκρι σφαίρες). Η ηλεκτροχημική διεργασία εξαναγκάζεται να συμβεί μέσω μιας εξωτερικής ηλεκτρικής πηγής, η οποία μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. Στην κάθοδο (C), τα ιόντα Cu^{2+} προσλαμβάνουν ηλεκτρόνια και ανάγονται σε στοιχειακό χαλκό, ο οποίος επικάθεται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου (ηλεκτροαπόθεση). Ταυτόχρονα, στην άνοδο (Α), πραγματοποιείται η οξείδωση των μορίων του νερού προς μοριακό οξυγόνο και ιόντα H^+ . Κατά τη διάρκεια της ηλεκτρόλυσης, παρατηρείται ιοντικό ρεύμα μέσα στο διάλυμα, με τα κατιόντα Cu^{2+} και H^+ να κινούνται προς την κάθοδο και τα ανιόντα SO_4^{2-} να κινούνται προς την άνοδο.

Βασικοί Νόμοι και Αρχές

Νόμος του Faraday: η μάζα μιας ουσίας που καταναλώνεται ή αποτίθεται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου είναι ανάλογη του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου (q) που διέρχεται από το σύστημα. Συνδέει, δηλαδή, ποσοτικά το ηλεκτρικό ρεύμα και τη χημική αντίδραση που συμβαίνει στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. (Καραντώνης 2015, p8)

Ο Νόμος του Faraday στην περίπτωση του γαλβανικού στοιχείου Daniell μπορεί να εφαρμοστεί ως εξής:

Έστω ότι σε χρονικό διάστημα dt που το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα έντασης i διακινούνται στο κύκλωμα ηλεκτρόνια συνολικού φορτίου dQ . Τότε η μάζα διάλυσης του Ψευδαργύρου στην άνοδο ή αντίστοιχα η μάζα απόθεσης του Χαλκού στην κάθοδο υπολογίζονται από την σχέση:

$$dm_{Zn} = (mol\ Zn\ που\ ηλεκτροδιαλυνονται) \cdot Ar(Zn) = \frac{mol\ e^-}{n} \cdot Ar(Zn) = \frac{dQ}{F \cdot n} \cdot Ar(Zn) =$$

$$= \frac{i(t) \cdot dt}{F \cdot n} \cdot Ar(Zn)$$

οπού με ολοκλήρωση προκύπτει: $m_{Zn} = \frac{Ar(Zn)}{F \cdot n} \int i(t) \cdot dt$ ή

με σταθερό ρεύμα I έχουμε: $m_{Zn} = \frac{Ar(Zn) \cdot I \cdot \Delta t}{F \cdot n}$

Και αντίστοιχα για τον αποτιθέμενο Χαλκό στην κάθοδο έχουμε: $m_{Cu} = \frac{Ar(Cu)}{F \cdot n} \int i(t) \cdot dt$

και με σταθερό ρεύμα I έχουμε: $m_{Cu} = \frac{Ar(Cu) \cdot I \cdot \Delta t}{F \cdot n}$

Όπου:

- F η σταθερά Faraday, $F = N_A \cdot |q_e| = 96458\ C/mol$
- $Ar(Zn)$ και $Ar(Cu)$ οι σχετικές ατομικές μάζες των Zn και Cu και
- n ο αριθμός των ηλεκτρονίων που ανταλλάσσονται στην συνολική οξειδοαναγωγική αντίδραση (εδώ $n=2$)

Ενέργεια Gibbs: Η μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας Gibbs (ΔG) συνδέεται άμεσα με τη διαφορά δυναμικού του στοιχείου στην κατάσταση ισορροπίας μέσω της σχέσης: $\Delta G = -n \cdot F \cdot \Delta E_{eq}$

Η ισότητα αυτή υποδηλώνει ότι το μέγιστο ηλεκτρικό έργο που μπορεί να παραχθεί από μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική αντίδραση είναι ίσο με τη μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας του συστήματος. (Καραντώνης 2015, p11)

Σε πρότυπες συνθήκες: (συγκεντρώσεις διαλυμάτων 1M, πίεση αερίων 1atm και θερμοκρασία $25^\circ C = 298.15\ K$)

η παραπάνω σχέση γίνεται: $\Delta G^0 = -n \cdot F \cdot \Delta E^0$

όπου E^0 είναι διαφορά δυναμικού του κάθε ημιστοιχείου σε σχέση με το πρότυπο ημιστοιχείο Υδρογόνου $2H^+ + 2e^- \leftrightarrow H_2$ συχνά αποκαλούμενου SHE (Standard Hydrogen Electrode) και παρέχεται από πίνακες και εκφράζει την τάση ενός ημιστοιχείου να προσλαμβάνει ή να αποδίδει ηλεκτρόνια σε πρότυπες συνθήκες, σε σύγκριση με το πρότυπο ηλεκτρόδιο υδρογόνου. Συγκεκριμένα όσο πιο θετικό είναι το E^0 τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση του είδους να αναχθεί (να πάρει ηλεκτρόνια) και όσο πιο αρνητικό τόσο

μεγαλύτερη είναι η τάση να οξειδωθεί (να δώσει ηλεκτρόνια). Η τάση αυτή διαμορφώνεται από την ηλεκτρονική δόμηση και το μέγεθος του κάθε ατόμου.

Η σχέση που συνδέει την ΔE° με τα E° του κάθε ημιστοιχείου είναι: $\Delta E^\circ = E_{\text{καθόδου}}^\circ - E_{\text{ανόδου}}^\circ$

(Στο στοιχείο Daniell: $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_{(\text{s})}$ $E^\circ = +0.3402 \text{ V}$ και

$\text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}_{(\text{s})}$ $E^\circ = -0.7628 \text{ V}$ οπότε $\Delta E^\circ = +1,1030 \text{ V}$)

Να παρατηρήσουμε εδώ ότι τα θετικά ΔE που αντιστοιχούν σε αρνητικά ΔG αφορούν αυθόρμητες αντιδράσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν γαλβανικά στοιχεία.

Εξίσωση Nernst: είναι η εξίσωση που μας επιτρέπει να υπολογίζουμε την διαφορά δυναμικού ενός στοιχείου καθώς αλλάζει με την αλλαγή της συγκέντρωσης των ειδών που αποτελούν το στοιχείο.

Καθώς μεταβάλλεται η σύσταση του συστήματος, μεταβάλλονται τόσο η ΔG όσο και η διαφορά δυναμικού του στοιχείου. Στην κατάσταση ισορροπίας ισχύει $\Delta G = 0$ και $E_{\text{cell}} = 0$.

Αλλά από την θερμοδυναμική για ένα χημικό σύστημα γνωρίζουμε ότι: $\Delta G = \Delta G^0 + R \cdot T \cdot \ln Q$

Αλλά: $\Delta G^0 = -n \cdot F \cdot \Delta E^0$ οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται : $-n \cdot F \cdot \Delta E = -n \cdot F \cdot \Delta E^0 + R \cdot T \cdot \ln Q$

$\rightarrow \Delta E = \Delta E^0 - \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln Q$ Εξίσωση Nernst

Όπου Q (quotient) είναι το γινόμενο των συγκεντρώσεων των προϊόντων προς τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων. ($Q = \frac{[\text{Zn}^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}]}$ στο στοιχείο Daniell)

Ακόμα είναι η εξίσωση που υπολογίζει την σταθερά K της Χημικής ισορροπίας από τα δυναμικά E° των ηλεκτροδίων ή ενός ηλεκτρολυτικού στοιχείου στην κατάσταση ισορροπίας, λαμβάνοντας υπόψη τη συγκέντρωση (ενεργότητα) των χημικών ειδών και τη θερμοκρασία. (Καραντώνης 2015, p96, 132)

Στην Ισορροπία έχουμε για την αντίδραση $Q=K$ και $\Delta G=0$ οπότε:

$\Delta G^0 = -R \cdot T \cdot \ln K$ αλλά και

$\Delta G^0 = -n \cdot F \cdot \Delta E^0$ οπότε $\ln K = \frac{n \cdot F \cdot \Delta E^0}{R \cdot T}$

Αρχή της Ηλεκτροουδετερότητας: Σύμφωνα με την οποία, το ηλεκτρολυτικό διάλυμα παραμένει πρακτικά ηλεκτρικά ουδέτερο σε κάθε σημείο του, καθώς η συγκέντρωση των θετικών ιόντων αντισταθμίζει με την συμμετοχή ιόντων που παρέχονται από την γέφυρα άλατος, ακριβώς το φορτίο των αρνητικών. (Καραντώνης 2015, p9)

2.1.2 Ηλεκτροχημική Κινητική: Μηχανισμοί αντιδράσεων, ταχύτητα αντίδρασης και οι παράγοντες που την επηρεάζουν

Η Ηλεκτροχημική Κινητική είναι ο κλάδος που μελετά την ταχύτητα των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων πραγματοποιούνται. Σε αντίθεση με την κλασική χημική κινητική, στην ηλεκτροχημεία η ταχύτητα της αντίδρασης καθορίζεται άμεσα από το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει στο σύστημα, δηλαδή την πυκνότητα ρεύματος (ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας). (Καραντώνης 2015, p125)

Μηχανισμοί και Στάδια Αντιδράσεων

Μια τυπική ηλεκτροχημική αντίδραση δεν συμβαίνει ακαριαία, αλλά περιλαμβάνει μια αλληλουχία φυσικών και χημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στη διεπιφάνεια και στο διάλυμα. Τα κύρια στάδια ενός τέτοιου μηχανισμού είναι η μεταφορά μάζας, η προσρόφηση, η μεταφορά φορτίου, η αποπροσρόφηση και η μεταφορά προϊόντων.

Πιο συγκεκριμένα, η μεταφορά μάζας αφορά την κίνηση των αντιδρώντων ιόντων ή μορίων από τον κύριο όγκο του διαλύματος προς την επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Έπειτα, η διεργασία της προσρόφησης, κατά την οποία τα χημικά είδη προσκολλώνται στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Στη συνέχεια η μεταφορά φορτίου, δηλαδή η ηλεκτροχημική αντίδραση, κατά την οποία πραγματοποιείται η οξείδωση ή η αναγωγή στη διεπιφάνεια και τέλος η αποπροσρόφηση και η μεταφορά των προϊόντων, όπου τα προϊόντα της οξειδοαναγωγής απομακρύνονται από την επιφάνεια του ηλεκτροδίου και κινούνται πίσω προς τον κύριο όγκο του διαλύματος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως σε έναν τέτοιο μηχανισμό με πολλαπλά στάδια, η συνολική ταχύτητα (ρυθμός) της ηλεκτροχημικής διεργασίας καθορίζεται πάντα από το πιο αργό στάδιο, το οποίο ονομάζεται στάδιο καθορισμού ταχύτητας (Rate Determining Step - RDS). Αν, για παράδειγμα, η μεταφορά φορτίου είναι πολύ γρήγορη, τότε η ταχύτητα ολόκληρης της αντίδρασης θα ελέγχεται αποκλειστικά από τον ρυθμό μεταφοράς μάζας (διάχυση). (Καραντώνης 2015, p125-129)

Η ταχύτητα της ηλεκτροχημικής αντίδρασης (u) ορίζεται ως ο αριθμός των σωματιδίων που αντιδρούν ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου και συνδέεται άμεσα με την πυκνότητα ρεύματος (i) μέσω της σχέσης:

$$i = n \cdot F \cdot u \quad \text{όπου, } n \text{ ο αριθμός των ηλεκτρονίων και } F \text{ η σταθερά Faraday. (Καραντώνης 2015, p126)}$$

Η ταχύτητα μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης επηρεάζεται από παράγοντες όπως το ηλεκτρικό δυναμικό και η υπέρταση, την πυκνότητα το ρεύμα ανταλλαγής, το υλικό του ηλεκτροδίου, η συγκέντρωση, η διάχυση, η θερμοκρασία και ο παράγοντας συμμετρίας.

Αρχικά από τους σημαντικότερους παράγοντες είναι το ηλεκτρικό δυναμικό και η υπέρταση (η). Η υπέρταση ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ του εφαρμοζόμενου δυναμικού και του δυναμικού ισορροπίας. Η σχέση μεταξύ ρεύματος-δυναμικού περιγράφεται από την εξίσωση Butler-Volmer, η οποία δείχνει ότι η ταχύτητα αυξάνεται εκθετικά με την υπέρταση. (Καραντώνης 2015, p133, 134)

$$i = i_0 \left(e^{\frac{(1-\alpha)nF}{RT}\eta} - e^{-\frac{\alpha nF}{RT}\eta} \right) \quad (\text{εξίσωση Butler-Volmer})$$

Η εξίσωση Butler-Volmer μας δείχνει πόσο γρήγορα κινείται το σύστημα προς την κατάσταση ισορροπίας όταν δεν βρίσκεται σε ισορροπία.

Στη συνέχεια, η πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής (i_0) αποτελεί μέτρο της «ευκολίας» με την οποία γίνεται η μεταφορά φορτίου στην ισορροπία. Μεγάλο i_0 σημαίνει γρήγορη αντίδραση, ενώ μικρό i_0 σημαίνει αργή αντίδραση. (Καραντώνης 2015, p133)

Το υλικό του ηλεκτροδίου επηρεάζει δραστικά την τιμή του i_0 . Για παράδειγμα, η αναγωγή του υδρογόνου είναι ταχύτερη στον λευκόχρυσο αλλά εξαιρετικά αργή στον υδράργυρο. (Καραντώνης 2015, p133)

Ακόμα, η συγκέντρωση και η διάχυση διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Δηλαδή, όταν η μεταφορά φορτίου είναι πολύ γρήγορη, η ταχύτητα περιορίζεται από το πόσο γρήγορα φτάνουν τα ιόντα στο ηλεκτρόδιο (έλεγχος από τη διάχυση). Σε αυτή την περίπτωση, το ρεύμα αποκτά μια μέγιστη τιμή, το οριακό ρεύμα (i_L). (Καραντώνης 2015, p153-157)

Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία αποτελεί έναν παράγοντα που επηρεάζει την ταχύτητα μιας αντίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας γενικά αυξάνει την ταχύτητα των αντιδράσεων, επηρεάζοντας τόσο τις σταθερές ταχύτητας όσο και τη διάχυση των ιόντων. (Καραντώνης 2015, p127)

Τέλος, ο παράγοντας συμμετρίας (α) είναι μια σταθερά (συνήθως κοντά στο 0.5) που καθορίζει πώς το ηλεκτρικό δυναμικό επηρεάζει την ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης. (Καραντώνης 2015, p130)

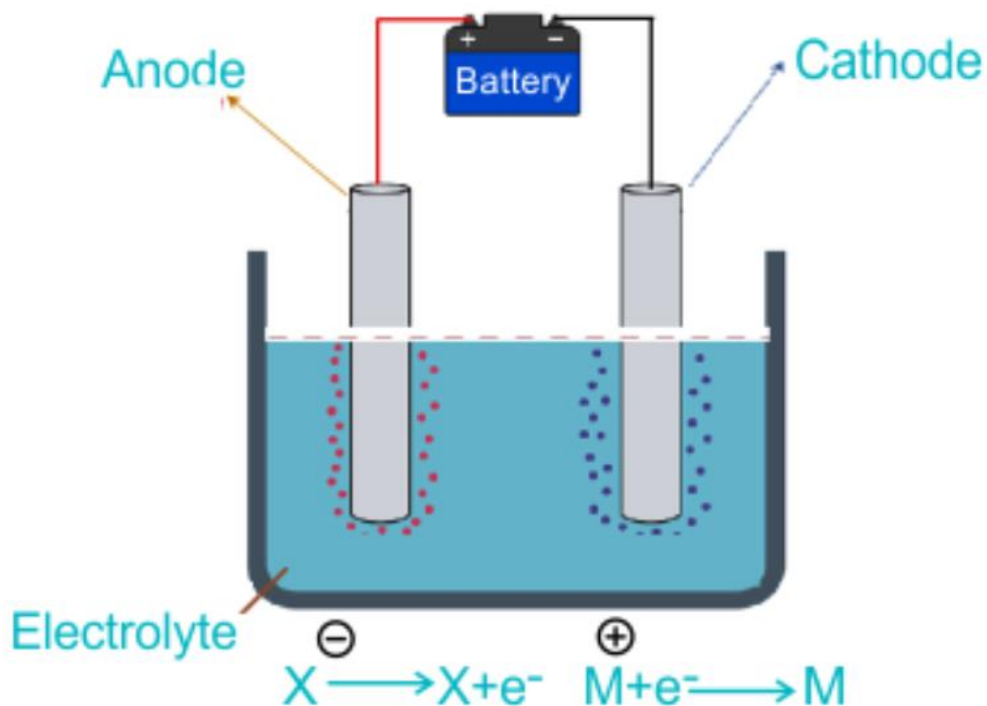
2.1.3 Εφαρμογές στην Καθημερινότητα

Η Ηλεκτροχημεία συνδέει άμεσα τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής με την τεχνολογία της καθημερινής ζωής, αφού οι μπαταρίες είναι δυνατόν να τροφοδοτήσουν φορητές συσκευές (smartphones, laptops) έως και σύγχρονα συστήματα κίνησης των ηλεκτρικών οχημάτων (Sciatti et al., 2025, Fiveable, 2025).

Στην εκπαιδευτική πράξη, οι μπαταρίες διακρίνονται σε πρωτογενείς (μη επαναφορτιζόμενες, όπου τα αντιδρώντα καταναλώνονται οριστικά) και δευτερογενείς (επαναφορτιζόμενες), οι οποίες αξιοποιούν την αμφίδρομη σχέση μεταξύ χημικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες ιόντων λιθίου λειτουργούν ως γαλβανικά στοιχεία κατά την εκφόρτιση (μετατρέποντας τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα για την λειτουργία της συσκευής) και ως ηλεκτρολυτικά στοιχεία κατά τη φόρτιση (Καραντώνης, 2015, Chemali et al., 2016). Η ανάδειξη αυτών των εφαρμογών στο πλαίσιο της διδασκαλίας οδηγεί τους μαθητές να καταλάβουν την πρακτική χρησιμότητα των επιστημονικών εννοιών, ενισχύοντας το ενδιαφέρον τους για τις φυσικές επιστήμες (Odun-Ayo & Van Devender, 2024).

Κοινός Μηχανισμός Λειτουργίας

Ανεξάρτητα από την τεχνολογική εφαρμογή, όλες οι μπαταρίες μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική μέσω αυθόρμητων αντιδράσεων οξειδοαναγωγής (Fiveable, 2025). Η βασική μονάδα κάθε μπαταρίας είναι η ηλεκτροχημική κυψέλη, η οποία αποτελείται από την άνοδο (όπου λαμβάνει χώρα η οξείδωση), την κάθοδο (όπου πραγματοποιείται η αναγωγή) και τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος επιτρέπει τη μεταφορά των ιόντων (Sciatti et al., 2025). Στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, η χημική μετατροπή είναι αντιστρεπτή: κατά την εκφόρτιση η κυψέλη λειτουργεί ως γαλβανικό στοιχείο παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ κατά τη φόρτιση μια εξωτερική πηγή επιβάλλει ηλεκτρικό ρεύμα αντίστροφης φοράς, αποκαθιστώντας τα αρχικά αντιδρώντα (Chemali et al., 2016, Sciatti et al., 2025).



Σχήμα 2.4 Ροή ηλεκτρονίων σε μια μπαταρία από την άνοδο προς την κάθοδο. (Fiveable, 2025)

2.1.4 Από το Επιστημονικό Υπόβαθρο στη Σχολική Διδασκαλία

Στις προηγούμενες ενότητες παρουσιάστηκε το επιστημονικό υπόβαθρο της ηλεκτροχημείας και της ηλεκτροχημικής κινητικής. Ωστόσο, η αξιοποίηση της συγκεκριμένης επιστημονικής γνώσης στη σχολική τάξη απαιτεί την κατάλληλη προσαρμογή του περιεχομένου στο γνωστικό επίπεδο των μαθητών. Για τον λόγο αυτό, η διδακτική παρέμβαση της παρούσας εργασίας δεν εστιάζει στη μαθηματική περιγραφή εξειδικευμένων εννοιών και σχέσεων της ηλεκτροχημικής κινητικής, όπως η εξίσωση Butler-Volmer ή η πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής, αλλά σε θεμελιώδεις έννοιες της ηλεκτροχημείας που είναι κατάλληλες για το γνωστικό επίπεδο των μαθητών της Β' Λυκείου, όπως τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, τη μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων, τη λειτουργία των ηλεκτροδίων, τη διαφορά δυναμικού και τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική στα γαλβανικά στοιχεία.

2.2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση και Σύνθεση

Διαχρονικό πρόβλημα αποτελεί η διδασκαλία των φυσικών επιστημών, αφού φαίνεται να υπάρχει χάσμα μεταξύ των αφηρημένων επιστημονικών εννοιών και της κατανόησης των μαθητών. Η σύγχρονη βιβλιογραφία υποστηρίζει πως η παραδοσιακή διδασκαλία συχνά οδηγεί σε αποσπασματική γνώση,

καθιστώντας αναγκαία την υιοθέτηση νέων εκπαιδευτικών προσεγγίσεων που ενισχύουν τη βαθύτερη κατανόηση και τη σύνδεση των φυσικών επιστημών με τον πραγματικό κόσμο. (Rahayu et al., 2021, Zhang et al., 2026) Οι κυριότερες από αυτές τις προσεγγίσεις περιλαμβάνουν την Ολοκληρωμένη Εκπαίδευση STEM, την Αντεστραμμένη Μάθηση, την Μάθηση βάσει Προβλήματος και βάσει Έργου, τις Τεχνολογίες Οπτικοποίησης, τη Φυσική Μοντελοποίηση, την Προσέγγιση Εννοιολογικής Αλλαγής και τη Διαθεματική Προσέγγιση.

Η Ολοκληρωμένη Εκπαίδευση STEM είναι η προσέγγιση που συνδυάζει τουλάχιστον δύο από τα πεδία των Φυσικών Επιστημών, της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών σε ένα ενιαίο μάθημα και έχει ως σκοπό την καλλιέργεια της διεπιστημονικής σκέψης και την προετοιμασία των μαθητών για την επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου. (Carla et al., 2025)

Στο μοντέλο της Αντεστραμμένης Μάθησης, η θεωρητική γνώση παρέχεται στους μαθητές εκτός τάξης (π.χ. μέσω βίντεο), με αποτέλεσμα να απελευθερώνεται ο χρόνος του μαθήματος για ενεργητικές, μαθητοκεντρικές πρακτικές υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. (Kadioğlu & Özalçin Oskay, 2025)

Έπειτα, στη Μάθηση βάσει Προβλήματος και βάσει Έργου, οι μαθητές έρχονται σε επαφή με πραγματικά ή με προσομοιωμένα προβλήματα που απαιτούν τη σύνθεση γνώσεων από διαφορετικά πεδία για την εύρεση λύσεων, με αποτέλεσμα να ενισχύεται η κριτική σκέψη και η δημιουργικότητά τους. (Carla et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024)

Όσον αφορά στις Τεχνολογίες Οπτικοποίησης, η Επαυξημένη Πραγματικότητα και η Εικονική Προσομοίωση επιτρέπουν στους μαθητές να οπτικοποιούν και να αλληλεπιδρούν με φαινόμενα στο υπομικροσκοπικό επίπεδο (όπως την κίνηση ηλεκτρονίων και μοριακές δομές), με αποτέλεσμα να γεφυρώνεται το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πρακτικής, (Kadioğlu & Özalçin Oskay, 2025, Zhang et al., 2026), ενώ τα συστήματα Παραγωγικής Τεχνητής Νοημοσύνης χρησιμοποιούνται σαν υποστηρικτικά εργαλεία για την επίλυση προβλημάτων και τη δημιουργία κώδικα (Carla et al., 2025).

Κατά τη φυσική Μοντελοποίηση, η χρήση απτών υλικών, όπως ο πηλός, για την κατασκευή μοντέλων ατόμων και ιόντων βοηθά τους μαθητές να μεταφράσουν τη χημική γραφή σε συγκεκριμένες αναπαραστάσεις της κίνησης των σωματιδίων κατά τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026)

Στην Προσέγγιση Εννοιολογικής Αλλαγής χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένα κείμενα εννοιολογικής αλλαγής που προκαλούν σύγκρουση γνώσεων στους μαθητές, βοηθώντας τους να αντικαταστήσουν τις παρανοήσεις τους με επιστημονικά αποδεκτές εξηγήσεις. (Dorsah & Yaayin, 2019)

Και τέλος, η Διαθεματική Προσέγγιση, εστιάζει στην κατάργηση των στενών ορίων μεταξύ των γνωστικών αντικειμένων, επιτρέποντας στους μαθητές να αντιλαμβάνονται τη γνώση ως ένα ενιαίο σύνολο. (Βασίλειος Δ. Οικονομίδης, 2011)

Αυτές οι προσεγγίσεις, καθώς και ο συνδυασμός τους, μετατρέπουν τον μαθητή από παθητικό δέκτη σε ενεργό ερευνητή, ο οποίος οικοδομεί τη γνώση του μέσα από την εμπειρία και τον αναστοχασμό.

Συνηθέστερες παρανοήσεις των μαθητών

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας, οι συνηθέστερες παρανοήσεις των μαθητών στην ηλεκτροχημεία, αφορούν κυρίως τον εντοπισμό των ηλεκτροδίων, τη λειτουργία της γέφυρας άλατος, τον μηχανισμό μεταφοράς φορτίου, τις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής και γενικότερη λανθασμένη αντίληψη για τα ηλεκτρικά στοιχεία.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στον εντοπισμό των ηλεκτροδίων, φαίνεται πως αρκετοί μαθητές δυσκολεύονται στην ταυτοποίηση της ανόδου και της καθόδου, δηλαδή πως η ταυτότητα των ηλεκτροδίων εξαρτάται από τη φυσική τους θέση, θεωρώντας ότι η άνοδος βρίσκεται πάντα στα αριστερά και η κάθοδος πάντα στα δεξιά ενός διαγράμματος. (Dorsah & Yaayin, 2019) Ακόμα, υπάρχει σύγχυση σχετικά με το φορτίο των ηλεκτροδίων, με πολλούς μαθητές να θεωρούν ότι η άνοδος είναι πάντα ο θετικός πόλος και η κάθοδος ο αρνητικός, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις διαφορές μεταξύ γαλβανικών και ηλεκτρολυτικών στοιχείων. (Dorsah & Yaayin, 2019, Rahayu et al., 2021) Επίσης, ορισμένοι μαθητές πιστεύουν πως το ποια είναι η άνοδος και ποια η κάθοδος καθορίζεται αποκλειστικά από το πού παρατηρείται απόθεση στερεού υλικού. (Rahayu et al., 2021)

Έπειτα, όσον αφορά στη λειτουργία της γέφυρας άλατος, κάποιες από τις πιο συνήθεις παρανοήσεις των μαθητών είναι ότι η γέφυρα άλατος επιτρέπει τη ροή ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο ημιστοιχείων για να κλείσει το κύκλωμα (Dorsah & Yaayin, 2019, Rahayu et al., 2021) και πως μέσω της γέφυρας άλατος κινούνται τα ηλεκτρόνια, αντί για τα ιόντα. (Dorsah & Yaayin, 2019) Κοινή παρανόηση ανάμεσα στους μαθητές αποτελεί και ο σκοπός της γέφυρας άλατος, δηλαδή πιστεύεται λανθασμένα ότι τα ιόντα μετακινούνται μέσω της γέφυρας άλατος απλώς για να παραχθεί ηλεκτρισμός και όχι για τη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας. (Dorsah & Yaayin, 2019)

Επιπροσθέτως, όσον αφορά στη μεταφορά φορτίου και το ηλεκτρικό ρεύμα, πολλοί μαθητές έχουν την λανθασμένη αντίληψη ότι τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινηθούν ελεύθερα μέσα στο ηλεκτρολυτικό διάλυμα ή ότι μεταφέρονται από ιόντα από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Dorsah & Yaayin, 2019, Rahayu et al., 2021) Ακόμα, υπάρχει η πεποίθηση ότι τα υγρά (ηλεκτρολύτες)

άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως οι μεταλλικοί αγωγοί, δηλαδή θεωρούν ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται ελεύθερα μέσα στο υδατικό διάλυμα, εισέρχονται στο διάλυμα από την κάθοδο, ταξιδεύουν μέσα στον ηλεκτρολύτη και τη γέφυρα άλατος και εξέρχονται από την άνοδο. (Dorsah & Yaayin, 2019)

Επίσης, όσον αφορά στις αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, ορισμένοι μαθητές πιστεύουν ότι η οξείδωση μπορεί να συμβεί χωρίς την ταυτόχρονη εμφάνιση αναγωγής. Συχνά συγχέουν τον αριθμό οξείδωσης με το πραγματικό ιοντικό φορτίο ή πιστεύουν ότι ο Α.Ο. είναι ορατός μόνο όταν υπάρχει πρόσημο + ή - στο χημικό σύμβολο και υπάρχει η παρανόηση ότι για να θεωρηθεί μια αντίδραση ως οξειδοαναγωγική, πρέπει απαραίτητα να συμμετέχει οξυγόνο ή κάποιο μέταλλο. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026)

Τέλος, από τη βιβλιογραφία φαίνεται πως αρκετοί μαθητές έχουν υιοθετήσει λάθος γενικές αντιλήψεις για τα ηλεκτρικά στοιχεία. Πιο συγκεκριμένα, πολλοί μαθητές υποθέτουν λανθασμένα ότι για υφίσταται ένα γαλβανικό στοιχείο πρέπει απαραίτητα να περιλαμβάνει λαμπτήρα ή βολτόμετρο μεταξύ των ηλεκτροδίων και υπάρχει η λανθασμένη αντίληψη ότι τα ηλεκτρόνια ρέουν από το θετικό ηλεκτρόδιο προς το εξωτερικό κύκλωμα. (Netchinda & Duangrummet, 2025)

2.2.1 Μεταφορά Επιστημονικής Γνώσης: Πώς η ακαδημαϊκή γνώση μετατρέπεται σε σχολικό υλικό

Η διαδικασία μετατροπής της ακαδημαϊκής γνώσης σε διδακτικό υλικό αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις, καθώς η σύγχρονη χημεία μεταβαίνει σταδιακά από τις μακροσκοπικές φαινομενολογικές θεωρίες σε σύνθετα μεσο-μικροσκοπικά πλαίσια που απαιτούν ακρίβεια σε ατομικό και μοριακό επίπεδο. (Zhang et al., 2026) Η δυσκολία αυτή εντοπίζεται κυρίως στο γεγονός ότι έννοιες όπως η ηλεκτροχημεία και η δομή των διαλυμάτων βασίζονται σε υπομικροσκοπικές διεργασίες που δεν είναι άμεσα ορατές, καθιστώντας την οπτικοποίησή τους εξαιρετικά δύσκολη για τους μαθητές. (Rahayu et al., 2021, Zhang et al., 2026)

Η παραδοσιακή διδασκαλία επιδεινώνει το πρόβλημα, καθώς περιορίζεται σε διαλέξεις με στατικές παρουσιάσεις, αλγοριθμική επίλυση προβλημάτων και αποστήθιση, γεγονός που οδηγεί σε μηχανιστική μάθηση (rote learning) χωρίς ουσιαστική εννοιολογική κατανόηση. (Rahayu et al., 2021, Zhang et al., 2026)

Ως αποτέλεσμα, οι εκπαιδευόμενοι συχνά αδυνατούν να εξηγήσουν τη λογική πίσω από τις γνώσεις τους ή να συνδέσουν τα καθημερινά φαινόμενα με τις υπομικροσκοπικές αλληλεπιδράσεις, διατηρώντας εναλλακτικές αντιλήψεις ακόμα και μετά από χρόνια σπουδών. (Rahayu et al., 2021)

Επιπλέον, οι περιορισμένοι πόροι, ο μειωμένος διδακτικός χρόνος και η υψηλή πολυπλοκότητα των σύγχρονων ερευνητικών οργάνων αναγκάζουν πολλά εκπαιδευτικά ιδρύματα να παραμελούν την πρακτική εξάσκηση, γεγονός που διευρύνει περαιτέρω το χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης. (Zhang et al., 2026)

Η μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στο σχολείο δεν είναι «μετάφραση», αλλά ένας παιδαγωγικός μετασχηματισμός. Ο εκπαιδευτικός μετατρέπει την ακαδημαϊκή έρευνα σε εκπαιδευτικά μοντέλα και οπτικοποιήσεις, βοηθώντας τους μαθητές να συνδέσουν το ορατό πείραμα (μακροσκοπικό) με τον αόρατο κόσμο των σωματιδίων (υπομικροσκοπικό). (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Netchinda & Duangpummet, 2025, Zhang et al., 2026)

Η διαδικασία μετατροπής της ακαδημαϊκής επιστημονικής γνώσης σε διδακτέα σχολική ύλη αποτελεί έναν κρίσιμο μετασχηματισμό που απαιτεί την ενεργή συμμετοχή του εκπαιδευτικού ως «αναστοχαζόμενου επαγγελματία». Ο εκπαιδευτικός δεν είναι απλός αναμεταδότης, αλλά συνδιαμορφωτής του προγράμματος σπουδών, φιλτράροντας την επιστημονική γνώση μέσα από τις προσωπικές του παιδαγωγικές πεποιθήσεις, τις νόρμες του σχολικού συστήματος και τις συγκεκριμένες ανάγκες της τάξης του. (Βασίλειος Δ. Οικονομίδης, 2011)

Μια κεντρική πτυχή αυτής της μεταφοράς είναι η δημιουργία «εκπαιδευτικών μοντέλων» (educational models). Τα μοντέλα αυτά είναι απλουστευμένες εκδοχές των πολύπλοκων επιστημονικών μοντέλων, προσαρμοσμένες στο γνωστικό επίπεδο των μαθητών. Λειτουργούν ως επεξηγηματικά εργαλεία που βοηθούν τους μαθητές να προσεγγίσουν αφηρημένες έννοιες και γι' αυτό θα πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά ώστε να μην προκαλούν νέες παρανοήσεις (π.χ. η θεώρηση των ατόμων ως απλές «σφαίρες») (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Zhang et al., 2026)

Στη διδακτική των φυσικών επιστημών και ειδικότερα της Χημείας, η μεταφορά της γνώσης οργανώνεται γύρω από τρία αλληλένδετα επίπεδα το μακροσκοπικό (ορατά φαινόμενα), το υπομικροσκοπικό (σωματίδια/άτομα) και το συμβολικό επίπεδο (χημικές εξισώσεις και σύμβολα. Η πρόκληση για το σχολικό υλικό είναι να βοηθήσει τον μαθητή να συνδέσει αυτά τα τρία επίπεδα, τα οποία στην ακαδημαϊκή έρευνα είναι συχνά αυτονόητα συνδεδεμένα αλλά στη σχολική πράξη εμφανίζονται αποσπασματικά. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Netchinda & Duangpummet, 2025, Zhang et al., 2026) Στο μακροσκοπικό επίπεδο, τα ορατά φαινόμενα παρατηρούνται στο εργαστήριο, στο υπομικροσκοπικό, η κίνηση και η δομή των σωματιδίων (άτομα, ιόντα, ηλεκτρόνια), η οποία είναι αόρατη και συχνά δύσκολη στη σύλληψη για τους μαθητές και το συμβολικό: Η χρήση χημικών τύπων, εξισώσεων και

μαθηματικών συμβόλων για την περιγραφή των δύο παραπάνω επιπέδων. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι ενώ για έναν επιστήμονα αυτά τα επίπεδα είναι αυτονόητα συνδεδεμένα, για έναν μαθητή η γνώση αυτή παραμένει συχνά αποσπασματική, γι' αυτό και το σχολικό υλικό πρέπει να δρα ως γέφυρα μεταξύ τους. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Netchinda & Duangprummet, 2025, Kadioğlu & Özyalçın Oskay, 2025, Dorsah & Yaayin, 2019)

Η επιστήμη σήμερα έχει προχωρήσει πέρα από τη μελέτη των φαινομένων που απλώς βλέπουμε με το μάτι (μακροσκοπικό επίπεδο) και εστιάζει στον αόρατο κόσμο των μικροσκοπικών σωματιδίων, όπως τα άτομα και τα μόρια. Αυτή η γνώση είναι δύσκολο να μεταφερθεί στα σχολεία κυρίως γιατί οι έννοιες είναι πολύ «αφηρημένες» και δύσκολες στη σύλληψη για τους μαθητές, ενώ ταυτόχρονα τα επιστημονικά μηχανήματα που απαιτούνται είναι εξαιρετικά περίπλοκα και ακριβά για να υπάρχουν σε μια τυπική σχολική τάξη. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει ένα κενό στη διδασκαλία, καθώς το σχολικό υλικό συχνά μένει σε παλιότερες θεωρίες, δυσκολεύοντας τους μαθητές να δουν πώς η θεωρία συνδέεται με τη σύγχρονη επιστημονική πραγματικότητα (Zhang et al., 2026)

Για να μεταφερθεί αυτή η γνώση στο σχολείο χωρίς να προκληθεί γνωστική επιβάρυνση στους μαθητές, όταν οι εκπαιδευτικοί σχεδιάζουν το εκπαιδευτικό υλικό, θα πρέπει να το οργανώσουν με τρόπο τέτοιο, έτσι ώστε οι μαθητές να μην «μπλοκάρουν» από υπερβολικές ή άχρηστες πληροφορίες που αποσπούν την προσοχή τους από την ουσία του μαθήματος. Κάτι τέτοιο είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τη χρήση της μεθόδου που ονομάζεται «αρχή της τμηματοποίησης», δηλαδή με το διαχωρισμό των πολύπλοκων επιστημονικών εννοιών σε μικρότερα, απλά και διαδοχικά κομμάτια. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η πνευματική κούραση (γνωστικό φορτίο) και οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν και να συγκρατήσουν τη νέα γνώση πολύ πιο εύκολα, χτίζοντάς την βήμα-βήμα. (Zhang et al., 2026)

Εν κατακλείδι, η βιβλιογραφία αναδεικνύει ότι η επιτυχημένη μεταφορά της επιστημονικής γνώσης απαιτεί τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρίας και πράξης, μετατρέποντας τις αφηρημένες ακαδημαϊκές έννοιες σε απτές και κατανοητές βιωματικές εμπειρίες για τους μαθητές. (Βασίλειος Δ. Οικονομίδης, 2011)

Στο πλαίσιο αυτό, η υιοθέτηση της προσέγγισης STEM παρουσιάζεται ως μια καινοτόμος λύση για την αποτελεσματική μεταφορά της επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική πράξη, καθώς συνδυάζοντας τουλάχιστον δύο πεδία από τις Φυσικές Επιστήμες, την Τεχνολογία, τη Μηχανική και τα Μαθηματικά σε ένα ενιαίο μάθημα, η μέθοδος αυτή βοηθά στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ θεωρητικών εννοιών και πρακτικών εφαρμογών. Με την εστίαση στην επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου, η

εκπαίδευση STEM μετατρέπει τη μάθηση σε μια ολοκληρωμένη και βιωματική διαδικασία που καλλιεργεί τη διεπιστημονική σκέψη και προετοιμάζει τους μαθητές για τις προκλήσεις της σύγχρονης εποχής. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση κάνει το μάθημα πιο ελκυστικό και βοηθά τους μαθητές να συνδέσουν τη θεωρητική γνώση με την πραγματικότητα, κάτι που θα εξεταστεί αναλυτικά στην επόμενη υποενότητα. (Carla et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024)

2.2.2 Η Προσέγγιση STEM: Η αξιοποίηση του STEM στη διδακτική των φυσικών επιστημών και η διαθεματική σύνδεση Φυσικής-Χημείας

Η προσέγγιση STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) αποτελεί ένα ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό μοντέλο που συνδυάζει τουλάχιστον δύο από τα σχετικά πεδία σε ένα κοινό μάθημα, συνδέοντας το περιεχόμενο με προβλήματα του πραγματικού κόσμου. (Carla et al., 2025) Η αξιοποίησή της στη διδακτική των φυσικών επιστημών στοχεύει στην καλλιέργεια της διαθεματικής σκέψης, της δημιουργικότητας και της ικανότητας επίλυσης σύνθετων προβλημάτων. (Carla et al., 2025, Rahmawati et al., 2022)

Μια αποτελεσματική προσέγγιση STEM βασίζεται σε τρεις βασικούς άξονες, οι οποίοι είναι η επιστημονική, η ψυχολογική και η διδακτική διάσταση. Πιο συγκεκριμένα, η επιστημονική διάσταση εστιάζει στην αντιμετώπιση εμπειρικών προβλημάτων της καθημερινότητας που απαιτούν επιστημονικές εξηγήσεις, αξιοποιώντας κοινές μεθοδολογίες επίλυσης προβλημάτων. (Carla et al., 2025) Η ψυχολογική διάσταση δίνει έμφαση στη δημιουργία ουσιαστικών μαθησιακών εμπειριών μέσω της σύνδεσης της προϋπάρχουσας γνώσης με νέες έννοιες και αναπαραστάσεις, (Carla et al., 2025) και η διδακτική διάσταση υποστηρίζει τη μάθηση μέσω στρατηγικών όπως η διερευνητική μάθηση, η πειραματική μέθοδος και η προσέγγιση κοινωνικο-επιστημονικών θεμάτων, βοηθώντας στην αντιμετώπιση παρανοήσεων. (Carla et al., 2025, Rahmawati et al., 2022)

Διαθεματική Σύνδεση Φυσικής και Χημείας

Η σύνδεση της Φυσικής με τη Χημεία είναι συχνά περιορισμένη στην παραδοσιακή εκπαίδευση, όπου οι δύο κλάδοι αντιμετωπίζονται ως «στεγανά», οδηγώντας σε κενά κατανόησης και παρανοήσεις. (Verma & Chopra, 2017) Η Ηλεκτροχημεία αποτελεί προνομιακό πεδίο για τη διαθεματική αυτή σύνδεση, καθώς γεφυρώνει τη χημική με την ηλεκτρική ενέργεια. (Adbo & Akesson-Nilsson, 2026, Dorsah & Yaayin, 2019, (Verma & Chopra, 2017)

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, συνδυάζονται τα παιδιά της Επιστήμης (Φυσική/Χημεία), αφού απαιτείται η κατανόηση των εννοιών της οξειδοαναγωγής, των ηλεκτρολυτικών διαλυμάτων και της ροής των

ηλεκτρονίων. (Morales et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024), της τεχνολογίας, μέσω χρήσης ψηφιακών εργαλείων, αισθητήρων (π.χ. Arduino) και λογισμικού για τη λήψη και ανάλυση δεδομένων, (Carla et al., 2025, Zhang et al., 2026) της μηχανικής, μέσω σχεδιασμού και κατασκευής συσκευών, όπως ηλεκτρολυτικές κυψέλες ή μπαταριών από φρούτα, όπου απαιτείται ο σχεδιασμός ηλεκτρικών κυκλωμάτων (σειριακών ή παράλληλων), (Marsalek et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024) και των Μαθηματικών, όπου απαιτείται ο υπολογισμός της έντασης του ρεύματος, των στοιχειομετρικών αναλογιών και της ποσότητας των μετάλλων που απαιτούνται για επικαλύψεις. (Carla et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024)

Διδακτικές Στρατηγικές και Τεχνολογία

Η ενότητα που ακολουθεί διερευνά τις επιστημολογικές και διδακτικές διαστάσεις του STEM, εστιάζοντας στην αξιοποίηση ενεργητικών μεθοδολογιών και σύγχρονων τεχνολογιών για τη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων στο Λύκειο.

STEM και διδασκαλία ηλεκτροχημείας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Η μελέτη των Setiawan et al., (2026) ανέλυσε την εφαρμογή του μοντέλου (Project Based Learning-STEM) PjBL-STEM (Μάθηση βάσει Έργου με STEM) στην ηλεκτροχημεία σε 228 μαθητές β λυκείου σε διάφορα δημόσια σχολεία, οι οποίοι χωρίστηκαν σε πειραματικές ομάδες (μοντέλο PjBL-STEM) και ομάδες ελέγχου (συμβατική διδασκαλία), αποδεικνύοντας ότι η προσέγγιση STEM βελτιώνει σημαντικά τα μαθησιακά αποτελέσματα και καλλιεργεί δεξιότητες ανώτερης τάξης (HOTS). Ακόμα, οι ερευνητές παρατήρησαν ότι οι μαθητές μετακινήθηκαν από την παθητική στην ενεργητική μάθηση, αναλαμβάνοντας κυρίαρχο ρόλο στη διαδικασία, ενώ ο εκπαιδευτικός λειτούργησε ως διευκολυντής. Οι μαθητές δήλωσαν πολύ ικανοποιημένοι βρίσκοντας τη μαθησιακή ατμόσφαιρα ενδιαφέρουσα, προκλητική και ευχάριστη, καθώς μπόρεσαν να συνδέσουν τη θεωρία με πραγματικές εφαρμογές της καθημερινότητας. Δημιουργήθηκαν καινοτόμες μαθησιακές πηγές (σε μορφή flipbook) για την Ηλεκτροχημεία, που περιλάμβαναν ενότητες για την οξειδοαναγωγή, τα γαλβανικά στοιχεία, τη διάβρωση, την ηλεκτρόλυση και τους νόμους του Faraday.

Η μελέτη των Marsálek et al., (2025) παρουσιάζει τον σχεδιασμό, την τρισδιάστατη εκτύπωση και την πειραματική επικύρωση μιας χαμηλού κόστους ηλεκτρολυτικής συσκευής, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη διδασκαλία της χημείας σε μαθητές λυκείου 16-18 ετών. Η προσέγγιση STEM ενσωματώθηκε πλήρως στην εκπαιδευτική διαδικασία συνδυάζοντας τα πεδία της Μηχανικής, αφού ο σχεδιασμός της συσκευής έγινε σε περιβάλλον SolidWorks, ενώ για την παραγωγή της χρησιμοποιήθηκε τεχνολογία τρισδιάστατης

εκτύπωσης FDM με χρήση νήματος PLA, και της Επιστήμης, αφού επέτρεψε τη μελέτη ηλεκτροχημικών φαινομένων και οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, καθώς και Μαθηματικών, αφού εφαρμόστηκαν οι νόμοι του Faraday για τον υπολογισμό της θεωρητικής μάζας των προϊόντων της ηλεκτρόλυσης. Η μελέτη έδειξε ότι η χρήση της συσκευής ενίσχυσε την ενεργό συμμετοχή και το ενδιαφέρον των μαθητών, προσφέροντας μια αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική λύση με κόστος κατασκευής μόλις 15 USD, τιμή σημαντικά χαμηλότερη από τις αντίστοιχες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά. Παρά τους τεχνικούς περιορισμούς, όπως η ανάγκη για προσεκτική στεγανοποίηση και η περιορισμένη χημική αντοχή του PLA σε ισχυρά αντιδραστήρια, η μελέτη συμπεραίνει ότι η ενσωμάτωση της 3D εκτύπωσης στην εκπαίδευση διευκολύνει την κατανόηση αφηρημένων επιστημονικών εννοιών μέσω της πρακτικής και διεπιστημονικής μάθησης.

Η μελέτη των Adbo & Akesson-Nilsson et al., (2026), διερεύνησε την επίδραση της χρήσης φυσικών μοντέλων από πηλό στην κατανόηση των εννοιών των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και της μεταφοράς ηλεκτρονίων, με στόχο τη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ του συμβολικού και του σωματιδιακού επιπέδου της χημείας, σε 41 Σουηδών μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι φοιτούσαν στο δεύτερο έτος του προγράμματος φυσικών επιστημών και είχαν ολοκληρώσει περίπου το μισό του δεύτερου μαθήματος χημείας τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ομάδα που χρησιμοποίησε τα μοντέλα πηλού (Ομάδα Α) είχε υψηλότερες επιδόσεις σε εργασίες που αφορούσαν την αντικατάσταση μετάλλων και τον προσδιορισμό του αριθμού των μεταφερόμενων ηλεκτρονίων σε σύνθετες αντιδράσεις, παρουσιάζοντας παράλληλα λιγότερες παρερμηνείες, συγχύσεις στην ορολογία και λανθασμένες αντιλήψεις σε σχέση με την Ομάδα Β, που διδάχθηκε ηλεκτροχημεία αποκλειστικά με συμβολικές αναπαραστάσεις. Ωστόσο, η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, αν και η φυσική μοντελοποίηση ενισχύει την οπτικοποίηση της μεταφοράς φορτίου, δεν αρκεί από μόνη της για την πλήρη κατανόηση των υποκείμενων μηχανισμών.

Η μελέτη των Irwanto et al. (2026) διερεύνησε την επίδραση της εμβυθιστικής εικονικής πραγματικότητας (Immersive Virtual Reality) στη διάθεση για σχεδιαστική σκέψη (design thinking disposition) και την ακαδημαϊκή επίδοση 72 μαθητών λυκείου στο πεδίο της ηλεκτροχημείας. Η πειραματική ομάδα χρησιμοποίησε τεχνολογία VR για τη διδασκαλία της ηλεκτροχημείας, ενώ η ομάδα ελέγχου τη διδάχθηκε μέσω παρουσιάσεων PowerPoint και βίντεο. Η έρευνα ανέδειξε τη σύνδεση της ηλεκτροχημείας με την προσέγγιση STEM, καθοδηγώντας τους μαθητές στα στάδια της σχεδιαστικής σκέψης (ενσυναίσθηση, ορισμός, ιδεασμός, πρωτοτυποποίηση, έλεγχος) για την επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου, όπως ο σχεδιασμός μιας μπαταρίας από φρούτα. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η χρήση του

IVR ήταν σημαντικά πιο αποτελεσματική στην ενίσχυση τόσο της σχεδιαστικής σκέψης όσο και των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους. Επιπλέον, διαπιστώθηκε μια στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της διάθεσης για σχεδιαστική σκέψη και της ακαδημαϊκής επιτυχίας, αφού διευκολύνθηκε η οπτικοποίηση αφηρημένων χημικών εννοιών και ενισχύθηκε η ενεργός συμμετοχή των μαθητών.

Η μελέτη των Zemene et al. (2025) διερεύνησε την επίδραση της μεθόδου Καθοδηγούμενης Διερευνητικής Μάθησης Προσανατολισμένη στη Διαδικασία (POGIL-Process Oriented Guided Inquiry Learning) στην κατανόηση εννοιών της ηλεκτροχημείας από μαθητές λυκείου στην Αιθιοπία. Συγκρίθηκε μια πειραματική ομάδα που διδάχθηκε με τη μέθοδο POGIL με μια ομάδα ελέγχου που ακολούθησε την παραδοσιακή μέθοδο της διάλεξης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος POGIL οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερες ακαδημαϊκές επιδόσεις, με τους μαθητές να κατανοούν καλύτερα σύνθετα φαινόμενα, όπως οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, η λειτουργία της γέφυρας άλατος και η ηλεκτρόλυση. Εκτός από τη βελτίωση των βαθμολογιών, η μελέτη έδειξε πως οι μαθητές ανέπτυξαν μια θετική στάση ως προς στο μάθημα, ενίσχυσαν την αυτοπεποίθησή τους και βελτίωσαν τις επικοινωνιακές και τις συνεργατικές τους δεξιότητες αν και σαν περιορισμός εντοπίστηκε ότι υπήρχε περιορισμός χρόνου.

Η μελέτη των Odun-Ayo & Van Devender, (2024) διερευνά τη χρήση βιωματικών πειραμάτων STEM ως μέσο για την αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος των μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης για τον τομέα της Ηλεκτρολογίας. Η σύνδεση της προσέγγισης STEM με την ηλεκτροχημεία αποτελεί τη βάση της μεθοδολογίας, καθώς το πρώτο από τα έξι πειράματα αφορά την κατασκευή μιας μπαταρίας χρησιμοποιώντας νομίσματα (χαλκός και ψευδάργυρος) και τσόχα εμβαπτισμένη σε διάλυμα αλατόνερου (ηλεκτρολύτης). Έτσι, οι μαθητές κατανόησαν τη χημική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη ροή ηλεκτρονίων, που αποτελούν βασικές έννοιες για τον ηλεκτρομαγνητισμό και τη λειτουργία των κινητήρων. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η προσέγγιση αυτή είχε υψηλή αποτελεσματικότητα, καθώς μετά τη συμμετοχή τους, το ποσοστό των μαθητών που εξέφρασαν την επιθυμία να ακολουθήσουν το επάγγελμα του μηχανικού αυξήθηκε από 28,3% σε 51,67% και το 86,7% των μαθητών δήλωσε ότι τα πειράματα βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση των αρχών του ηλεκτρισμού, επιβεβαιώνοντας ότι η πρακτική ενασχόληση μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την επιστημονική γνώση και τον επαγγελματικό προσανατολισμό προς τους τομείς STEM.

Η συστηματική ανασκόπηση των Koulougliotis et al., (2024) διερεύνησε την εφαρμογή ποικίλων μαθητοκεντρικών προσεγγίσεων STEM σε μαθητές λυκείου, με επικρατέστερες τη μάθηση μέσω διερεύνησης (inquiry-based), τη βιωματική μάθηση (hands-on), τη μάθηση βάσει προβλήματος (problem-

based), τη μάθηση βάσει πλαισίου (context-based) και τη χρήση κοινωνικο-επιστημονικών ζητημάτων (SSI). Οι προσεγγίσεις αυτές, εφαρμόστηκαν σε αντικείμενα όπως η ηλεκτροχημεία (π.χ. κυψέλες καυσίμου, βιοκαύσιμα και ηλεκτρολυτική ανακύκλωση μετάλλων), και φάνηκε πως προάγουν δεξιότητες που σχετίζονται με την αειφορία, όπως η συστημική και κριτική σκέψη, η επίλυση προβλημάτων, η ικανότητα δράσης και η συνεργασία. Τα ευρήματα των μελετών έδειξαν ότι οι παρεμβάσεις αυτές ενισχύουν σημαντικά τόσο τον γνωστικό τομέα, αφού βελτιώνουν την κατανόηση δυσνόητων εννοιών και μειώνουν τις παρανοήσεις, όσο και τον συναισθηματικό τομέα των μαθητών. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε αυξημένο ενδιαφέρον, βελτίωση της στάσης απέναντι στη χημεία και ενίσχυση των κινήτρων των μαθητών για την επιδίωξη μιας μελλοντικής επαγγελματικής σταδιοδρομίας σε πεδία STEM. Συνολικά, οι προσεγγίσεις αυτές ενσωματώνουν σε ικανοποιητικό βαθμό την περιβαλλοντική διάσταση στη διδασκαλία, βοηθώντας τους μαθητές να εξελιχθούν σε υπεύθυνους και ευαισθητοποιημένους πολίτες.

STEM και βιομηχανικό πλαίσιο και βιωσιμότητα

Η μελέτη των De Brito de Souza Canali et al., (2024), που πραγματοποιήθηκε σε 82 μαθητές τρίτης λυκείου σε δημόσιο σχολείο της Βραζιλίας, έδειξε πως η σύνδεση της ηλεκτροχημείας με το πλαίσιο STEM/STS προάγει τη διεπιστημονική μάθηση, γεφυρώνοντας θεωρητικές έννοιες όπως οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τεχνολογικές εφαρμογές και κρίσιμα κοινωνικο-περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως η διαχείριση ηλεκτρονικών αποβλήτων και οι κυψέλες καυσίμου. Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαίωσαν ότι η μεθοδολογία PS (Problem Solving) ενισχύει τη μαθησιακή διαδικασία, καθώς η πλειονότητα των συμμετεχόντων κατάφερε να συσχετίσει επιτυχώς το χημικό περιεχόμενο με πραγματικά σενάρια, αναπτύσσοντας παράλληλα κριτική σκέψη και κοινωνική επίγνωση σχετικά με την προγραμματισμένη απαξίωση και την υπεύθυνη απόρριψη συσκευών. Επιπλέον, φάνηκε πως οι μαθητές ενθαρρύνθηκαν να είναι πιο δημιουργοί αλλά και να συμμετέχουν ενεργά σε μεγαλύτερο βαθμό.

Η μελέτη των Rahmawati et al., (2022) διερεύνησε την αποτελεσματικότητα του Εκπαιδευτικού Μοντέλου STEAM Ηθικών Διλημάτων (Ethical Dilemma STEAM Teaching Model), σε 155 μαθητές από τέσσερα λύκεια της Τζακάρτα στην Ινδονησία. Η προσέγγιση STEAM συνδέθηκε άμεσα με την ηλεκτροχημεία μέσω της διδασκαλίας των αντιδράσεων οξειδωσης-αναγωγής (redox), όπου οι μαθητές μελέτησαν τις χημικές αλλαγές που προκαλούνται από την οξείδωση του μαγειρικού λαδιού και κλήθηκαν να επιλύσουν ηθικά και περιβαλλοντικά διλήμματα μέσω της δημιουργίας αρωματικών κεριών και σαπουνιού. Η έρευνα κατέδειξε ότι η ενσωμάτωση ηθικών ιστοριών σε projects STEAM ενίσχυσε τη βαθιά κατανόηση των

χημικών εννοιών, ενώ παράλληλα προήγαγε την κριτική κοινωνική σκέψη, τη συνεργατική λήψη αποφάσεων και την περιβαλλοντική συνείδηση των μαθητών.

STEAM

Η μελέτη των O'Donoghue et al., (2024) παρουσιάζει την ανάπτυξη και την αξιολόγηση μιας εκπαιδευτικής δραστηριότητας στον τομέα της ηλεκτροχημείας, η οποία εφάρμοσε την προσέγγιση STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, and Maths) σε συμμετέχοντες με ευρύ φάσμα ηλικιών (παιδιά 5-18 ετών, κηδεμόνες, γονείς, ενήλικες) για την ενίσχυση του ενδιαφέροντος του κοινού και την αποδόμηση στερεοτύπων για τη χημεία. Η δραστηριότητα περιλάμβανε την κατασκευή μια απλή μπαταρία από καθημερινά υλικά, όπως αλουμινόχαρτο και κέρματα, με τη χρήση της πλαστελίνης ως ηλεκτρολύτη. Πραγματοποιήθηκε σε σχολικά εργαστήρια με μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και στη συνέχεια μεταφέρθηκε σε δημόσιους χώρους, όπως φεστιβάλ επιστήμης, εκθέσεις τροφίμων και καλλιτεχνικά γεγονότα και αντιμετωπίστηκε με εξαιρετική αποδοχή, με συνολικό ποσοστό ικανοποίησης 93%. Διαπιστώθηκε ότι η επιστημονική ενασχόληση σε μη τυπικά περιβάλλοντα και υπαίθριες εκδηλώσεις μικτού θεματικού περιεχομένου βοηθά σημαντικά στην κατάρριψη στερεοτύπων για την επιστήμη. Επιπλέον, υπήρχαν οφέλη και για τους ίδιους τους ερευνητές, των οποίων η συμμετοχή συνέβαλε στην αναζωπύρωση του ενθουσιασμού για το αντικείμενό τους αλλά και στην ανάπτυξη ηγετικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων.

STEMC

Η μελέτη των Azhari et al., (2023), αφορά την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός εκπαιδευτικού προγράμματος βασισμένου στην προσέγγιση STEMC (Science, Technology, Engineering, Mathematics, Character) και το μοντέλο διερευνητικής μάθησης ISLE (Investigative Science Learning Environment), με στόχο τη διδασκαλία θεμάτων ηλεκτροχημείας και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία εφαρμόστηκε σε μαθητές της 10ης τάξης (15-16 ετών) της επαγγελματικής σχολής SMK-SMTI Banda Aceh, στην Ινδονησία, με σκοπό την ενίσχυση των δεξιοτήτων που χρειάζονται τον 21^ο αιώνα και τη σύνδεση της επαγγελματικής εκπαίδευσης με τις σύγχρονες βιομηχανικές ανάγκες. Μέσω πειραματικών διαδικασιών που αφορούσαν το ηλεκτρικό ρεύμα, την ηλεκτρόλυση και τις κυψέλες καυσίμου, οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να παρατηρούν φαινόμενα, να σχεδιάζουν δικά τους πειράματα και να συνεργάζονται για την επίλυση προβλημάτων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μελέτη κατάφερε να βελτιώσει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών μέσω του συνδυασμού θεωρίας και πρακτικής, ενώ παράλληλα

καλλιέργησε χαρακτηριστικά στους μαθητές όπως η επιμονή και η ειλικρίνεια, με τους μαθητές να δηλώνουν ιδιαίτερα ικανοποιημένοι και παρακινημένοι από τη συγκεκριμένη εκπαιδευτική προσέγγιση.

STEM και εκπαιδευτικοί

Η επιτυχής εφαρμογή της προσέγγισης STEM στην εκπαιδευτική διαδικασία εξαρτάται άμεσα και από την κατάλληλη προετοιμασία των μελλοντικών εκπαιδευτικών αλλά και από την αποδοχή των νέων διδακτικών μοντέλων από τους ήδη υπάρχοντες εκπαιδευτικούς, καθώς η γνωστική επάρκεια και η θετική αντιμετώπιση τους αποτελούν προϋπόθεση για την επίτευξη ουσιαστικής μάθησης. Στο πλαίσιο αυτό, η βιβλιογραφία εξετάζει τόσο τη διαδικασία εξοικείωσης των μελλοντικών εκπαιδευτικών με πρακτικές δραστηριότητες STEM όσο και τις αντιλήψεις των ήδη υπαρχόντων καθηγητών σχετικά με τη διαθεματική σύνδεση των φυσικών επιστημών, με τις μελέτες των Karabulut et al. (2024) και Nur Fitriyana et al. (2024), αντίστοιχα, να προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση από την πλευρά των εκπαιδευτικών.

Πιο συγκεκριμένα στη μελέτη των Karabulut et al., (2024) που πραγματοποιήθηκε σε 14 τριτοετείς υποψήφιους εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών, με θέμα την εφαρμογή εργαστηριακών μαθημάτων ηλεκτροχημείας μέσω εξ αποστάσεως εκπαίδευσης κατά τη διάρκεια της πανδημίας, έδειξε πως η ενσωμάτωση της προσέγγισης STEM στην εργαστηριακή εκπαίδευση λειτούργησε ως μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους, ενισχύοντας την ανακαλυπτική μάθηση, την ανάπτυξη δεξιοτήτων έρευνας και τη δημιουργικότητα των φοιτητών, οι οποίοι αξιολόγησαν τη διαδικασία ως ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα και ευχάριστη. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να σχεδιάσουν πειράματα ηλεκτροχημείας χρησιμοποιώντας υλικά που μπορούσαν να βρουν εύκολα στο σπίτι τους, καθώς η πρόσβαση στα πανεπιστημιακά εργαστήρια ήταν αδύνατη.

Στη μελέτη των Nur Fitriyana et al., (2024), διερευνήθηκαν οι αντιλήψεις 131 εκπαιδευτικών χημείας δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Ινδονησία σχετικά με την ενσωμάτωση της προσέγγισης STEM στη διδασκαλία τους. Τα ευρήματα κατέδειξαν ότι οι εκπαιδευτικοί διαθέτουν θετική στάση και αναγνωρίζουν τα οφέλη της προσέγγισης STEM στην ανάπτυξη δεξιοτήτων του 21^{ου} αιώνα και στη σύνδεση της χημείας με καθημερινά προβλήματα, με την ενότητα της ηλεκτροχημείας να θεωρείται η πλέον κατάλληλη για τέτοιες εφαρμογές, αφού αποτελεί ένα αντικείμενο όπου η κατανόηση της θεωρίας είναι εξαιρετικά δύσκολη χωρίς την ενεργό συμμετοχή των μαθητών. Ωστόσο, διαπιστώθηκε σημαντικό χάσμα μεταξύ θεωρίας και πράξης, καθώς η πλειονότητα των συμμετεχόντων καθηγητών δήλωσε περιορισμένη εμπειρία στην εφαρμογή της προσέγγισης STEM στην τάξη, αναφέροντας ως κύριους

περιορισμούς τον περιορισμένο διδακτικό χρόνο, την έλλειψη υποδομών και την ανάγκη για περαιτέρω εξειδίκευση. Συμπερασματικά, η μελέτη καταλήγει πως καθίσταται αναγκαίο να αναπτυχθούν προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης και επιμόρφωσης που θα ενισχύσουν την ετοιμότητα των εκπαιδευτικών για μια επιτυχή και ουσιαστική ενσωμάτωση της προσέγγισης STEM στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Αξιολόγηση κατανόησης μαθητών

Στην έρευνά τους, οι Netchinda & Duangprummet (2025) ανέπτυξαν ένα εργαλείο αξιολόγησης βασισμένο στο μοντέλο Rasch για την εκτίμηση της κατανόησης 293 μαθητών λυκείου σχετικά με τα γαλβανικά στοιχεία, εστιάζοντας στα τρία επίπεδα χημικής αναπαράστασης, το μακροσκοπικό, το υπομικροσκοπικό και το συμβολικό και στα 3 επίπεδα κατανόησης (θυμάμαι, κατανοώ, εφαρμόζω και αναλύω). Φάνηκε πως το μοντέλο αυτό επιτρέπει την ακριβή διάγνωση της μαθητικής κατανόησης, αναδεικνύοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για περαιτέρω βελτίωση των διδακτικών εργαλείων ώστε να καλύπτουν όλο το φάσμα της πολυπλοκότητας της ηλεκτροχημείας.

Στη μελέτη των Reeves et al., (2021), διερευνήθηκε το αν βελτιώθηκαν τα μαθησιακά αποτελέσματα των προπτυχιακών φοιτητών χημείας μέσω της χρήσης εικονικής πραγματικότητας εργαστηρίων (VR Labs). Η έρευνα αποκάλυψε ότι οι εμπειρίες των φοιτητών ταξινομούνται σε τέσσερις ποιοτικά διαφορετικές κατηγορίες, την παρεμπόδιση της μάθησης λόγω της τεχνικής πολυπλοκότητας και των κουραστικών διαδικασιών σε ασκήσεις που εστιάζουν σε δεξιότητες (όπως η χρήση σιφωνίου), την επίδραση της προϋπάρχουσας γνώσης, όπου οι φοιτητές με περιορισμένο υπόβαθρο ένιωθαν «γνωστική επιβάρυνση», καθώς έπρεπε να μάθουν ταυτόχρονα και τον χειρισμό της τεχνολογίας και το χημικό περιεχόμενο, την οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών (π.χ. κίνηση ηλεκτρονίων) με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανόηση αφηρημένων εννοιών και την άρση των μαθησιακών εμποδίων, καθώς το εικονικό περιβάλλον λειτούργησε ως ένας «ασφαλής χώρος» που απομάκρυνε την πίεση του χρόνου και τον φόβο της αποτυχίας.

Οφέλη για τους Μαθητές

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η ενσωμάτωση της προσέγγισης STEM στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών φαίνεται πως αυξάνει το ενδιαφέρον και το κίνητρο των μαθητών για μάθηση, καθιστώντας το μάθημα λιγότερο μονότονο, αφού απαιτεί την ενεργό συμμετοχή τους. (Rahmawati et al., 2022, Nur Fitriyana et al., 2024, Karabulut et al., 2024) Ακόμα, προετοιμάζει τους μαθητές για τις απαιτήσεις του πραγματικού κόσμου και τους βοηθά στην επιλογή καριέρας σε επιστημονικούς τομείς. (Carla et al., 2025,

O'Donoghue et al., 2023, Rahmawati et al., 2022) Επιπροσθέτως, φαίνεται να προωθεί την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση στους μαθητές, ιδιαίτερα όταν συνδέεται με θέματα αειφορίας και ηθικών διλημάτων. (Rahmawati et al., 2022)

2.2.3 Ερευνητικό κενό και ερευνητικά ερωτήματα

Από τη μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφία φαίνεται πως η STEM προσέγγιση αποτελεί μία από τις πλέον αποτελεσματικές σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις, γιατί προάγει τη διερευνητική μάθηση, τη συνεργασία, την επίλυση προβλημάτων και τη σύνδεση γνώσεων από διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

Ειδικότερα, στον τομέα της Ηλεκτροχημείας, αρκετές μελέτες επισημαίνουν ότι οι μαθητές εμφανίζουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων, της σχέσης μεταξύ οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και του ρόλου της γέφυρας άλατος και της ροής ηλεκτρονίων, οι οποίες παραμένουν ακόμη και μετά τη διδασκαλία με συμβατικές μεθόδους.

Παρά τη σημαντική αύξηση των ερευνών σχετικά με την προσέγγιση STEM, ο αριθμός των μελετών που εξετάζει την εφαρμογή ολοκληρωμένων STEM διδακτικών παρεμβάσεων στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και συγκεκριμένα την κατανόηση της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου σε μαθητές Β λυκείου, παραμένει περιορισμένος.

Επιπλέον, στην ελληνική πραγματικότητα υπάρχει έλλειψη ερευνητικών δεδομένων που να συγκρίνουν την αποτελεσματικότητα μιας STEM διδακτικής παρέμβασης με τη συμβατική διδασκαλία, αξιοποιώντας τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά δεδομένα.

Έτσι, η παρούσα έρευνα επιχειρεί να καλύψει αυτό το ερευνητικό κενό, διερευνώντας την αποτελεσματικότητα μιας STEM διδακτικής παρέμβασης στη διδασκαλία των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και του τρόπου λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου σε μαθητές Β' Λυκείου, σε σύγκριση με τη συμβατική διδακτική προσέγγιση.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

1. Η εφαρμογή μιας STEM διδακτικής παρέμβασης συμβάλλει στη βελτίωση της κατανόησης των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και του τρόπου λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων, σε σύγκριση με τη συμβατική διδασκαλία;

2. Πώς επηρεάζει η STEM διδακτική παρέμβαση την ικανότητα των μαθητών να συνδέουν τις έννοιες της Χημείας (οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις) με τις έννοιες της Φυσικής (ηλεκτρικό ρεύμα, ηλεκτρική ενέργεια);
3. Πως αξιολογούν οι μαθητές την εμπειρία τους από τη συμμετοχή τους στη STEM διδακτική παρέμβαση ως προς την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου, τη συνεργασία, τη συμμετοχή και το ενδιαφέρον τους κατά τη μαθησιακή διαδικασία;
4. Σε ποιο βαθμό η συμμετοχή των μαθητών στη STEM διδακτική παρέμβαση επηρεάζει το ενδιαφέρον τους για μελλοντικές πανεπιστημιακές σπουδές ή επαγγέλματα που σχετίζονται με τις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία (STEM);

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Ερευνητική προσέγγιση και σχεδιασμός έρευνας

Ο σχεδιασμός της έρευνας βασίστηκε στα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που προηγήθηκε αλλά και στα κενά που εντοπίστηκαν. Η συγκεκριμένη έρευνα ακολουθεί οιονεί πειραματικό σχεδιασμό, με ομάδα ελέγχου και ομάδα παρέμβασης. Στην έρευνα συμμετείχαν τέσσερα τμήματα (B1, B2, B3, B4) της Β΄ Λυκείου, εκ των οποίων τα δύο τμήματα αποτελούσαν την ομάδα παρέμβασης (B1, B2), στην οποία εφαρμόστηκε η διδακτική προσέγγιση STEM, ενώ τα υπόλοιπα δύο τμήματα (B3, B4) αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου, στην οποία ακολουθήθηκε η συμβατική διδακτική προσέγγιση.

Σκοπός της μελέτης ήταν η ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση της STEM διδακτικής παρέμβασης ως προς την κατανόηση βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και του τρόπου λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων από μαθητές της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου.

Η αξιολόγηση της διδακτικής παρέμβασης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πολλαπλών εργαλείων συλλογής δεδομένων. Αρχικά, το προ-τεστ χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί το επίπεδο γνώσεων των δύο ομάδων, ενώ το μετα-τεστ χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της κατανόησης των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας μετά τη διδασκαλία και τη σύγκριση της επίδοσης της ομάδας παρέμβασης με την ομάδα ελέγχου. Επιπλέον, τα δύο φύλλα εργασίας χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση της πορείας της μάθησης και του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές προσέγγισαν τις δραστηριότητες, συνέδεσαν έννοιες της Χημείας και της Φυσικής και ερμήνευσαν τα πειραματικά αποτελέσματα. Τέλος, οι αντιλήψεις, οι στάσεις και οι εμπειρίες των μαθητών της ομάδας παρέμβασης σχετικά με τη STEM διδακτική παρέμβαση διερευνήθηκαν μέσω του ερωτηματολογίου αξιολόγησης.

3.2 Δείγμα και συμμετέχοντες στην έρευνα

Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από συνολικά 95 μαθητές της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου. Συνολικά συμμετείχαν τέσσερα τμήματα της Β΄ Λυκείου (B1, B2, B3, B4). Τα δύο τμήματα (B1, B2), με συνολικό αριθμό 47 μαθητές, αποτέλεσαν την ομάδα παρέμβασης, δηλαδή τα τμήματα στα οποία εφαρμόστηκε η προσέγγιση STEM και τα άλλα δύο τμήματα (B3, B4), με συνολικό αριθμό 48 μαθητές, αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου, δηλαδή τα τμήματα στα οποία εφαρμόστηκε ο συμβατικός τρόπος διδασκαλίας. Στον πίνακα 3.1 φαίνεται ο ακριβής αριθμός των μαθητών ανά τμήμα.

Πίνακας 3.1 Αριθμός μαθητών Β λυκείου ανά τμήμα.

Τμήματα β λυκείου	Αριθμός μαθητών
B1 (ομάδα παρέμβασης-STEM προσέγγιση)	24
B2 (ομάδα παρέμβασης-STEM προσέγγιση)	23
B3 (ομάδα ελέγχου-συμβατική προσέγγιση)	23
B4 (ομάδα ελέγχου-συμβατική προσέγγιση)	25

Η επιλογή της συγκεκριμένης τάξης Λυκείου πραγματοποιήθηκε καθώς οι μαθητές διαθέτουν τις απαραίτητες γνωστικές προϋποθέσεις για τη σύνδεση εννοιών της Φυσικής, της Χημείας και των Μαθηματικών. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς έχουν ήδη διδαχθεί βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική τάση και τα ηλεκτρικά κυκλώματα, γεγονός που διευκολύνει την κατανόηση των βασικών αρχών λειτουργίας των ηλεκτροχημικών στοιχείων.

3.3 Η διδακτική παρέμβαση με βάση την προσέγγιση STEM

3.3.1 Το Διδακτικό σενάριο

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας σχεδιάστηκε το διδακτικό σενάριο που βασίζεται στις αρχές της εκπαίδευσης STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), η οποία προωθεί τη διεπιστημονική προσέγγιση της γνώσης και τη σύνδεση της σχολικής μάθησης με προβλήματα και εφαρμογές της καθημερινής ζωής. Η προσέγγιση αυτή έχει ως στόχο την ενίσχυση της ενεργού συμμετοχής των μαθητών, την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων, τη συνεργατική μάθηση και την κριτική σκέψη.

Το διδακτικό σενάριο αναπτύχθηκε με σκοπό την προσέγγιση βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων μέσα από δραστηριότητες που συνδέουν τη θεωρητική γνώση με την πειραματική διερεύνηση.

Το διδακτικό σενάριο έχει διαθεματικό χαρακτήρα, αφού συνδέει έννοιες της Φυσικής, της Χημείας αλλά και βασικές γνώσεις Μαθηματικών. Από τη μία πλευρά αξιοποιήθηκαν γνώσεις σχετικές με τον ηλεκτρισμό και τις ηλεκτρικές μετρήσεις, ενώ από την άλλη εισήχθησαν βασικές έννοιες της

ηλεκτροχημείας, όπως οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, η μεταφορά ηλεκτρονίων και η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική στα γαλβανικά στοιχεία. Παράλληλα, οι μαθητές κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν μαθηματικές δεξιότητες για την επεξεργασία και ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων.

Ακόμα, αυτή η διδακτική προσέγγιση ακολουθεί τη λογική της διερευνητικής μάθησης, αφού οι μαθητές δεν λειτουργούν ως παθητικοί δέκτες πληροφοριών, αλλά συμμετέχουν ενεργά στη διαδικασία της μάθησης, αφού καλούνται να διατυπώσουν υποθέσεις, να πραγματοποιήσουν πειραματικές δοκιμές, να συλλέξουν δεδομένα και να εξάγουν συμπεράσματα. Δηλαδή, η μάθηση πραγματοποιείται μέσα από την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα πειραματικά υλικά, τα φύλλα εργασίας και τα προβλήματα που τίθενται προς επίλυση κατά τη διάρκεια της παρέμβασης.

Κεντρικό στοιχείο του σεναρίου αποτελεί η κατασκευή και η μελέτη της λειτουργίας διαφορετικών γαλβανικών στοιχείων από τους ίδιους τους μαθητές. Μέσα από τη διαδικασία αυτή επιδιώκεται η σύνδεση των θεωρητικών εννοιών με πραγματικές εφαρμογές της ηλεκτροχημείας, όπως π.χ οι μπαταρίες. Παράλληλα, επιδιώκεται η ανάδειξη της σημασίας των ηλεκτροχημικών διεργασιών σε σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές και η ενίσχυση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία.

Οι βασικοί μαθησιακοί στόχοι του διδακτικού σεναρίου δεν είναι μόνο οι μαθητές να αποκτήσουν βασικές εισαγωγικές γνώσεις ηλεκτροχημείας, αλλά να αναπτύξουν δεξιότητες, στάσεις και αξίες που θα τους χρησιμεύσουν έμπρακτα και στο μέλλον, συγκεκριμένα αναφέρονται στις επόμενες παραγράφους.

Όσον αφορά τους γνωστικούς στόχους του διδακτικού σεναρίου αυτοί είναι οι μαθητές να είναι σε θέση να αναγνωρίζουν ότι συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις είναι δυνατό να οδηγήσουν στη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, να είναι σε θέση να περιγράψουν με απλό τρόπο τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου, να αντιλαμβάνονται ότι η μεταφορά ηλεκτρονίων μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος, να μπορούν να αναγνωρίζουν εφαρμογές της ηλεκτροχημείας στην καθημερινή ζωή, όπως οι μπαταρίες κινητών τηλεφώνων και τα ηλεκτρικά οχήματα και να αναγνωρίζουν ότι η λειτουργία και η απόδοση ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου μπορεί να επηρεάζεται από παράγοντες, όπως τα υλικά των ηλεκτροδίων και οι συνθήκες λειτουργίας του.

Στη συνέχεια, θα πρέπει οι μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες όπως να συναρμολογούν ένα γαλβανικό στοιχείο ακολουθώντας οδηγίες, να χρησιμοποιούν βολτόμετρο για τη μέτρηση διαφοράς δυναμικού, να

καταγράφουν και να επεξεργάζονται πειραματικά δεδομένα, να συγκρίνουν μετρήσεις και να εξάγουν συμπεράσματα και να συνεργάζονται σε μικρές ομάδες για την επίλυση ενός προβλήματος.

Τέλος, επιδιώκεται η ενίσχυση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία, η αναγνώριση της σημασίας της συνεργασίας και της ομαδικής εργασίας, η καλλιέργεια υπεύθυνης συμπεριφοράς κατά τη διεξαγωγή πειραματικών δραστηριοτήτων, η σύνδεση της επιστημονικής γνώσης με εφαρμογές της καθημερινής ζωής και η διαμόρφωση θετικής στάσης απέναντι στη διερευνητική και βιωματική μάθηση.

3.3.2 Περιγραφή της διδακτικής παρέμβασης

Το διδακτικό σενάριο πραγματοποιήθηκε κατά το δεύτερο τετράμηνο του σχολικού έτους ως διαθεματική STEM παρέμβαση, αξιοποιώντας γνώσεις που είχαν ήδη αποκτήσει οι μαθητές της Β' λυκείου, στο μάθημα της Φυσικής, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική τάση και τα ηλεκτρικά κυκλώματα, αλλά και στο μάθημα της Χημείας, όπως οι χημικές αντιδράσεις και οι ιδιότητες των μετάλλων. Για το λόγο αυτό η παρέμβαση STEM σχεδιάστηκε να πραγματοποιηθεί μετά την ολοκλήρωση της ενότητας του ηλεκτρισμού στη Φυσική, ώστε οι μαθητές να διαθέτουν τις απαραίτητες γνώσεις για να είναι σε θέση να κατανοήσουν τη λειτουργία των γαλβανικών στοιχείων. Επιπλέον η συνεργασία με τον συνάδελφο εκπαιδευτικό που δίδασκε το μάθημα της Χημείας επέτρεψε το να έχουν πρόσφατα διδαχθεί οι μαθητές το κεφάλαιο της οξειδοαναγωγής.

Η παρέμβαση υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος Φυσικής Γενικής Παιδείας της Β' τάξης Γενικού Λυκείου και διήρκησε συνολικά τέσσερις διδακτικές ώρες. Για την ομάδα στην οποία εφαρμόστηκε η παρέμβαση STEM, οι δύο πρώτες ώρες πραγματοποιήθηκαν στην αίθουσα διδασκαλίας και αφορούσαν την ανάδειξη των ήδη υπαρχόντων γνώσεων των μαθητών, τη διατύπωση προβληματισμών και τη σύνδεση των εννοιών του ηλεκτρισμού με τις βασικές αρχές της ηλεκτροχημείας. Οι δύο επόμενες ώρες πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του Εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών και περιλάμβαναν βιωματικές και διερευνητικές δραστηριότητες, κατά τις οποίες οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες και κατασκεύασαν διαφορετικά γαλβανικά στοιχεία, πραγματοποίησαν μετρήσεις και κατέγραψαν τα πειραματικά τους δεδομένα.

1^η διδακτική ώρα

Σκοπός: διερεύνηση πρότερων γνώσεων μαθητών

Χώρος: αίθουσα διδασκαλίας

Διάρκεια: 45 λεπτά

Υλικά-Μέσα διδασκαλίας: πίνακας, ηλεκτρονικός υπολογιστής, βιντεοπροβολέας, προ-τεστ, φύλλα σημειώσεων

Δραστηριότητες:

Στην αρχή της 1^{ης} διδακτικής ώρας δόθηκε στους μαθητές ένα σύντομο προ-τεστ (pre-test) με σκοπό τη διερεύνηση των πρότερων γνώσεων των μαθητών σχετικά με τον ηλεκτρισμό και τις αντιλήψεις τους για τη λειτουργία των μπαταριών. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε καθοδηγούμενη συζήτηση στην τάξη, κατά την οποία οι μαθητές διατύπωσαν τις απόψεις και τους προβληματισμούς τους όσον αφορά την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας μιας μπαταρίας, το λόγο για τον οποίο οι μπαταρίες εξαντλούνται και τη πιθανή σύνδεση των χημικών αντιδράσεων με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Χρησιμοποιήθηκαν ο πίνακας της αίθουσας, ηλεκτρονικός υπολογιστής και βιντεοπροβολέας, μέσω των οποίων παρουσιάστηκαν εικόνες και σύντομα διαγράμματα σχετικά με τη λειτουργία ηλεκτρικών κυκλωμάτων και μπαταριών.

Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα:

Οι μαθητές αναμενόταν να είναι σε θέση να ανακαλούν βασικές έννοιες που αφορούν το ηλεκτρικό ρεύμα και τα ηλεκτρικά κυκλώματα, να μπορούν να περιγράψουν τον ρόλο της μπαταρίας σε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα, να εκφράζουν τις αρχικές τους αντιλήψεις σχετικά με την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας μιας μπαταρίας και είναι σε θέση να διατυπώνουν προβληματισμούς σχετικά με τη σχέση μεταξύ χημικών αντιδράσεων και ηλεκτρικής ενέργειας.

2^η διδακτική ώρα

Σκοπός: η εισαγωγή των μαθητών στις βασικές έννοιες της ηλεκτροχημείας, η σύνδεση της θεωρίας με τις γνώσεις που ήδη κατείχαν από τη Φυσική και η προετοιμασία τους για την εργαστηριακή διερεύνηση μέσω της διατύπωσης υποθέσεων.

Χώρος: αίθουσα διδασκαλίας

Διάρκεια: 45 λεπτά

Υλικά-Μέσα διδασκαλίας: πίνακας, ηλεκτρονικός υπολογιστής, βιντεοπροβολέας, φύλλο εργασίας 1.

Δραστηριότητες:

Κατά τη 2^η διδακτική ώρα παρουσιάστηκαν, μέσω του βιντεοπροβολέα, οι βασικές αρχές λειτουργίας ενός απλού γαλβανικού στοιχείου και πραγματοποιήθηκε η σύνδεση των γνώσεων της Φυσικής με τις αντίστοιχες έννοιες της Χημείας. Πιο συγκεκριμένα, συζητήθηκαν, μαζί με τους μαθητές, η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ο ρόλος των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη αλλά και η μεταφορά ηλεκτρονίων κατά τη λειτουργία ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου. Έπειτα, οι μαθητές χωρίστηκαν σε 6 ομάδες εργασίας σε κάθε τμήμα, οι οποίες φαίνονται στους πίνακες 3.2 και 3.3, και συμπλήρωσαν το Φύλλο Εργασίας 1, μέσω του οποίου μελέτησαν τον τρόπο λειτουργίας ενός γαλβανικού στοιχείου, αξιοποίησαν προηγούμενες γνώσεις καθώς και στοιχεία που είχαν επεξεργαστεί κατά τη διάλεξη και προετοιμάστηκαν για την πειραματική διερεύνηση που ακολούθησε την επόμενη διδακτική ώρα.

Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα:

Οι μαθητές αναμενόταν να είναι σε θέση να περιγράφουν με απλό τρόπο τη λειτουργία ενός ηλεκτροχημικού στοιχείου, να αναγνωρίζουν ότι οι χημικές αντιδράσεις μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, να αναγνωρίζουν τον ρόλο των ηλεκτροδίων και του ηλεκτρολύτη στη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου.

Πίνακας 3.2 Κατανομή ομάδων στο τμήμα Β1 (τμήμα παρέμβασης)

Ομάδα	Μαθητές
A	4
B	4
Γ	4
Δ	4
Ε	4
ΣΤ	4

Πίνακας 3.3 Κατανομή ομάδων στο τμήμα Β2 (τμήμα παρέμβασης)

Ομάδα	Μαθητές
A	4
B	4
Γ	4

Δ	4
Ε	4
ΣΤ	3

3^η διδακτική ώρα

Σκοπός: η κατασκευή, η διερεύνηση της λειτουργίας διαφορετικών γαλβανικών στοιχείων, η ανάπτυξη δεξιοτήτων συνεργασίας και η σύνδεση της θεωρητικής γνώσης με την πειραματική εφαρμογή.

Χώρος: Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών

Διάρκεια: 45 λεπτά

Υλικά-Μέσα διδασκαλίας: Φύλλο Εργασίας 2 (Μέρος Α), 2 ποτήρια ζέσεως 250 mL, διάλυμα ZnSO_4 1 M, διάλυμα CuSO_4 1M, διάλυμα FeSO_4 1 M, απιονισμένο νερό, διάλυμα KNO_3 , διηθητικό χαρτί, ψηφιακό βολτόμετρο, καλώδια σύνδεσης, μεταλλικά ηλεκτρόδια (Zn, Cu, Fe), γυαλόχαρτο, γάντια και γυαλιά

Δραστηριότητες:

Κατά την 3^η διδακτική ώρα εργάστηκαν στις ομάδες που είχαν ήδη διαμορφωθεί κατά την προηγούμενη διδακτική ώρα. Αρχικά, ο εκπαιδευτικός παρουσίασε τον απαραίτητο εργαστηριακό εξοπλισμό και έδωσε οδηγίες σχετικά με την ασφαλή χρήση των υλικών. Στη συνέχεια, κάθε ομάδα παρέλαβε τα απαιτούμενα υλικά και κατασκεύασε ένα γαλβανικό στοιχείο χρησιμοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς μεταλλικών ηλεκτροδίων και τα αντίστοιχα διαλύματα ηλεκτρολυτών. Οι μαθητές μέτρησαν την παραγόμενη διαφορά δυναμικού με τη βοήθεια ψηφιακού βολτομέτρου, κατέγραψαν τις παρατηρήσεις και τα πειραματικά δεδομένα τους στο Φύλλο Εργασίας 2 και έγινε συζήτηση μεταξύ τους για τις αρχικές ερμηνείες των αποτελεσμάτων.

Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Οι μαθητές αναμενόταν να είναι σε θέση να κατασκευάσουν διαφορετικά γαλβανικά στοιχεία ακολουθώντας συγκεκριμένες οδηγίες, να χρησιμοποιούν με ασφάλεια τον εργαστηριακό εξοπλισμό και το βολτόμετρο, να πραγματοποιήσουν και να καταγράψουν με ακρίβεια πειραματικές μετρήσεις, να υπολογίσουν το μέσο όρο των μετρήσεων τους, να συνεργαστούν αποτελεσματικά στο πλαίσιο και να συσχετίσουν τις θεωρητικές γνώσεις με τα πρώτα πειραματικά ευρήματα.

4^η διδακτική ώρα

Σκοπός: η επεξεργασία και ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων, η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη λειτουργία των γαλβανικών στοιχείων και η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της παρέμβασης STEM.

Χώρος: Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών.

Διάρκεια: 45 λεπτά

Υλικά-Μέσα διδασκαλίας: Φύλλο Εργασίας 2 (Μέρος Β), πίνακας, ηλεκτρονικός υπολογιστής, βιντεοπροβολέας, μέτα-τεστ, ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της παρέμβασης STEM

Δραστηριότητες:

Κατά την 4^η διδακτική ώρα οι μαθητές ολοκλήρωσαν την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων που είχαν συλλέξει κατά την προηγούμενη εργαστηριακή δραστηριότητα. Κάθε ομάδα παρουσίασε στην τάξη τα αποτελέσματά της και στη συνέχεια ακολούθησε συζήτηση σχετικά με τις διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των διαφορετικών συνδυασμών μεταλλικών ηλεκτροδίων. Με την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού, οι μαθητές ερμήνευσαν τα αποτελέσματά τους, συσχέτισαν τα πειραματικά ευρήματα με τις βασικές αρχές λειτουργίας ενός γαλβανικού στοιχείου. Στη συνέχεια ολοκλήρωσαν το Φύλλο Εργασίας 2 (Μέρος Β), στο οποίο κατέγραψαν τα τελικά συμπεράσματα της ομάδας τους. Με την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης δόθηκε στους μαθητές το μετα-τεστ, ώστε να αξιολογηθεί ο βαθμός κατανόησης, καθώς και το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της παρέμβασης STEM, μέσω του οποίου διερευνήθηκαν οι στάσεις, οι απόψεις και η εμπειρία των μαθητών από τη συμμετοχή τους στη διδακτική παρέμβαση.

Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Οι μαθητές αναμενόταν να είναι σε θέση να ερμηνεύουν τα πειραματικά αποτελέσματα βάση των γνώσεων που απέκτησαν, να εξηγούν ότι στα γαλβανικά στοιχεία η αυθόρμητη οξειδοαναγωγική αντίδραση συνδέεται με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και να τεκμηριώνουν τα συμπεράσματά τους βασιζόμενοι σε πειραματικά δεδομένα.

Ομάδα ελέγχου

Παράλληλα, στην ομάδα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε συμβατική διδασκαλία, δηλαδή χρήση πίνακα και προφορικής παράδοσης από τον καθηγητή, χωρίς την αξιοποίηση διερευνητικών ή εργαστηριακών

δραστηριοτήτων και χωρίς την εφαρμογή οποιονδήποτε στοιχείων της προσέγγισης STEM. Δηλαδή, οι μαθητές παρακολουθούσαν τη διάλεξη του εκπαιδευτικού, συμμετείχαν σε συζήτηση και απαντούσαν σε ερωτήσεις κατανόησης και έλυσαν ενδεικτικές ασκήσεις και παραδείγματα. Το περιεχόμενο των διαλέξεων και η συνολική διάρκεια της ήταν κοινά με εκείνα της ομάδας της παρέμβασης, ώστε οι δύο ομάδες να έχουν ως βασική διαφορά τη μεθοδολογία διδασκαλίας που ακολουθήθηκε από τον εκπαιδευτικό.

Ενώ όσον αφορά στα εργαλεία αξιολόγησης είχαν κοινό μόνο το προ-τεστ και το μετα-τεστ, αφού τα φύλλα εργασίας, το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης αφορούσαν μόνο την ομάδα παρέμβασης. Η δομή της παρέμβασης φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.4 Δομή της διδασκαλίας στην ομάδα της παρέμβασης.

Διδακτική ώρα	Χώρος	Περιεχόμενο	Εργαλείο αξιολόγησης
1 ^η	Αίθουσα διδασκαλίας	Σύντομο προ-τεστ, ανάδειξη πρότερων γνώσεων των μαθητών σχετικά με τον ηλεκτρισμό, τις χημικές αντιδράσεις και τη λειτουργία των μπαταριών, διατύπωση προβληματισμών σχετικά με τη σύνδεση χημικών αντιδράσεων και ηλεκτρικής ενέργειας.	Προ-τεστ
2 ^η	Αίθουσα διδασκαλίας	Σύνδεση εννοιών του ηλεκτρισμού με τις βασικές αρχές της ηλεκτροχημείας,	Φύλλο εργασίας 1

		μελέτη της λειτουργίας ενός γαλβανικού στοιχείου και προετοιμασία για την εργαστηριακή διερεύνηση μέσω της διατύπωσης υποθέσεων.	
3 ^η	Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών	Εργασία σε ομάδες, κατασκευή διαφορετικών γαλβανικών στοιχείων, πραγματοποίηση μετρήσεων διαφοράς δυναμικού και καταγραφή των πειραματικών δεδομένων.	Φύλλο εργασίας 2 (Μέρος Α)
4 ^η	Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών	Επεξεργασία - ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων, σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών γαλβανικών στοιχείων, καταγραφή συμπερασμάτων και ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης.	Φύλλο εργασίας 2 (Μέρος Β), Μέτα-τεστ, Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης παρέμβασης

Πίνακας 3.5 Δομή διδασκαλίας της ομάδας ελέγχου.

Διδακτική ώρα	Χώρος	Περιεχόμενο	Εργαλεία αξιολόγησης
1 ^η – 4 ^η	Αίθουσα διδασκαλίας	Ίδιο περιεχόμενο διαλέξεων με της ομάδας παρέμβασης αλλά με συμβατική προσέγγιση (προφορική παράδοση, χρήση πίνακα, ερωτήσεις κατανόησης και επίλυση παραδειγμάτων και ασκήσεων), χωρίς διερευνητικές, εργαστηριακές και ομαδικές δραστηριότητες.	Σύντομο Προ-τεστ (1 ^η ώρα), Μετα-τεστ (4 ^η ώρα)

3.4 Εργαλεία Συλλογής Δεδομένων

Τα εργαλεία αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων στη συγκεκριμένη έρευνα ήταν ερωτηματολόγια και φύλλα εργασίας, που είχαν ως σκοπό τη διερεύνηση του βαθμού κατανόησης των εννοιών της ηλεκτροχημείας και των γαλβανικών στοιχείων αλλά και των στάσεων των μαθητών απέναντι στη διδακτική παρέμβαση STEM.

3.4.1 Ερωτηματολόγια

Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης δόθηκαν στους μαθητές δύο ερωτηματολόγια γνώσεων, ένα πριν (προ-τεστ) και ένα μετά (μετα-τεστ) την ολοκλήρωση της παρέμβασης, ώστε να συγκριθεί η διαφορά στο βαθμό κατανόησης των μαθητών.

Το προ-τεστ δόθηκε στους μαθητές στην αρχή της 1^{ης} διδακτικής ώρας και είχε ως στόχο τη διερεύνηση των ήδη υπάρχοντων γνώσεων των μαθητών σχετικά με βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού, των χημικών αντιδράσεων και των αντιλήψεών τους για τη λειτουργία των μπαταριών και των ηλεκτροχημικών στοιχείων.

Έπειτα, το μετα-τεστ δόθηκε στους μαθητές στο τέλος της 4^{ης} διδακτικής ώρας και είχε ως στόχο την εκτίμηση του βαθμού κατανόησης βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας, της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων και το πως επιδρούν κάποιοι παράγοντες στη λειτουργία τους.

Ακόμα, μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης, οι μαθητές της ομάδας παρέμβασης συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της STEM παρέμβασης. Το ερωτηματολόγιο αυτό χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, η κατανόηση των εννοιών, η συμβολή των πειραματικών δραστηριοτήτων στη μάθηση και της συνολικής στάσης τους απέναντι στην προσέγγιση STEM.

3.4.2 Φύλλα εργασίας

Κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών δραστηριοτήτων χρησιμοποιήθηκαν 2 φύλλα εργασίας, τα οποία συμπληρώθηκαν μόνο από τους μαθητές της ομάδας παρέμβασης, κατά τις διδακτικές ώρες 2, 3 και 4 και σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τις αρχές της διερευνητικής μάθησης και της προσέγγισης STEM.

Μέσω των φύλλων εργασίας οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να καταγράψουν τις παρατηρήσεις τους, να τεκμηριώσουν τις απαντήσεις τους και να συνδέσουν τα πειραματικά δεδομένα με τις βασικές έννοιες της ηλεκτροχημείας.

Στον πίνακα 3.6 παρουσιάζονται όλα τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της παρέμβασης αλλά και ο σκοπός χρήσης του καθενός από αυτά.

Πίνακας 3.6 Εργαλεία αξιολόγησης και σκοπός χρήσης τους.

Εργαλείο αξιολόγησης	Σκοπός χρήσης	Σε ποια ομάδα χρησιμοποιήθηκαν	Παράρτημα
Προ-τεστ	Διερεύνηση ήδη υπάρχοντων γνώσεων των μαθητών.	Ομάδα παρέμβασης και ομάδα ελέγχου	A
Μετα-τεστ	Αξιολόγηση του αν η παρέμβαση συνέβαλλε στη	Ομάδα παρέμβασης και ομάδα ελέγχου	B

	βελτίωση της κατανόησης των μαθητών.		
Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης	Διερεύνηση των στάσεων και των απόψεων των μαθητών όσον αφορά στη διδακτική προσέγγιση.	Ομάδα παρέμβασης	Ε
Φύλλα εργασίας	Καταγραφή του τρόπου σκέψης και της εργασίας των μαθητών κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων.	Ομάδα παρέμβασης	Γ, Δ

3.5 Διαδικασία συλλογής και Ανάλυσης δεδομένων

3.5.1 Συνθήκες συλλογής δεδομένων

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου στην περιοχή της Χαλκίδας κατά το δεύτερο τετράμηνο του σχολικού έτους. Η δειγματοληψία βασίστηκε στη δυνατότητα του καθηγητή-ερευνητή να έχει πρόσβαση στα συγκεκριμένα τμήματα του σχολείου.

Όπως αναλύθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, στην έρευνα συμμετείχαν τέσσερα τμήματα της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου, τα οποία κατανεμήθηκαν σε πειραματική ομάδα και ομάδα ελέγχου. Στα δύο τμήματα της πειραματικής ομάδας εφαρμόστηκε η διδακτική παρέμβαση STEM, ενώ στα δύο τμήματα της ομάδας ελέγχου εφαρμόστηκε η συμβατική διδασκαλία. Η παρέμβαση συνολικά διήρκεσε τέσσερις διδακτικές ώρες και για τις δύο ομάδες.

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις. Αρχικά, πριν από την έναρξη της παρέμβασης, δόθηκε στους μαθητές προ-τεστ, στη συνέχεια έλαβε χώρα η διδακτική παρέμβαση, κατά τη διάρκεια της οποίας μόνο στην πειραματική ομάδα χρησιμοποιήθηκαν 2 φύλλα εργασίας. Τέλος, εφόσον ολοκληρώθηκε η παρέμβαση, δόθηκε στους μαθητές το μετα-τεστ και το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της παρέμβασης.

3.5.2 Μέθοδος ανάλυσης δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με μεικτή μεθοδολογική προσέγγιση, αφού συνδυάστηκε ποσοτική και ποιοτική ανάλυση.

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με συνδυασμό ποσοτικών και ποιοτικών μεθόδων. Οι ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής των προ-τεστ και μετα-τεστ αναλύθηκαν ποσοτικά, μέσω του υπολογισμού των συχνοτήτων και των ποσοστών σωστών απαντήσεων για την ομάδα παρέμβασης και την ομάδα ελέγχου. Αντίθετα, οι ανοικτές ερωτήσεις των προ-τεστ και μετα-τεστ, καθώς και οι απαντήσεις στα φύλλα εργασίας, αναλύθηκαν ποιοτικά μέσω κατηγοριοποίησης του περιεχομένου των απαντήσεων ανάλογα με την επιστημονική πληρότητα και ορθότητά τους. Για την πληρέστερη παρουσίαση των ποιοτικών ευρημάτων καταγράφηκε επιπλέον η συχνότητα και το ποσοστό εμφάνισης κάθε κατηγορίας απαντήσεων. Το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της STEM διδακτικής παρέμβασης αναλύθηκε ποσοτικά όσον αφορά στις ερωτήσεις κλειστού τύπου, όπου υπολογίστηκαν οι συχνότητες και τα ποσοστά των απαντήσεων των μαθητών και ποιοτικά, όσον αφορά στις ανοικτές ερωτήσεις.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα & Συζήτηση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά και συζητούνται τα ευρήματα της έρευνας που προέκυψαν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης STEM. Η δομή του κεφαλαίου αυτού ακολουθεί την ταυτόχρονη παράθεση και ανάλυση των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε τα δεδομένα να ερμηνεύονται άμεσα σε σχέση με το θεωρητικό υπόβαθρο και τα ερευνητικά ερωτήματα. Τα αποτελέσματα έχουν ταξινομηθεί σε τρεις κεντρικούς άξονες. Αρχικά, δηλαδή αναλύονται το προ-τεστ και το μετα-τεστ που αφορούν τη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών, αμέσως μετά αναλύονται τα 2 φύλλα εργασίας, που σχετίζονται με την πειραματική διαδικασία και τη διαθεματική σύνδεση και στο τέλος ακολουθεί η ανάλυση του ερωτηματολογίου αξιολόγησης που αφορά την αξιολόγηση των στάσεων των μαθητών απέναντι στην προσέγγιση STEM και στις φυσικές επιστήμες.

4.1 Άξονας 1: Βελτίωση Κατανόησης βασικών εννοιών ηλεκτροχημείας και λειτουργίας γαλβανικών στοιχείων

Η υποενότητα αυτή επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της STEM παρέμβασης, η οποία πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του προ-τεστ και του μετα-τεστ μεταξύ της ομάδας παρέμβασης και της ομάδας ελέγχου.

Ο σκοπός της σύγκρισης μεταξύ της ομάδας παρέμβασης (STEM) και της ομάδας ελέγχου (συμβατική διδασκαλία) είναι να προσδιοριστεί εάν η βιωματική και διεπιστημονική προσέγγιση συμβάλλει περισσότερο στην αντιμετώπιση της δυσκολίας των μαθητών να συνδέσουν τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα. Όπως επισημαίνουν και οι Netchinda & Duangrummet (2025), η χρήση εργαλείων αξιολόγησης είναι καθοριστική για να εξεταστεί το βάθος της κατανόησης των μαθητών.

Αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του προ-τεστ, ώστε να διαπιστωθεί αν το επίπεδο γνώσεων των δύο ομάδων είναι ισοδύναμο, ενώ στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα του μετα-τεστ, προκειμένου να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης.

4.1.1 Ποσοτική ανάλυση του προ-τεστ

Αρχικά, έγινε ποσοτική ανάλυση των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής του προ-τεστ, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1. Πιο συγκεκριμένα υπολογίστηκαν τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου.

Πίνακας 4.1. Ποσοστό σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου στο προ-τεστ.

Ερώτηση	Ομάδα παρέμβασης (%) (n=47)	Ομάδα ελέγχου (%) (n=48)
1	44.7 (21 μαθητές)	45.8 (22 μαθητές)
2	89.6 (42 μαθητές)	87.5 (42 μαθητές)
3	55.3 (26 μαθητές)	52.1 (25 μαθητές)
4	76.6 (36 μαθητές)	72.9 (34 μαθητές)
5	64.6 (30 μαθητές)	68.8 (33 μαθητές)
6	95.7 (45 μαθητές)	95.8 (46 μαθητές)
7	74.5 (35 μαθητές)	75 (36 μαθητές)
8	93.6 (44 μαθητές)	91.7 (44 μαθητές)

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.1 προκύπτει ότι οι δύο ομάδες παρουσίασαν παρόμοια επίπεδα επίδοσης στο προ-τεστ. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι πριν από την εφαρμογή της STEM διδακτικής παρέμβασης οι μαθητές διέθεταν συγκρίσιμο επίπεδο πρότερων γνώσεων σχετικά με βασικές έννοιες του ηλεκτρισμού και της λειτουργίας των μπαταριών.

Οι χαμηλότερες επιδόσεις καταγράφηκαν στις ερωτήσεις 1 (44.7% και 45.8%) και 3 (55.3% και 52.1%). Φάνηκε, δηλαδή, ότι οι μαθητές δυσκολεύονταν στην κατανόηση των βασικών εννοιών του ηλεκτρισμού. Αντίθετα, παρατηρήθηκαν ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων στις ερωτήσεις 2, 6 και 8, κάτι που δείχνει ότι οι μαθητές διέθεταν ήδη κάποιες βασικές γνώσεις σχετικά με τη λειτουργία ενός απλού ηλεκτρικού κυκλώματος.

Τα παραπάνω ευρήματα φαίνεται να συμφωνούν με τις παρατηρήσεις των Rahayu et al. (2021), οι οποίοι υπογραμμίζουν ότι οι ελλείψεις στην κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της ηλεκτροχημείας αποτελούν διεθνές φαινόμενο.

4.1.2 Ποιοτική ανάλυση των ανοικτών ερωτήσεων του προ-τεστ

Στο προ-τεστ υπήρχαν και δύο ερωτήσεις ανοικτού τύπου (9 και 10), που είχαν ως στόχο τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών σχετικά με την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας στις μπαταρίες και τη σύνδεση της λειτουργίας τους με τις χημικές αντιδράσεις.

Ερώτηση 9. Από πού πιστεύετε ότι προέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια μιας μπαταρίας; Σχολιάστε αν η μπαταρία περιέχει προ-αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια ή αν στην μπαταρία πραγματοποιείται κάποιος μετασχηματισμός ενέργειας κατά την λειτουργία της σε ένα κύκλωμα.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων προέκυψε ότι οι μαθητές είχαν παρόμοιες αντιλήψεις σχετικά με την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας μιας μπαταρίας, και στις δύο ομάδες, πριν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης.

Πιο συγκεκριμένα, στην ομάδα παρέμβασης φάνηκε πως η πλειοψηφία των μαθητών θεωρούσε πως η μπαταρία περιέχει ήδη αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια ή ηλεκτρικό ρεύμα, χωρίς να υπάρχει αναφορά στο ρόλο των χημικών αντιδράσεων και εμφανίστηκε στις απαντήσεις 25 μαθητών (53.2%), ενώ η αντίστοιχη αντίληψη καταγράφηκε σε 26 μαθητές της ομάδας ελέγχου (54,2%).

Παράλληλα, μικρότερος αριθμός μαθητών της ομάδας παρέμβασης [15 μαθητές, 31.9%] και 15 μαθητές της ομάδας ελέγχου (31,3%) συσχέτισε την ηλεκτρική ενέργεια με την ύπαρξη χημικών ουσιών στο εσωτερικό της μπαταρίας, ενώ μόνο λίγοι μαθητές 7 μαθητές στην ομάδα παρέμβασης (14.9%) και 7 μαθητές στην ομάδα ελέγχου (14,6%), αναφέρθηκαν στη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Ερώτηση 10. Πιστεύετε ότι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί μια μπαταρία σχετίζεται με κάποια χημική αντίδραση; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων προέκυψε ότι οι μαθητές και των δύο ομάδων παρουσίαζαν παρόμοιες αντιλήψεις σχετικά με τη σύνδεση της λειτουργίας μιας μπαταρίας με τις χημικές αντιδράσεις πριν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης.

Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των μαθητών αναγνώρισε ότι η λειτουργία της μπαταρίας σχετίζεται με κάποια χημική αντίδραση, χωρίς όμως να μπορεί να αιτιολογήσει επαρκώς τη συγκεκριμένη σύνδεση. Στην κατηγορία αυτή εντάχθηκαν 27 μαθητές της ομάδας παρέμβασης (57,4%) και 26 μαθητές της ομάδας ελέγχου (54,2%). Οι απαντήσεις των μαθητών αυτών περιλάμβαναν κυρίως γενικές αναφορές στην ύπαρξη χημικών ουσιών ή χημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό της μπαταρίας, χωρίς να γίνεται

σαφής σύνδεση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική ή ορθές αναφορές στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις.

Αντίθετα, 9 μαθητές της ομάδας παρέμβασης (19,1%) και 7 μαθητές της ομάδας ελέγχου (14,6%) έδωσαν περισσότερο ολοκληρωμένες και επιστημονικά ορθές αιτιολογήσεις, συνδέοντας τη λειτουργία της μπαταρίας με χημικές αντιδράσεις και τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τέλος, 11 μαθητές της ομάδας παρέμβασης (23,4%) και 15 μαθητές της ομάδας ελέγχου (31,3%) είτε δεν συνέδεσαν τη λειτουργία της μπαταρίας με κάποια χημική αντίδραση είτε δεν ήταν σε θέση να αιτιολογήσουν επαρκώς την απάντησή τους.

Συνολικά, τα ευρήματα δείχνουν ότι, παρότι περισσότεροι από τους μισούς μαθητές και στις δύο ομάδες αναγνώριζαν σε γενικό επίπεδο ότι η λειτουργία της μπαταρίας σχετίζεται με χημικές αντιδράσεις, η κατανόηση του μηχανισμού μέσω του οποίου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική παρέμενε περιορισμένη. Μόνο ένα μικρό ποσοστό μαθητών ήταν σε θέση να αιτιολογήσει με μεγαλύτερη επιστημονική ακρίβεια τη συγκεκριμένη σχέση.

Με τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να συμφωνούν οι Rahayu et al. (2021) και Zhang et al. (2026), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι μια από τις πιο κοινές παρανοήσεις των μαθητών είναι η κατηγοριοποίηση της μπαταρίας ως «αποθήκη» αντί για «μετατροπέα» ενέργειας και πως η παραδοσιακή διδασκαλία αποτυγχάνει να εκριζώσει αυτή την αντίληψη, οδηγώντας σε «μηχανιστική μάθηση».

Επιπλέον, τα ευρήματα αυτά εναρμονίζονται και με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των Dorsah & Yaayin (2019), καθώς αναδεικνύουν τη βαθιά ριζωμένη αντίληψη των μαθητών που αντιλαμβάνονται τη μπαταρία ως μια στατική «αποθήκη» ηλεκτρικού ρεύματος, αδυνατώντας να συλλάβουν τη δυναμική φύση της ως συστήματος μετατροπής χημικής ενέργειας.

Τέλος, η γενικά παρόμοια κατανομή των απαντήσεων στις δύο ομάδες είναι σύμφωνη με την εικόνα που προέκυψε και από την υπόλοιπη ανάλυση του προ-τεστ, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές της ομάδας παρέμβασης και της ομάδας ελέγχου παρουσίαζαν συγκρίσιμο επίπεδο πρότερων γνώσεων πριν από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης.

4.1.3 Ποσοτική ανάλυση του μετα-τεστ

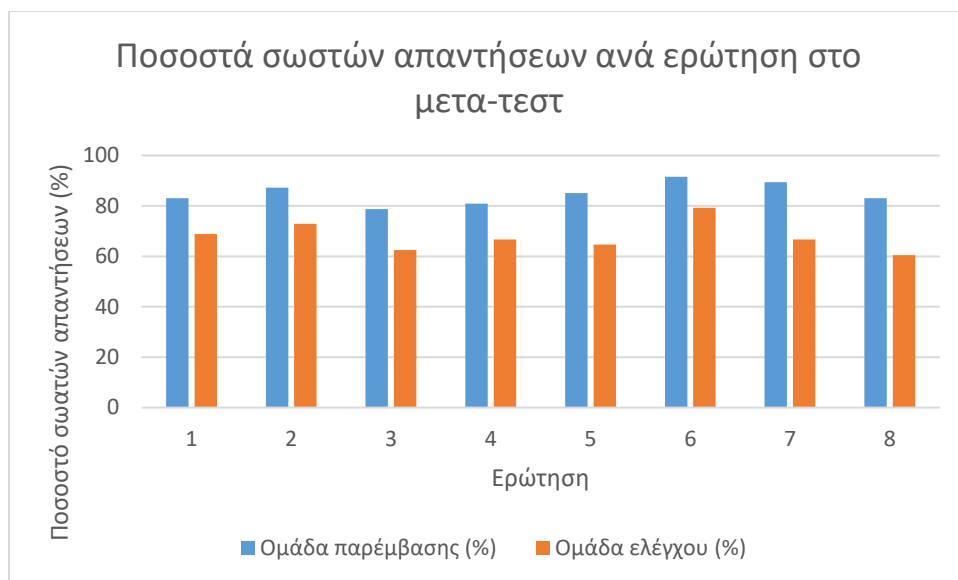
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ποσοτική ανάλυση των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής του μετα-τεστ. Για κάθε ερώτηση υπολογίστηκε το ποσοστό των σωστών απαντήσεων τόσο για την ομάδα παρέμβασης

όσο και για την ομάδα ελέγχου, ώστε να διερευνηθούν πιθανές διαφοροποιήσεις στην κατανόηση των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων μετά την εφαρμογή των δύο διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2 Ποσοστό σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στην ομάδα παρέμβασης και στην ομάδα ελέγχου στο μετα-τεστ.

Ερώτηση	Ομάδα παρέμβασης (%) (n=47)	Ομάδα ελέγχου (%) (n=48)
1	83,0% (39 μαθητές)	68,8% (33 μαθητές)
2	87,2% (41 μαθητές)	72,9% (35 μαθητές)
3	78,7% (37 μαθητές)	62,5% (30 μαθητές)
4	80,9% (38 μαθητές)	66,7% (32 μαθητές)
5	85,1% (40 μαθητές)	64,6% (31 μαθητές)
6	91,5% (43 μαθητές)	79,2% (38 μαθητές)
7	89,4% (42 μαθητές)	66,7% (32 μαθητές)
8	83,0% (39 μαθητές)	60,4% (29 μαθητές)

Για την καλύτερη οπτική αποτύπωση των διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων, τα ποσοστά σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση του μετα-τεστ παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.1. Ποσοστά σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση του μετα-τεστ για την ομάδα παρέμβασης και την ομάδα ελέγχου.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.2 και του σχήματος 4.1 προκύπτει ότι μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής διαδικασίας η ομάδα παρέμβασης παρουσίασε υψηλότερα ποσοστά σωστών απαντήσεων σε όλες τις ερωτήσεις του μετα-τεστ σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Τα ποσοστά σωστών απαντήσεων στην ομάδα παρέμβασης κυμάνθηκαν από 78,7% έως 91,5%, ενώ στην ομάδα ελέγχου από 60,4% έως 79,2%. Η εικόνα αυτή είναι διαφορετική από εκείνη του προ-τεστ, στο οποίο οι δύο ομάδες παρουσίαζαν παρόμοια επίπεδα επίδοσης.

Πιο συγκεκριμένα, ιδιαίτερα υψηλή επίδοση στην ομάδα παρέμβασης καταγράφηκε στην Ερώτηση 6 (91,5%), η οποία αφορούσε τη βασική αρχή λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου και τη μετατροπή της χημικής ενέργειας μιας αυθόρμητης οξειδοαναγωγικής αντίδρασης σε ηλεκτρική ενέργεια. Υψηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων καταγράφηκαν επίσης στις ερωτήσεις 2 (87,2%), 5 (85,1%) και 7 (89,4%). Οι ερωτήσεις 2 και 5 αφορούσαν τον ρόλο της γέφυρας άλατος και τη σημασία της για τη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας και τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου, ενώ η Ερώτηση 7 αφορούσε την κατανόηση του ελέγχου των μεταβλητών κατά την πειραματική διερεύνηση.

Οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων παρατηρήθηκαν στις ερωτήσεις 5, 7 και 8. Ειδικότερα, στην Ερώτηση 5 η διαφορά ήταν 20,5 ποσοστιαίες μονάδες, ενώ στις ερωτήσεις 7 και 8 οι αντίστοιχες διαφορές ανήλθαν σε 22,7 και 22,6 ποσοστιαίες μονάδες. Οι συγκεκριμένες ερωτήσεις σχετίζονται άμεσα με στοιχεία που διερευνήθηκαν κατά την εργαστηριακή δραστηριότητα, όπως η λειτουργία της γέφυρας

άλατος, ο έλεγχος των πειραματικών μεταβλητών και η επίδραση του ζεύγους των μετάλλων στην παραγόμενη διαφορά δυναμικού.

Συνολικά, η υψηλότερη επίδοση της ομάδας παρέμβασης στο μετα-τεστ, σε συνδυασμό με την παρόμοια αρχική επίδοση των δύο ομάδων στο προ-τεστ, παρέχει ενδείξεις ότι η STEM διδακτική παρέμβαση συνέβαλε θετικά στην κατανόηση των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων. Ιδιαίτερα αξιοσημείωτη ήταν η μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις ερωτήσεις που συνδέονταν άμεσα με την εργαστηριακή διερεύνηση, γεγονός που υποδηλώνει πιθανή συμβολή της βιωματικής και διερευνητικής διάστασης της παρέμβασης στην κατανόηση των συγκεκριμένων εννοιών.

Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να συμφωνούν με τα αποτελέσματα των Setiawan et al. (2026) και των Zemene et al. (2025). Από τη μία πλευρά, οι Setiawan et al. (2026) τεκμηριώνουν ότι η βιωματική μάθηση μέσω STEM βοηθά τους μαθητές να ξεφύγουν από την παθητική αποστήθιση, βοηθώντας τους να οικοδομήσουν μόνοι τους τη γνώση. Από την άλλη πλευρά, η υψηλότερη επίδοση της πειραματικής ομάδας σε ερωτήσεις που απαιτούσαν επιστημονική σκέψη εναρμονίζεται με τη μέθοδο της καθοδηγούμενης ανακάλυψης των Zemene et al. (2025). Η προσέγγιση αυτή φαίνεται να συμβάλλει καθοριστικά στην κατανόηση σύνθετων φαινομένων, όπως η λειτουργία της γέφυρας άλατος, καθώς δεν προσφέρει έτοιμες απαντήσεις, αλλά καθοδηγεί τους μαθητές να εξαγάγουν συμπεράσματα βήμα-βήμα μέσα από το πείραμα.

4.1.4 Ποιοτική ανάλυση των ανοικτών ερωτήσεων του μετα-τεστ

Στο μετα-τεστ υπήρχε και μία ερώτηση ανοικτού τύπου, με στόχο τη διερεύνηση της ικανότητας των μαθητών να εξηγούν τον τρόπο μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική σε ένα γαλβανικό στοιχείο και να συνδέουν τις βασικές έννοιες της ηλεκτροχημείας με εφαρμογές της καθημερινής ζωής.

Ερώτηση 9. Εξηγήστε με δικά σας λόγια πώς ένα γαλβανικό στοιχείο μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων προέκυψαν αρκετές διαφορές μεταξύ της ομάδας παρέμβασης και της ομάδας ελέγχου ως προς το επίπεδο κατανόησης του μηχανισμού λειτουργίας ενός γαλβανικού στοιχείου. Οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την επιστημονική πληρότητα και ορθότητά τους: ολοκληρωμένη επιστημονική κατανόηση, μερική κατανόηση και περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση.

Στην ομάδα παρέμβασης, 37 μαθητές (78,7%) έδωσαν απαντήσεις που χαρακτηρίστηκαν από ολοκληρωμένη επιστημονική κατανόηση. Οι μαθητές αυτοί συνέδεσαν τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου με την πραγματοποίηση αυθόρμητων οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αντίστοιχα, στην ομάδα ελέγχου 19 μαθητές (39,6%) έδωσαν απαντήσεις αντίστοιχου επιπέδου πληρότητας.

Μερική κατανόηση καταγράφηκε σε 8 μαθητές της ομάδας παρέμβασης (17,0%) και σε 20 μαθητές της ομάδας ελέγχου (41,7%). Δηλαδή, γινόταν συνήθως αναφορά σε χημικές αντιδράσεις ή στη μετακίνηση ηλεκτρονίων, χωρίς όμως να αποδίδεται με σαφήνεια ο συνολικός μηχανισμός μέσω του οποίου η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Τέλος, 2 μαθητές της ομάδας παρέμβασης (4,3%) και 9 μαθητές της ομάδας ελέγχου (18,8%) παρουσίασαν περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση. Οι απαντήσεις τους ήταν είτε ασαφείς είτε δεν συνέδεαν επαρκώς τις χημικές αντιδράσεις με τη ροή ηλεκτρονίων και τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου.

Συνολικά, τα ευρήματα δείχνουν ότι οι μαθητές της ομάδας παρέμβασης παρουσίασαν συχνότερα ολοκληρωμένες επιστημονικές εξηγήσεις σε σύγκριση με τους μαθητές της ομάδας ελέγχου. Αντίθετα, στην ομάδα ελέγχου παρατηρήθηκε μεγαλύτερο ποσοστό απαντήσεων μερικής ή περιορισμένης κατανόησης.

Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα και με τη μελέτη των Netchinda και Duangrummet (2025), σύμφωνα με τους οποίους οι STEM δραστηριότητες μπορούν να διευκολύνουν τη σύνδεση μεταξύ μακροσκοπικού, υπομικροσκοπικού και συμβολικού επιπέδου. Στην παρούσα παρέμβαση, η κατασκευή του γαλβανικού στοιχείου έδωσε στους μαθητές τη δυνατότητα να συσχετίσουν το μακροσκοπικό επίπεδο, όπως τις μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού, με το υπομικροσκοπικό επίπεδο, όπως τη μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων, και το συμβολικό επίπεδο, όπως οι ημιαντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής. Να σημειωθεί εδώ ότι και στις δύο ομάδες μαθητών η οξειδοαναγωγή είχε διδαχθεί χωρίς παρουσίαση των ημιαντιδράσεων αλλά με ολοκληρωμένες αντιδράσεις-εξισώσεις οξειδοαναγωγής με κύρια εστίαση στην εξισορρόπηση των χημικών εξισώσεων.

Επιπλέον, τα ευρήματα μπορούν να συσχετιστούν με τη μελέτη των Irwanto et al. (2026), η οποία αναδεικνύει τη συμβολή βιωματικών και οπτικοποιημένων μαθησιακών εμπειριών στην κατανόηση σύνθετων εννοιών της ηλεκτροχημείας. Στην παρούσα έρευνα, το 80,9% των μαθητών της ομάδας

παρέμβασης απάντησε σωστά στην Ερώτηση 4 του μετα-τεστ, αναγνωρίζοντας τη σχέση της οξείδωσης και της αναγωγής με την παραγωγή και την κατανάλωση ηλεκτρονίων.

Παράλληλα, στη STEM παρέμβαση εφαρμόστηκε η στρατηγική της «τμηματοποίησης», καθώς οι σύνθετες επιστημονικές έννοιες οργανώθηκαν μέσω των φύλλων εργασίας σε μικρότερα και διαδοχικά στάδια. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές μπορούσαν να επεξεργάζονται σταδιακά τις νέες πληροφορίες, χωρίς να επιβαρύνονται με μεγάλο όγκο γνώσεων ταυτόχρονα. (Zhang et al., 2026)

Τέλος, τα αποτελέσματα αυτά ενισχύουν την εικόνα που προέκυψε και από την ποσοτική ανάλυση του μετα-τεστ και παρέχουν ενδείξεις ότι η STEM διδακτική παρέμβαση είναι πιθανό πως συνέβαλε στην πληρέστερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, μεταφοράς ηλεκτρονίων και μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

4.2 Άξονας 2: Ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διερεύνησης και διαθεματικής σύνδεσης

Η συγκεκριμένη υποενότητα εστιάζει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διερεύνησης και στην ικανότητα των μαθητών να συνδέουν έννοιες της Χημείας, όπως οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, με έννοιες της Φυσικής, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα και η ηλεκτρική ενέργεια. Ως εκ τούτου, τα ευρήματα του συγκεκριμένου άξονα συνδέονται κυρίως με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας, ενώ παράλληλα παρέχουν συμπληρωματικά στοιχεία σχετικά με την κατανόηση της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων.

Για τη διερεύνηση των παραπάνω αξιοποιήθηκαν τα δύο φύλλα εργασίας που συμπληρώθηκαν από τους μαθητές της ομάδας παρέμβασης κατά τη διάρκεια της STEM διδακτικής παρέμβασης. Η ανάλυση των απαντήσεων πραγματοποιήθηκε ποιοτικά, με έμφαση στον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές διατύπωσαν υποθέσεις, κατέγραψαν και ερμήνευσαν πειραματικά δεδομένα, εξήγαγαν συμπεράσματα και συνέδεσαν τις παρατηρήσεις τους με τις βασικές αρχές της ηλεκτροχημείας και του ηλεκτρισμού.

4.2.1 Ποιοτική ανάλυση απαντήσεων του Φύλλου Εργασίας 1

Η ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων οργανώθηκε σε τρεις θεματικές κατηγορίες: α) κατανόηση της δομής και της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου, β) διαθεματική σύνδεση διαθεματική σύνδεση των

οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό ρεύμα και γ) ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διερεύνησης.

A. Κατανόηση της δομής και της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου

Στη θεματική αυτή κατηγορία εντάσσονται οι ερωτήσεις 1-4.

Ερώτηση 1^A. Με βάση όσα συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας και τις γνώσεις σας περιγράψτε με δικά σας λόγια πώς πιστεύετε ότι λειτουργεί η παραπάνω διάταξη.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 1A προέκυψε ότι οι περισσότερες ομάδες ήταν σε θέση να περιγράψουν με ικανοποιητική επιστημονική πληρότητα τη βασική λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου. Ειδικότερα, 7 από τις 12 ομάδες (58,3%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση, συνδέοντας τη λειτουργία της διάταξης με την πραγματοποίηση οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Τέσσερις από τις 12 ομάδες (33,3%) παρουσίασαν μερική κατανόηση. Στις απαντήσεις τους αναφέρονταν επιμέρους στοιχεία του μηχανισμού, όπως η μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των ηλεκτροδίων ή η πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων, χωρίς όμως να συνδέονται με σαφήνεια σε μια ολοκληρωμένη περιγραφή της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου. Τέλος, 1 ομάδα (8,3%) παρουσίασε περιορισμένη κατανόηση, καθώς η απάντησή της ήταν ασαφής και δεν συνέδεε επαρκώς τις χημικές διεργασίες με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Συνολικά, οι απαντήσεις έδειξαν ότι περισσότερες από τις μισές ομάδες είχαν διαμορφώσει μια ολοκληρωμένη εικόνα της βασικής λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου, ενώ στις υπόλοιπες εμφανίστηκαν κυρίως δυσκολίες στη σύνδεση των επιμέρους χημικών και ηλεκτρικών διεργασιών.

Ερώτηση 1B. Σημειώστε πάνω στο σχήμα τη φορά των ηλεκτρονίων, την άνοδο και την κάθοδο. Αιτιολογήστε σύντομα την απάντησή σας.

Στο δεύτερο σκέλος της Ερώτησης 1, 9 από τις 12 ομάδες (75,0%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση, καθώς προσδιόρισαν ορθά την άνοδο και την κάθοδο, σημείωσαν τη σωστή φορά κίνησης των ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και αιτιολόγησαν την απάντησή τους συνδέοντας την άνοδο με την οξείδωση και την κάθοδο με την αναγωγή. Δύο ομάδες (16,7%) παρουσίασαν μερική κατανόηση, καθώς αναγνώρισαν ορθά τα ηλεκτρόδια και τη φορά των ηλεκτρονίων, αλλά η αιτιολόγησή τους ήταν ελλιπής ή δεν συνέδεε με σαφήνεια τη φορά των ηλεκτρονίων με τις αντίστοιχες αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής. Τέλος, 1 ομάδα (8,3%) παρουσίασε περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση,

καθώς εμφάνισε σύγχυση ως προς τον χαρακτηρισμό των ηλεκτροδίων ή/και τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων.

Συνολικά, η αναγνώριση της ανόδου, της καθόδου και της φοράς κίνησης των ηλεκτρονίων αποτέλεσε ένα από τα στοιχεία στα οποία οι ομάδες παρουσίασαν υψηλότερο επίπεδο κατανόησης.

Ερώτηση 2. Ποιος πιστεύετε ότι είναι ο ρόλος των δύο διαφορετικών μετάλλων στη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου;

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 2 προέκυψε ότι 7 από τις 12 ομάδες (58,3%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση του ρόλου των δύο διαφορετικών μετάλλων στη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι τα δύο μέταλλα παρουσιάζουν διαφορετική τάση να οξειδώνονται και να συμμετέχουν στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, γεγονός που συνδέεται με τη δημιουργία διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων και τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.

Τέσσερις ομάδες (33,3%) παρουσίασαν μερική κατανόηση. Οι απαντήσεις τους αναγνώριζαν ότι η παρουσία δύο διαφορετικών μετάλλων είναι σημαντική για τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου ή για την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού, χωρίς όμως να συνδέουν με σαφήνεια τη διαφορετική συμπεριφορά των μετάλλων με τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις. Τέλος, 1 ομάδα (8,3%) παρουσίασε περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση του ρόλου των δύο μετάλλων.

Συνολικά, η πλειονότητα των ομάδων αναγνώρισε τη σημασία της χρήσης διαφορετικών μετάλλων, ωστόσο σε αρκετές απαντήσεις η σύνδεση της διαφορετικής συμπεριφοράς των μετάλλων με τις οξειδοαναγωγικές διεργασίες παρέμενε ελλιπής.

Ερώτηση 3. Ποιος πιστεύετε ότι είναι ο ρόλος της γέφυρας άλατος στη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου;

Από την ποιοτική ανάλυση της Ερώτησης 3 προέκυψε ότι ο ρόλος της γέφυρας άλατος αποτέλεσε ένα από τα περισσότερο απαιτητικά σημεία για τις ομάδες. Έξι από τις 12 ομάδες (50,0%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση, αναγνωρίζοντας ότι η γέφυρα άλατος επιτρέπει τη μετακίνηση ιόντων μεταξύ των δύο ημιστοιχείων και συμβάλλει στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας των διαλυμάτων, επιτρέποντας τη συνέχιση της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου.

Τέσσερις ομάδες (33,3%) παρουσίασαν μερική κατανόηση. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι η γέφυρα άλατος είναι απαραίτητη για τη λειτουργία της διάταξης ή ότι μέσω αυτής πραγματοποιείται μετακίνηση

ιόντων, χωρίς όμως να συνδέουν επαρκώς τη συγκεκριμένη λειτουργία με τη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας. Τέλος, 2 ομάδες (16,7%) παρουσίασαν περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση. Στις απαντήσεις αυτές εμφανίστηκε, μεταξύ άλλων, σύγχυση μεταξύ της μετακίνησης ιόντων μέσω της γέφυρας άλατος και της μεταφοράς ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.

Συνολικά, οι απαντήσεις ανέδειξαν ότι, παρότι οι περισσότερες ομάδες αναγνώριζαν τη σημασία της γέφυρας άλατος για τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου, η πλήρης κατανόηση του ρόλου της στη μετακίνηση των ιόντων και στη διατήρηση της ηλεκτρικής ουδετερότητας παρουσίαζε μεγαλύτερη δυσκολία.

Ερώτηση 4. Πιστεύετε ότι ένα γαλβανικό στοιχείο παράγει ηλεκτρική ενέργεια ή καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια; Ή συμβαίνει κάτι διαφορετικό; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 4 προέκυψε ότι 8 από τις 12 ομάδες (66,7%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση της ενεργειακής λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι το γαλβανικό στοιχείο δεν δημιουργεί ενέργεια, αλλά μετατρέπει τη χημική ενέργεια που συνδέεται με την αυθόρμητη οξειδοαναγωγική αντίδραση σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τρεις ομάδες (25,0%) παρουσίασαν μερική κατανόηση, αναφέροντας ότι το γαλβανικό στοιχείο «παράγει» ή «δίνει» ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς όμως να διευκρινίζουν ότι πρόκειται για μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Τέλος, 1 ομάδα (8,3%) παρουσίασε περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση, χωρίς να αναγνωρίζει με σαφήνεια την ενεργειακή μετατροπή που πραγματοποιείται κατά τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου.

Συνολικά, οι περισσότερες ομάδες φάνηκε να έχουν κατανοήσει τη βασική ενεργειακή μετατροπή που πραγματοποιείται στο γαλβανικό στοιχείο. Ωστόσο, σε ορισμένες απαντήσεις παρέμενε η αντίληψη ότι το στοιχείο απλώς «παράγει» ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς σαφή αναφορά στην προέλευσή της από τη μετατροπή της χημικής ενέργειας.

Επίσης, το χαμηλότερο ποσοστό ολοκληρωμένης κατανόησης εντοπίστηκε στην ερμηνεία του ρόλου της γέφυρας άλατος. Η δυσκολία αυτή είναι σύμφωνη με ευρήματα των Dorsah και Yaayin (2019), οι οποίοι αναφέρουν παρανοήσεις σχετικά με τον ρόλο της γέφυρας άλατος και, ειδικότερα, σύγχυση μεταξύ της κίνησης των ιόντων και της ροής των ηλεκτρονίων. Στην παρούσα έρευνα, ο ρόλος της γέφυρας άλατος αποτέλεσε την έννοια στην οποία οι μαθητές δυσκολεύτηκαν περισσότερο ως προς την ολοκληρωμένη κατανόησή της.

Β. Διαθεματική σύνδεση εννοιών Χημείας και Φυσικής

Ερώτηση 5. Πώς πιστεύετε ότι οι παραπάνω ημιαντιδράσεις οδηγούν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο γαλβανικό στοιχείο;

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 5 διερευνήθηκε η ικανότητα των ομάδων να συνδέσουν τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος. Επτά από τις 12 ομάδες (58,3%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη διαθεματική σύνδεση. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι κατά την οξείδωση του Zn αποδίδονται ηλεκτρόνια, τα οποία μετακινούνται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος προς το ηλεκτρόδιο στο οποίο πραγματοποιείται η αναγωγή των ιόντων Cu^{2+} , και συνέδεσαν την κατευθυνόμενη αυτή κίνηση των ηλεκτρονίων με την ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος.

Τέσσερις από τις 12 ομάδες (33,3%) παρουσίασαν μερική διαθεματική σύνδεση. Στις απαντήσεις τους γινόταν αναφορά στη μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο προς το άλλο ή στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς όμως να συνδέονται με σαφήνεια οι δύο ημιαντιδράσεις με τον συνολικό μηχανισμό μεταφοράς των ηλεκτρονίων. Τέλος, 1 ομάδα (8,3%) παρουσίασε περιορισμένη ή λανθασμένη σύνδεση των εννοιών, καθώς δεν κατάφερε να συσχετίσει επαρκώς τις ημιαντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.

Η δυσκολία των μαθητών να συνδέσουν πλήρως τις έννοιες της Χημείας με εκείνες της Φυσικής είναι δυνατό να σχετίζεται με το γεγονός ότι χρειάζεται να κατανοήσουν και να συνδυάσουν ταυτόχρονα διαφορετικές διεργασίες, όπως τις χημικές αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια και τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο εξωτερικό κύκλωμα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αυξάνει το γνωστικό φορτίο των μαθητών, όπως επισημαίνεται και στη διεθνή βιβλιογραφία (Zhang et al., 2026, Adbo & Akesson-Nilsson, 2026). Ιδιαίτερα, η κατανόηση μη άμεσα παρατηρήσιμων διεργασιών, όπως η μεταφορά ηλεκτρονίων, μπορεί να δυσκολεύει τους μαθητές να κατανοήσουν πώς οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στα ηλεκτρόδια οδηγούν στην εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα.

Συνολικά, οι περισσότερες ομάδες ήταν σε θέση να πραγματοποιήσουν σύνδεση μεταξύ των χημικών διεργασιών οξείδωσης και αναγωγής και της έννοιας του ηλεκτρικού ρεύματος. Ωστόσο, σε ορισμένες ομάδες η σύνδεση μεταξύ των εννοιών της Χημείας και της Φυσικής παρέμενε μερική ή ελλιπής.

Γ. Ανάπτυξη δεξιοτήτων επιστημονικής διερεύνησης

Ερώτηση 6. Στο εργαστήριο όλες οι ομάδες θα ακολουθήσουν την ίδια διαδικασία. Η μόνη διαφορά θα είναι το ζεύγος των μετάλλων που θα χρησιμοποιήσει κάθε ομάδα. Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι είναι σημαντικό να αλλάζει μόνο αυτός ο παράγοντας, ενώ όλοι οι υπόλοιποι παραμένουν σταθεροί;

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 6 προέκυψε ότι οι περισσότερες ομάδες αναγνώρισαν τη σημασία της διατήρησης σταθερών των υπόλοιπων συνθηκών κατά την πειραματική διερεύνηση. Συγκεκριμένα, 9 από τις 12 ομάδες (75,0%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση, αναγνωρίζοντας ότι η μεταβολή μόνο του ζεύγους των μετάλλων επιτρέπει να διερευνηθεί η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα στην παραγόμενη διαφορά δυναμικού. Στις απαντήσεις αυτές επισημάνθηκε ότι, εάν μεταβάλλονταν ταυτόχρονα περισσότεροι παράγοντες, δεν θα ήταν δυνατό να προσδιοριστεί με σαφήνεια σε ποιον από αυτούς οφείλονται οι διαφορές που ενδεχομένως θα παρατηρηθούν στις μετρήσεις.

Οι υπόλοιπες 3 ομάδες (25,0%) παρουσίασαν μερική κατανόηση. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι οι υπόλοιπες συνθήκες πρέπει να παραμένουν ίδιες ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να συγκριθούν ή ώστε το πείραμα να πραγματοποιηθεί «σωστά», χωρίς όμως να εξηγούν με σαφήνεια τη σχέση μεταξύ του ελέγχου των μεταβλητών και της δυνατότητας εξαγωγής συμπερασμάτων για την επίδραση του ζεύγους των μετάλλων. Δεν καταγράφηκαν απαντήσεις που να χαρακτηρίζονται από περιορισμένη ή λανθασμένη κατανόηση.

Συνολικά, οι περισσότερες ομάδες φάνηκε να κατανοούν τη βασική αρχή του ελέγχου των μεταβλητών, ενώ σε μικρότερο αριθμό ομάδων η κατανόηση περιοριζόταν περισσότερο στην ανάγκη ύπαρξης κοινών συνθηκών για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Ερώτηση 7. Μετά τη συζήτηση που πραγματοποιήθηκε στην ομάδα σας, γράψτε τι θεωρείτε ότι θα είναι το σημαντικότερο στοιχείο που θα διερευνήσετε στο εργαστήριο.

Από την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων στην Ερώτηση 7 προέκυψε ότι 9 από τις 12 ομάδες (75,0%) προσδιόρισαν με σαφήνεια ως βασικό αντικείμενο της εργαστηριακής διερεύνησης την επίδραση του διαφορετικού ζεύγους μετάλλων στην παραγόμενη διαφορά δυναμικού του γαλβανικού στοιχείου. Οι απαντήσεις αυτές έδειξαν ότι οι ομάδες είχαν αναγνωρίσει τη σχέση μεταξύ του παράγοντα που επρόκειτο να μεταβληθεί, δηλαδή του ζεύγους των μετάλλων, και του μεγέθους που επρόκειτο να μετρηθεί κατά την εργαστηριακή διαδικασία.

Οι υπόλοιπες 3 ομάδες (25,0%) προσδιόρισαν το αντικείμενο της διερεύνησης με περισσότερο γενικό τρόπο. Στις απαντήσεις τους εμφανίστηκαν διατυπώσεις όπως η διερεύνηση του «ποια μέταλλα

λειτουργούν καλύτερα» ή «ποια μέταλλα παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό», χωρίς να προσδιορίζεται με σαφήνεια η διαφορά δυναμικού ως το μετρούμενο μέγεθος. Οι συγκεκριμένες απαντήσεις χαρακτηρίστηκαν ως μερική κατανόηση του στόχου της πειραματικής διερεύνησης.

Συνολικά, η πλειονότητα των ομάδων ήταν σε θέση να προσδιορίσει με σαφήνεια το βασικό ερώτημα που επρόκειτο να διερευνηθεί κατά την εργαστηριακή δραστηριότητα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ο στόχος διατυπώθηκε με περισσότερο γενικούς και λιγότερο επιστημονικά συγκεκριμένους όρους.

Συνολικά, η ποιοτική ανάλυση του Φύλλου Εργασίας 1 ανέδειξε το επίπεδο κατανόησης και τις αντιλήψεις των ομάδων πριν από την πραγματοποίηση της εργαστηριακής δραστηριότητας. Οι περισσότερες ομάδες παρουσίασαν ικανοποιητική κατανόηση βασικών στοιχείων της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου, ενώ ήταν σε θέση, σε διαφορετικό βαθμό πληρότητας, να συνδέσουν τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό ρεύμα.

Τέλος, οι απαντήσεις στις Ερωτήσεις 6 και 7 έδειξαν ότι οι περισσότερες ομάδες αναγνώρισαν τη σημασία του ελέγχου των μεταβλητών (Ερώτηση 6, 75,0%) και προσδιόρισαν με ακρίβεια τον στόχο της πειραματικής διερεύνησης (Ερώτηση 7, 75,0%). Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι οι περισσότερες ομάδες ήταν σε θέση να αναγνωρίσουν βασικά στοιχεία της επιστημονικής διερεύνησης και να προσεγγίσουν με οργανωμένο τρόπο την πειραματική διαδικασία. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο με τους Setiawan et al. (2026), οι οποίοι αναδεικνύουν τη συμβολή βιωματικών προσεγγίσεων STEM, στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ανώτερης τάξης (π.χ ανάλυση δεδομένων, εφαρμογή γνώσεων) και στην ενεργό συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία. Παράλληλα, βιβλιογραφία σχετικά με την καθοδηγούμενη διερεύνηση και τις βιωματικές δραστηριότητες (Zemene et al., 2025, Karabulut et al., 2024) επισημαίνουν τη σημασία της οργανωμένης καθοδήγησης των μαθητών κατά τη διερευνητική διαδικασία. Στην παρούσα παρέμβαση, τα φύλλα εργασίας παρείχαν ένα οργανωμένο πλαίσιο, μέσα από το οποίο οι μαθητές μπορούσαν να προσδιορίσουν τον στόχο της διερεύνησης και να αναγνωρίσουν τη σημασία του ελέγχου των μεταβλητών πριν από την εκτέλεση του πειράματος.

4.2.2 Ανάλυση απαντήσεων του Φύλλου Εργασίας 2

Η ανάλυση του Φύλλου Εργασίας 2 περιλάμβανε τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά δεδομένα. Οι μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού αναλύθηκαν περιγραφικά μέσω της καταγραφής και σύγκρισης των τιμών που προέκυψαν από τις ομάδες εργασίας. Οι ανοικτές απαντήσεις των ομάδων αναλύθηκαν ποιοτικά μέσω κατηγοριοποίησης του περιεχομένου τους, ενώ για την πληρέστερη παρουσίαση των ευρημάτων καταγράφηκαν επιπλέον οι συχνότητες και τα ποσοστά εμφάνισης των επιμέρους κατηγοριών.

Μέρος Α

Κατά την εργαστηριακή διαδικασία, κάθε ομάδα πραγματοποίησε τρεις διαδοχικές μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού του γαλβανικού στοιχείου που κατασκεύασε και υπολόγισε τη μέση τιμή τους. Τα αποτελέσματα των 12 ομάδων παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Πειραματικές μετρήσεις διαφοράς δυναμικού.

Ομάδα	Ζεύγος μετάλλων	1 ^η μέτρηση (V)	2 ^η μέτρηση (V)	3 ^η μέτρηση (V)	Μέση τιμή(V)
B1-A	Zn-Cu	1,01	1,05	1,03	1,03
B1-B	Zn-Fe	0,26	0,29	0,28	0,28
B1-Γ	Cu-Fe	0,71	0,74	0,72	0,72
B1-Δ	Zn-Cu	1,08	1,04	1,06	1,06
B1-E	Zn-Fe	0,30	0,27	0,29	0,29
B1-ΣΤ	Cu-Fe	0,66	0,71	0,69	0,69
B2-A	Zn-Cu	0,94	1,00	0,98	0,97
B2-B	Zn-Fe	0,22	0,27	0,25	0,25
B2-Γ	Cu-Fe	0,76	0,73	0,75	0,75
B2-Δ	Zn-Cu	1,04	1,00	1,02	1,02
B2-E	Zn-Fe	0,31	0,28	0,30	0,30
B2-ΣΤ	Cu-Fe	0,68	0,64	0,67	0,66

Για τη συνοπτική παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων υπολογίστηκε, για κάθε ζεύγος μετάλλων, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των μέσων τιμών των τεσσάρων ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος, καθώς και το εύρος των τιμών.

Πίνακας 4.4 Μέση τιμή, τυπική απόκλιση και εύρος των μέσων τιμών.

Ζεύγος μετάλλων	Μέση τιμή (V)	Τυπική απόκλιση, SD (V)	Εύρος (V)
Zn-Cu	1,02	0,04	0,97-1,06

Cu-Fe	0,71	0,04	0,66-0,75
Zn-Fe	0,28	0,02	0,25-0,30

Όπως προκύπτει από τους παραπάνω πίνακες, το ζεύγος Zn-Cu παρουσίασε τη μεγαλύτερη μέση διαφορά δυναμικού ($M = 1,02 \text{ V}$, $SD = 0,04$), ακολουθούμενο από το Cu-Fe ($M = 0,71 \text{ V}$, $SD = 0,04$), ενώ η χαμηλότερη μέση τιμή καταγράφηκε για το ζεύγος Zn-Fe ($M = 0,28 \text{ V}$, $SD = 0,02$).

Παράλληλα, παρατηρήθηκαν μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων. Για το Zn-Cu οι μέσες τιμές κυμάνθηκαν από 0,97 έως 1,06 V, για το Cu-Fe από 0,66 έως 0,75 V και για το Zn-Fe από 0,25 έως 0,30 V. Οι σχετικά μικρές τιμές της τυπικής απόκλισης δείχνουν περιορισμένη διακύμανση μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων. Επιπλέον, οι τρεις διαδοχικές μετρήσεις στο εσωτερικό κάθε ομάδας παρουσίασαν μικρές αποκλίσεις μεταξύ τους.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι παρατηρήσεις που κατέγραψαν οι ομάδες κατά την κατασκευή και λειτουργία των γαλβανικών στοιχείων. Οι συχνότερες παρατηρήσεις αφορούσαν την ένδειξη του βολτομέτρου και τη σταθερότητα των μετρήσεων. Συγκεκριμένα, 10 από τις 12 ομάδες (83,3%) αναφέρθηκαν στην εμφάνιση μετρήσιμης διαφοράς δυναμικού μετά την ολοκλήρωση της σύνδεσης του γαλβανικού στοιχείου, ενώ 8 ομάδες (66,7%) επισήμαναν μικρές μεταβολές μεταξύ των τριών διαδοχικών μετρήσεων.

Σχετικά με τις δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι ομάδες, 9 από τις 12 ομάδες (75,0%) ανέφεραν τουλάχιστον μία δυσκολία κατά την πειραματική διαδικασία, ενώ οι υπόλοιπες 3 ομάδες (25,0%) δήλωσαν ότι δεν αντιμετώπισαν κάποια ιδιαίτερη δυσκολία.

Οι δυσκολίες που καταγράφηκαν αφορούσαν κυρίως πρακτικά και τεχνικά ζητήματα. Συγκεκριμένα, 6 από τις 12 ομάδες (50,0%) αναφέρθηκαν σε δυσκολίες κατά την κατασκευή ή τη σωστή τοποθέτηση της γέφυρας άλατος, 3 ομάδες (25,0%) ανέφεραν δυσκολίες στη σύνδεση των ηλεκτροδίων με τα καλώδια ή στην επίτευξη σταθερής ένδειξης στο βολτόμετρο, ενώ 3 ομάδες (25,0%) επισήμαναν ότι χρειάστηκε να καθαρίσουν εκ νέου ή να επανατοποθετήσουν τα ηλεκτρόδια προκειμένου να επιτύχουν σταθερότερη μέτρηση. Οι επιμέρους κατηγορίες δυσκολιών δεν ήταν αμοιβαία αποκλειόμενες, καθώς ορισμένες ομάδες ανέφεραν περισσότερες από μία δυσκολίες. Παρά τις επιμέρους δυσκολίες, όλες οι ομάδες κατάφεραν να ολοκληρώσουν την πειραματική διαδικασία και να καταγράψουν τις τρεις προβλεπόμενες μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού.

Στην ερώτηση σχετικά με το κατά πόσο κάποιο από τα πειραματικά αποτελέσματα προκάλεσε έκπληξη ή διέφερε από τις αρχικές προσδοκίες των μαθητών, 4 από τις 12 ομάδες (33,3%) ανέφεραν κάποιο στοιχείο που τους προκάλεσε εντύπωση. Ειδικότερα, 3 ομάδες (25,0%) αναφέρθηκαν στο γεγονός ότι δεν περίμεναν μία σχετικά απλή πειραματική διάταξη, αποτελούμενη από δύο ηλεκτρόδια, τα αντίστοιχα διαλύματα και τη γέφυρα άλατος από διηθητικό χαρτί, μπορούσε να οδηγήσει στην εμφάνιση μετρήσιμης διαφοράς δυναμικού στο βολτόμετρο. Μία ακόμη ομάδα (8,3%) ανέφερε ότι την εξέπληξε η έκταση της διαφοράς στις μετρούμενες τιμές μεταξύ των διαφορετικών ζευγών μετάλλων. Αντίθετα, οι υπόλοιπες 8 ομάδες (66,7%) ανέφεραν ότι τα αποτελέσματα ήταν σε γενικές γραμμές σύμφωνα με όσα ανέμεναν πριν από την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Συνολικά, από την ανάλυση του Μέρους Α προέκυψε ότι όλες οι ομάδες κατάφεραν να κατασκευάσουν και να θέσουν σε λειτουργία τα γαλβανικά στοιχεία και να πραγματοποιήσουν τις προβλεπόμενες μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού. Από τα πειραματικά δεδομένα φάνηκε σαφής διαφοροποίηση ανάλογα με το ζεύγος μετάλλων που χρησιμοποιήθηκε, με το Zn-Cu να εμφανίζει τη μεγαλύτερη μέση διαφορά δυναμικού, ακολουθούμενο από το Cu-Fe και το Zn-Fe. Η καταγραφή, η επεξεργασία και η σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων ενσωμάτωσαν παράλληλα τη χρήση βασικών μαθηματικών δεξιοτήτων στη μελέτη ενός φυσικοχημικού φαινομένου, κάτι που είναι σύμφωνο με τη διαθεματική προσέγγιση της εκπαίδευσης STEM (Carla et al., 2025, Nur Fitriyana et al., 2024).

Παράλληλα, καταγράφηκαν μικρές αποκλίσεις τόσο μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων όσο και μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων. Οι δυσκολίες που αναφέρθηκαν αφορούσαν κυρίως πρακτικά και τεχνικά ζητήματα της πειραματικής διαδικασίας, χωρίς ωστόσο να εμποδίσουν την ολοκλήρωση της δραστηριότητας. Οι δυσκολίες αυτές αναδεικνύουν τη σημασία της ενεργού εμπλοκής των μαθητών στην πειραματική διαδικασία, κατά την οποία καλούνται να αντιμετωπίσουν πρακτικά προβλήματα και να προσαρμόσουν τη διαδικασία προκειμένου να πραγματοποιήσουν αξιόπιστες μετρήσεις. Η διάσταση αυτή συνάδει με τη βιβλιογραφία για τις βιωματικές και διερευνητικές προσεγγίσεις STEM, στις οποίες η ενεργός συμμετοχή των μαθητών στην πειραματική διαδικασία συνδέεται με την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων και επιστημονικής διερεύνησης (Karabulut et al., 2024).

Τέλος, οι περισσότερες ομάδες ανέφεραν ότι τα αποτελέσματα ήταν σε γενικές γραμμές αναμενόμενα. Ωστόσο, ορισμένες ομάδες εξέφρασαν έκπληξη για το γεγονός ότι μια σχετικά απλή πειραματική διάταξη μπορούσε να παράγει μετρήσιμη διαφορά δυναμικού. Μέσα από την κατασκευή του γαλβανικού στοιχείου και την πραγματοποίηση των μετρήσεων, οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν

στην πράξη φαινόμενα που είχαν προηγουμένως προσεγγίσει μόνο σε θεωρητικό επίπεδο. Η ενεργή συμμετοχή των μαθητών σε τέτοιου είδους βιωματικές δραστηριότητες STEM έχει συσχετιστεί στη βιβλιογραφία με αυξημένο ενδιαφέρον και συμμετοχή στη μαθησιακή διαδικασία (Staus et al., 2024, Marsálek et al., 2025, Odun-Ayo & Van Devender, 2024).

Μέρος Β

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσες τιμές της διαφοράς δυναμικού που καταγράφηκαν από τις 12 ομάδες εργασίας και αποτέλεσαν τη βάση για τη σύγκριση και ερμηνεία των πειραματικών αποτελεσμάτων στις ερωτήσεις που ακολούθησαν.

Πίνακας 4.5 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων μαθητών.

Ομάδα	Ζεύγος μετάλλων	Μέση διαφορά δυναμικού (V)
B1-A	Zn-Cu	1,03
B1-B	Zn-Fe	0,28
B1-Γ	Cu-Fe	0,72
B1-Δ	Zn-Cu	1,06
B1-E	Zn-Fe	0,29
B1-ΣΤ	Cu-Fe	0,69
B2-A	Zn-Cu	0,97
B2-B	Zn-Fe	0,25
B2-Γ	Cu-Fe	0,75
B2-Δ	Zn-Cu	1,02
B2-E	Zn-Fe	0,30
B2-ΣΤ	Cu-Fe	0,66

Οι απαντήσεις των ομάδων στις ερωτήσεις του Β μέρους ταξινομήθηκαν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με την πληρότητα της σύγκρισης των πειραματικών αποτελεσμάτων και της επιστημονικής ερμηνείας των διαφορών που παρατηρήθηκαν.

Ερώτηση 1. Με βάση τα αποτελέσματα όλων των ομάδων, συγκρίνετε τις τιμές της διαφοράς δυναμικού που προέκυψαν για τα τρία ζεύγη μετάλλων. Πώς εξηγείτε τις διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των διαφορετικών ζευγών;

Οκτώ από τις 12 ομάδες (66,7%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη σύγκριση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι το ζεύγος Zn-Cu παρουσίασε τη μεγαλύτερη μέση διαφορά δυναμικού, ακολουθούμενο από το Cu-Fe και το Zn-Fe, και συνέδεσαν τις διαφορές αυτές με τις διαφορετικές τάσεις των μετάλλων να οξειδώνονται και των αντίστοιχων ιόντων τους να ανάγονται. Με τον τρόπο αυτό αναγνώρισαν ότι η διαφορά δυναμικού ενός γαλβανικού στοιχείου εξαρτάται από το συγκεκριμένο ζεύγος ηλεκτροδίων που χρησιμοποιείται.

Τρεις ομάδες (25,0%) πραγματοποίησαν ορθά τη σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων, αναγνωρίζοντας τη σειρά $\text{Zn-Cu} > \text{Cu-Fe} > \text{Zn-Fe}$, ωστόσο η ερμηνεία τους ήταν μερική. Ειδικότερα, απέδωσαν τις διαφορετικές τιμές γενικά στο γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν «διαφορετικά μέταλλα» ή ότι «κάθε μέταλλο δίνει διαφορετική τάση», χωρίς να συνδέσουν επαρκώς τη διαφοροποίηση αυτή με τις διαφορετικές τάσεις οξείδωσης και αναγωγής των επιμέρους ζευγών.

Μία ομάδα (8,3%) περιορίστηκε στην περιγραφή των αριθμητικών αποτελεσμάτων και απέδωσε τις διαφορές μεταξύ των τριών ζευγών κυρίως σε πιθανές αποκλίσεις ή σφάλματα κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων. Η απάντηση αυτή δεν αναγνώριζε ότι η συστηματική διαφοροποίηση των τιμών μεταξύ των διαφορετικών ζευγών μετάλλων σχετίζεται πρωτίστως με τα ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων ηλεκτροδίων.

Ερώτηση 2. Παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων; Αν ναι, σε ποιους παράγοντες πιστεύετε ότι μπορεί να οφείλονται;

Εννέα από τις 12 ομάδες (75,0%) αναγνώρισαν τις μικρές διαφορές μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων και πρότειναν περισσότερους από έναν πιθανούς πειραματικούς παράγοντες. Οι συχνότερες αναφορές αφορούσαν τον βαθμό καθαρισμού και την κατάσταση της επιφάνειας των ηλεκτροδίων, την ποιότητα της επαφής των καλωδίων με τα ηλεκτρόδια, την κατασκευή και τοποθέτηση της γέφυρας άλατος, καθώς και μικρές διαφοροποιήσεις κατά τη διαδικασία της μέτρησης.

Τρεις ομάδες (25,0%) αναγνώρισαν ότι υπήρχαν μικρές αποκλίσεις μεταξύ των ομάδων, αλλά απέδωσαν τις διαφορές γενικά σε «πειραματικά σφάλματα» ή σε «διαφορές στον τρόπο που έγινε το πείραμα»,

χωρίς να προσδιορίσουν συγκεκριμένους παράγοντες που θα μπορούσαν να έχουν επηρεάσει τις μετρήσεις.

Ερώτηση 3. Με βάση το πείραμα που πραγματοποιήσατε, εξηγήστε πώς οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις στο γαλβανικό στοιχείο συνδέονται με τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο εξωτερικό κύκλωμα και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Δέκα από τις 12 ομάδες (83,3%) παρουσίασαν ολοκληρωμένη κατανόηση της σύνδεσης μεταξύ των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, της μεταφοράς ηλεκτρονίων και της εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος. Οι ομάδες αυτές αναγνώρισαν ότι κατά την οξείδωση στο ένα ηλεκτρόδιο απελευθερώνονται ηλεκτρόνια, τα οποία μεταφέρονται μέσω του εξωτερικού κυκλώματος προς το άλλο ηλεκτρόδιο, όπου συμμετέχουν στην αντίδραση αναγωγής. Με τον τρόπο αυτό συνέδεσαν την οξειδοαναγωγική αντίδραση με την κατευθυνόμενη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και, επομένως, με την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι υπόλοιπες δύο ομάδες (16,7%) παρουσίασαν μερική κατανόηση της παραπάνω σύνδεσης. Στις απαντήσεις τους αναφέρθηκε η μεταφορά ηλεκτρονίων από το ένα ηλεκτρόδιο προς το άλλο και η σύνδεσή της με την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος, χωρίς όμως να αποδίδεται με σαφήνεια ότι η απελευθέρωση και η πρόσληψη ηλεκτρονίων συνδέονται αντίστοιχα με τις αντιδράσεις οξείδωσης και αναγωγής.

Ερώτηση 4. Ποιο θεωρείτε ότι είναι το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε από την εργαστηριακή διερεύνηση; Τεκμηριώστε την απάντησή σας με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα.

Από την ανάλυση των απαντήσεων προέκυψε ότι οι ομάδες εστίασαν σε διαφορετικές πτυχές της εργαστηριακής διερεύνησης ως προς το σημαντικότερο συμπέρασμα που αποκόμισαν.

Έξι από τις 12 ομάδες (50,0%) ανέδειξαν ως σημαντικότερο συμπέρασμα το γεγονός ότι η διαφορά δυναμικού ενός γαλβανικού στοιχείου επηρεάζεται από το ζεύγος μετάλλων που χρησιμοποιείται. Οι ομάδες αυτές τεκμηρίωσαν την απάντησή τους αναφερόμενες στις διαφορετικές τιμές που καταγράφηκαν για τα τρία ζεύγη, επισημαίνοντας ότι το Zn-Cu παρουσίασε τη μεγαλύτερη μέση διαφορά δυναμικού, το Cu-Fe ενδιάμεση και το Zn-Fe τη μικρότερη.

Τέσσερις ομάδες (33,3%) εστίασαν κυρίως στη σύνδεση μεταξύ των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και της εμφάνισης ηλεκτρικού ρεύματος. Στις απαντήσεις τους επισήμαναν ότι οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο γαλβανικό στοιχείο οδηγούν σε μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω

του εξωτερικού κυκλώματος, συνδέοντας με τον τρόπο αυτό τη χημική διεργασία με την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι υπόλοιπες δύο ομάδες (16,7%) επικεντρώθηκαν περισσότερο στην πειραματική διαδικασία, αναφέροντας ως βασικό συμπέρασμα ότι οι συνθήκες κατασκευής και λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου μπορούν να επηρεάσουν τις μετρούμενες τιμές. Οι ομάδες αυτές στηρίχθηκαν στις μικρές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων.

Ως προς την τεκμηρίωση των συμπερασμάτων, 10 από τις 12 ομάδες (83,3%) υποστήριξαν επαρκώς την απάντησή τους με αναφορά σε συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα ή παρατηρήσεις. Οι υπόλοιπες δύο ομάδες (16,7%) διατύπωσαν συμπεράσματα συμβατά με τα αποτελέσματα της εργαστηριακής διερεύνησης, ωστόσο η τεκμηρίωσή τους παρέμεινε γενική, χωρίς σαφή αναφορά σε συγκεκριμένες μετρήσεις ή παρατηρήσεις που είχαν προκύψει κατά την πειραματική διαδικασία.

Συνολικά, από την ανάλυση του Μέρους Β προέκυψε ότι οι περισσότερες ομάδες ήταν σε θέση να συγκρίνουν και να ερμηνεύσουν τα πειραματικά αποτελέσματα, αναγνωρίζοντας ότι η διαφορά δυναμικού διαφοροποιείται ανάλογα με το ζεύγος μετάλλων που χρησιμοποιείται. Παράλληλα, οι ομάδες αναγνώρισαν τις μικρές αποκλίσεις μεταξύ των μετρήσεων για το ίδιο ζεύγος μετάλλων και τις συνέδεσαν, σε διαφορετικό βαθμό πληρότητας, με παράγοντες της πειραματικής διαδικασίας. Το γεγονός ότι οι μαθητές χρησιμοποίησαν τα πειραματικά δεδομένα για να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματά τους είναι σύμφωνο με τη λογική της διερευνητικής μάθησης, η οποία ενθαρρύνει τους μαθητές να αξιοποιούν τις παρατηρήσεις και τις μετρήσεις τους για την κατανόηση των ηλεκτροχημικών φαινομένων (Zemene et al., 2025).

Ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα αποτέλεσε η ικανότητα της πλειονότητας των ομάδων να συνδέσει τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος. Οι μαθητές κατάφεραν, επομένως, να συνδέσουν έννοιες της Χημείας, όπως η οξείδωση και η αναγωγή, με έννοιες της Φυσικής, όπως η μεταφορά ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ικανότητα σύνδεσης διαφορετικών εννοιών για την ερμηνεία ενός φαινομένου αποτελεί σημαντικό στοιχείο της διαθεματικής προσέγγισης STEM (Netchinda & Duangpummet, 2025, Adbo & Akesson-Nilsson, 2026).

Τέλος, οι ομάδες διατύπωσαν διαφορετικά -αλλά επιστημονικά συμβατά- συμπεράσματα από την εργαστηριακή διερεύνηση, ενώ η πλειονότητά τους ήταν σε θέση να τα τεκμηριώσει με βάση συγκεκριμένα πειραματικά δεδομένα ή παρατηρήσεις. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι, στο πλαίσιο της

εργαστηριακής δραστηριότητας, οι μαθητές δεν περιορίστηκαν στην εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας και την καταγραφή μετρήσεων, αλλά αξιοποίησαν τα δεδομένα για την ερμηνεία των παρατηρούμενων φαινομένων και τη διατύπωση τεκμηριωμένων συμπερασμάτων, στοιχείο που αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της επιστημονικής διερεύνησης (Setiawan et al., 2026).

4.3 Άξονας 3: Στάσεις και αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στη STEM προσέγγιση

4.3.1 Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης

Οι απαντήσεις στις προτάσεις κλειστού τύπου αναλύθηκαν περιγραφικά μέσω του υπολογισμού συχνοτήτων και ποσοστών για κάθε κατηγορία της κλίμακας Likert. Οι απαντήσεις στις ανοικτές ερωτήσεις αναλύθηκαν ποιοτικά μέσω κατηγοριοποίησης του περιεχομένου τους, ενώ για την πληρέστερη παρουσίαση των ευρημάτων καταγράφηκαν επιπλέον οι συχνότητες και τα ποσοστά εμφάνισης των επιμέρους κατηγοριών.

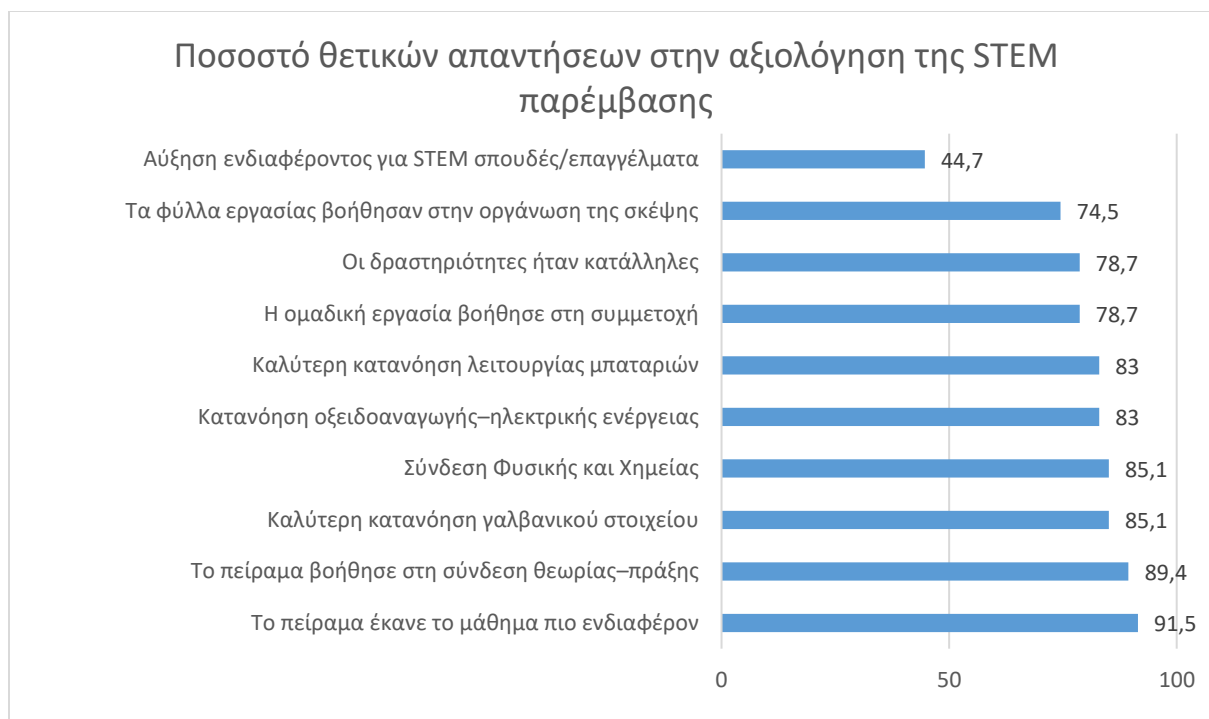
Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα ερωτηματολογίου αξιολόγησης.

Πρόταση	Διαφωνώ απόλυτα	Διαφωνώ	Ούτε διαφωνώ/ούτε συμφωνώ	Συμφωνώ	Συμφωνώ απόλυτα
Η διδακτική παρέμβαση με βοήθησε να κατανοήσω καλύτερα τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου	0 (0,0%)	2 (4,3%)	5 (10,6%)	23 (48,9%)	17 (36,2%)
Το πείραμα με βοήθησε να συνδέσω τη θεωρία με την πράξη.	0 (0,0%)	1 (2,1%)	4 (8,5%)	20 (42,6%)	22 (46,8%)

Κατανόησα καλύτερα τη σχέση ανάμεσα στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.	1 (2,1%)	2 (4,3%)	5 (10,6%)	22 (46,8%)	17 (36,2%)
Η εργασία σε ομάδα με βοήθησε να συμμετέχω περισσότερο στη μαθησιακή διαδικασία.	1 (2,1%)	3 (6,4%)	6 (12,8%)	21 (44,7%)	16 (34,0%)
Η χρήση πειράματος έκανε το μάθημα πιο ενδιαφέρον.	0 (0,0%)	1 (2,1%)	3 (6,4%)	18 (38,3%)	25 (53,2%)
Η προσέγγιση με βοήθησε να δω τη σύνδεση Φυσικής και Χημείας.	0 (0,0%)	2 (4,3%)	5 (10,6%)	22 (46,8%)	18 (38,3%)
Οι δραστηριότητες ήταν κατάλληλες για το επίπεδο της τάξης.	1 (2,1%)	2 (4,3%)	7 (14,9%)	23 (48,9%)	14 (29,8%)

Τα φύλλα εργασίας με βοήθησαν να οργανώσω τη σκέψη μου.	1 (2,1%)	3 (6,4%)	8 (17,0%)	22 (46,8%)	13 (27,7%)
Μετά την παρέμβαση αισθάνομαι ότι κατανοώ καλύτερα πώς λειτουργούν οι μπαταρίες.	0 (0,0%)	2 (4,3%)	6 (12,8%)	23 (48,9%)	16 (34,0%)
Η συμμετοχή μου στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση αύξησε το ενδιαφέρον μου για σπουδές ή επαγγέλματα που σχετίζονται με τις επιστήμες και την τεχνολογία (STEM).	4 (8,5%)	7 (14,9%)	15 (31,9%)	14 (29,8%)	7 (14,9%)

Για την καλύτερη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στο παρακάτω ραβδόγραμμα τα ποσοστά των μαθητών που αξιολόγησαν θετικά (συμφωνώ/συμφωνώ απόλυτα) τις προτάσεις αξιολόγησης.



Σχήμα 4.2 Ποσοστό θετικών απαντήσεων («Συμφωνώ» και «Συμφωνώ απόλυτα») στις προτάσεις αξιολόγησης της διδακτικής παρέμβασης STEM (n = 47).

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, οι μαθητές αξιολόγησαν σε γενικές γραμμές θετικά τη διδακτική παρέμβαση, με υψηλά ποσοστά συμφωνίας στις περισσότερες προτάσεις του ερωτηματολογίου. Ιδιαίτερα θετική ήταν η αξιολόγηση της πειραματικής διάστασης της παρέμβασης, καθώς 43 από τους 47 μαθητές (91,5%) συμφώνησαν ή συμφώνησαν απόλυτα ότι η χρήση του πειράματος έκανε το μάθημα πιο ενδιαφέρον. Αντίστοιχα, 42 μαθητές (89,4%) δήλωσαν ότι το πείραμα τους βοήθησε να συνδέσουν τη θεωρία με την πράξη.

Θετική ήταν επίσης η αντίληψη των μαθητών σχετικά με τη συμβολή της παρέμβασης στην κατανόηση των εννοιών που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα, 40 μαθητές (85,1%) δήλωσαν ότι η παρέμβαση τους βοήθησε να κατανοήσουν καλύτερα τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου, ενώ 39 μαθητές (83,0%) ανέφεραν ότι κατανόησαν καλύτερα τη σχέση μεταξύ των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, 40 μαθητές (85,1%) συμφώνησαν ή συμφώνησαν απόλυτα ότι η προσέγγιση τους βοήθησε να αντιληφθούν τη σύνδεση μεταξύ Φυσικής και Χημείας, ενώ 39 μαθητές (83,0%) δήλωσαν ότι μετά την παρέμβαση κατανοούσαν καλύτερα τον τρόπο λειτουργίας των μπαταριών.

Ως προς την οργάνωση της μαθησιακής διαδικασίας, 37 μαθητές (78,7%) δήλωσαν ότι η εργασία σε ομάδα τους βοήθησε να συμμετέχουν περισσότερο, ενώ το ίδιο ποσοστό αξιολόγησε θετικά την καταλληλότητα των δραστηριοτήτων για το επίπεδο της τάξης. Επιπλέον, 35 μαθητές (74,5%) συμφώνησαν ή συμφώνησαν απόλυτα ότι τα φύλλα εργασίας τους βοήθησαν να οργανώσουν τη σκέψη τους. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν συνολικά θετική αποτίμηση και των επιμέρους στοιχείων οργάνωσης της παρέμβασης, αν και τα ποσοστά ήταν ελαφρώς χαμηλότερα σε σχέση με εκείνα που αφορούσαν το ενδιαφέρον που προκάλεσε το πείραμα και τη σύνδεση θεωρίας και πράξης.

Διαφορετική εικόνα παρουσίασε η πρόταση σχετικά με την επίδραση της παρέμβασης στο ενδιαφέρον για μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM. Θετική απάντηση έδωσαν 21 από τους 47 μαθητές (44,7%), ενώ 15 μαθητές (31,9%) τοποθετήθηκαν ουδέτερα και 11 μαθητές (23,4%) διαφώνησαν ή διαφώνησαν απόλυτα. Το εύρημα αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς, παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη παρέμβαση ήταν περιορισμένης διάρκειας, σχεδόν οι μισοί μαθητές δήλωσαν ότι ενίσχυσε το ενδιαφέρον τους για μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM. Παράλληλα, το σημαντικό ποσοστό ουδέτερων ή αρνητικών απαντήσεων δείχνει ότι η θετική αξιολόγηση της STEM παρέμβασης δεν συνεπάγεται απαραίτητα αντίστοιχη μεταβολή στις εκπαιδευτικές ή επαγγελματικές προτιμήσεις όλων των μαθητών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις απαντήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις ανοικτού τύπου του μέρους Β.

Ερώτηση 1. Πώς αξιολογείτε συνολικά τη χρήση της STEM προσέγγισης στο συγκεκριμένο μάθημα σε σχέση με ένα παραδοσιακό μάθημα; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

Η πλειονότητα των μαθητών αξιολόγησε θετικά τη χρήση της STEM προσέγγισης σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό μάθημα. Συγκεκριμένα, 39 από τους 47 μαθητές (83,0%) εξέφρασαν προτίμηση προς τη STEM προσέγγιση, 6 μαθητές (12,8%) διατύπωσαν περισσότερο ουδέτερη ή μικτή αξιολόγηση, ενώ 2 μαθητές (4,3%) εξέφρασαν προτίμηση προς έναν περισσότερο παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας.

Όσον αφορά στην αιτιολόγηση της θετικής αξιολόγησης, οι συχνότερες αναφορές αφορούσαν το αυξημένο ενδιαφέρον που παρουσίαζε το μάθημα και τη δυνατότητα σύνδεσης της θεωρίας με την πράξη. Ειδικότερα, 28 μαθητές (59,6%) χαρακτήρισαν τη STEM προσέγγιση περισσότερο ενδιαφέρουσα ή ευχάριστη σε σχέση με ένα παραδοσιακό μάθημα, ενώ 25 μαθητές (53,2%) αναφέρθηκαν στη δυνατότητα εφαρμογής των θεωρητικών γνώσεων μέσα από την πειραματική δραστηριότητα. Επιπλέον, 18 μαθητές (38,3%) επισήμαναν την ενεργότερη συμμετοχή τους στη μαθησιακή διαδικασία, 17 (36,2%)

αναφέρθηκαν στη διευκόλυνση της κατανόησης του γνωστικού αντικειμένου και 14 (29,8%) ανέδειξαν θετικά τη συνεργασία και την εργασία σε ομάδες. Οι παραπάνω κατηγορίες δεν ήταν αμοιβαία αποκλειόμενες, καθώς αρκετοί μαθητές ανέφεραν περισσότερους από έναν λόγους για τη θετική τους αξιολόγηση.

Οι έξι μαθητές που διατύπωσαν μικτή ή ουδέτερη αξιολόγηση αναγνώρισαν θετικά στοιχεία της STEM προσέγγισης, όπως το πείραμα και την ενεργότερη συμμετοχή, αλλά παράλληλα ανέφεραν ότι σε ορισμένα σημεία θα προτιμούσαν περισσότερη θεωρητική επεξήγηση ή καθοδήγηση από τον εκπαιδευτικό. Οι δύο μαθητές που αξιολόγησαν θετικότερα την παραδοσιακή διδασκαλία ανέφεραν ότι προτιμούν έναν περισσότερο δομημένο τρόπο παρουσίασης της θεωρίας και ατομικής μελέτης.

Ερώτηση 2. Πιστεύετε ότι η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση επηρέασε τον τρόπο με τον οποίο βλέπετε τις επιστήμες ή πιθανές μελλοντικές σπουδές και επαγγέλματα; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

Στην ερώτηση αυτή παρατηρήθηκε μεγαλύτερη διαφοροποίηση στις απαντήσεις των μαθητών. Είκοσι ένας από τους 47 μαθητές (44,7%) ανέφεραν ότι η παρέμβαση επηρέασε θετικά τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβάνονται τις επιστήμες και παράλληλα ενίσχυσε, σε διαφορετικό βαθμό, το ενδιαφέρον τους για πιθανές μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM. Στις απαντήσεις τους αναφέρθηκαν κυρίως στο γεγονός ότι η πειραματική και εφαρμοσμένη προσέγγιση τούς επέτρεψε να αντιληφθούν τις επιστήμες ως περισσότερο ενδιαφέρουσες και συνδεδεμένες με πραγματικές εφαρμογές.

Δεκατρείς μαθητές (27,7%) ανέφεραν ότι η παρέμβαση τους βοήθησε να δουν τις επιστήμες με μεγαλύτερο ενδιαφέρον ή από μια διαφορετική οπτική, χωρίς ωστόσο να θεωρούν ότι επηρέασε τις πιθανές μελλοντικές εκπαιδευτικές ή επαγγελματικές τους επιλογές. Οι υπόλοιποι 13 μαθητές (27,7%) δήλωσαν ότι η παρέμβαση δεν μετέβαλε ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο βλέπουν τις επιστήμες ή τις μελλοντικές τους επιλογές.

Συνολικά, οι μαθητές αξιολόγησαν θετικά την εμπειρία τους από τη STEM διδακτική παρέμβαση, ιδιαίτερα ως προς το ενδιαφέρον που προκάλεσε το πείραμα, τη σύνδεση θεωρίας και πράξης και την κατανόηση της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου. Σύμφωνα ήταν και οι απαντήσεις στις ανοικτές ερωτήσεις. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με μελέτες που αναδεικνύουν τη θετική συμβολή βιωματικών και διερευνητικών STEM δραστηριοτήτων στο ενδιαφέρον και στην ενεργό συμμετοχή των μαθητών (O'Donoghue et al., 2024, Setiawan et al., 2026, Zemene et al., 2025).

Θετικά αξιολογήθηκαν επίσης η ομαδική εργασία και η σύνδεση εννοιών της Φυσικής και της Χημείας. Τα ευρήματα αυτά δείχνουν ότι οι μαθητές αναγνώρισαν βασικά χαρακτηριστικά της STEM προσέγγισης, όπως η συνεργασία, η ενεργός συμμετοχή και η διαθεματική σύνδεση της γνώσης, στοιχεία που αναδεικνύονται και στη διεθνή βιβλιογραφία (Koulougliotis et al., 2024, Nur Fitriyana et al., 2024).

Πιο συγκρατημένη ήταν η επίδραση που οι μαθητές απέδωσαν στην παρέμβαση ως προς το ενδιαφέρον τους για μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM, καθώς θετικά απάντησε το 44,7%. Αντίστοιχη εικόνα προέκυψε και από τις ανοικτές απαντήσεις, καθώς η παρέμβαση φάνηκε να επηρεάζει θετικά το ενδιαφέρον ενός μέρους των μαθητών, χωρίς όμως να προκύπτει αντίστοιχη επίδραση για όλους. Το εύρημα αυτό δείχνει ότι μια θετική STEM μαθησιακή εμπειρία δεν συνεπάγεται απαραίτητα μεταβολή του εκπαιδευτικού ή επαγγελματικού προσανατολισμού όλων των μαθητών, αν και η πρακτική εμπλοκή σε STEM δραστηριότητες έχει συσχετιστεί με αυξημένο ενδιαφέρον για σχετικά πεδία σπουδών και σταδιοδρομίας (Odun-Ayo & Van Devender, 2024).

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα της έρευνας, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία των ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων. Επιπλέον, συζητούνται οι περιορισμοί της μελέτης και διατυπώνονται προτάσεις για τη μελλοντική έρευνα και εκπαιδευτική αξιοποίηση στο πλαίσιο των Φυσικών Επιστημών.

5.1 Σύνοψη των Κύριων Ευρημάτων

5.1.1 Κατανόηση βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων

Ως προς το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, η διερεύνηση της κατανόησης των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων βασίστηκε κυρίως στα αποτελέσματα του

προ-τεστ και του μετα-τεστ, τα οποία συμπληρώθηκαν τόσο από την ομάδα STEM όσο και από την ομάδα ελέγχου.

Τα αποτελέσματα παρέχουν ενδείξεις για τη θετική συμβολή της STEM διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων. Αρχικά, φάνηκε πως οι δύο ομάδες (παρέμβασης + ελέγχου) βρίσκονταν σε παρόμοιο επίπεδο ως προς τις βασικές προϋπάρχουσες γνώσεις, ενώ παράλληλα αναδείχθηκαν οι δυσκολίες που αντιμετώπιζαν οι μαθητές σχετικά με την προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας μιας μπαταρίας και τη σύνδεσή της με τις χημικές αντιδράσεις.

Μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας, η ομάδα STEM παρουσίασε καλύτερη εικόνα στο μετα-τεστ σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής, η ομάδα STEM παρουσίασε υψηλότερα ποσοστά σωστών απαντήσεων και στις οκτώ ερωτήσεις, με τις μεγαλύτερες διαφορές να καταγράφονται σε ζητήματα που αφορούσαν τον έλεγχο των μεταβλητών και την επίδραση του ζεύγους μετάλλων στη διαφορά δυναμικού, καθώς και τον ρόλο της γέφυρας άλατος. Αντίστοιχη εικόνα προέκυψε και από την ανοικτή ερώτηση, όπου το 78,7% των μαθητών της ομάδας STEM έδωσε ολοκληρωμένη εξήγηση του μηχανισμού μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, έναντι 39,6% της ομάδας ελέγχου.

Συνολικά, τα ευρήματα παρέχουν ενδείξεις ότι οι μαθητές που συμμετείχαν στη STEM παρέμβαση παρουσίασαν, μετά τη διδασκαλία, πληρέστερη κατανόηση των βασικών εννοιών της ηλεκτροχημείας που εξετάστηκαν και της λειτουργίας των γαλβανικών στοιχείων, σε σύγκριση με τους μαθητές που διδάχθηκαν με τη συμβατική προσέγγιση.

5.1.2 Σύνδεση εννοιών της Χημείας και της Φυσικής

Ως προς το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, η διερεύνηση της ικανότητας των μαθητών να συνδέουν τις έννοιες της Χημείας με εκείνες της Φυσικής βασίστηκε κυρίως στην ανάλυση των δύο φύλλων εργασίας της ομάδας STEM, ενώ συμπληρωματικά αξιοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα του μετα-τεστ.

Στο πρώτο φύλλο εργασίας, πριν από την έναρξη της εργαστηριακής δραστηριότητας, το 58,3% των ομάδων πραγματοποίησε ολοκληρωμένη σύνδεση των ημιαντιδράσεων οξείδωσης και αναγωγής με τη μεταφορά ηλεκτρονίων και το ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ το 33,3% παρουσίασε μερική σύνδεση.

Στο δεύτερο φύλλο εργασίας, όπου έγινε η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της εργαστηριακής διερεύνησης, το 83,3% των ομάδων συνέδεσε ολοκληρωμένα τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τη μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Παράλληλα, μέσα από την πειραματική διερεύνηση των ζευγών Zn-Cu, Cu-Fe και Zn-Fe, οι μαθητές συνέδεσαν τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στα ηλεκτρόδια με ηλεκτρικά μεγέθη που μελέτησαν πειραματικά, όπως η διαφορά δυναμικού. Η εικόνα αυτή υποστηρίχθηκε και από τα αποτελέσματα του μετα-τεστ, στα οποία η ομάδα παρέμβασης παρουσίασε πληρέστερη κατανόηση του μηχανισμού μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.

Συνολικά, τα ευρήματα παρέχουν ενδείξεις ότι η STEM παρέμβαση βοήθησε τους μαθητές να συνδέσουν τις οξειδοαναγωγικές διεργασίες της Χημείας με τη μεταφορά ηλεκτρονίων, το ηλεκτρικό ρεύμα και την ηλεκτρική ενέργεια που εξετάζονται στο πλαίσιο της Φυσικής.

5.1.3 Αξιολόγηση της STEM μαθησιακής εμπειρίας από τους μαθητές

Ως προς το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, η αξιολόγηση της εμπειρίας των μαθητών από τη συμμετοχή τους στη STEM διδακτική παρέμβαση βασίστηκε στα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου αξιολόγησης που συμπληρώθηκε από την ομάδα παρέμβασης μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής διαδικασίας. Χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα από τις ερωτήσεις κλειστού τύπου αλλά και της ανοικτής ερώτησης σχετικά με τη συνολική αξιολόγηση της STEM προσέγγισης σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό μάθημα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν συνολικά θετική αξιολόγηση της μαθησιακής εμπειρίας. Ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά θετικών απαντήσεων καταγράφηκαν ως προς το ενδιαφέρον που προκάλεσε η πειραματική δραστηριότητα (91,5%), τη σύνδεση της θεωρίας με την πράξη (89,4%), την κατανόηση της λειτουργίας του γαλβανικού στοιχείου (85,1%) και τη σύνδεση εννοιών της Φυσικής και της Χημείας (85,1%). Θετικά αξιολογήθηκε επίσης η ομαδική εργασία ως προς τη συμμετοχή των μαθητών (78,7%).

Η θετική εικόνα ενισχύθηκε και από τις απαντήσεις στην ανοικτή ερώτηση, όπου το 83,0% των μαθητών αξιολόγησε θετικά τη STEM προσέγγιση σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό μάθημα. Στις αιτιολογήσεις τους, οι μαθητές αναφέρθηκαν κυρίως στο αυξημένο ενδιαφέρον, στην πρακτική εφαρμογή της θεωρίας, στην ενεργότερη συμμετοχή και στην ευκολότερη κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου, καθώς και στη συνεργασία μεταξύ των μαθητών.

Συνολικά, τα ευρήματα δείχνουν ότι οι μαθητές αξιολόγησαν θετικά τη STEM μαθησιακή εμπειρία ως προς την κατανόηση του γνωστικού αντικειμένου, τη συνεργασία, τη συμμετοχή και το ενδιαφέρον τους κατά τη μαθησιακή διαδικασία.

5.1.4 Ενδιαφέρον για μελλοντικές σπουδές και επαγγέλματα STEM

Ως προς το τελευταίο ερευνητικό ερώτημα, σχετικά με το αν επηρεάστηκε το ενδιαφέρον των μαθητών για μελλοντικές σπουδές και επαγγέλματα STEM βασίστηκε στα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου αξιολόγησης.

Τα αποτελέσματα ήταν περισσότερο συγκρατημένα σε σύγκριση με τη συνολική αξιολόγηση της μαθησιακής εμπειρίας. Συγκεκριμένα, το 44,7% των μαθητών δήλωσε ότι η παρέμβαση αύξησε το ενδιαφέρον του για μελλοντικές σπουδές ή επαγγέλματα STEM, ενώ το 31,9% διατήρησε ουδέτερη στάση και το 23,4% εξέφρασε αρνητική στάση ως προς τη συγκεκριμένη δήλωση.

Αντίστοιχη εικόνα προέκυψε από την ανοικτή ερώτηση. Το 44,7% των μαθητών ανέφερε θετικότερη αντίληψη για τις επιστήμες σε συνδυασμό με ενισχυμένο ενδιαφέρον για πιθανές μελλοντικές επιλογές STEM, ενώ το 27,7% ανέφερε θετικότερη αντίληψη για τις επιστήμες χωρίς μεταβολή στις μελλοντικές του επιλογές και το υπόλοιπο 27,7% δεν ανέφερε ουσιαστική μεταβολή.

Συνολικά, τα ευρήματα δείχνουν ότι η STEM παρέμβαση αποτέλεσε θετικό ερέθισμα ως προς τις μελλοντικές σπουδές και τα επαγγέλματα STEM για ένα μέρος των μαθητών, χωρίς όμως να προκύπτει αντίστοιχη επίδραση για το σύνολο της ομάδας.

Συνεπώς, η συγκεκριμένη STEM παρέμβαση ανέδειξε τη δυνατότητα αξιοποίησης μιας βιωματικής, διερευνητικής και διαθεματικής προσέγγισης για τη μεταφορά της επιστημονικής γνώσης της ηλεκτροχημείας στη σχολική εκπαιδευτική διαδικασία.

5.2 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε σε ένα μικρό δείγμα 95 μαθητών της Β΄ Γενικού Λυκείου, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα γενίκευσης των ευρημάτων σε ευρύτερο μαθητικό πληθυσμό.

Επιπλέον, ακολουθήθηκε οιονεί πειραματικός σχεδιασμός, χωρίς τυχαία κατανομή των μαθητών στις ομάδες παρέμβασης και ελέγχου. Παρότι το προ-τεστ έδειξε παρόμοια αρχική εικόνα των δύο ομάδων ως προς τις γνώσεις που εξετάστηκαν, δεν μπορεί να αποκλειστεί η επίδραση άλλων παραγόντων στις διαφορές που παρατηρήθηκαν μετά τη διδασκαλία.

Επίσης, η περιορισμένη διάρκεια της παρέμβασης αποτελεί ακόμα έναν περιορισμό, αφού πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις διδακτικές ώρες. Επιπλέον, η απουσία μεταγενέστερης επαναληπτικής μέτρησης δεν επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη διατήρηση της γνώσης και πιθανών μεταβολών στις στάσεις των μαθητών σε βάθος χρόνου.

Περιορισμό αποτελεί ακόμη το γεγονός ότι το προ-τεστ και το μετα-τεστ δεν ήταν πλήρως ισοδύναμα εργαλεία αξιολόγησης. Το προ-τεστ χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την αποτύπωση των ήδη υπάρχοντων γνώσεων και της αρχικής εικόνας των δύο ομάδων, ενώ το μετα-τεστ εστίασε ειδικότερα στις έννοιες της ηλεκτροχημείας και χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκρισή τους μετά τη διδασκαλία. Για τον λόγο αυτό, δεν πραγματοποιήθηκε άμεση σύγκριση της συνολικής επίδοσης μεταξύ προ-τεστ και μετα-τεστ, αλλά μέσω σύγκρισης των επιδόσεων των δύο ομάδων στο μετα-τεστ.

Τέλος, η αξιολόγηση της εμπειρίας των μαθητών και του ενδιαφέροντος για μελλοντικές επιλογές STEM βασίστηκε στις αυτοαναφορές των μαθητών της ομάδας παρέμβασης. Επιπλέον, το ερωτηματολόγιο αξιολόγησης δεν δόθηκε στην ομάδα ελέγχου, επομένως δεν ήταν δυνατή η άμεση σύγκριση των στάσεων των δύο ομάδων.

5.3 Προτάσεις

5.3.1 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Αρχικά, με βάση τα ευρήματα και τους περιορισμούς της παρούσας έρευνας, οι μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν σε μεγαλύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα μαθητών, με τη συμμετοχή περισσότερων σχολικών μονάδων. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να διερευνηθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα που προέκυψαν στη συγκεκριμένη έρευνα παρατηρούνται και σε άλλους μαθητές.

Παράλληλα, θα ήταν χρήσιμη η εφαρμογή αντίστοιχων STEM παρεμβάσεων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, καθώς και η αξιοποίηση ισοδύναμων εργαλείων αξιολόγησης πριν και μετά τη διδασκαλία. Ακόμα, η πραγματοποίηση μεταγενέστερης επαναληπτικής μέτρησης θα ήταν χρήσιμη για τη διερεύνηση της διατήρησης των γνώσεων και της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών σε βάθος χρόνου.

Επιπρόσθετα, η μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί και στις στάσεις των μαθητών απέναντι στις θετικές επιστήμες και την τεχνολογία, καθώς και στο ενδιαφέρον τους για μελλοντικές σπουδές και επαγγέλματα STEM. Η χρήση εργαλείων αξιολόγησης πριν και μετά την παρέμβαση, τόσο

στην ομάδα παρέμβασης όσο και στην ομάδα ελέγχου, θα επέτρεπε πιο πλήρη διερεύνηση πιθανών μεταβολών στις συγκεκριμένες στάσεις.

Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η διερεύνηση της αξιοποίησης ψηφιακών προσομοιώσεων και τεχνολογιών εικονικής ή επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR) σε συνδυασμό με την πειραματική δραστηριότητα. Τέτοια εργαλεία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση διεργασιών που δεν είναι άμεσα ορατές κατά τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου, όπως η μεταφορά ηλεκτρονίων και ιόντων.

5.3.2 Προτάσεις για την εκπαιδευτική πράξη

Σε επίπεδο εκπαιδευτικής πράξης, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας υποστηρίζουν την περαιτέρω αξιοποίηση διαθεματικών STEM δραστηριοτήτων που συνδέουν έννοιες διαφορετικών γνωστικών αντικειμένων. Θα μπορούσε να διερευνηθεί η αξιοποίηση της προσέγγισης STEAM, μέσω της ενσωμάτωσης των Τεχνών στις δραστηριότητες STEM. Η προσέγγιση αυτή έχει ήδη αξιοποιηθεί στη διδασκαλία της Χημείας, αναδεικνύοντας δυνατότητες για ακόμη ευρύτερες διεπιστημονικές μαθησιακές δραστηριότητες (Rahmawati et al., 2022).

Ειδικότερα, η ηλεκτροχημεία αποτελεί ένα πεδίο που προσφέρεται για τον σχεδιασμό ποικίλων STEM δραστηριοτήτων στο σχολικό περιβάλλον, καθώς επιτρέπει τον συνδυασμό θεωρητικών εννοιών με πειραματική διερεύνηση, μετρήσεις, κατασκευή απλών διατάξεων και επίλυση προβλημάτων.

Η αξιοποίηση απλών και χαμηλού κόστους υλικών μπορεί επίσης να διευκολύνει την εφαρμογή πειραματικών STEM δραστηριοτήτων στο σχολικό περιβάλλον, χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερα εξειδικευμένος εργαστηριακός εξοπλισμός. Για παράδειγμα, όπως στη συγκεκριμένη έρευνα, η κατασκευή απλών γαλβανικών στοιχείων μπορεί να συνδυαστεί με τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού, τη σύγκριση διαφορετικών ζευγών μετάλλων και την ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων από τους ίδιους τους μαθητές.

Η αξιοποίηση αντίστοιχων δραστηριοτήτων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών μπορεί να οργανώνεται με τρόπο που να συνδέει τη θεωρητική διδασκαλία με την πειραματική διερεύνηση, τη συνεργασία και την αξιοποίηση των δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Με τον τρόπο αυτό, η STEM προσέγγιση μπορεί να αποτελέσει ένα πλαίσιο σύνδεσης της επιστημονικής γνώσης με τη σχολική εκπαιδευτική διαδικασία.

Βιβλιογραφικός Κατάλογος

- Azhari, A., Irwandi, I., Jalil, Z., Ilhamsyah, Y., Sulastri, S., Muhibuddin, M., & Rasul, M. S. (2023). Integration Merdeka Belajar concept in development STEM module for electrochemical and renewable energy at vocational school SMK SMTI Banda Aceh. *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1), 012076–012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012076>
- Adbo, K., & Akesson-Nilsson, G. (2026). Making Redox Tangible: Physical Models in Electrochemistry Education. *Education Sciences*, 16(2), 287. <https://doi.org/10.3390/educsci16020287>
- Carla, Cidália M. V. André, & Gildo Giroto Júnior. (2025). Promoting interdisciplinary connections in STEM education: A study with preservice chemistry teachers. *STEM Education*, 5(5), 908–932. <https://doi.org/10.3934/steme.2025040>
- Chemali, E., Preindl, M., Malysz, P., & Emadi, A. (2016). Electrochemical and Electrostatic Energy Storage and Management Systems for Electric Drive Vehicles: State-of-the-Art Review and Future Trends. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 4(3), 1117–1134. <https://doi.org/10.1109/jestpe.2016.2566583>
- Costa, G. G., Wilton, Murilo Nicolás Mombelli, & Gildo Giroto Júnior. (2024). Revisiting a Teaching Sequence on the Topic of Electrolysis: A Comparative Study with the Use of Artificial Intelligence. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3255–3263. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00247>
- De Brito de Souza Canali, B., Longo, M., Das Chagas de Azevedo Ribeiro, D., & Passos, C. G. (2024). Problem-solving methodology from an STS perspective: a proposal for the teaching of electrochemistry. *Educación Química*, 35, 3–17. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.4.87801e>
- Dionysios Koulougliotis, Katerina Paschalidou, & Salta, K. (2024). Secondary School Students' Engagement with Environmental Issues via Teaching Approaches Inspired by Green Chemistry. *Sustainability*, 16(16), 7052–7052. <https://doi.org/10.3390/su16167052>
- Dorsah, P., & Yaayin, B. (2019). Altering Students Misconceptions in Electrochemistry Using Conceptual Change Texts. *International Journal of Innovative Research and Development*, 8(11). <https://doi.org/10.24940/ijird/2019/v8/i11/nov19021>
- Fiveable. (2025). *Applications of Electrochemistry*. <https://fiveable.me/honors-chem/unit-11/electrochemistry/study-guide/GdWQ24MR0tGu8XAE>

Irwanto, I., Sinarintyas, S. E., Cahyana, U., & Widana, G. A. B. (2026). Using immersive virtual reality to enhance students' design thinking disposition and academic achievement. *Cogent Education*, 13(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2026.2616848>

Kadioğlu, N., & Özyalçın Oskay, Ö. (2025). The use of mobile augmented reality supported flipped learning model in general chemistry laboratory: Electrolysis experiment example. *Pedagogical Research*, 10(2), em0236. <https://doi.org/10.29333/pr/15940>

Karabulut, H., Elcan Kaynak, N., & Kariper, İ. A. (2024). The instruction of a laboratory lesson on the Internet with STEM-based hands-on activities: Electrochemistry sampling. *Pedagogical Research*, 9(4), em0223. <https://doi.org/10.29333/pr/15156>

Liu, X., Li, K., & Li, X. (2018). *The Electrochemical Performance and Applications of Several Popular Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles - A Review*. 201–213. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2381-2_19

Marsalek, Roman & Kateřina, Trčková & Vaclavikova, Zuzana. (2025). 3D Printing of an Electrolyzer and its Validation for School Educational Purposes. *Journal of Chemical Education*. 102. 10.1021/acs.jchemed.5c00515.

Morales Nava, R., Jalil, J., Juárez-Posadas, J., Díaz-de-Anda, A., Rosquete-Borrego, E. and Díaz-Morales, L. (2025). 'Experiential Learning in Chemistry Education: The Case of REDOX Reactions', pp. 1–10. doi: 10.1109/CISPEE64787.2025.11124001.

Nur Fitriyana, Antuni Wiyarsi, Heru Pratomo, & Marfuatun Marfuatun. (2024). The importance of integrated STEM learning in chemistry lesson: Perspectives from high school and vocational school chemistry teachers. *Journal of Technology and Science Education*, 14(2), 418–418. <https://doi.org/10.3926/jotse.2356>

O'Donoghue, J., Doménech, N. G., McArdle, F., Connolly, M., Lang, Y., & McGoldrick, N. (2023). Current Chemistry Investigators (CCI): Development and Evaluation of a Scientist in a Classroom Electrochemistry Workshop. *Journal of Chemical Education*, 100(10), 4138–4146. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00515>

O'Donoghue, J., Doménech, N. G., Tully, D., McGoldrick, N., McArdle, F., Connolly, M., Otway, D. J., Daly, W., Keeney, L., & Horgan, M. (2024). Do You Want to Make a Battery? Insights from the Development and Evaluation of a Chemistry Public Engagement Activity. *Journal of Chemical Education*, 101(11), 5089–5096. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01123>

Odun-Ayo, T., & Van Devender, N. (2024). Sparking Interest in K-12 Students Using Small-Scale Electromechanical Experiments. *2024 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/educon60312.2024.10578911>

Rahayu, S., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2021). High School and Preservice Chemistry Teacher Education Students' Understanding of Voltaic and Electrolytic Cell Concepts: Evidence of Consistent Learning Difficulties Across Years. *International Journal of Science and Mathematics Education*. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10226-6>

Rahmawati, Y., Taylor, E., Taylor, P. C., Ridwan, A., & Mardiah, A. (2022). Students' Engagement in Education as Sustainability: Implementing an Ethical Dilemma-STEAM Teaching Model in Chemistry Learning. *Sustainability*, 14(6), 3554. <https://doi.org/10.3390/su14063554>

Reeves, S. M., Crippen, K. J., & McCray, E. D. (2021). The varied experience of undergraduate students learning chemistry in virtual reality laboratories. *Computers & Education*, 175, 104320. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104320>

S. Netchinda and P. Duangpummet. (2025). "Development of a Measurement Instrument to Assess Students' Conceptual Understanding in Three Levels of Chemical Representation of Galvanic Cells by Using the Rasch Model," *2025 10th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed)*, Pattaya, Thailand, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/iSTEM-Ed65612.2025.11129316.

Sciatti, F., Tamburrano, P., Distaso, E., Amirante, R., Radogna, A. V., Morciano, A., & Grassi, G. (2025). A comprehensive overview of lithium-ion batteries for electric vehicles: Materials, performance, safety, recycling, and emerging technologies. *Journal of Energy Storage*, 144, 119694. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.119694>

Setiawan, V., Situmorang, M. & Silaban, R. (2026). Project-based learning with STEM to promote higher order thinking skills as a strategy to improve high school chemistry learning outcomes. *Chemistry Teacher International*, 8(1), 53-68. <https://doi.org/10.1515/cti-2025-0025>

Verma, R., & Chopra, H. (2017). Integrated approach of learning: An effective way to teach electrochemistry. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(8), 69-72.

Zemene, A. B., Eticha, A. T., & Bekana, D. (2025). Process oriented guided inquiry learning: a possible solution to improve high school students' conceptual understanding of electrochemistry and attitude. *Chemistry Teacher International*, 7(3), 515–531. <https://doi.org/10.1515/cti-2025-0035>

Zhang, N., Bian, M., He, D., Hu, X., Yang, Y., & Zhu, M. (2026). Advancing chemical meso-microscopic education with virtual simulation: design and evaluation of a cluster solution structure learning platform. *Discover Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s44217-026-01318-y>

Καραντώνης, Α 2015, *Βασικές Αρχές Ηλεκτροχημείας: Ιοντικά Διαλύματα & Ηλεκτροχημική Κινητική*, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών - Κάλλιπος, Αθήνα.

Οικονομίδης, ΒΔ (επιμ.) 2011, *Εκπαίδευση & επιμόρφωση εκπαιδευτικών: Θεωρητικές και ερευνητικές προσεγγίσεις*, Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα.

Παράρτημα Α

Προ-τεστ

Τίτλος παρέμβασης: Ηλεκτροχημική κινητική: Μεταφορά επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική διαδικασία

Τάξη: Β' Γενικού Λυκείου

Κωδικός μαθητή:

Τμήμα:

Ημερομηνία:

Οδηγίες προς τους μαθητές

Το παρόν ερωτηματολόγιο αποτελεί μέρος μιας ερευνητικής μελέτης που πραγματοποιείται στο πλαίσιο μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Δεν αποτελεί μέρος της σχολικής αξιολόγησης και δεν επηρεάζει τη βαθμολογία σας στο μάθημα.

Οι απαντήσεις σας θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς και θα παραμείνουν εμπιστευτικές. Παρακαλείστε να απαντήσετε σε όλες τις ερωτήσεις όσο το δυνατόν πιο ειλικρινά.

Χρόνος συμπλήρωσης: 15 λεπτά

Μέρος Α

(Επιλέξτε μία μόνο απάντηση.)

1. Ποια από τις ακόλουθες προτάσεις πιστεύετε ότι περιγράφει γενικότερα, τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα;

- α. Η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε έναν αγωγό.
- β. Η συνεχής παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μια πηγή.
- γ. Η προσανατολισμένη κίνηση φορτίων μέσα σε έναν μεταλλικό αγωγό ή σε ένα διάλυμα.
- δ. Δεν γνωρίζω.

2. Ποιο από τα παρακάτω είναι απαραίτητο για να λειτουργήσει ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα;

- α. Πηγή ηλεκτρικής ενέργειας και λαμπτήρας.
- β. Πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, αγωγοί και καταναλωτής.
- γ. Λαμπτήρας, διακόπτης και καταναλωτής.
- δ. Αγωγοί και διακόπτης.

3. Ποιο ή ποια από τα παρακάτω υλικά είναι κακός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος;

- α. Ξύλο
- β. Χαλκός
- γ. Απιονισμένο νερό
- δ. Γυαλί

4. Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, ποιος είναι ο βασικός ρόλος της μπαταρίας;

- α. Να παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια ώστε να λειτουργεί το κύκλωμα.
- β. Να παράγει ηλεκτρικά φορτία.
- γ. Να αποθηκεύει ηλεκτρικό ρεύμα.
- δ. Δεν γνωρίζω.

5. Τι συμβαίνει όταν ανοίξει ο διακόπτης ενός ηλεκτρικού κυκλώματος;

- α. Φορτία ξεκινούν να ρέουν προσανατολισμένα στο κύκλωμα.
- β. Σταματά η προσανατολισμένη ροή φορτίων στο κύκλωμα.
- γ. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από την μπαταρία στους καταναλωτές.
- δ. Δεν γνωρίζω.

6. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστή;

- α. Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να κυκλοφορεί μόνο σε κλειστό κύκλωμα.
- β. Το ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να κυκλοφορεί ακόμη και όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, εφόσον η μπαταρία είναι φορτισμένη.
- γ. Η μπαταρία δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα ακόμη και χωρίς να είναι συνδεδεμένη σε κύκλωμα.
- δ. Δεν γνωρίζω.

7. Ένας μαθητής κατασκευάζει σωστά ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα χρησιμοποιώντας λειτουργική μπαταρία, λειτουργικό λαμπτήρα, διακόπτη και καλώδια. Παρόλα αυτά, ο λαμπτήρας δεν ανάβει. Ποια ή είναι η πιθανότερη αιτία;

- α. Το κύκλωμα δεν είναι κλειστό.
- β. Ο διακόπτης δεν είναι ανοικτός.
- γ. Όλα τα παραπάνω.
- δ. Δεν γνωρίζω.

8. Ένας μαθητής κατασκευάζει ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα με μπαταρία, καλώδια διακόπτη και λαμπτήρα. Ποια από τις παρακάτω ενέργειες θα είχε ως αποτέλεσμα να σβήσει ο λαμπτήρας;

- α. Να αφαιρέσει ένα από τα καλώδια.
- β. Να συνδέσει ένα καλώδιο στα άκρα της μπαταρίας.
- γ. Να ανοίξει τον διακόπτη.
- δ. Όλα τα παραπάνω.

Μέρος Β

Ανοικτές ερωτήσεις

9. Από πού πιστεύετε ότι προέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια μιας μπαταρίας; Σχολιάστε αν η μπαταρία περιέχει προ-αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια ή αν στην μπαταρία πραγματοποιείται κάποιος μετασχηματισμός ενέργειας κατά την λειτουργία της σε ένα κύκλωμα.

10. Πιστεύετε ότι ο τρόπος με τον οποίο λειτουργεί μια μπαταρία σχετίζεται με κάποια χημική αντίδραση; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

Παράρτημα Β

Μετα-τεστ

Τίτλος παρέμβασης: Ηλεκτροχημική κινητική: Μεταφορά επιστημονικής γνώσης στην εκπαιδευτική διαδικασία

Τάξη: Β' Γενικού Λυκείου

Τμήμα:

Ημερομηνία:

Οδηγίες προς τους μαθητές

Το παρόν ερωτηματολόγιο αποτελεί μέρος μιας ερευνητικής μελέτης που πραγματοποιείται στο πλαίσιο μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Δεν αποτελεί μέρος της σχολικής αξιολόγησης και δεν επηρεάζει τη βαθμολογία σας στο μάθημα.

Οι απαντήσεις σας θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς και θα παραμείνουν εμπιστευτικές. Παρακαλείστε να απαντήσετε σε όλες τις ερωτήσεις όσο το δυνατόν πιο ειλικρινά.

Χρόνος συμπλήρωσης: 15 λεπτά

Μέρος Α

(Επιλέξτε μία μόνο απάντηση.)

1. Σε ένα γαλβανικό στοιχείο, σε ποιο ηλεκτρόδιο πραγματοποιείται η οξείδωση;

α. Στην άνοδο, όπου αποδίδονται ηλεκτρόνια.

β. Στην κάθοδο, όπου παράγονται ηλεκτρόνια.

γ. Στην άνοδο, όπου παράγονται ηλεκτρόνια

δ. Στην κάθοδο, όπου αποδίδονται ηλεκτρόνια.

2. Ποιος είναι ο βασικός ρόλος της γέφυρας άλατος σε ένα γαλβανικό στοιχείο;

α. Να διατηρεί την ηλεκτρική ουδετερότητα των δύο διαλυμάτων, επιτρέποντας τη μετακίνηση ιόντων.

β. Να επιτρέπει τη μεταφορά ηλεκτρονίων μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

γ. Να αυξάνει την ηλεκτρική τάση του γαλβανικού στοιχείου.

δ. Να αποτρέπει την εξάντληση των μεταλλικών ηλεκτροδίων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του στοιχείου.

3. Σε ένα γαλβανικό στοιχείο, ενέργεια παράγεται επειδή:

α. Η αυθόρμητη οξειδοαναγωγική αντίδραση προκαλεί μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω του εξωτερικού κυκλώματος.

β. Τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται μέσω της γέφυρας άλατος από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο.

γ. Τα μεταλλικά ηλεκτρόδια αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια και την αποδίδουν στο κύκλωμα.

δ. Τα μεταλλικά ιόντα κινούνται μέσα από τα καλώδια σύνδεσης και δημιουργούν ηλεκτρικό ρεύμα.

4. Γιατί τα ηλεκτρόνια κινούνται από το ένα ηλεκτρόδιο προς το άλλο μέσω του εξωτερικού κυκλώματος;

α. Καθώς παράγονται κατά την οξείδωση και καταναλώνονται κατά την αναγωγή.

β. Καθώς παράγονται κατά την αναγωγή και καταναλώνονται κατά την οξείδωση.

γ. Επειδή το βολτόμετρο δημιουργεί τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων.

δ. Καθώς μεταφέρονται από τη γέφυρα άλατος από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο.

5. Τι θα συνέβαινε αν αφαιρούσαμε τη γέφυρα άλατος από ένα γαλβανικό στοιχείο;

α. Η λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου θα διακοπτόταν σταδιακά, επειδή δεν θα διατηρούνταν η ηλεκτρική ουδετερότητα των διαλυμάτων.

β. Η διαφορά δυναμικού θα παρέμενε ίδια, αλλά θα σταματούσε μόνο η ροή ηλεκτρονίων.

γ. Η τάση του στοιχείου θα αυξανόταν λόγω μικρότερης ηλεκτρικής αντίστασης.

δ. Το γαλβανικό στοιχείο θα συνέχιζε να λειτουργεί κανονικά, αφού η γέφυρα άλατος δεν συμμετέχει στη λειτουργία του.

6. Ποια πρόταση περιγράφει σωστά τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου;

α. Μετατρέπει τη χημική ενέργεια μιας αυθόρμητης οξειδοαναγωγικής αντίδρασης σε ηλεκτρική ενέργεια.

β. Μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική ενέργεια μέσω της μετακίνησης ηλεκτρονίων.

γ. Παράγει ηλεκτρική ενέργεια αποκλειστικά λόγω της μετακίνησης ιόντων στη γέφυρα άλατος.

δ. Παρέχει ηλεκτρική ενέργεια που είναι προ αποθηκευμένη όπως ακριβώς θα συνέβαινε σε έναν φορτισμένο πυκνωτή.

7. Κατά τη διάρκεια ενός πειράματος, κατασκευάστηκαν δύο διαφορετικά γαλβανικά στοιχεία και χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά ζεύγη μετάλλων, αλλά η ίδια πειραματική διαδικασία.

Γιατί ήταν σημαντικό να παραμείνουν όλες οι υπόλοιπες συνθήκες ίδιες;

α. Για να διερευνηθεί η επίδραση του ζεύγους των μετάλλων στην παραγόμενη διαφορά δυναμικού.

β. Για να παραχθεί η ίδια διαφορά δυναμικού σε όλα τα γαλβανικά στοιχεία.

γ. Για να διαπιστωθεί αν η γέφυρα άλατος επηρεάζει τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου.

δ. Για να διερευνηθεί αν η ποσότητα του διαλύματος επηρεάζει την παραγόμενη διαφορά δυναμικού.

8. Κατά τη διάρκεια του ίδιου πειράματος, η μία ομάδα μέτρησε μεγαλύτερη διαφορά δυναμικού από μια άλλη. Ποια είναι η πιο πιθανή εξήγηση;

α. Το ζεύγος των μετάλλων ήταν διαφορετικό στις δυο ομάδες με αποτέλεσμα να υπάρχει διαφορετική «τάση» να συμμετέχει το κάθε μέταλλο σε οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, και τελικά να δημιουργηθεί μεγαλύτερη ή μικρότερη διαφορά δυναμικού.

β. Το βολτόμετρο της συγκεκριμένης ομάδας παρήγαγε διαφορετική ηλεκτρική τάση.

γ. Η χάρτινη γέφυρα άλατος παρήγαγε επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια.

δ. Η μεγαλύτερη ποσότητα διαλύματος αύξησε την παραγόμενη διαφορά δυναμικού.

Μέρος Β

9. Εξηγήστε με δικά σας λόγια πώς ένα γαλβανικό στοιχείο μετατρέπει τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Παράρτημα Γ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 1

Τμήμα:

Ομάδα:

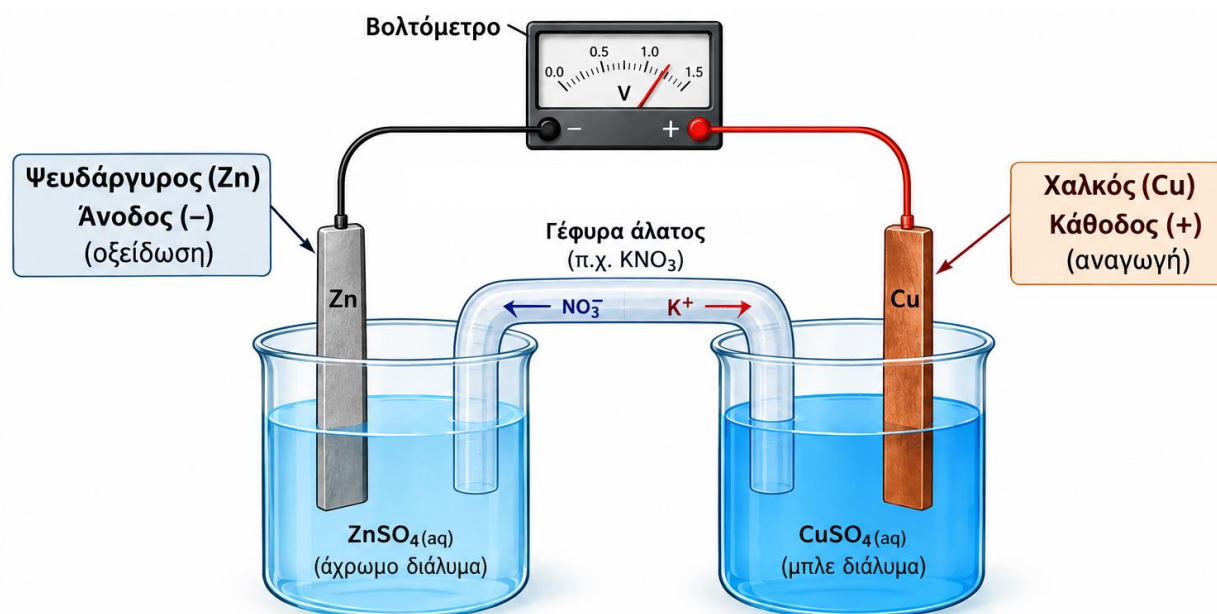
Μέλη ομάδας:

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

Σκοπός

Σύνδεση των γνώσεων που έχετε αποκτήσει στη Χημεία σχετικά με τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις με τις εκείνες της Φυσικής για το ηλεκτρικό ρεύμα και προετοιμασία για το πείραμα της επόμενης διδακτικής ώρας.

Παρατηρήστε το παρακάτω γαλβανικό στοιχείο.



Σχήμα Γ.1 Γαλβανικό στοιχείο. (δημιουργήθηκε με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης)

Ερώτηση 1

Α) Με βάση όσα συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας και τις γνώσεις σας περιγράψτε με δικά σας λόγια πώς πιστεύετε ότι λειτουργεί η παραπάνω διάταξη.

Β) Σημειώστε πάνω στο σχήμα τη φορά των ηλεκτρονίων, την άνοδο και την κάθοδο. Αιτιολογήστε σύντομα την απάντησή σας.

Ερώτηση 2

Ποιος πιστεύετε ότι είναι ο ρόλος των δύο διαφορετικών μετάλλων στη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου;

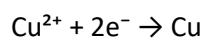
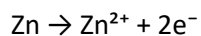
Ερώτηση 3

Ποιος πιστεύετε ότι είναι ο ρόλος της γέφυρας άλατος στη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου;

Ερώτηση 4

Πιστεύετε ότι ένα γαλβανικό στοιχείο παράγει ηλεκτρική ενέργεια ή καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια; Ή συμβαίνει κάτι διαφορετικό; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Δίνονται οι δύο ημιαντιδράσεις:



Ερώτηση 5

Πώς πιστεύετε ότι οι παραπάνω ημιαντιδράσεις οδηγούν στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στο γαλβανικό στοιχείο;

Ερώτηση 6

Στο εργαστήριο όλες οι ομάδες θα ακολουθήσουν την ίδια διαδικασία. Η μόνη διαφορά θα είναι το ζεύγος των μετάλλων που θα χρησιμοποιήσει κάθε ομάδα.

Για ποιο λόγο πιστεύετε ότι είναι σημαντικό να αλλάζει μόνο αυτός ο παράγοντας, ενώ όλοι οι υπόλοιποι παραμένουν σταθεροί;

Ερώτηση 7

Μετά τη συζήτηση που πραγματοποιήθηκε στην ομάδα σας, γράψτε τι θεωρείτε ότι θα είναι το σημαντικότερο στοιχείο που θα διερευνήσετε στο εργαστήριο.

Παράρτημα Δ

ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

Τμήμα:

Ομάδα:

Ημερομηνία:

Μέλη ομάδας:

1.

2.

3.

4.

ΜΕΡΟΣ Α

Σκοπός

Η κατασκευή ενός γαλβανικού στοιχείου, η μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής τάσης και η διερεύνηση του τρόπου με το οποίο το ζεύγος των μετάλλων επηρεάζει τη διαφορά δυναμικού.

Υλικά

2 ποτήρια ζέσεως 250 mL

Διάλυμα ZnSO_4 1 M

Διάλυμα CuSO_4 1M

Διάλυμα FeSO_4 1 M

Απιονισμένο νερό

Πυκνό Διάλυμα KNO_3

Διηθητικό χαρτί

Ψηφιακό βολτόμετρο

Καλώδια σύνδεσης

Μεταλλικά ηλεκτρόδια (Zn, Cu, Fe)

Γυαλόχαρτο (για καθαρισμό ηλεκτροδίων)

Γάντια και γυαλιά

Πίνακας Δ.1 Κατανομή ομάδων

Ομάδα	Ζεύγος μετάλλων
A	Zn-Cu
B	Zn-Fe
Γ	Cu-Fe
Δ	Zn-Cu
E	Zn-Fe
ΣΤ	Cu-Fe

Πειραματική διαδικασία

Κάθε ομάδα θα κατασκευάσει το γαλβανικό στοιχείο που αντιστοιχεί στο ζεύγος μετάλλων που της έχει ανατεθεί, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

Αρχικά, τα μεταλλικά ηλεκτρόδια θα καθαριστούν προσεκτικά με γυαλόχαρτο, για να απομακρυνθούν τυχόν οξείδια από την επιφάνειά τους. Στη συνέχεια, σε δύο ποτήρια ζέσεως θα τοποθετηθούν ίσοι όγκοι (50 mL) των αντίστοιχων διαλυμάτων μεταλλικών ιόντων συγκέντρωσης 1 M και κάθε ηλεκτρόδιο θα τοποθετηθεί στο αντίστοιχο διάλυμά του (Zn στο ZnSO_4 , Cu στο CuSO_4 και Fe στο FeSO_4 , ανάλογα με το ζεύγος μετάλλων της ομάδας). Θα κοπεί μία λωρίδα διηθητικού χαρτιού κατάλληλου μήκους και θα εμποτιστεί με διάλυμα KNO_3 . Στη συνέχεια, η λωρίδα θα τοποθετηθεί με τα δύο άκρα της στα αντίστοιχα διαλύματα, ώστε να σχηματίζει τη χάρτινη γέφυρα άλατος μεταξύ των δύο ημιστοιχείων. Ακολούθως τα ηλεκτρόδια, θα συνδεθούν με το ψηφιακό βολτόμετρο με τη βοήθεια των καλωδίων σύνδεσης, σύμφωνα με τις οδηγίες του εκπαιδευτικού. Αφού σταθεροποιηθεί η ένδειξη του βολτομέτρου, θα καταγραφεί η

πρώτη τιμή της διαφοράς δυναμικού. Στη συνέχεια, τα καλώδια θα αποσυνδεθούν και θα επανασυνδεθούν στα ηλεκτρόδια και, μετά τη σταθεροποίηση της ένδειξης, θα πραγματοποιηθεί δεύτερη μέτρηση. Η ίδια διαδικασία θα επαναληφθεί μία ακόμη φορά, ώστε να ληφθούν συνολικά τρεις μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού. Τέλος, οι τρεις τιμές θα καταγραφούν στον πίνακα μετρήσεων και θα υπολογιστεί η μέση τιμή της διαφοράς δυναμικού, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών ομάδων.

Πίνακας Δ.2 Καταγραφή μετρήσεων

Ζεύγος μετάλλων	1 ^η μέτρηση (V)	2 ^η μέτρηση (V)	3 ^η μέτρηση (V)	Μέση τιμή(V)

Παρατηρήσεις

Καταγράψτε τις σημαντικότερες παρατηρήσεις της ομάδας σας κατά την κατασκευή και λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου. Μπορείτε να αναφερθείτε, ενδεικτικά, στην ένδειξη του βολτομέτρου, στη σταθερότητα των μετρήσεων, στη συμπεριφορά των ηλεκτροδίων ή σε οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση θεωρείτε σημαντική.

Ποιες δυσκολίες αντιμετωπίσατε κατά την κατασκευή ή τη λειτουργία του γαλβανικού στοιχείου;

Υπήρξε κάποιο αποτέλεσμα που σας εξέπληξε ή διέφερε από αυτό που περιμένατε; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

Μέρος Β

Πίνακας Δ.3. Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

Ομάδα	Ζεύγος μετάλλων	Μέση διαφορά δυναμικού (V)
B1-A	Zn-Cu	
B1-B	Zn-Fe	
B1-Γ	Cu-Fe	
B1-Δ	Zn-Cu	
B1-E	Zn-Fe	
B1-ΣΤ	Cu-Fe	
B2-A	Zn-Cu	
B2-B	Zn-Fe	
B2-Γ	Cu-Fe	
B2-Δ	Zn-Cu	
B2-E	Zn-Fe	
B2-ΣΤ	Cu-Fe	

Ερώτηση 1

Με βάση τα αποτελέσματα όλων των ομάδων, συγκρίνετε τις τιμές της διαφοράς δυναμικού που προέκυψαν για τα τρία ζεύγη μετάλλων. Πώς εξηγείτε τις διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των διαφορετικών ζευγών;

Ερώτηση 2

Παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των ομάδων που χρησιμοποίησαν το ίδιο ζεύγος μετάλλων; Αν ναι, σε ποιους παράγοντες πιστεύετε ότι μπορεί να οφείλονται;

Ερώτηση 3

Με βάση το πείραμα που πραγματοποιήσατε, εξηγήστε πώς οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις στο γαλβανικό στοιχείο συνδέονται με τη μεταφορά ηλεκτρονίων στο εξωτερικό κύκλωμα και την εμφάνιση ηλεκτρικού ρεύματος.

Ερώτηση 4

Ποιο θεωρείτε ότι είναι το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε από την εργαστηριακή διερεύνηση; Τεκμηριώστε την απάντησή σας με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα.

Παράρτημα Ε

Ερωτηματολόγιο αξιολόγησης της διδακτικής παρέμβασης STEM

Τμήμα:

Ημερομηνία:

Οδηγίες

Το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο δεν επηρεάζει τη σχολική σας βαθμολογία, έχει ως σκοπός να καταγραφούν οι απόψεις σας σχετικά με τη διδακτική παρέμβαση στην οποία συμμετείχατε. Οι απαντήσεις είναι ανώνυμες και θα χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά για ερευνητικούς σκοπούς.

Μέρος Α

Σημειώστε τον βαθμό συμφωνίας σας με κάθε πρόταση.

1 = Διαφωνώ απόλυτα

2 = Διαφωνώ

3 = Ούτε συμφωνώ ούτε διαφωνώ

4 = Συμφωνώ

5 = Συμφωνώ απόλυτα

Πρόταση	1	2	3	4	5
Η διδακτική παρέμβαση με βοήθησε να κατανοήσω καλύτερα τη λειτουργία ενός γαλβανικού στοιχείου					
Το πείραμα με βοήθησε να συνδέσω τη					

θεωρία με την πράξη.					
Κατανόησα καλύτερα τη σχέση ανάμεσα στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.					
Η εργασία σε ομάδα με βοήθησε να συμμετέχω περισσότερο στη μαθησιακή διαδικασία.					
Η χρήση πειράματος έκανε το μάθημα πιο ενδιαφέρον.					
Η προσέγγιση με βοήθησε να δω τη σύνδεση Φυσικής και Χημείας.					
Οι δραστηριότητες ήταν κατάλληλες					

για το επίπεδο της τάξης.					
Τα φύλλα εργασίας με βοήθησαν να οργανώσω τη σκέψη μου.					
Μετά την παρέμβαση αισθάνομαι ότι κατανοώ καλύτερα πώς λειτουργούν οι μπαταρίες.					
Η συμμετοχή μου στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση αύξησε το ενδιαφέρον μου για σπουδές ή επαγγέλματα που σχετίζονται με τις επιστήμες και την τεχνολογία (STEM).					

Μέρος Β

1. Πώς αξιολογείτε συνολικά τη χρήση της STEM προσέγγισης στο συγκεκριμένο μάθημα σε σχέση με ένα παραδοσιακό μάθημα; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.

2. Πιστεύετε ότι η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση επηρέασε τον τρόπο με τον οποίο βλέπετε τις επιστήμες ή πιθανές μελλοντικές σπουδές και επαγγέλματα; Να αιτιολογήσετε σύντομα την απάντησή σας.