

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

Τόμ. 14, Αρ. 2 (2026)

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

ΠΡΑΚΤΙΚΑ


14^ο

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
και ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ στην ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

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

Στην μνήμη της Άννας Σπύριου


12-14 Απριλίου 2025



ΥΠΟ ΤΗΝ ΑΙΓΙΔΑ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ, ΑΠΘ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΑΠΘ

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

synedrio2025.enepht.gr



**Πρόωθηση των Δεξιοτήτων του 21ου Αιώνα μέσω
μίας Διδακτικής Παρέμβασης για το Φαινόμενο
της Υδροφοβίας**

*Λάζαρος Πελέκας, Ευριπίδης Χατζηκρανιώτης, Ηρώ
Κολιάκου*

doi: [10.12681/codiste.9922](https://doi.org/10.12681/codiste.9922)

Πρώθηση των Δεξιοτήτων του 21^{ου} Αιώνα μέσω μίας Διδακτικής Παρέμβασης για το Φαινόμενο της Υδροφοβίας

Λάζαρος Πελέκας¹, Ευριπίδης Χατζηκρανιώτης² και Ηρώ Κολιάκου³

¹Υποψήφιος Διδάκτορας, ²Καθηγητής ³Καθηγήτρια Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

^{1,2}Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας,

Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

³Επικεφαλής STEM, Κολλέγιο Ανατόλια, Θεσσαλονίκη

¹lpelekas@physics.auth.gr

Περίληψη

Το φαινόμενο της υδροφοβίας αναφέρεται στην ιδιότητα ορισμένων επιφανειών να απωθούν το νερό, ελαχιστοποιώντας την επαφή μαζί του λόγω χαμηλής επιφανειακής ενέργειας. Η εισαγωγή της νανοτεχνολογίας στην εκπαιδευτική διαδικασία ενθαρρύνει τη διαθεματικότητα, την πρωτοβουλία και την καινοτομία, παρέχοντας μια ισχυρή βάση για την ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών που απαιτούνται στον 21^ο αιώνα. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η προώθηση των δεξιοτήτων του 21^{ου} αιώνα μέσω μίας διδακτικής παρέμβασης για το φαινόμενο της υδροφοβίας στα πλαίσια ενός ομίλου STEM σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, εξετάζοντας παράλληλα τις γνώσεις και τις στάσεις τους απέναντι στην επιστήμη και την τεχνολογία.

Λέξεις κλειδιά: δεξιότητες του 21^{ου} αιώνα, δευτεροβάθμια εκπαίδευση, διδακτική μαθησιακή ακολουθία, νανοτεχνολογία, υδροφοβία

Promoting 21st Century Skills through a Teaching Intervention on the Hydrophobicity Phenomenon

Lazaros Pelekas¹, Euripides Hatzikraniotis² and Iro Koliakou³

¹PhD Student, School of Physics, ²Professor, ³Science Teacher

^{1,2}Laboratory of Science Education & Educational Technology,

School of Physics, Aristotle University of Thessaloniki

³Head of STEM, Anatolia College, Thessaloniki

¹lpelekas@physics.auth.gr

Abstract

The phenomenon of hydrophobicity refers to the property of certain surfaces to repel water, minimizing contact with it due to low surface energy. The introduction of nanotechnology in the educational process encourages interdisciplinary, initiative and innovation, providing a concrete foundation for the development of students' skills required in the 21st century. The purpose of this work is to promote 21st century skills through a teaching intervention on the phenomenon of hydrophobicity within the framework of a STEM club for secondary education students, while examining their knowledge and attitudes towards science and technology.

Keywords: 21st-century skills, hydrophobicity, nanotechnology, secondary education, teaching-learning sequence

Εισαγωγή

Τα 4C's (critical thinking, creativity, communication, collaboration) είναι θεμελιώδεις δεξιότητες που έχουν αναγνωριστεί ως κρίσιμης σημασίας για την επιτυχία στον 21^ο αιώνα. Η ενσωμάτωση αυτών των δεξιοτήτων στην εκπαίδευση είναι απαραίτητη για να προετοιμάσει τους μαθητές, να ενθαρρύνει την καινοτομία και να διασφαλίσει την ομαλή προσαρμογή τους στην εργασιακή αγορά και στην κοινωνία (Hirsh-Pasek et al., 2020).

Η Νανοεπιστήμη και η Νανοτεχνολογία (N-ET), έχει αναδειχθεί ως ένας από τους πλέον πρωτοποριακούς και δυναμικά αναπτυσσόμενους τομείς της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας, καθώς συνδυάζει παραδοσιακά αντικείμενα όπως η χημεία, η φυσική και η μηχανική. Η ένταξη της N-ET στην εκπαιδευτική διαδικασία προσφέρει ένα πλαίσιο για την εξάσκηση και την εφαρμογή γνώσεων και δεξιοτήτων σε πραγματικά και σύνθετα προβλήματα. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με μία συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση των Πελέκας & Χατζηκρανιώτης (2025), τα θέματα της N-ET θεωρούνται κατάλληλα για την προώθηση των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, καθώς οι περισσότερες έρευνες χρησιμοποιούν την διερεύνηση για την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, ενώ η συζήτηση σε συνδυασμό με δραστηριότητες ενεργούς μάθησης και η αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων, ενισχύουν τη συνεργασία και την επικοινωνία μέσω της ομαδικής επίλυσης προβλημάτων.

Από το ευρύ φάσμα θεμάτων της N-ET, αυτό που ξεχωρίζει ως προς την διαθεματικότητα του στην εκπαίδευση είναι το φαινόμενο της υδροφοβίας, καθώς οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να συνδυάσουν έννοιες από διαφορετικές επιστήμες για να εξηγήσουν φαινόμενα της καθημερινότητας (Pelekas & Hatzikraniotis, 2023). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το φαινόμενο του λωτού, που χάρη στον συνδυασμό των μικρο- και νανοδομών της επιφάνειάς των φύλλων του (ιεραρχική δομή), επιτρέπει στο νερό να σχηματίζει σφαιρικές σταγόνες και να απομακρύνει τη σκόνη και τους ρύπους (Barthlott et al., 2016). Το φαινόμενο αυτό συναντάται αρκετά συχνά σε εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, καθώς θεωρείται πρόσφορο για την προώθηση των 4C's, αλλά και ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στην επιστήμη (Αρβανίτου & Πετρίδου, 2024; Ντεβετούδη & Χατζηκρανιώτης, 2024).

Για να διερευνηθεί το κεντρικό ερευνητικό ερώτημα της εργασίας, κατά πόσο προωθούνται οι δεξιότητες του 21ου αιώνα μέσα από θέματα N-ET, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μία διδακτική παρέμβαση για την κατανόηση του φαινομένου της υδροφοβίας, εστιάζοντας στην προώθηση των 4C's, εξετάζοντας παράλληλα τις στάσεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη. Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας είναι:

- ε ποιο βαθμό ενισχύθηκαν οι δεξιότητες των μαθητών μετά την εφαρμογή της παρέμβασης;
- πάρχει διαφοροποίηση στις στάσεις των μαθητών ως προς την επιστήμη μετά την εφαρμογή της παρέμβασης;
- ως εξελίχθηκε η συχνότητα εμφάνισης των δεξιοτήτων των μαθητών κατά την διάρκεια της παρέμβασης;

Τα ευρήματα της έρευνας αναμένεται να αναδείξουν τη σημασία της ανάπτυξης των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα μέσα από ένα σύγχρονο θέμα της επιστήμης στα πλαίσια της διερευνητικής και βιωματικής μάθησης.

Μεθοδολογία

Η διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε αποτελεί μία Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (DMA), με έμφαση στη σταδιακή ανάπτυξη των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα από τους μαθητές μέσω της διερευνητικής και βιωματικής μάθησης, εφαρμόζοντας τη γνώση τους σε πραγματικά σενάρια. Η DMA βασίζεται στο διδακτικό μοντέλο 5E - Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate (Duran & Duran, 2004), το οποίο θεωρείται κατάλληλο και αποτελεσματικό για την προώθηση των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα (Senan, 2013), ενώ για την σχεδίαση των Φύλλων Εργασίας (ΦΕ) χρησιμοποιήθηκε η στρατηγική KWL (Know, Want

to know, Learned) για την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται η συζήτηση ως κύρια μέθοδος για την προώθηση των δεξιοτήτων της συνεργασίας και της επικοινωνίας, ενώ οι δραστηριότητες πειραματισμού με την βοήθεια προσομοιώσεων και ψηφιακών εργαλείων ενισχύουν την κριτική σκέψη και δημιουργικότητα.

Η ΔΜΑ εφαρμόστηκε σε 9 μαθητές (N=9) της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Γυμνασίου-Λυκείου) στο πλαίσιο του ομίλου STEM στο Κολλέγιο Ανατόλια και αποτελείται από 1 εισαγωγική και 3 διδακτικές ενότητες που θα διαρκέσουν στο σύνολο 8 διδακτικές ώρες (2 διδακτικές ώρες/εβδομάδα).

Για την αποτίμηση της ΔΜΑ, εξετάζονται οι δεξιότητες και οι στάσεις των μαθητών μέσω ερωτηματολογίων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε α) το ερωτηματολόγιο «4C1P» (Hwang et al., 2018) από το οποίο επιλέχθηκαν οι τέσσερις υποκλίμακες των δεξιοτήτων της κριτικής σκέψης, της συνεργασίας, της επικοινωνίας και της δημιουργικότητας, β) το ερωτηματολόγιο «Test of Science Related Attitudes – TOSRA» (Fraser, 1978), από το οποίο επιλέχθηκαν οι υποκλίμακες: Στάσεις απέναντι στην επιστημονική διερεύνηση, Υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων, Απόλαυση πειραματικών δραστηριοτήτων και Ενασχόληση με την επιστήμη στον ελεύθερο χρόνο, και γ) πρωτόκολλο παρατήρησης δεξιοτήτων για την εξέλιξη των 4C's κατά την διάρκεια της παρέμβασης. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού IBM SPSS Statistics.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνοπτικά οι διδακτικές ενότητες και οι αντίστοιχοι στόχοι της ΔΜΑ. Το μοντέλο 5E αναπτύσσεται σε κάθε διδακτική ενότητα ξεχωριστά.

Πίνακας 1. Οι διδακτικές ενότητες της ΔΜΑ και οι αντίστοιχοι στόχοι

Διδακτικές Ενότητες	Διδακτικοί Στόχοι
Εισαγωγική Ενότητα	• Οι μαθητές να αναγνωρίζουν τις δυνάμεις συνοχής και συνάφειας και το ρόλο τους στον σχηματισμό σταγονιδίων σε μία επιφάνεια.
1η Διδακτική Ενότητα	• Οι μαθητές να αναγνωρίζουν ότι η δομή της επιφάνειας συμβάλει καθοριστικά στο φαινόμενο της υδροφοβίας. • Οι μαθητές να συσχετίζουν το φαινόμενο της υδροφοβίας με τις δυνάμεις συνοχής και συνάφειας.
2η Διδακτική Ενότητα	• Οι μαθητές να αναγνωρίζουν ότι οι φυσικές υδατοαπωθητικές επιφάνειες, όπως αυτή του φύλλου του λωτού, έχουν ιεραρχική δομή. • Οι μαθητές να εξηγούν το ρόλο των μικροσκοπικών δομών της επιφάνειας στην ενίσχυση του φαινομένου της υδροφοβίας.
3η Διδακτική Ενότητα	• Οι μαθητές να αναγνωρίζουν τη γωνία επαφής και τον τρόπο μέτρησης της μέσω ψηφιακών εργαλείων. • Οι μαθητές να κατατάσσουν τις επιφάνειες σε υδρόφιλες, υδρόφοβες και υπερυδρόφοβες με βάση τη γωνία επαφής τους.

Η εισαγωγική ενότητα με τίτλο «Το πρόβλημα της πευκοβελόνας», έχει ως σκοπό να εισάγει τους μαθητές στην λογική της διερεύνησης και της επίλυσης προβλημάτων, υπό την καθοδήγηση του καθηγητή. Οι μαθητές διερωτώνται για τον σχηματισμό σταγονιδίων στην επιφάνεια πευκοβελόνων, σε συνθήκες ομίχλης. Διερευνούν τον ρόλο των δυνάμεων συνοχής και συνάφειας, που αποτελούν το θεωρητικό πλαίσιο για την εισαγωγή στο φαινόμενο της υδροφοβίας. Οι μαθητές αναπτύσσουν βασικές δεξιότητες όπως η συνεργασία μέσα από την διαμόρφωση των ομάδων και την κατανομή ρόλων.

Σκοπός της πρώτης διδακτικής ενότητας με τίτλο «Υδροφοβία στην φύση και τη τεχνολογία» είναι η παρουσίαση του φαινομένου της υδροφοβίας, μέσα από παραδείγματα της φύσης και της τεχνολογίας. Ακόμη, προσπαθούν να ερμηνεύσουν το φαινόμενο με τις δυνάμεις συνοχής και συνάφειας. Όσον αφορά την ανάπτυξη των δεξιοτήτων, σκοπός της ενότητας είναι η απόκτηση δεξιοτήτων όπως η επικοινωνία και η δημιουργικότητα μέσα από την ανταλλαγή ιδεών για την εξήγηση φυσικών φαινομένων, ενώ για την ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στην επιστήμη γίνονται συζητήσεις ως προς την κοινωνική διάσταση της επιστήμης.

Σκοπός της δεύτερης διδακτικής ενότητας με τίτλο «Το φαινόμενο του λωτού» είναι η κατανόηση της ιεραρχικής δομής των μικροσκοπικών δομών της επιφάνειας των φύλλων του λωτού και του ρόλου της στην ενίσχυση της υδροφοβίας. Όσον αφορά την ανάπτυξη των δεξιοτήτων, σκοπός της ενότητας είναι κυρίως η ανάπτυξη κριτικής σκέψης μέσα από τον αναστοχασμό της πειραματικής διαδικασίας, ενώ για την ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στην επιστήμη γίνονται συζητήσεις για την φύση της διερεύνησης και την υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων.

Σκοπός της τρίτης διδακτικής ενότητας με τίτλο «Η γωνία επαφής ως μέτρο της υδροφοβίας» είναι η κατανόηση της μέτρησης της γωνίας επαφής μέσω προσομοιώσεων και ψηφιακών εργαλείων και η σύνδεση της με την κατάταξη των επιφανειών ως προς το μέτρο της υδροφοβίας τους. Όσον αφορά την ανάπτυξη των δεξιοτήτων, σκοπός της ενότητας είναι η ανάπτυξη όλων των 4C's μέσα από τη συνδυαστική χρήση ψηφιακών εργαλείων, ενώ για την ανάπτυξη θετικών στάσεων απέναντι στην επιστήμη γίνονται αναστοχαστικές συζητήσεις για τις εντυπώσεις των μαθητών ως προς τις δραστηριότητες και τις επιστημονικές διαδικασίες σε όλη την διάρκεια της παρέμβασης.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της μελέτης επικεντρώνονται στην ενίσχυση των δεξιοτήτων 4C's (EE1), στις μεταβολές των στάσεων των μαθητών απέναντι στην επιστήμη (EE2) και στην εξέλιξη των 4C's κατά τη διάρκεια της παρέμβασης (EE3), στα πλαίσια μιας διερευνητικής και βιωματικής προσέγγισης.

Μεταβολή στις δεξιότητες μετά την διδακτική παρέμβαση (EE1)

Για την απάντηση στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορά την σύγκριση της αυτοαναφερόμενης επίδοσης των μαθητών πριν και μετά την παρέμβαση. Δεδομένου του περιορισμένου αριθμού συμμετεχόντων, επιλέχθηκε η εφαρμογή του μη παραμετρικού ελέγχου Wilcoxon Signed-Rank Test, ώστε να αξιολογηθεί η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στις τέσσερις δεξιότητες (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Σύγκριση των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα πριν και μετά την παρέμβαση

Δεξιότητες	Pre-test (Μέσος όρος)	Post-test (Μέσος όρος)	Z	p-value
Συνεργασία	4,00	4,51	-2,59	,010
Επικοινωνία	3,89	4,56	-2,54	,011
Κριτική σκέψη	4,03	4,39	-2,57	,010
Δημιουργικότητα	4,47	4,75	-1,98	,047

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν στατιστικά σημαντική ενίσχυση και στους τέσσερις άξονες των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, με τη μεγαλύτερη βελτίωση να παρατηρείται στην δεξιότητα της επικοινωνίας.

Η δεξιότητα της επικοινωνίας παρουσίασε την μεγαλύτερη αύξηση, καθώς οι μαθητές είχαν συχνές ευκαιρίες να ανταλλάσσουν επιχειρήματα, να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των εργασιών τους, να συνθέτουν διαφορετικές απόψεις και να διαχέουν τα ευρήματά τους προς την ευρύτερη μαθησιακή κοινότητα της τάξης, ενισχύοντας την ικανότητά τους στην αποτελεσματική προφορική έκφραση και στην ενεργή ακρόαση.

Η συνεργασία, η οποία επίσης παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση, ενισχύθηκε μέσω συνεχών ομαδικών δραστηριοτήτων που απαιτούσαν υψηλό βαθμό συντονισμού και κατανομής ρόλων, που απαιτούν τη σαφή οργάνωση των μελών της ομάδας για την παρατήρηση και την καταγραφή των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η διατύπωση προτάσεων για

την αξιοποίηση της υδροφοβίας στον σχεδιασμό προϊόντων προϋπέθεταν συλλογική αναζήτηση πληροφοριών και οργάνωση των ευρημάτων, ενισχύοντας την εμπλοκή των μελών της ομάδας.

Η κριτική σκέψη ενισχύθηκε σημαντικά, καθώς οι μαθητές κλήθηκαν επανειλημμένα να αξιολογήσουν δεδομένα, να ερμηνεύσουν παρατηρήσεις και να διατυπώσουν συμπεράσματα βασισμένα σε αποδεικτικά στοιχεία. Η χρήση εργαλείων όπως οι πίνακες KWL ενίσχυσε τη διαδικασία του αναστοχασμού, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίσουν την πρότερη γνώση τους, να καταγράψουν νέα ερωτήματα και να αξιολογήσουν τι έμαθαν στο τέλος κάθε ενότητας.

Τέλος, η δημιουργικότητα, παρότι καλλιεργήθηκε ως ένα βαθμό μέσα από δραστηριότητες που απαιτούσαν την παραγωγή ιδεών, την αναζήτηση λύσεων και τη διατύπωση υποθέσεων, εμφάνισε τη μικρότερη ποσοτική βελτίωση. Η διαπίστωση αυτή πιθανόν να σχετίζεται με την απουσία δραστηριοτήτων κατασκευής ή υλοποίησης υλικών προϊόντων, που θα μπορούσαν να προσφέρουν επιπλέον ερεθίσματα για αυθεντική δημιουργική έκφραση και εφαρμογή της φαντασίας στην πράξη.

Μεταβολή στις στάσεις απέναντι στην επιστήμη μετά την παρέμβαση (EE2)

Για την εξέταση του κατά πόσο διαφοροποιήθηκαν οι στάσεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση, επιλέχθηκαν για διερεύνηση τέσσερις παράγοντες: α) στάσεις απέναντι στην επιστημονική διερεύνηση, β) υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων, γ) απόλαυση πειραματικών δραστηριοτήτων και δ) ενασχόληση με την επιστήμη στον ελεύθερο χρόνο. Λόγω του μικρού μεγέθους δείγματος, εφαρμόστηκε ο μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon Signed-Rank Test, με σκοπό τη στατιστική διερεύνηση της ύπαρξης σημαντικών διαφορών ανάμεσα στις δύο μετρήσεις (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Σύγκριση των στάσεων απέναντι στην επιστήμη πριν και μετά την παρέμβαση

Παράγοντες	Pre-test (Μέσος όρος)	Post-test (Μέσος όρος)	Z	p-value
Στάσεις απέναντι στην επιστημονική διερεύνηση	4,21	4,48	-1,90	,058
Υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων	4,30	4,47	-2,39	,017
Απόλαυση πειραματικών δραστηριοτήτων	4,74	4,79	-1,23	,219
Ενασχόληση με την επιστήμη στον ελεύθερο χρόνο	3,74	4,03	-2,00	,046

Η ανάλυση των δεδομένων καταδεικνύει ότι η διδακτική παρέμβαση είχε θετική επίδραση στις στάσεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη, με στατιστικά σημαντικές διαφοροποιήσεις σε συγκεκριμένες πτυχές.

Η υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων παρουσίασε στατιστικά σημαντική βελτίωση, γεγονός που αντανακλά την αυξημένη αποδοχή του επιστημονικού τρόπου σκέψης, όπως η τεκμηρίωση και η διαχείριση των δεδομένων για εξαγωγή συμπερασμάτων. Η συνεχής εμπλοκή των μαθητών σε δραστηριότητες που απαιτούσαν ερμηνεία φαινομένων, καθώς και συλλογική ανάλυση και τεκμηρίωση απόψεων φαίνεται να ενίσχυσε την εσωτερικευση αυτών των στάσεων ως τρόπο σκέψης και δράσης.

Παράλληλα, η αύξηση της πρόθεσης ενασχόλησης με την επιστήμη στον ελεύθερο χρόνο υποδηλώνει ενίσχυση του προσωπικού ενδιαφέροντος και της εσωτερικής κινητοποίησης των μαθητών για την επιστήμη, πέρα από τα όρια του σχολικού πλαισίου. Η σύνδεση των επιστημονικών φαινομένων με εφαρμογές της καθημερινής ζωής μέσα από την συζήτηση ενίσχυσε τη συναισθηματική σχέση των μαθητών με την επιστήμη, προκαλώντας θετικό εντυπωσιασμό και δημιουργώντας πρόσφορο έδαφος για την εμβάθυνση της σχέσης αυτής.

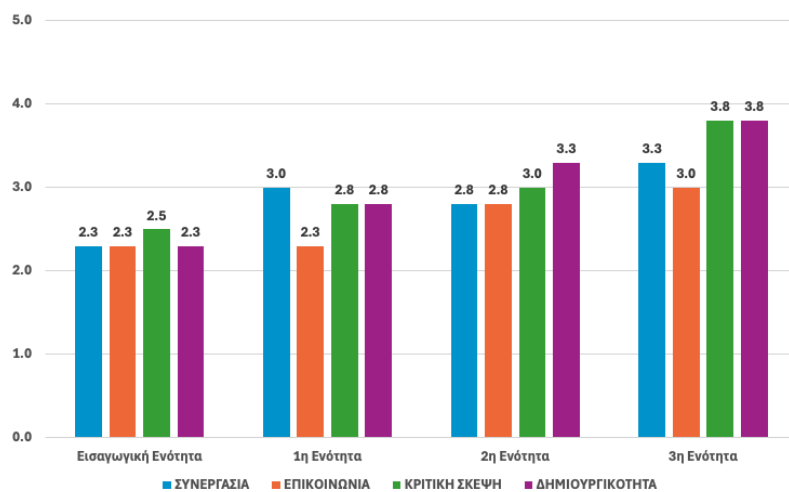
Η στάση απέναντι στην επιστημονική διερεύνηση παρουσίασε τάση βελτίωσης, χωρίς όμως να καταγραφεί στατιστικά ισχυρή διαφοροποίηση. Η συγκεκριμένη διάσταση σχετίζεται με πιο σύνθετες και μακροπρόθεσμες μεταγνωστικές διεργασίες, όπως η αξιολόγηση εναλλακτικών εξηγήσεων και η υιοθέτηση μιας ερευνητικής προσέγγισης ως τρόπου κατανόησης του κόσμου. Αν και οι μαθητές συμμετείχαν ενεργά σε πειραματικές και διερευνητικές διαδικασίες, φαίνεται ότι η εδραίωση μιας σταθερής στάσης ενδέχεται να απαιτεί μεγαλύτερη χρονική έκθεση και εμπειρία για να μετασχηματιστεί σε μόνιμο τρόπο σκέψης.

Η απόλαυση των πειραματικών δραστηριοτήτων, παρά το γεγονός ότι δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική μεταβολή, διατηρήθηκε σε πολύ υψηλό επίπεδο, στοιχείο που καταδεικνύει ότι οι μαθητές ήδη διέθεταν θετική συναισθηματική σχέση με την πειραματική διαδικασία. Η ενεργή συμμετοχή τους σε ομαδικά πειράματα και η αίσθηση ελέγχου επί της διαδικασίας πιθανόν να συνέβαλαν στη διατήρηση του υψηλού αυτού επιπέδου εμπλοκής και θετικής διάθεσης.

Εξέλιξη των δεξιοτήτων κατά την διάρκεια της παρέμβασης (ΕΕ3)

Για την απάντηση στο τρίτο ερευνητικό ερώτημα, πραγματοποιήθηκε συστηματική παρατήρηση και καταγραφή της εξέλιξης των 4C's στις τέσσερις διδακτικές ενότητες της παρέμβασης. Η παρατήρηση βασίστηκε σε προκαθορισμένα κριτήρια που συνδέονται με χαρακτηριστικές συμπεριφορές για κάθε δεξιότητα και δόθηκε βαθμολογία σε 5-βάθμια κλίμακα, αντανakλώντας τη συχνότητα με την οποία παρατηρήθηκαν στο σύνολο της τάξης. Η ανάλυση επικεντρώνεται στη διαγραμματική απεικόνιση της πορείας των μέσων όρων ανά ενότητα, επιτρέποντας την αποτύπωση της δυναμικής εξέλιξης των δεξιοτήτων (Σχήμα 1).

Σχήμα 1. Μέση συχνότητα εμφάνισης των δεξιοτήτων κατά την διάρκεια της παρέμβασης



Η συστηματική παρατήρηση της εξέλιξης των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης ανέδειξε σαφή ανοδική πορεία σε όλους τους άξονες, με διαφοροποιήσεις στον ρυθμό και το εύρος ανάπτυξης κάθε δεξιότητας.

Κατά την εισαγωγική ενότητα, οι τιμές όλων των δεξιοτήτων καταγράφονται χαμηλές, στοιχείο που ερμηνεύεται από τον εισαγωγικό χαρακτήρα των δραστηριοτήτων. Η συγκεκριμένη φάση στόχευε πρωτίστως στην εξοικείωση των μαθητών με τη διερευνητική προσέγγιση, την κατανόηση του πλαισίου εργασίας και τη σταδιακή προσαρμογή στη συλλογική επεξεργασία ερωτημάτων. Η συμμετοχή ήταν ακόμη διστακτική και η συνεργασία περιορισμένη, καθώς οι μαθητές βρίσκονταν στο στάδιο διαμόρφωσης ομάδων και κανόνων αλληλεπίδρασης.

Η πρώτη ενότητα εστίαζε στην επεξεργασία εννοιών μέσω παραδειγμάτων και τη διασύνδεση θεωρητικών γνώσεων με καταστάσεις της καθημερινότητας. Η έμφαση στη

συλλογική αναζήτηση παραδειγμάτων, στην ανταλλαγή απόψεων και στη συζήτηση ενίσχυσε την εμπλοκή των μαθητών και βελτίωσε την ποιότητα της συνεργασίας. Αντίστοιχα, η διατύπωση ιδεών για την εξήγηση φυσικών φαινομένων συνέβαλε στη σταδιακή καλλιέργεια δημιουργικότητας, σε ένα θεωρητικό πλαίσιο περισσότερο αφηρημένο και εννοιολογικό.

Η δεύτερη ενότητα παρουσίασε σταθερή πρόοδο κυρίως στην κριτική σκέψη και στη δημιουργικότητα. Παρότι δεν περιλάμβανε άμεση πειραματική διερεύνηση, η χρήση προσομοιώσεων που αποτύπωναν τις επιφανειακές δομές επέτρεψε στους μαθητές να ερμηνεύσουν σύνθετα φαινόμενα και να επεξεργαστούν πληροφορίες. Η διασύνδεση μικρόκοσμου και μακρόκοσμου καλλιέργησε την ικανότητα ανάλυσης και μεταφοράς γνώσης μεταξύ διαφορετικών επιπέδων οργάνωσης, ενισχύοντας την ικανότητα δημιουργικής επεξεργασίας της πληροφορίας.

Τέλος, η τρίτη ενότητα καταγράφει τις υψηλότερες επιδόσεις, ιδίως στην κριτική σκέψη και τη δημιουργικότητα, ακολουθούμενες από βελτίωση στη συνεργασία και την επικοινωνία. Η συνδυαστική χρήση προσομοιώσεων και ψηφιακών εργαλείων παρατήρησης και μέτρησης δημιούργησε ένα αυθεντικό και πλούσιο μαθησιακό περιβάλλον, στο οποίο οι μαθητές καλούνταν να παρατηρήσουν, να αναλύσουν, να συγκρίνουν και να αιτιολογήσουν. Τέλος, οι απαιτήσεις της δραστηριότητας ενεργοποίησαν την κριτική σκέψη, ενώ η δυνατότητα συνδυαστικής θεώρησης διαφορετικών αναπαραστάσεων του φαινομένου ενίσχυσε τη δημιουργική τους προσέγγιση.

Συζήτηση & Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα ανέδειξε ότι η ενσωμάτωση σύγχρονων θεμάτων, όπως η υδροφοβία, σε ένα δομημένο πλαίσιο διερεύνησης και βιωματικής μάθησης, ενισχύει τις δεξιότητες του 21ου αιώνα και διαμορφώνει θετικότερες στάσεις απέναντι στην επιστήμη. Η αξιοποίηση θεμάτων N-ET ευνοεί την ανάπτυξη δεξιοτήτων (Ghattas & Carver, 2012), ενώ οι ομαδικές διερευνητικές δραστηριότητες με τη χρήση ψηφιακών εργαλείων συμβάλλουν ουσιαστικά στην καλλιέργεια των 4C's και στην ενίσχυση της στάσης των μαθητών απέναντι στην επιστήμη (Ντεβετούδη & Χατζηκρανιώτης, 2024).

Τα αποτελέσματα της αυτό-αναφερόμενης αποτίμησης των δεξιοτήτων των μαθητών (EE1) καταδεικνύουν στατιστικά σημαντική ενίσχυση, με την επικοινωνία να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βελτίωση. Η αξιοποίηση της συζήτησης σε ομάδες και στην ολομέλεια ενίσχυσε τη διατύπωση επιχειρημάτων, την παρουσίαση ευρημάτων και την κατανόηση διαφορετικών οπτικών. Η συνεργασία καλλιεργήθηκε μέσω δραστηριοτήτων με σαφή κατανομή ρόλων, ενώ η κριτική σκέψη ενισχύθηκε μέσω ανάλυσης παρατηρήσεων και χρήσης πινάκων KWL, που προήγαγαν τον αναστοχασμό. Η δημιουργικότητα παρουσίασε μικρότερη μεταβολή, ενδεχομένως λόγω της έλλειψης δραστηριοτήτων παραγωγής υλικού αντικειμένου.

Η θετική επίδραση της παρέμβασης αντανακλάται και στην ενίσχυση συγκεκριμένων στάσεων των μαθητών απέναντι στην επιστήμη (EE2). Η μεγαλύτερη μεταβολή εντοπίστηκε στην υιοθέτηση επιστημονικών στάσεων, όπως η προσήλωση στην αναζήτηση αιτιών και στην τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων. Η συνεχής εμπλοκή σε δραστηριότητες που απαιτούσαν ερμηνεία, συνεργατική αιτιολόγηση και διάχυση αποτελεσμάτων ενίσχυσε την εσωτερίκευση τέτοιων στάσεων ως τρόπου σκέψης. Η στατιστικά σημαντική αύξηση στην πρόθεση ενασχόλησης με την επιστήμη στον ελεύθερο χρόνο καταδεικνύει αυξημένο εσωτερικό κίνητρο, ενώ η διατήρηση της απόλαυσης πειραματικών δραστηριοτήτων σε υψηλό επίπεδο επιβεβαιώνει την θετική συναισθηματική εμπλοκή των μαθητών.

Η πορεία των δεξιοτήτων όπως αποτυπώθηκε μέσω συστηματικής παρατήρησης (EE3) ανέδειξε τη δυναμική εξέλιξή τους στη διάρκεια της διδακτικής ακολουθίας. Η εισαγωγική ενότητα λειτούργησε ως φάση εξοικείωσης με περιορισμένη ενεργοποίηση, ενώ η πρώτη ενότητα, θεωρητικού χαρακτήρα, ενίσχυσε κυρίως τη συνεργασία μέσω συλλογικής επεξεργασίας εννοιών. Στη δεύτερη ενότητα, οι προσομοιώσεις για τη μελέτη του μικρόκοσμου ενίσχυσαν την κριτική σκέψη και τη δημιουργικότητα, καθώς οι μαθητές

μετέφραζαν πληροφορίες μεταξύ μικρόκοσμου και μακρόκοσμου. Η μεγαλύτερη πρόοδος καταγράφηκε στην τρίτη ενότητα, όπου η εκτέλεση πειραμάτων και η χρήση ψηφιακών εργαλείων ενίσχυσαν περαιτέρω τις δεξιότητες, ιδιαίτερα στα πλαίσια της ομαδικής εργασίας.

Παρά τη συνολικά θετική εικόνα που προκύπτει από τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, οι περιορισμοί είναι: το περιορισμένο μέγεθος του δείγματος, το ήδη υψηλό επίπεδο εξοικείωσης των μαθητών με την επιστημονική μεθοδολογία και τις πειραματικές διαδικασίες, και η περιορισμένη έκταση της παρέμβασης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι μια καλά δομημένη διδακτική παρέμβαση σε σύγχρονα θέματα επιστήμης μπορεί να λειτουργήσει ουσιαστικά προς την κατεύθυνση της ενίσχυσης των δεξιοτήτων του 21ου αιώνα, καθώς και της καλλιέργειας θετικών στάσεων των μαθητών απέναντι στην επιστήμη.

Βιβλιογραφία

- Αρβανίτου Ε., Πετρίδου Ε. (2024). Ανάπτυξη διδακτικής σειράς για την εισαγωγή μαθητών στις καταστάσεις διαβροχής και στη μοντελοποίηση. Στο Κ. Θ. Κώτσης, Γ. Στύλος, Γ. Βακάρου, Λ. Γαβρίλας και Δ. Πανάγου (επιμ.), *Πρακτικά του 13ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, Ιωάννινα, ΕΚΤ. ISBN: 978-618-82063-2-8. <https://doi.org/10.12681/codiste.6931>
- Ντεβετούδη, Ε., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2024). Εφαρμογές νανοτεχνολογίας για μαθητές Λυκείου. Στο Κ. Θ. Κώτσης, Γ. Στύλος, Γ. Βακάρου, Λ. Γαβρίλας και Δ. Πανάγου (επιμ.), *Πρακτικά του 13ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, 269-277. <https://doi.org/10.12681/codiste.6883>
- Πελέκας Λ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2025). Πως προάγουν οι παρεμβάσεις σε θέματα νανοτεχνολογίας τις δεξιότητες του 21^{ου} αιώνα; Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. *Πρακτικά του 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου Νέων Ερευνητών και Ερευνητριών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (υπό δημοσίευση).
- Barthlott, W., Mail, M., & Neinhuis, C. (2016). Superhydrophobic hierarchically structured surfaces in biology: evolution, structural principles and biomimetic applications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2073), 20160191. <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0191>
- Duran, L. B., & Duran, E. (2004). The 5E instructional model: A learning cycle approach for inquiry-based science teaching. *Science Education Review*, 3(2), 49-58. Ανακτήθηκε στις 19/02/2025 από: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1058007>
- Fraser, B. J. (1978). Development of a test of science-related attitudes. *Science Education*, 62(4), 509–515. Portico. <https://doi.org/10.1002/sce.3730620411>
- Ghaffas, N. I., & Carver, J. S. (2012). Integrating nanotechnology into school education: A review of the literature. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), 271-284. <https://doi.org/10.1080/02635143.2012.732058>
- Hirsh-Pasek, K., Hadani, H. S., Blinkoff, E., & Golinkoff, R. M. (2020). A new path to education reform: playful learning promotes 21st century skills in school and beyond. *Policy Brief*, 1-25. Ανακτήθηκε στις 19/02/2025, από: https://www.researchgate.net/publication/3452095-02_A_new_path_to_education_reform_Playful_learning_promotes_21st-century_skills_in_schools_and_beyond_POLICY_BIG_IDEAS_About_the_Authors
- Hwang, G. J., Lai, C. L., Liang, J. C., Chu, H. C., & Tsai, C. C. (2018). A long-term experiment to investigate the relationships between high school students' perceptions of mobile learning and peer interaction and higher-order thinking tendencies. *Educational Technology Research and Development*, 66, 75-93. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9540-3>
- Pelekas, L., & Hatzikraniotis, E. (2023). Teaching learning sequence for the introduction of superhydrophobicity in secondary education. *Proceedings of 11th International Conference of the Balkan Physical Union* (σ. 261). <https://doi.org/10.22323/1.427.0261>
- Senan, C. D. (2013). Infusing BSCS 5E Instructional Model with Multimedia: A Promising Approach to Develop 21st Century Skills. *I-Manager's Journal on School Educational Technology*, 9(2), 1–7. <https://doi.org/10.26634/jsch.9.2.2494>