

Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών/τριών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

(2024)

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών και Ερευνητριών



Τόμος Πρακτικών



**4^ο Πανελλήνιο
Συνέδριο Νέων
Ερευνητών/ριών**

στη Διδακτική των
Φυσικών Επιστημών
& Νέων Τεχνολογιών
στην Εκπαίδευση

16-18 Σεπτεμβρίου
2022

**Διερεύνηση των Διασυνδέσεων STEM Πεδίων σε
Διδακτική Ενότητα Νανοτεχνολογίας από
Μελλοντικούς Εκπαιδευτικούς**

Χαρίκλεια Μπιτσάκη, Δημήτρης Σταύρου

doi: [10.12681/nrcodiste.5970](https://doi.org/10.12681/nrcodiste.5970)



ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΡΑΚΗΣ

DEMOCRITUS
UNIVERSITY
OF THRACE

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής
Εκπαίδευσης

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών

Διερεύνηση των Διασυνδέσεων STEM Πεδίων σε Διδακτική Ενότητα Νανοτεχνολογίας από Μελλοντικούς Εκπαιδευτικούς

Χαρά Μπιτσάκη¹, Δημήτριος Σταύρου²

¹Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια, ²Καθηγήτης

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Κρήτης
ptdep359@edc.uoc.gr

Περίληψη

Σε μια διεπιστημονική STEM διδασκαλία η αναγνώριση εννοιών και μεθόδων που παρουσιάζουν κοινή ταυτότητα αλλά και διαφορετική δομή στα επιμέρους επιστημονικά πεδία είναι καίριας σημασίας. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστούν έννοιες, τεχνουργήματα και μέθοδοι που αναγνωρίζουν μελλοντικοί εκπαιδευτικοί ως διασυννοριακά αντικείμενα και τα χαρακτηριστικά αυτών σε μια STEM ενότητα Νανοεπιστήμης - Νανοτεχνολογίας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ERASMUS+ προγράμματος “IDENTITIES”. Στην έρευνα συμμετείχαν δώδεκα μελλοντικοί εκπαιδευτικοί από τέσσερις χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Γαλλία και Ισπανία) με υπόβαθρο στα πεδία των Φυσικών Επιστημών, Μαθηματικών και Επιστήμης Υπολογιστών, οι οποίοι παρακολούθησαν ένα εβδομαδιαίο θερινό σχολείο για τη διεπιστημονική STEM προσέγγιση.

Abstract

In a STEM teaching module, the identification of concepts that have both a common identity and different structure in various disciplines is crucial. In this paper, are presented concepts/ artifacts/ methods that prospective teachers recognize as boundary objects, as well as their characteristics in an integrated STEM module on Nanoscience – Nanotechnology developed as part of the ERASMUS+ project “IDENTITIES”. Twelve prospective teachers from four different countries (Greece, Italy, France and Spain) with a background in Science, Mathematics and Computer Science participated in the research, attending in a week-long summer school concerning interdisciplinary STEM approach.

Λέξεις κλειδιά: διασυννοριακά αντικείμενα, διεπιστημονικότητα, νανοεπιστήμη - νανοτεχνολογία, STEM εκπαίδευση

Key words: boundary objects, interdisciplinarity, nanoscience-nanotechnology, STEM education

1. Εισαγωγή

Μία διεπιστημονική STEM διδασκαλία περιλαμβάνει έννοιες, γνώσεις και δεξιότητες από δύο ή περισσότερα επιστημονικά πεδία (Honey et al., 2014 · Martín-Páez et al., 2019 · Moore et al., 2014) οδηγώντας σε μία πιο ενοποιημένη ή πιο ευρεία οπτική σε σχέση με γνώσεις ή αντιλήψεις που εξετάζονται εντός των συνόρων των επιστημονικών πεδίων (Czerniak & Johnson, 2014 · Honey et al., 2014). Προκύπτει, επομένως, η αναγκαιότητα να επιτευχθεί μία βαθύτερη διασύνδεση των τεσσάρων S-T-E-M επιστημονικών πεδίων προκειμένου να επιτευχθεί και μία πιο ευρεία οπτική σε σχέση με τα παραπάνω όταν εξετάζονται εντός των συνόρων του κάθε ενός επιστημονικού πεδίου ξεχωριστά (Czerniak & Johnson, 2014 · Honey et al., 2014). Δεν υπάρχει ένας σαφής ορισμός της έννοιας «διασύνδεση». Εντούτοις, με τον όρο «διασύνδεση» περιγράφεται ένα ενοποιημένο σύνολο μαθησιακών στόχων, πρακτικών και περιεχομένου από διαφορετικά STEM πεδία μέσα από επεξεργασία πολύπλοκων φαινομένων ή καταστάσεων (Honey et al., 2014 · Thibaut et al., 2018). Προκειμένου να επιτευχθεί η παραπάνω ενοποίηση αξιοποιούνται έννοιες που παρουσιάζουν διαφορετική δομή ή εφαρμογή σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία, ή που αποδίδονται με ενοποιημένο τρόπο σε αυτά, καθώς και η σύνδεση γνώσεων και πρακτικών (Honey et al., 2014 · Leung,

2019). Μέσα από τις διαφορετικές ερμηνείες αναδεικνύεται η ταυτότητα των επιστημονικών πεδίων και διατηρείται η αυτοτέλειά τους, ενώ η μετάφραση των διαφορετικών ερμηνειών επιτρέπει σε ανθρώπους με διαφορετικό υπόβαθρο να επικοινωνήσουν πιο αποτελεσματικά. Πιο αποτελεσματική γίνεται η επικοινωνία και μέσω της ανάδειξης των ομοιοτήτων καθώς γεφυρώνουν τις συννοριακές περιοχές (Crujeiras-Pérez & Jiménez-Aleixandre, 2019· Honey et al., 2014· Leung, 2019· Moore et al., 2016). Επιπλέον, η διασύνδεση μέσω των εννοιών προάγει την κατασκευή της γνώσης καθώς μέσα από τα πολλαπλά νοήματα της ίδιας έννοιας μπορούν να ερμηνευθούν διαφορετικές αναπαραστάσεις και περιεχόμενα των επιστημονικών πεδίων (Nathan et al., 2013). Τέλος, η εφαρμογή τέτοιων πολλαπλών εννοιών είναι προαπαιτούμενο για τη λύση πολύπλοκων προβλημάτων (Roering et al., 2012).

Τέτοια παραδείγματα μπορούν να είναι κεντρικές έννοιες όπως η *δομή της ύλης* όπου εξ' ορισμού άπτονται διαφορετικών επιστημονικών πεδίων (Stevens, 2009) ή μέθοδοι όπως η μοντελοποίηση που παρουσιάζουν τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές στον τρόπο που διεξάγονται στο πλαίσιο επιστημονικών πεδίων όπως οι φυσικές επιστήμες, τα μαθηματικά και η μηχανική (Develaki, 2020· Leung, 2019). Μέσα από τη διασύνδεση, επομένως επιτυγχάνεται η βαθύτερη κατανόηση εννοιών εντός των επιστημονικών πεδίων, καθώς και η επέκτασή της κατανόησης αυτής σε STEM περιεχόμενα που άπτονται κοινωνικών ζητημάτων. Τέλος, μέσα από τη διασύνδεση φαίνεται να αυξάνεται το ενδιαφέρον και η εμπλοκή των μαθητών σε περιεχόμενα που αφορούν τα STEM πεδία, αυξάνοντας την ενασχόλησή τους με αυτά (Czerniak & Johnson, 2014· Martín-Páez et al., 2019· Moore et al., 2014).

Η αξιοποίηση των διασυνδέσεων μεταξύ των S-T-E-M πεδίων φαίνεται να έχει ιδιαίτερη σημασία τόσο για τους μαθητές όσο και για τους εκπαιδευτικούς (Honey et al., 2014). Αν και δεν υπάρχει σαφής ορισμός της έννοιας διασύνδεση, είναι σημαντικό να αφορά έννοιες με διαφορετική δομή ή εφαρμογή σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία, καθώς και έννοιες που αποδίδονται με ενοποιημένο τρόπο σε αυτά (Honey et al., 2014· Leung, 2019). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται βαθύτερη κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ περιεχομένου και οπτικών, εξοικείωση με κεντρικές έννοιες που εμφανίζονται στα διάφορα πεδία και υποστήριξη των μαθητών στην πραγματοποίηση συνδέσεων μεταξύ των εννοιών αυτών.

Επομένως, κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη και η εφαρμογή εννοιών που αναδεικνύουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των πεδίων, οδηγούν στην αναγνώριση εννοιών που έχουν κοινή ταυτότητα αλλά διαφορετική δομή σε καθένα από αυτά και συνδυάζουν γνώσεις και πρακτικές από διαφορετικά πεδία (Honey et al., 2014· Leung, 2019). Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα τέτοιες ενότητες δεν απευθύνονται μόνο σε μαθητές αλλά και σε εν ενεργεία ή μελλοντικούς εκπαιδευτικούς, καθώς βοηθούν στην επαγγελματική τους ανάπτυξη (Honey et al., 2014) και στην εμπλοκή τους σε τομείς όπου έχουν μικρότερη εξοικείωση (Hobbs, 2012· Honey et al., 2014).

Ένα θεωρητικό πλαίσιο κατάλληλο για τον εντοπισμό και την επεξεργασία διασυνδέσεων κρίνεται εκείνο των Akkerman & Bakker για τα διασυννοριακά αντικείμενα (Akkerman & Baker, 2011). Στο παραπάνω θεωρητικό πλαίσιο, ως διασυννοριακά αντικείμενα χαρακτηρίζονται έννοιες, μέθοδοι και τεχνουργήματα που αναλαμβάνουν ρόλο «μεταφραστές» μεταξύ δύο διαφορετικών τομέων που αλληλοεπιδρούν (Akkerman & Baker, 2011). Σύμφωνα με τους Star & Griesemer (1989) τα διασυννοριακά αντικείμενα είναι αντικείμενα που βρίσκονται σε διαφορετικές πλευρές που διασταυρώνονται δίνοντας χαρακτηριστικές πληροφορίες για καθεμία από αυτές. Με τον όρο διασυννοριακά αντικείμενα αναφερόμαστε συχνά σε τεχνουργήματα που εκφράζουν πολλαπλές οπτικές και νοήματα εκπληρώνοντας έτσι μία διαδικασία που γεφυρώνει τις δύο διαφορετικές πλευρές και ουσιαστικά τους επιτρέπει να εργαστούν από κοινού χωρίς να απαιτείται ομοφωνία ενώ οι ομοιότητες και οι διαφορές τους προκύπτουν από τη χρήση και την ερμηνεία τους (Akkerman & Baker, 2011). Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί καθώς ερμηνεύονται διαφορετικά από κάθε πλευρά ενώ παράλληλα έχουν μία κοινή ταυτότητα που είναι αναγνωρίσιμη σε κάθε μία από αυτές (Star, 2010).

Δεδομένου ότι χώρος ανάδειξης των διασυνοριακών αντικειμένων είναι τα σύνορα των επιστημονικών πεδίων, η φύση των διασυνοριακών αντικειμένων παρουσιάζει αμφισημία. Όπως και τα σύνορα έτσι και τα επιστημονικά πεδία δεν ανήκουν σε κανένα από τα διασυνδεδεμένα S-T-E-M πεδία (neither-nor) με αυτή την ιδιότητα των διασυνοριακών αντικειμένων να οδηγεί σε μία σειρά από χαρακτηριστικά που εκφράζουν την ενοποίηση των επιστημονικών πεδίων οδηγώντας ακόμα και σε υβριδικές καταστάσεις. Τα διασυνοριακά αντικείμενα κινούνται πέρα από τα σύνορα των επιστημονικών πεδίων, έχοντας έτσι τη δυνατότητα να τα υπερβαίνουν. Παρουσιάζουν μία κοινή, αυτοτελή ταυτότητα που εμφανίζει δική της υπόσταση. Τα διασυνοριακά αντικείμενα μέσα από την ενοποιητική τους δράση εκφράζουν και αναδεικνύουν τις ομοιότητες των επιστημονικών πεδίων. Παράλληλα, ανήκουν σε καθένα από τα επιστημονικά πεδία (both-and). Αυτή τους η ιδιότητα οδηγεί στη διάκριση των επιστημονικών πεδίων μέσα σε μία διεπιστημονική διεργασία, ενώ μας δίνει πληροφορίες για αυτά. Τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν από αυτή την ιδιότητα είναι η ενεργοποίηση των συνόρων των πεδίων, κάνοντάς μας σαφή τη συμβολή τους, η έκφραση των διαφορετικών οπτικών και κατ' επέκταση η ανάδειξη των ιδιοτήτων των πεδίων (Akkerman & Baker, 2011 · Star, 2010 · Star & Griesemer, 1989).

Σκοπός, επομένως, της παρούσας εργασίας είναι να εντοπιστούν οι έννοιες, μέθοδοι και τεχνουργήματα που αναγνωρίζουν οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί ως διασυνοριακά αντικείμενα καθώς και τα χαρακτηριστικά που εντοπίζουν σε μία ενότητα Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας (NET) και διαμορφώνονται τα εξής δύο ερευνητικό ερώτημα: α) Ποια χαρακτηριστικά των διασυνοριακών αντικειμένων αναγνωρίζουν μελλοντικοί εκπαιδευτικοί δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης αναφορικά με το αντικείμενο της NET;

2. Μεθοδολογία

Η ενότητα της NET αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Διδακτικής Θετικών Επιστημών του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Κρήτης στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος ERASMUS+ “IDENTITIES” και βασίστηκε στο Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης (Duit et al., 2012) και τα θεωρητικά πλαίσια των Klein (2010) για τη διεπιστημονικότητα και Akkerman & Bakker (2011) για τα διασυνοριακά αντικείμενα. Έμφαση δόθηκε στην ανάδειξη ιδιοτήτων και ασυνεχειών μεταξύ των S-T-E-M πεδίων που εμπλέκονται, καθώς και των μορφών διασύνδεσής τους λαμβάνοντας υπόψη επιστημολογικούς, μεθοδολογικούς και γλωσσολογικούς παράγοντες. Η ενότητα σχεδιάστηκε με σκοπό την ανάδειξη συγκεκριμένων διασυνοριακών αντικειμένων όπως:

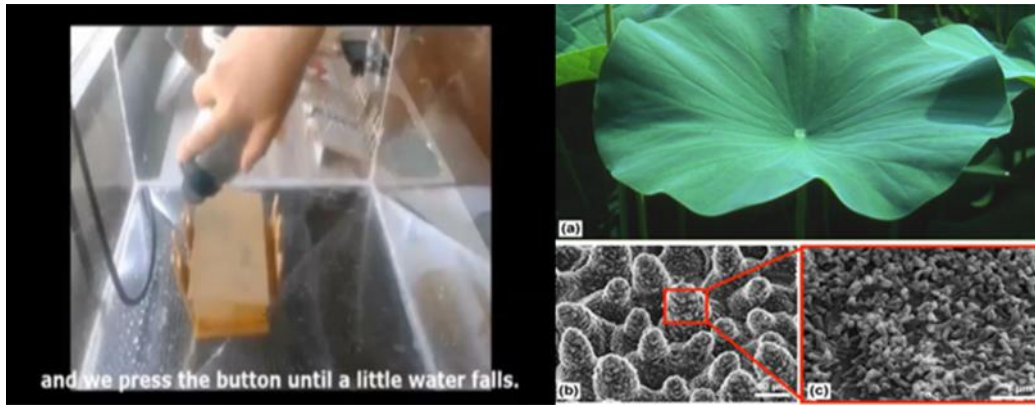
- α) Βιομηχανισμός,
- β) Ρόλος των μοντέλων και προσομοιώσεων (Develaki, 2020),
- γ) Όργανα και οργανολογία (Stevens et al., 2009),
- δ) Απόδοση/αποτελεσματικότητα (*efficiency*) (Araya & Collanqui, 2021 · Lefebber & Viestiris, 2007).

Πιο συγκεκριμένα η ενότητα αποτελείται από τρεις υποενότητες:

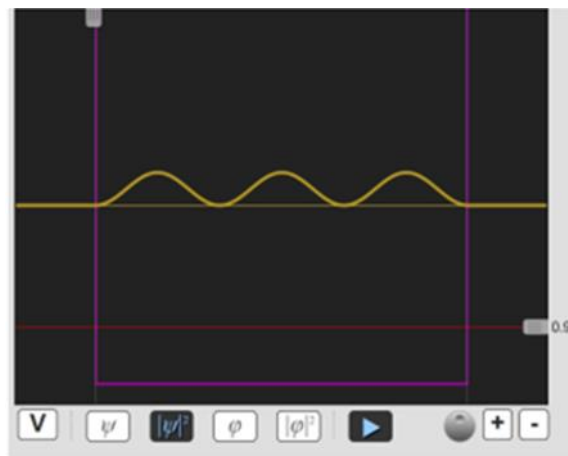
Στην πρώτη υποενότητα οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί εισάγονται στο περιεχόμενο της NET και καλούνται να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με τη διεπιστημονικότητα των S-T-E-M πεδίων που εμπλέκονται στις εφαρμογές της. Στην υποενότητα αυτή οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί εμπλέκονται σε ανοικτές συζητήσεις που αφορούν τα ρεαλιστικά προβλήματα που καλείται να λύσει η NET ενώ συλλέγονται οι αρχικές τους απόψεις πάνω σε έννοιες, μεθόδους ή τεχνουργήματα που εμπριέχονται στην ενότητα και απαιτούν την εμπλοκή διαφορετικών επιστημονικών πεδίων.

Στη δεύτερη υποενότητα παρουσιάζεται στους/στις μελλοντικούς/κες εκπαιδευτικούς, εκπαιδευτικό υλικό με διαδραστικές STEM δραστηριότητες σχετικές με εφαρμογές της NET. Οι δραστηριότητες αυτές αφορούν έξυπνα σπίτια, εναλλακτικές πηγές ενέργειας, Νανοσωματίδια χρυσού και τις εφαρμογές τους στην ιατρική και τα μικροσκόπια ατομικής

δύναμης. Στην πρώτη και τη δεύτερη δραστηριότητα έγινε διαπραγμάτευση του διασυννοριακού αντικείμενου του βιομιμητισμού μέσα από δραστηριότητες που αφορούν τις υπερυδροφικές επιφάνειες μέσω της αντιγραφής των ιδιοτήτων του φύλλου του λωτού (Εικόνα 1) και φωτοβολταϊκών που αξιοποιούν τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην τρίτη δραστηριότητα οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί διαπραγματεύτηκαν διασυννοριακά αντικείμενα όπως μαθηματικά μοντέλα και προσομοιώσεις (Εικόνα 2) ενώ στην τέταρτη δραστηριότητα εισήχθησαν στα διασυννοριακά αντικείμενα των οργάνων και της οργανολογίας μέσω της αναγκαιότητας της συνεργασίας των επιστημονικών πεδίων για την κατασκευή τους αλλά και την επεξεργασία και ερμηνεία των δεδομένων που συλλέγονται μέσω αυτών (Εικόνα 3).



Εικόνα 1: Το διασυννοριακό αντικείμενο του βιομιμητισμού μέσω των υπερυδροφικών επιφανειών



Picture 3: Allowable energy level

$$E = E_g + \frac{\hbar^2}{8mL^2} - \frac{1.786e^2}{\epsilon\epsilon L} - 0.248 \frac{13.6}{Mr^2}$$

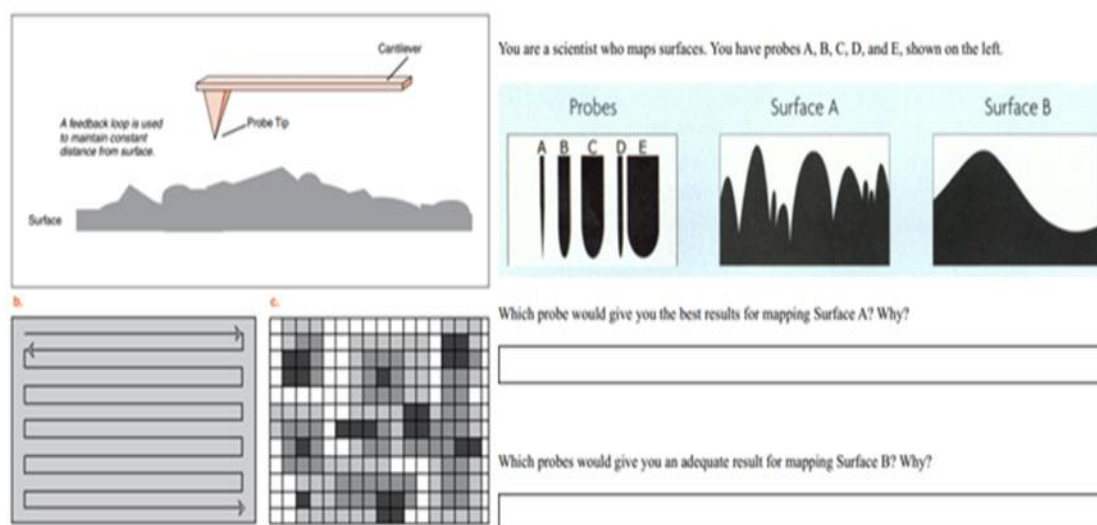
Εικόνα 2: Μαθηματικά Μοντέλα και Προσομοιώσεις

Στη συνέχεια, στην τρίτη υποενότητα εντοπίζουν στις προηγούμενες δραστηριότητες τις διασυνδέσεις που επιτρέπουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πεδίων αυτών αναλύοντας το εκπαιδευτικό υλικό από επιστημολογική, μεθοδολογική και γλωσσολογική σκοπιά.

Η ενότητα διάρκειας 14 διδακτικών ωρών, εφαρμόστηκε σε 12 φοιτητές/μελλοντικούς εκπαιδευτικούς δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης από τέσσερις χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Γαλλία

και Ισπανία) με υπόβαθρο στα πεδία των Φυσικών Επιστημών, Μαθηματικών και Επιστήμης Υπολογιστών στο πλαίσιο ενός διεθνούς εβδομαδιαίου θερινού σχολείου.

Από την εφαρμογή συλλέχθηκαν δεδομένα όπως, ηχογραφήσεις της εφαρμογής και φύλλα εργασίας που συμπληρώθηκαν από τους συμμετέχοντες στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων της ενότητας. Η ανάλυση των δεδομένων γίνεται με βάση το θεωρητικό πλαίσιο των Akkerman & Bakker (2011) για τα διασυνοριακά αντικείμενα που περιγράφεται παραπάνω, ενώ βασίζεται σε ποιοτικές μεθόδους ανάλυσης περιεχομένου (Mayring, 2015), λόγω του μικρού αριθμού των συμμετεχόντων αλλά και της διερευνητικής φύσης της έρευνας. Η κατηγοριοποίηση που εφαρμόστηκε ήταν τόσο top- down όσο και bottom- up και ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά εφαρμόστηκαν κατηγορίες που αφορούν την αμφίσημη φύση των διασυνοριακών αντικείμενων και τα χαρακτηριστικά της φύσης αυτής που αναγνωρίζονται ανά διασυνοριακό αντικείμενο πάνω στο οποίο βασίστηκε η ενότητα και ανά ταυτότητα επιστημονικού πεδίου των συμμετεχόντων.



Εικόνα 3: Όργανα και Οργανολογία

3. Αποτελέσματα

Από την παραπάνω ανάλυση διαφαίνεται ότι οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί συζητώντας για ένα διασυνοριακό αντικείμενο αναγνωρίζουν την συμβολή του αντικειμένου αυτού στην αλληλεπίδραση μεταξύ των τεσσάρων S-T-E-M πεδίων. Εντοπίζουν στοιχεία της αμφίσημης φύσης των διασυνοριακών αντικειμένων αφενός μέσω της κοινής ταυτότητας των αντικειμένων αυτών στα επιστημονικά πεδία που αλληλοεπιδρούν, και αφετέρου μέσα από στοιχεία που εκφράζουν τις ιδιαιτερότητες αυτών των αντικειμένων στα πεδία αυτά. Επιπλέον, εμφανίζονται στοιχεία που δείχνουν ότι ορισμένα χαρακτηριστικά των διασυνοριακών αντικειμένων έχουν διαφορετική ερμηνεία ή προτεραιότητα για μελλοντικούς εκπαιδευτικούς με διαφορετικό υπόβαθρο. Φαίνεται οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί να αναγνωρίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά των διασυνοριακών αντικειμένων ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο στο οποίο ανήκουν.

4. Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης διαφαίνεται η αναγκαιότητα να δοθεί μεγαλύτερο βάρος στις έννοιες εκείνες που λειτουργούν βοηθητικά ώστε να διασυνδέονται τα S-T-E-M πεδία. Μέσα από την ανάδειξη διασυνδέσεων, οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί εξοικειώνονται με κεντρικές έννοιες του αντικειμένου της NET, εμβαθύνουν στο περιεχόμενό της και αναγνωρίζουν τη σημασία της συνεργασίας των S-T-E-M πεδίων σε αυτήν. Επιπλέον,

φαίνεται οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί να καταφέρνουν μέσα από την επεξεργασία των διασυνδέσεων ως διασυννοριακά αντικείμενα να εμβαθύνουν στο περιεχόμενο αντικειμένων σύγχρονης έρευνας, και γενικότερα αντικειμένων στα οποία έχουν χαμηλή εξοικείωση και κατ'επέκταση να επιτυγχάνεται η επαγγελματική τους ανάπτυξη (Honey et al., 2014).

5. Βιβλιογραφία

- Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of Educational Research*, 81(2), 132-169. <https://doi.org/10.3102/0034654311404435>
- Araya, R., & Collanqui, P. (2021). Are cross-border classes feasible for students to collaborate in the analysis of energy efficiency strategies for socioeconomic development while keeping CO2 concentration controlled? *Sustainability*, 13(3), 1584. <https://doi.org/10.3390/su13031584>
- Crujeiras-Pérez, B. & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2019). Interdisciplinarity and argumentation in chemistry education. Στο S. Erduran (Επιμ.) *Argumentation in Chemistry Education: Research, Policy and Practice*, σ. 32-61. London: Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788012645-00032>
- Czerniak, C. M., & Johnson, C. C. (2014). Interdisciplinary science teaching. Στο *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (σ. 409-425). Routledge. ISBN: 978-0-203-09726-7
- Develaki M. (2020) Comparing crosscutting practices in STEM disciplines: Modeling and reasoning in mathematics, science, and engineering. *Science & Education* 29, 949-979. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00147-1>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction—A framework for improving teaching and learning science. Στο *Science education research and practice in Europe* (σ. 13-37). Brill. ISBN: 9789460919008
- Hobbs, L. (2013). Teaching 'out-of-field' as a boundary-crossing event: Factors shaping teacher identity. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(2), 271-297. <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9333-4>
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Επιμ.) (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: National Academies Press. ISBN 978-0-309-29796-7
- Klein, J. T. (2010). A taxonomy of interdisciplinarity. *The Oxford handbook of interdisciplinarity*, 15(6), 15. ISBN 9780198733522
- Lefebvre, L., & Vietorisz, T. (2007). The meaning of social efficiency. *Review of Political Economy*, 19(2), 139-164. <https://doi.org/10.1080/09538250701256672>
- Leung, A. (2019). Exploring STEM pedagogy in the mathematics classroom: A tool-based experiment lesson on estimation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1339-1358. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9924-9>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Mayring, P. (2015). Qualitative content analysis: Theoretical background and procedures. Στο *Approaches to qualitative research in mathematics education* (σ. 365-380). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6_13
- Moore, T. J., Johnson, C. C., Peters-Burton, E. E., & Guzey, S. S. (2015). The need for a STEM road map. Στο C. C. Johnson, E. E. Peters-Burton, & T. J. Moore (Επιμ.), *STEM Road Map: A Framework for Integrated STEM Education* (σ. 3-12). Routledge. ISBN 9781138804234
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H. H., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Roehrig, G. H. (2014). Implementation and integration of engineering in K-12 STEM education. Στο *Engineering in Pre-College Settings: Synthesizing Research, Policy, and Practices* (σ. 35-60). Purdue University Press. ISBN 9781612493572
- Nathan M.J., Srisurichan R., Walkington C., Wolfgram M., Williams C., Alibali M. W. (2013). Building cohesion across representations: A mechanism for STEM integration. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 77-116. <https://doi.org/10.1002/jee.20000>

- Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H. H., & Park, M. S. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School science and mathematics*, 112(1), 31-44. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00112.x>
- Star, S. L. (2010). This is Not a Boundary Object: Reflections on the Origin of a Concept. *Science, Technology, & Human Values*, 35(5), 601-617. <https://doi.org/10.1177/0162243910377624>
- Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social studies of science*, 19(3), 387-420. <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>
- Stevens S. Y., Sutherland L.M., & Krajcik J.S. (2009). *The Big Ideas of Nanoscale Science & Engineering*. NSTA Press. ISBN 978-1-935155-07-2
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P. & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>