

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, ΔΠΘ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ, ΔΠΘ

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

synedrio2025.enepht.gr



Η Εμπλοκή Μικρών Παιδιών με Έννοιες
Νανοτεχνολογίας μέσω Ψηφιακών Παιχνιδιών: Η
περίπτωση του Καθαρισμού Νερού με Νανοϋλικά

Πανδώρα Δορούκα, Χριστοθέα Παπαδάκη

doi: [10.12681/codiste.9897](https://doi.org/10.12681/codiste.9897)

Η Εμπλοκή Μικρών Παιδιών με Έννοιες Νανοτεχνολογίας μέσω Ψηφιακών Παιχνιδιών: Η περίπτωση του Καθαρισμού Νερού με Νανοϋλικά

Πανδώρα Δορούκα¹ και Χριστοθέα Παπαδάκη²

¹Διδάκτορας, Παιδαγωγικό Τμήμα Προσχολικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Κρήτης

²Καθηγήτρια Αγγλικής Γλώσσας, Διευθύντρια 4^{ου} Δημοτικού Σχολείου Αχαρνών

¹pdorouka@edc.uoc.gr

Περίληψη

Δεδομένης της αυξανόμενης διαθεσιμότητας προϊόντων νανοτεχνολογίας υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη οι μαθητές να αναπτύξουν ένα επίπεδο νανο-εγγραμματισμού. Ψηφιακά παιχνίδια στα αγγλικά και στα ελληνικά σχεδιάστηκαν για να ενθαρρύνουν τα παιδιά να αλληλοεπιδράσουν με έννοιες νανοτεχνολογίας στο πλαίσιο του καθαρισμού του νερού. Η έρευνα σε τρία στάδια είχε στόχο να μετρήσει την αποτελεσματικότητα παιχνιδιών στην κατανόηση στοιχείων εννοιών νανοτεχνολογίας. 53 μαθητές Δ' τάξης δημοτικού αποτέλεσαν την πειραματική ομάδα της έρευνας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίου που περιείχε ερωτήσεις ανοικτού τύπου και οι απαντήσεις αναλύθηκαν με προσεγγίσεις ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου. Τα ευρήματα έδειξαν ότι η παρέμβαση είχε θετικό αντίκτυπο στο νανο-εγγραμματισμό.

Λέξεις κλειδιά: καθαρισμός νερού, νανο-εγγραμματισμός, νανοτεχνολογία, ψηφιακά παιχνίδια

The Engagement of Young Children with Nanotechnology Concepts through Digital Games: The Case of Water Purification with Nanomaterials

Pandora Dorouka¹ and Christothea Papadaki²

¹PhD, Department of Preschool Education, University of Crete

²English Language Teacher, Principal of the 4th Primary School of Acharnes

¹pdorouka@edc.uoc.gr

Abstract

Given the increasing availability of nanotechnology products, there is an increasing need for students to develop a level of nano-literacy. Digital games in English and in Greek were designed to encourage children to interact with concepts of nanotechnology in the context of water purification. The research in three stages aimed to measure the effectiveness of games in the understanding of elements of nanotechnology concepts. 53 students of 4th grade of primary school constituted the experimental group of the research. The data were collected through a questionnaire that contained open-ended questions and the answers were analyzed with approaches of qualitative content analysis. The findings showed that the intervention had a positive impact on nano-literacy.

Keywords: digital games, nano-literacy, nanotechnology, water purification

Εισαγωγή

Η έλευση της νανοτεχνολογίας εγείρει διλήμματα σχετικά με τα οφέλη και τους κινδύνους για το περιβάλλον, την υγεία και την ασφάλεια των πολιτών που προκύπτουν λόγω της

ενσωμάτωσης των νανοϋλικών στα καθημερινά προϊόντα. Ερωτήματα όπως «*Πώς επηρεάζεται το φυσικό περιβάλλον όταν τα νανοϋλικά καταλήγουν σε φυσικούς πόρους, όπως σε ποτάμια ή σε λίμνες;*» δημιουργούν σε πολλούς ανθρώπους αμφιβολίες ως προς την αποτελεσματικότητα των νανοϋλικών (Jones et al., 2013). Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα προϊόντων που βασίζονται στη Νανοεπιστήμη και τη Νανοτεχνολογία (NET), όπως τα νανοφίλτρα νερού, δημιουργεί την ανάγκη οι μαθητές από μικρή ηλικία να αναπτύξουν ένα επίπεδο «νανο-εγγραμματισμού» για να κατανοούν τα καθημερινά ζητήματα που σχετίζονται με τη NET.

Αν και η έρευνα για την εκπαίδευση στη νανοτεχνολογία στα δημοτικά σχολεία βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο και υπάρχουν περιορισμένες μελέτες σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι μικροί μαθητές αντιλαμβάνονται και κατανοούν τις έννοιες της νανοκλίμακας (Mandrikas et al., 2020), οι υπάρχουσες μελέτες δείχνουν ότι τα παιδιά συχνά δυσκολεύονται να κατανοήσουν την κλίμακα και τις ιδιότητες των φαινομένων της νανοκλίμακας, συγχέοντάς τα συχνά με τις διαστάσεις της μικροκλίμακας (Jones et al., 2013 ` Lin et al., 2015). Επιπλέον, ενώ τα ψηφιακά παιχνίδια αναγνωρίζονται ευρέως ως αποτελεσματικά εργαλεία για την εμπλοκή των μαθητών με σύνθετες επιστημονικές ιδέες, η εφαρμογή τους στη διδασκαλία εννοιών της νανοτεχνολογίας παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερευνητή, ιδίως στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Dorouka et al., 2024). Το κενό αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για καινοτόμες εκπαιδευτικές προσεγγίσεις που καθιστούν τη νανοτεχνολογία προσιτή και ελκυστική στους μικρούς μαθητές.

Η μελέτη αυτή είναι μια από τις πρώτες που ενσωματώνουν ψηφιακά εργαλεία παιχνιδιοποίησης για τη διδασκαλία της νανοτεχνολογίας σε μαθητές δημοτικού σχολείου, στοχεύοντας ειδικά στην πραγματική εφαρμογή του καθαρισμού του νερού. Αντιμετωπίζοντας αυτό το κενό με κατάλληλες για την ηλικία μεθόδους για τη διδασκαλία εννοιών της νανοκλίμακας, η παρούσα έρευνα παρέχει ένα νέο πλαίσιο για την ενσωμάτωση των αναδυόμενων τεχνολογιών στην πρώιμη εκπαίδευση. Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η διδασκαλία στοιχείων εννοιών NET, όπως ο καθαρισμός του νερού με νανοφίλτρα, σε μαθητές δημοτικού σχολείου μπορεί να βελτιώσει την κατανόηση σχετικών εννοιών. Επιπλέον, η μελέτη διερευνά τον ρόλο των ψηφιακών παιχνιδιών ως παιδαγωγικό εργαλείο για την εμπλοκή των μικρών μαθητών με αυτές τις σύνθετες έννοιες.

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Η NET παίζει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση παγκόσμιων προκλήσεων, για παράδειγμα στον τομέα του νερού, προσφέροντας βιώσιμες λύσεις για την παροχή ασφαλούς, καθαρού και επαρκούς πόσιμου νερού (Wang et al., 2018). Αυτό καταδεικνύει στοιχεία από την επιτακτική ανάγκη για εκπαιδευτικές παρεμβάσεις στη νανοεπιστήμη στα σχολεία (Dorouka et al., 2021b).

Αξιοποιώντας τις ισχυρές δυνατότητες των ψηφιακών τεχνολογιών, τα μικρά παιδιά μπορούν να εξοικειωθούν με ποιοτικά στοιχεία της πρώτης Μεγάλης Ιδέας (MI) της NET, δηλαδή το μέγεθος και την κλίμακα (Sakhnini & Blonder, 2015 ` Stevens et al., 2009), να κατανοήσουν βαθύτερα και πιο ουσιαστικά στοιχεία από έννοιες νανο-κλίμακας όπως ο ιός, ώστε να προστατεύονται από αυτόν και να συμβάλλουν ενεργά στον περιορισμό της εξάπλωσής του (Dorouka et al., 2024). Μέσα από κατάλληλα σχεδιασμένες εκπαιδευτικές εφαρμογές με παιγνιώδη μορφή (Dorouka et al., 2021a), τα παιδιά μπορούν να αναγνωρίζουν τη διαφορετική συμπεριφορά των οντοτήτων στον μακρόκοσμο, τον μικρόκοσμο και τον νανόκοσμο, καθώς και τις διαφορές στο μέγεθός τους χρησιμοποιώντας ποιοτικά κριτήρια.

Η αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο οι οντότητες νανοκλίμακας, όπως οι ιοί, επηρεάζουν τις οντότητες μικροκλίμακας, όπως τα βακτήρια που ζουν μέσα στο νερό, τα οποία μπορεί να είναι ξενιστές για τους βακτηριοφάγους, και του τρόπου με τον οποίο αυτές οι αλληλεπιδράσεις επηρεάζουν τον μακρόκοσμο, δηλαδή τον άνθρωπο που πίνει από το μολυσμένο νερό και μπορεί να νοσήσει με συμπτώματα όπως πυρετός και βήχας, μπορεί να

οδηγήσει ακόμα και τα μικρά παιδιά σε μια βασική κατανόηση της έννοιας του μεγέθους και, κατά συνέπεια, στην εισαγωγή τους στον νανο-εγγραμματισμό (Dorouka et al., 2021b).

Οι έρευνες στον τομέα της NET δείχνουν ότι οι σχετικές εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες ενισχύουν σημαντικά την κατανόηση εννοιών NET από τους μαθητές (Saidi & Sigauke, 2017). Ωστόσο, πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφορες προκλήσεις για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική διδασκαλία της NET. Ένα βασικό ζήτημα είναι η ικανότητα των μαθητών να αντιλαμβάνονται το πραγματικό μέγεθος και την κλίμακα των αντικειμένων (Lin et al., 2015). Οι μικροί μαθητές συνήθως δυσκολεύονται να διακρίνουν μεταξύ διαστάσεων μικροκλίμακας και νανοκλίμακας, ομαδοποιώντας συχνά όλα τα αόρατα με γυμνό μάτι αντικείμενα στην ίδια κατηγορία μεγέθους (Jones et al., 2013).

Ο καθαρισμός του νερού ως πλαίσιο για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες

Ο καθαρισμός του νερού με τη χρήση νανοϋλικών είναι μια πραγματική εφαρμογή της NET που έχει άμεση σχέση με τη ζωή των μαθητών. Τα νανοφίλτρα μπορούν να απομακρύνουν τους ρύπους, προσφέροντας λύσεις σε πιεστικές περιβαλλοντικές και υγειονομικές προκλήσεις (Wang et al., 2018). Ωστόσο, οι εμπλεκόμενες διεργασίες σε νανοκλίμακα είναι αφηρημένες και αόρατες, γεγονός που καθιστά δύσκολη την κατανόησή τους από τους νεαρούς μαθητές. Η διδασκαλία της NET σε αυτό το πλαίσιο απαιτεί την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλίμακας και της ενσωμάτωσης γνώσεων από πολλαπλούς επιστημονικούς τομείς (Sánchez-Mora & Tagüieña, 2011).

Εκπαιδευτικά παιχνίδια στη μάθηση των Φυσικών Επιστημών

Τα ψηφιακά παιχνίδια έχουν αναδειχθεί ως ισχυρά εργαλεία για την εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, ιδίως για πολύπλοκα και αφηρημένα θέματα. Τα παιχνιδοποιημένα μαθησιακά περιβάλλοντα μπορούν να ενισχύσουν τη δέσμευση, να υποστηρίξουν την οπτικοποίηση αόρατων φαινομένων και να προωθήσουν τη βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση (Delgado et al., 2015; Magana et al., 2012). Στο πλαίσιο της NET, τα ψηφιακά παιχνίδια μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να οπτικοποιήσουν διαδικασίες σε νανοκλίμακα και να κατανοήσουν τις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων (Dorouka et al., 2024). Παρά τις δυνατότητές τους, η χρήση εκπαιδευτικών παιχνιδιών για τη διδασκαλία της NET στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση παραμένει αρκετά ανεξερεύνητη.

Η καινοτόμος συμβολή της παρούσας έρευνας

Ενώ τα ψηφιακά παιχνίδια αναγνωρίζονται ευρέως ως αποτελεσματικά εργαλεία για την εμπλοκή των μαθητών με σύνθετες επιστημονικές ιδέες, η εφαρμογή τους στη διδασκαλία εννοιών NET παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεξερεύνητη, ιδίως στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Dorouka et al., 2024). Πιο συγκεκριμένα, προηγούμενες έρευνες ανέδειξαν τις δυνατότητες των εφαρμογών φορητής μάθησης για την προώθηση του νανο-εγγραμματισμού σε μικρά παιδιά, αλλά η μελέτη τους επικεντρώθηκε κυρίως σε γενικές έννοιες της νανοκλίμακας και όχι σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπως ο καθαρισμός του νερού. Παρομοίως, οι Sakhniini και Blonder (2015) προσδιόρισαν βασικές έννοιες της επιστήμης της νανοκλίμακας για μαθητές γυμνασίου, αλλά δεν ασχολήθηκαν με το πώς αυτές οι έννοιες θα μπορούσαν να προσαρμοστούν για νεότερους μαθητές. Η παρούσα μελέτη αντιμετωπίζει αυτό το κενό συνδυάζοντας παιχνιδοποιημένες ψηφιακές δραστηριότητες με έμφαση στην επιστήμη της νανοκλίμακας και τις πρακτικές εφαρμογές της. Αναλυτικότερα, βασίζεται σε αυτό το σώμα έρευνας σχεδιάζοντας παιχνιδοποιημένες ψηφιακές δραστηριότητες ειδικά προσαρμοσμένες σε μαθητές της Δ' τάξης δημοτικού σχολείου, εστιάζοντας στην πραγματική εφαρμογή του καθαρισμού του νερού με νανοϋλικά.

Συνοψίζοντας, η βιβλιογραφία υπογραμμίζει την ανάγκη για καινοτόμες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των εννοιών NET στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Εστιάζοντας στον καθαρισμό του νερού με νανοϋλικά και χρησιμοποιώντας παιχνιδοποιημένα ψηφιακά εργαλεία, η παρούσα μελέτη είχε στόχο να προσφέρει μια νέα συμβολή στον τομέα, καλύπτοντας κρίσιμα κενά στην υπάρχουσα έρευνα και παρέχοντας ένα πλαίσιο για την ενσωμάτωση της εκπαίδευσης στη νανοτεχνολογία σε περιβάλλοντα πρώιμης μάθησης. Με βάση αυτό το θεμέλιο, η παρούσα μελέτη εξετάζει την ακόλουθη υπόθεση:

H1: Η διδασκαλία στοιχείων εννοιών NET με ψηφιακά παιχνίδια σε μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης βελτιώνει αποτελεσματικά την κατανόηση της NET.

Μεθοδολογία

Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παιχνιδοποιημένων ψηφιακών δραστηριοτήτων στη διδασκαλία των εννοιών της νανοτεχνολογίας χρησιμοποιήθηκε ένας σχεδιασμός προ-ελέγχου και μετά-ελέγχου μίας πειραματικής ομάδας. Η απουσία ομάδας ελέγχου αποτελεί περιορισμό και οφείλεται στην έλλειψη συγκρίσιμου περιεχομένου νανοτεχνολογίας στο ελληνικό πρόγραμμα σπουδών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης και στην καινοτομία της παρέμβασης.

Αν και η παρούσα μελέτη δεν περιλάμβανε ομάδα ελέγχου, ο περιορισμός αυτός μετριάζεται από την ύπαρξη προηγούμενης τυχαιοποιημένης ελεγχόμενης δοκιμής από την ίδια ερευνητική ομάδα (Dorouka et al., 2024), η οποία τεκμηρίωσε την αιτιώδη αποτελεσματικότητα της ψηφιακής, παιχνιδοποιημένης διδασκαλίας νανοτεχνολογίας έναντι των παραδοσιακών μεθόδων. Η παρούσα μελέτη επεκτείνει αυτά τα ευρήματα σε ένα νέο πλαίσιο και πληθυσμό, και η συνέπεια των σημαντικών μαθησιακών κερδών και στις δύο μελέτες παρέχει ισχυρή υποστήριξη για την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης. Αυτή η σταδιακή, σωρευτική προσέγγιση - ξεκινώντας με ελεγχόμενες δοκιμές αποτελεσματικότητας και προχωρώντας σε μελέτες αποτελεσματικότητας στον πραγματικό κόσμο - αντικατοπτρίζει καλές πρακτικές στην εκπαιδευτική έρευνα και ενισχύει τη συνολική εγκυρότητα και γενικευσιμότητα των ευρημάτων.

Συμμετέχοντες

Πενήντα τρεις μαθητές της Δ' τάξης (ηλικίας 9-10 ετών) από δημόσιο σχολείο της Αττικής, συμμετείχαν. Το δείγμα επιλέχθηκε με ευκολία, με ισορροπημένη εκπροσώπηση των δύο φύλων (27 αγόρια, 26 κορίτσια) και περιλάμβανε τόσο Έλληνες όσο και αλλοεθνείς μαθητές (45 Έλληνες, 8 αλλοεθνείς). Ζητήθηκε η συγκατάθεση των γονέων και η συμμετοχή ήταν εθελοντική.

Εικόνα 1. Στιγμιότυπα της παρέμβασης για την εκπαίδευση στη νανοτεχνολογία σε εργαστήριο πληροφορικής δημοτικού σχολείου.



Λεπτομέρειες παρέμβασης

Η παρέμβαση περιελάμβανε τέσσερις διδακτικές ώρες διάρκειας 45 λεπτών η καθεμιά σε διάστημα δύο εβδομάδων, ενταγμένες στο μάθημα "Εργαστήρια δεξιότητων". Τα ψηφιακά παιχνίδια αναπτύχθηκαν με τη χρήση HTML και Scratch 3, με βάση τις "Μεγάλες Ιδέες" της NET (Sakhnini & Blonder, 2015). Τα χαρακτηριστικά του παιχνιδιού περιλάμβαναν διαδραστική αφήγηση ιστοριών, οπτικές προσομοιώσεις νανοπορωδών μεμβρανών, προκλήσεις και ανταμοιβές, καθώς και οπτικές συγκρίσεις οντοτήτων μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακας. Τα παιχνίδια δοκιμάστηκαν πιλοτικά για την ηλικιακή καταλληλότητα.

Η παρέμβαση πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο υπολογιστών του σχολείου, όπου οι μαθητές ασχολήθηκαν με τα ψηφιακά παιχνίδια τόσο ατομικά όσο και συνεργατικά. Τα παιχνίδια παρείχαν διαδραστική αφήγηση ιστοριών, οπτικές προσομοιώσεις νανοπορωδών μεμβρανών και παιχνιδιοποιημένες προκλήσεις που σχεδιάστηκαν για να ενισχύσουν τη δέσμευση και την εννοιολογική κατανόηση. Η Εικόνα 1 απεικονίζει την εφαρμογή της παρέμβασης, δείχνοντας τους μαθητές να αλληλεπιδρούν με τα ψηφιακά παιχνίδια και να συνεργάζονται για την επίλυση προκλήσεων της επιστήμης της νανοκλίμακας.

Αξιολόγηση: Ερωτηματολόγιο TENANO+

Το ερωτηματολόγιο TENANO+, το οποίο αναπτύχθηκε από τα καθιερωμένα πλαίσια εκπαίδευσης στη νανοτεχνολογία (Dorouka & Kalogiannakis, 2023 · Mandrikas et al., 2020 · Peikos et al., 2021), περιλάμβανε πέντε ερωτήσεις ανοικτού τύπου που αξιολογούσαν τη νανο-εγγραμματοσύνη. Η εγκυρότητα και η αξιοπιστία καθορίστηκαν μέσω της αξιολόγησης από εμπειρογνώμονες και πιλοτικών δοκιμών (Cronbach's $\alpha = ,81$). Η αξιοπιστία μεταξύ των κριτών για την κωδικοποίηση των απαντήσεων ανοικτού τύπου ήταν υψηλή (Cohen's $\kappa = ,87$), ενώ οι αποκλίσεις επιλύθηκαν μέσω συζήτησης.

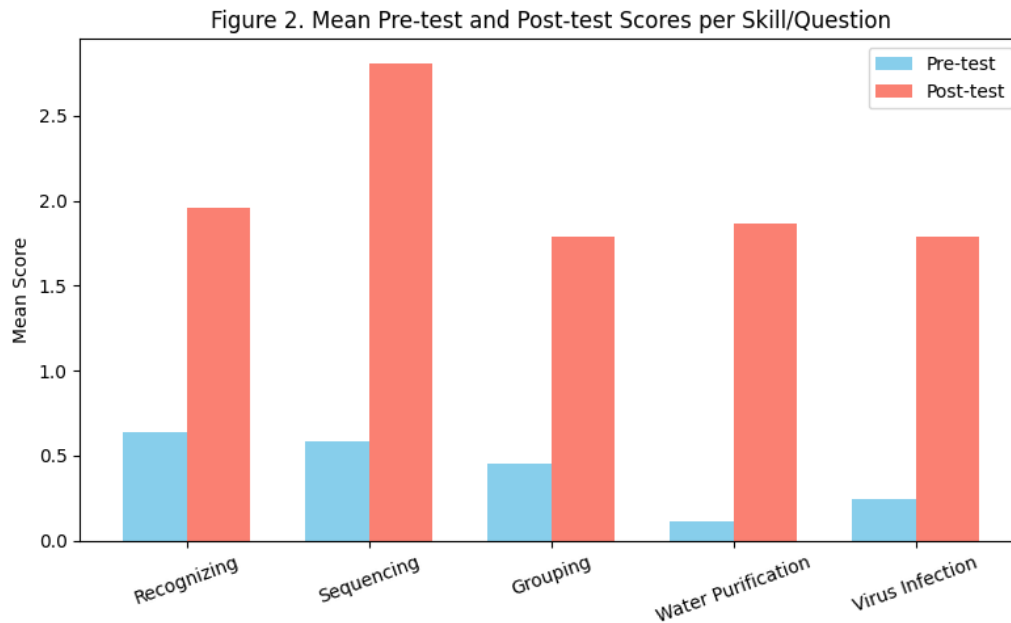
Ανάλυση δεδομένων

Οι απαντήσεις πριν και μετά το τεστ κωδικοποιήθηκαν με τη χρήση της ρουμπρίκας TENANO+. Υπολογίστηκαν περιγραφικά στατιστικά στοιχεία, έλεγχοι Wilcoxon signed-rank και μεγέθη επίδρασης (Cohen's d). Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις υποομάδων ανά φύλο και εθνικότητα, με αναφορά των μεγεθών του δείγματος (βλ. Σχήμα 3).

Αποτελέσματα

Η ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων καταδεικνύει ουσιαστική και στατιστικά σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των θεμελιωδών εννοιών της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση. Οι μαθητές παρουσίασαν αξιοσημείωτη πρόοδο στην αναγνώριση των ιδιοτήτων της νανοκλίμακας, στη διάκριση μεταξύ οντοτήτων μακρο-, μικρο- και νανοκλίμακας και στην εφαρμογή των αρχών της σειροθέτησης και της ομαδοποίησης. Ειδικότερα, η ικανότητά τους να εξηγούν σύνθετα φαινόμενα, όπως ο καθαρισμός του νερού με νανοϋλικά, βελτιώθηκε σημαντικά. Μετά την παρέμβαση, πολλοί μαθητές παρείχαν πιο ακριβείς και εννοιολογικά θεμελιωμένες εξηγήσεις για τις διαδικασίες φιλτραρίσματος του νερού, αναφέροντας ρητά το ρόλο των νανοφίλτρων στην απομάκρυνση των ρύπων (βλ. Σχήμα 1).

Σχήμα 1. Ραβδόγραμμα της μέσης βαθμολογίας πριν και μετά το τεστ για κάθε δεξιότητα/ερώτηση, που δείχνει τη βελτίωση σε όλους τους αξιολογούμενους τομείς.



Συνολική βελτίωση

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις συνολικές βαθμολογίες πριν και μετά την παρέμβαση. Η μέση βαθμολογία πριν από το τεστ ήταν 2,04 (SD = 2,17) και αυξήθηκε σε 10,23 (SD = 1,79) μετά την παρέμβαση (N = 53). Η μέση βελτίωση ήταν 8,19 μονάδες (SD = 2,79), στατιστικά σημαντική (Wilcoxon signed-rank test, $p < ,001$). Το μέγεθος της επίδρασης (Cohen's $d = 4,12$) είναι ασυνήθιστα μεγάλο για εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, ενδεχομένως αντανακλώντας τη χαμηλή αρχική τιμή, την καινοτομία του περιεχομένου και την ευαισθησία της ρουμπρικής βαθμολόγησης. Η συνολική βελτίωση απεικονίζεται οπτικά στο Σχήμα 2 (boxplot των βαθμολογιών πριν και μετά το τεστ) καθώς και στο Σχήμα 3 (Boxplots των βαθμολογιών βελτίωσης ανά φύλο και ανά εθνικότητα, με έμφαση στις διαφορές των υποομάδων).

Πίνακας 1. Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία για τις συνολικές βαθμολογίες πριν και μετά την παρέμβαση (N = 53).

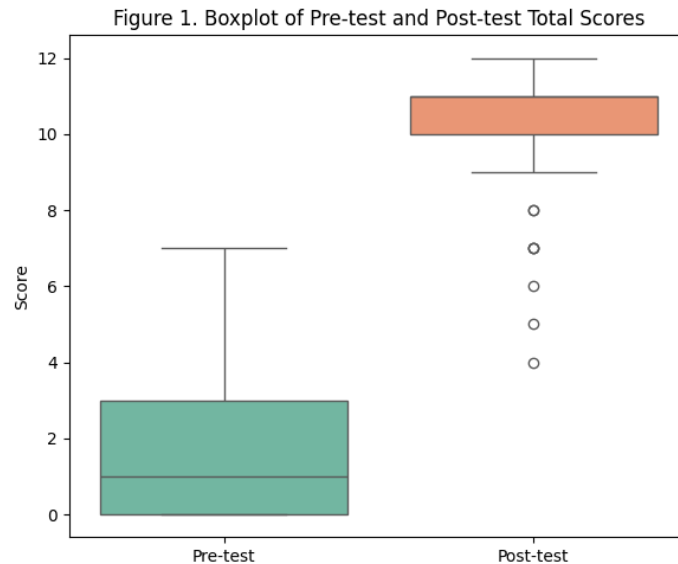
Βαθμολογία Τύπος	Μέσος όρος	SD	Min	Max
Pre-test	2,04	2,17	0	7
Post-test	10,23	1,79	4	12
Βελτίωση	8,19	2,79	2	11

Συζήτηση

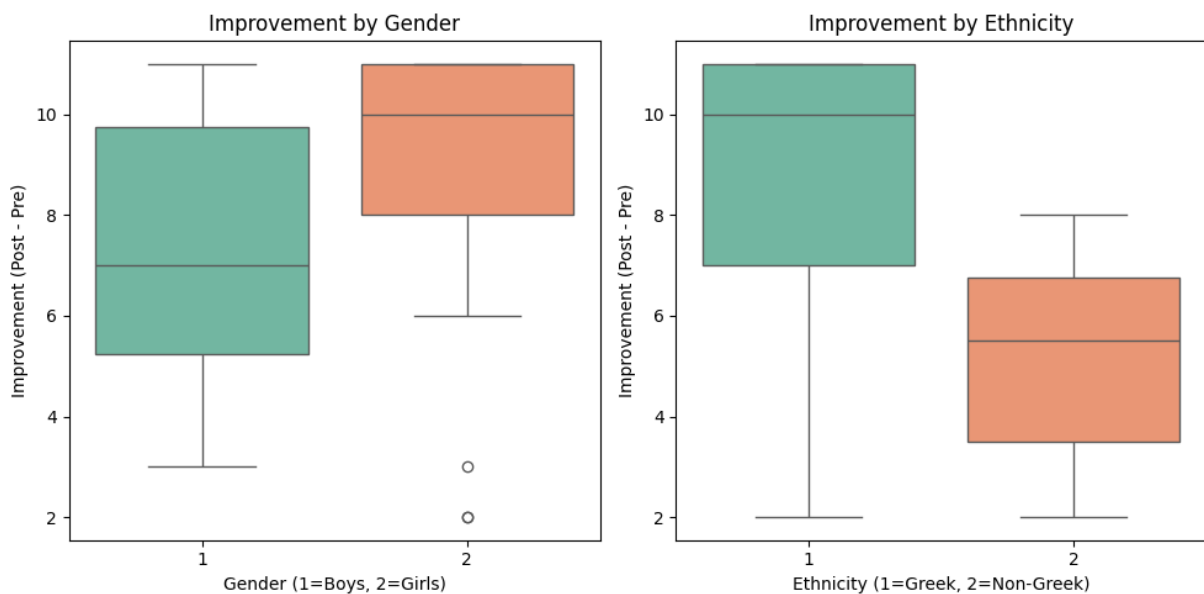
Τα δεδομένα αποκάλυψαν σημαντική βελτίωση στην κατανόηση των βασικών εννοιών της NET από τους μαθητές μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση στην ικανότητα των μαθητών να διαφοροποιούν τις διαστάσεις της ναοκλίμακας, της μικροκλίμακας και της μακροκλίμακας. Οι μαθητές παρουσίασαν επίσης βελτιωμένη κατανόηση των αρχών της σειροθέτησης και της ομαδοποίησης, δύο βασικών

στοιχείων κατανόησης της νανο-κλίμακας (Dorouka et al., 2024). Η παρέμβαση βελτίωσε σημαντικά την ικανότητα των μαθητών να συνδέουν τις αρχές NET με εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, όπως ο καθαρισμός του νερού με νανοϋλικά. Για παράδειγμα, πολλοί μαθητές περιέγραψαν με ακρίβεια πώς λειτουργούν οι νανοπορώδεις μεμβράνες για να φιλτράρουν τους ρύπους, αποδεικνύοντας την ικανότητά τους να συνδέουν αυτές τις διαδικασίες με φαινόμενα νανοκλίμακας.

Σχήμα 2. Boxplot των συνολικών βαθμολογιών πριν και μετά το τεστ, που δείχνει τη σημαντική αύξηση των επιδόσεων των μαθητών μετά την παρέμβαση.



Σχήμα 3. Boxplots των βαθμολογιών βελτίωσης ανά φύλο και ανά εθνικότητα, με έμφαση στις διαφορές των υποομάδων.



Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι οι παιγνιοποιημένες ψηφιακές δραστηριότητες μπορούν να ενισχύσουν σημαντικά την κατανόηση των εννοιών της νανοτεχνολογίας από τους μαθητές του δημοτικού, ιδίως στο πλαίσιο του καθαρισμού του νερού με νανοϋλικά. Τα αποτελέσματα αυτά ευθυγραμμίζονται και επεκτείνουν την

υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με την εκπαίδευση στη νανοτεχνολογία, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις σχετικά με το πώς μπορούν να εισαχθούν αποτελεσματικά πολύπλοκες επιστημονικές έννοιες στους μικρούς μαθητές.

Βιβλιογραφία

- Delgado, C., Stevens, S.Y., Shin, N. & Krajcik, J. (2015). A middle school instructional unit for size and scale contextualised in nanotechnology, *Nanotechnology Reviews*, 4(1), 51– 69.
<https://doi.org/10.1515/ntrev-2014-0023>
- Dorouka, P., & Kalogiannakis, M. (2023). Teaching nanotechnology concepts in early-primary education: An experimental study using digital games. *International Journal of Science Education*, 46(13), 1311-1338. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2286299>
- Dorouka, P., Kalogiannakis, M., & Blonder, R. (2024). Tablets and apps for promoting nanoliteracy in early childhood education: Results from an experimental study. *Journal of Science Education and Technology*, 33(6), 910–927. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10132-w>
- Dorouka, P., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2021a). Nanotechnology and mobile learning: Perspectives and opportunities in young children’s education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 13(3), 237–252. <https://doi.org/10.1504/IJTEL.2021.115975>
- Dorouka, P., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2021b). The contribution of the health crisis to young children’s nano-literacy through STEAM education. *Hellenic Journal of STEM Education*, 2(1), 1– 7. <https://doi.org/10.51724/hjstemed.v2i1.18>
- Jones, G. M., Gardner, G. E., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1490–1512.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
- Lin, S. Y., Wu, M. T., Cho, Y. I., & Chen, H. H. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), 22–37. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.971733>
- Magana, A. J., Brophy, S. P., & Bryan, L. A. (2012). An integrated knowledge framework to characterise and scaffold size and scale cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, 34(14), 2181-2203. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.715316>
- Mandrikas, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2020). Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education*, 38(4), 377–395.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1631783>
- Peikos, G., Spyrtou, A., Pnevmatikos, D., & Papadopoulou, P. (2021). Primary school students’ preconceptions about the term nanotechnology and the water nano-filters. Στο *New perspectives in science education—Proceedings of the 10th International Conference New Perspectives in Science Education*, σ. 227–282. Ανακτήθηκε στις 18 Φεβρουαρίου 2025 από:
<https://conference.pixel-online.net/files/npse/ed0010/FP/6989-PPED4920-FP-NPSE10.pdf>
- Saidi, T., & Sigauke, E. (2017). The use of museum-based science centers to expose primary school students in developing countries to abstract and complex concepts of nanoscience and nanotechnology. *Journal of Science Education and Technology*, 26(5), 470–480.
<https://www.jstor.org/stable/45151230>
- Sakhnini, S., & Blonder, R. (2015). Essential concepts of nanoscale science and technology for high school students based on a Delphi study by the expert community. *International Journal of Science Education*, 37(11), 1699–1738. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035687>
- Sharples, M., Arnedillo-Sánchez, I., Milrad, M., & Vavoula, G. (2009). Mobile learning. Στο N. Balacheff, S. Ludvigsen, T. de Jong, A. Lazonder, S. Barnes (Επιμ.) *Technology-Enhanced Learning*, 233–249. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9827-7_14
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science & engineering: A guidebook for secondary teachers*. NSTA Press. ISBN 978-1-935155-07-2
- Wang, Z., Wu, A., Colombi Ciacchi, L., & Wei, G. (2018). Recent advances in nanoporous membranes for water purification. *Nanomaterials*, 8(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nano8020065>