



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
UNIVERSITY OF CRETE

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ  
ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ



university of  
 groningen

INSTITUTE OF SCIENCE EDUCATION  
AND COMMUNICATION

# Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών στη Διδασκαλία STEM

ΝΙΠΥΡΑΚΗΣ ΑΡΓΥΡΗΣ

ΡΕΘΥΜΝΟ, 2023

**Επιβλέποντες καθηγητές:**

Σταύρου Δημήτρης, Καθηγητής ΠΤΔΕ, Παν. Κρήτης

Αβρααμίδου Lucy, Καθηγήτρια ISEC, Παν. Groningen, Ολλανδίας

**Συνεπιβλέποντες καθηγητές:**

Τζανάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΠΤΔΕ, Παν. Κρήτης

Καλογιαννάκης Μιχαήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΤΠΕ, Παν. Κρήτης

*Σε δύο αφανείς ήρωες της καθημερινότητας,  
οι οποίοι ήμουν αρκετά τυχερός και ευλογημένος  
που υπήρξαν καθηγητές μου και πρότυπά μου  
τα χρόνια που πραγματικά είχε σημασία:  
τους γονείς μου*

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	1
1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1.1) Εισαγωγή & Αναγκαιότητα της Έρευνας.....	2
1.2) Ερευνητικά ερωτήματα .....	5
1.3) Θεωρητικό Πλαίσιο Υλοποίησης της Έρευνας.....	6
1.4) Δομή της Διατριβής.....	10
2) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....	12
2.1) Θεωρητικό πλαίσιο STEM .....	12
2.1.1) S-T-E-M ορισμοί & παραδοχές.....	12
2.1.2) Θεωρητικές αρχές STEM .....	21
2.2) Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών .....	31
2.2.1) Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου .....	31
2.2.2) Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου .....	34
2.2.3) STEM Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου .....	36
2.2.4) STEM Επαγγελματική Ανάπτυξη Εκπαιδευτικών .....	36
2.3) STEM σχεδιασμός.....	39
2.4) Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM.....	43
2.4.1) Έρευνες για τις Αντιλήψεις των Εκπαιδευτικών στη Εκπαίδευση STEM.....	43
2.4.2) Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών για τη STEM Διασύνδεση.....	45
2.4.3) Αντιλήψεις για Μοντέλα STEM Διασύνδεσης.....	47
2.5) Συνεργατική μάθηση .....	50
2.5.1) Έρευνες για τη Συνεργατική Μάθηση.....	50
2.5.2) Μαθησιακές Κοινότητες.....	52
2.5.3) Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών για τη Συνεργασία .....	53
3) ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	55
3.1) Υλοποίηση της Έρευνας: Δείγμα .....	55
3.2) Υλοποίηση της Έρευνας: Περιγραφή.....	58
3.3) Αντικείμενο Περιεχομένου της Εκπαιδευτικής Δράσης: ΝανοΕπιστήμη-ΝανοΤεχνολογία .....	61

3.4) Συλλογή Δεδομένων .....	62
3.5) Ανάλυση Δεδομένων .....	63
Ερ. 1: Πώς σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από S-T-E-M επιστημονικά πεδία; .....	65
Ερ. 2: Πώς επηρέασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας την ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού; .....	78
4) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	81
4.1) Ερ. 1: Πώς σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από S-T-E-M επιστημονικά πεδία; .....	81
4.1.1) Οι παραχθείσες STEM ενότητες .....	81
4.1.2) Οι κεντρικές ιδέες/θέματα κατά τον STEM σχεδιασμό .....	86
4.1.3) Η σχεδιαστική δραστηριότητα των μελών .....	95
4.1.4) Ανάλυση ατομικών σχεδίων STEM διδασκαλίας .....	103
4.1.5) Επιστημονική ανάλυση των ενοτήτων .....	107
4.1.6) Διεπιστημονική ανάλυση των ενοτήτων .....	113
4.1.7) Η Οπτική των Εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM .....	120
4.1.8) Αντιλήψεις για τη STEM Διασύνδεση .....	130
4.1.9) Οριζόντια Σύγκριση Μοντέλων Εκπαιδευτικών .....	136
4.2) Ερ. 2: Πώς επηρέασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας την ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού; .....	139
4.2.1) Τα Σχέδια STEM Διδασκαλίας.....	140
4.2.2) Συγκρίσεις με τις Αρχικές Περιγραφές Διδασκαλίας.....	143
4.2.3) Επιστημονική Ανάλυση των Ενοτήτων.....	145
4.2.4) Διεπιστημονική Ανάλυση των Ενοτήτων.....	146
4.2.5) Αντιλήψεις για τη STEM Συνεργασία.....	149
5) ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	155
5.1) Γενική Επισκόπηση του STEM Διδακτικού Υλικού.....	155
5.2) STEM Διασύνδεση .....	158
5.2.1) Μοντέλα STEM Διασύνδεσης.....	158
5.2.2) Η Επίδραση του Επιστημονικού Υποβάθρου.....	160
5.2.3) Η Επίδραση της Συνεργασίας.....	163
5.2.4) Η Επίδραση του Πλαισίου.....	165

5.3) S-T-E-M συνεργασία στο STEM .....	166
5.4) Τα S-T-E-M Πεδία στο STEM.....	170
5.5) Περιορισμοί.....	171
6) ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	173
6.1) Θεωρητική .....	173
6.2) Μεθοδολογική .....	174
6.3) Επιστημολογική.....	175
6.4) STEM Διδακτικό Υλικό .....	176
7) ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ.....	177
7.1) Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών: Προγράμματα Επαγγελματικής Ανάπτυξης .....	177
7.2) STEM Διασύνδεση.....	178
7.3) Μεθοδολογικές πρακτικές για την έρευνα για το STEM .....	179
7.4) Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα .....	180
ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ.....	182
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	183
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	199
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π1 .....	199
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π2.....	200
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π3.....	203
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ .....	207
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	212

## Περίληψη

Η Εκπαίδευση STEM είναι μια διεθνής τάση κατά την οποία επιδιώκεται η διασύνδεση γνώσεων και δεξιοτήτων μεταξύ διαφορετικών πεδίων θετικών επιστημών. Όμως, παρ' όλη τη σημασία που έχει λάβει βιβλιογραφικά, δεν γνωρίζουμε επαρκώς πώς αντιλαμβάνονται οι εκπαιδευτικοί τη STEM διασύνδεση και πώς σχεδιάζουν και εφαρμόζουν STEM διδακτικό υλικό. Επιπροσθέτως, δεν έχει μελετηθεί πώς επιδρούν οι επιμέρους ειδικότητες των εκπαιδευτικών στις αντιλήψεις και τις πρακτικές σχεδιασμού των εκπαιδευτικών, καθώς επίσης και πώς επιδρά και μια συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων. Συνεπώς, η παρούσα διατριβή μελέτησε τις αντιλήψεις και τις πρακτικές STEM σχεδιασμού εν-ενεργεία εκπαιδευτικών ( $n=26$ ) Βθμιας Εκπαίδευσης των ειδικοτήτων Φυσικών Επιστημών (ΦΕ), Τεχνολογίας, Μηχανικής και Μαθηματικών καθώς αυτοί σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικές ενότητες και STEM τεχνουργήματα. Παράλληλα, μελετάται πώς επέδρασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακών Κοινοτήτων (ΜΚ) στην ανάπτυξη του STEM διδακτικού υλικού.

Η έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια εκπαιδευτικής δράσης που περιλάμβανε συνεργασία ερευνητών και εκπαιδευτικών. Τα δεδομένα της έρευνας περιλάμβαναν τις απομαγνητοφωνήσεις των (εξ αποστάσεως/δια ζώσης) συναντήσεων των ΜΚ, τις ατομικές συνεντεύξεις αναστοχασμού, αρχικό ερωτηματολόγιο περιγραφής διδασκαλίας και το παραχθέν διδακτικό υλικό. Η ανάλυση δεδομένων έγινε μέσω ποιοτικής ανάλυσης περιεχομένου, ενώ η διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης του υλικού σχηματοποιήθηκε μέσω χαρτών σχεδιασμού με τη χρήση λογισμικού και κατόπιν αναλύθηκε.

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών παίζει ρόλο στις αντιλήψεις και στις πρακτικές σχεδιασμού και ανάπτυξης των εκπαιδευτικών, ενώ μια γενικότερη διαφοροποίηση βρέθηκε μεταξύ εκπαιδευτικών ΦΕ & Μαθηματικών σε σχέση με τους αντίστοιχους Τεχνολογίας & Μηχανικής. Κεντρικά μέλη στις επιμέρους ΜΚ θεωρήθηκαν κυρίως τα μέλη που είχαν την τεχνογνωσία των Ψηφιακών Τεχνολογιών καθώς και STEM προεμπειρία, ενώ περιθωριοποιήθηκε ο ρόλος των περισσότερων εκπαιδευτικών Μαθηματικών. Αναφορικά με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τη STEM διασύνδεση, οι εκπαιδευτικοί τόνισαν κυρίως τον κύκλο μηχανικού σχεδιασμού με εκκίνηση από ένα πρόβλημα, τη διασύνδεση πεδίων, και την έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα. Τα αποτελέσματα της έρευνας συστήνουν την εφαρμογή εξατομικευμένων και συνεργατικών προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1) Εισαγωγή & Αναγκαιότητα της Έρευνας

Οι προκλήσεις και τα ρεαλιστικά προβλήματα που συναντούν οι μαθητές στην καθημερινότητά τους είθισται να χαρακτηρίζονται από ένα βαθμό παγκοσμιοότητας και πολυπλοκότητας, και συνεπώς δεν μπορούν να διδαχθούν αποτελεσματικά μέσα από μονοεπιστημονικές προσεγγίσεις (European Commission, 2015; NRC, 2014). Η Εκπαίδευση STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), όντας μια διδακτική προσέγγιση κατά την οποία επιχειρείται διασύνδεση γνώσεων και δεξιοτήτων από τα τέσσερα επιμέρους επιστημονικά πεδία (Martín-Páez κ.ά., 2019), δύναται να συνεισφέρει στην αλλαγή ‘παραδείγματος’ που απαιτείται στην προσέγγιση της νέας γνώσης και στην υποστήριξη καινοτομιών (European Commission, 2015).

Συγκεκριμένα, η STEM προσέγγιση δύναται να επιφέρει βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα (Martín-Páez κ.ά., 2019; Toma & Greca, 2018), καθότι οι μαθητές εκτός από το να καλλιεργούν γνώσεις στα επιμέρους πεδία, αποκτούν επιπλέον επίγνωση της διασύνδεσης των πεδίων (Martín-Páez κ.ά., 2019; NRC, 2014), καθώς και επίγνωση της διασύνδεσης με γενικότερα ζητήματα του πραγματικού κόσμου (Kähkönen κ.ά., 2016). Ακόμα, έρευνες δείχνουν ότι η Εκπαίδευση STEM συνεισφέρει στην καλλιέργεια τεχνολογικών δεξιοτήτων και πρακτικών εμπειριών, καθώς και δημιουργικότητας (Martín-Páez κ.ά., 2019). Παράλληλα, η Εκπαίδευση STEM κινητοποιεί το ενδιαφέρον των μαθητών (Martín-Páez κ.ά., 2019; Toma & Greca, 2018) και δύναται να προσανατολίσει τους μαθητές σε STEM καριέρες (Beier κ.ά., 2019; Drymiotou κ.ά., 2021). Υποεκπροσωπούμενες ομάδες στην εκπαίδευση (π.χ. αναφορικά με την κοινωνική τάξη, φύλο, φυλή) μπορούν επίσης να επωφεληθούν από τη συμμετοχή σε STEM σχολεία που έχουν ως βάση τη συμπερίληψη (Lynch κ.ά., 2018; Means κ.ά., 2016).

Παρ’ όλ’ αυτά, παρατηρείται έλλειψη εξειδικευμένων εκπαιδευτικών στο STEM, καθώς και αντίστοιχων STEM προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης (Ejiwale, 2013; Enderson κ.ά., 2020). Ειδικότερα, οι εκπαιδευτικοί στερούνται γνώσεις STEM περιεχομένου και παιδαγωγικών πρακτικών στο πώς να διδάξουν STEM (Dong κ.ά., 2020; Ejiwale, 2013; Enderson κ.ά., 2020). Έλλειψη παρατηρείται στους εκπαιδευτικούς και σε εμπειρίες σε περιβάλλοντα αυθεντικής επιστημονικής έρευνας και διερεύνησης (Kelley & Knowles, 2016). Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί



δεν έχουν καλλιεργήσει γνώση αναφορικά με το πώς τα επιμέρους πεδία συνδυάζονται, συγκρίνονται ή αλληλοσυμπληρώνονται (NRC, 2014; Quinn κ.ά., 2020), ενώ συχνά εμφανίζονται απρόθυμοι να αλλάξουν τη διδακτική τους πρακτική προς μια διδασκαλία που να εστιάζει στη STEM διασύνδεση (Toma & Greca, 2018). Δεδομένου ότι ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι καταλυτικός στην ενσωμάτωση εκπαιδευτικών καινοτομιών (Psillos & Kariotoglou, 2016), καθίσταται αναγκαία η επιμόρφωση εκπαιδευτικών στη STEM διδασκαλία που να εστιάζει στη STEM διασύνδεση των πεδίων (Enderson κ.ά., 2020; Geng κ.ά., 2019).

Γενικότερα, η χρησιμότητα και ο βαθμός ενσωμάτωσης της STEM προσέγγισης υπό την οπτική των εκπαιδευτικών καθορίζεται κυρίως από δύο παράγοντες των εκπαιδευτικών: την ικανότητα (competence) (γνώσεις και δεξιότητες να διδάξουν STEM), και τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το STEM (Affouneh κ.ά., 2020; Peters-Burton & Knight, 2022).

Ειδικότερα, αναφορικά με την ικανότητα των εκπαιδευτικών, μελετώνται οι STEM πρακτικές των εκπαιδευτικών, ήτοι ο συνδυασμός γνώσεων και δεξιοτήτων (NRC, 2012) που εφαρμόζουν κατά τον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού. Η συμπερίληψη των εκπαιδευτικών ως συν-σχεδιαστές της εφαρμογής των εκπαιδευτικών καινοτομιών, όπως το STEM στην περίπτωσή μας, αποτελεί μια σύγχρονη τάση στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών. Μέσω της εμπλοκής των εκπαιδευτικών σε πρακτικές σχεδιασμού, επιτυγχάνεται όχι μόνο η εκπαίδευση των εκπαιδευτικών στις αρχές της εκπαιδευτικής καινοτομίας, αλλά και η προσαρμογή των εκπαιδευτικών καινοτομιών έτσι ώστε αυτές να καταστούν εφαρμόσιμες στην πράξη (Couso, 2016; Psillos & Kariotoglou, 2016). Ακόμα, σύμφωνα με τους Davis κ.ά. (2016), η μελέτη του πώς σχεδιάζουν διδακτικό υλικό οι εκπαιδευτικοί συνεισφέρει α) στο πώς οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται και ενσωματώνουν τα προτεινόμενα διδακτικά μέσα και εκπαιδευτικές μεταρρυθμίσεις, β) στο πώς οι εκπαιδευτικοί αναπτύσσουν και μετασχηματίζουν τη γνώση, γ) στο τι διδακτικές πρακτικές χρησιμοποιούν και πώς ενσωματώνουν την ταυτότητά τους ως εκπαιδευτικοί. Μελετώντας, αναλυτικότερα, τις διδασκαλίες που σχεδιάζουν οι εκπαιδευτικοί μπορούμε να αντλήσουμε στοιχεία για το πώς αυτοί/ές κατανοούν τη STEM διασύνδεση (Asghar κ.ά., 2012). Συνεπώς, στην παρούσα έρευνα μελετώνται οι πρακτικές των εκπαιδευτικών στο συν-σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί καλούνται να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν διδακτικά μέσα (π.χ. STEM τεχνουργήματα και πειραματικές διαδικασίες), καθώς και συναφή σχέδια STEM διδασκαλίας.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση σύγχρονων αντικειμένων, όπως αυτό της ΝανοΕπιστήμης-ΝανοΤεχνολογίας (NET) προσφέρεται για διδασκαλία STEM, καθότι παρέχονται αυθεντικά και σύνθετα προβλήματα και θέματα τα οποία σχετίζονται με την καθημερινότητα και τη σύγχρονη κοινωνία, ενώ παράλληλα τα αντικείμενα αυτά μελετώνται από πολλά διαφορετικά επιστημονικά πεδία (Kähkönen κ.ά., 2016). Στο πλαίσιο αυτό, το διδακτικό υλικό που κλήθηκαν να σχεδιάσουν και να αναπτύξουν οι εκπαιδευτικοί στην παρούσα εκπαιδευτική δράση είχε ως τεθείσα παράμετρο να ενσωματώνει κάποια έννοια/φαινόμενο/εφαρμογή της NET.

Αναφορικά με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών, παρατηρείται μια έλλειψη επικέντρωσης στις δυσκολίες που συναντούν οι εκπαιδευτικοί καθώς αυτοί ενσωματώνουν, μετασχηματίζουν ή απορρίπτουν εκπαιδευτικές καινοτομίες (Psillos & Kariotoglou, 2016). Ειδικότερα, παρατηρείται ότι παρά το αυξανόμενο πλήθος ερευνών για τη Εκπαίδευση STEM (Li κ.ά., 2020), υπάρχει μια γενικότερη έλλειψη επίγνωσης στο πώς οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται τη STEM διασύνδεση (Dare κ.ά., 2019). Σε ένα περιορισμένο πλήθος ερευνών που έχει μελετήσει τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών (ΦΕ), διαπιστώθηκε ότι παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις στα μοντέλα STEM διασύνδεσης που θεωρούν οι εκπαιδευτικοί ως καλύτερα/προτιμητέα (Dare κ.ά., 2019; Ring κ.ά., 2017).

Απουσιάζουν, πάρα ταύτα, έρευνες οι οποίες θα μελετούσαν αντίστοιχα τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών προερχόμενοι από όλα τα S-T-E-M πεδία. Γενικότερα, δεν έχει δοθεί η δέουσα σημασία στο πώς οι υπάρχουσες γνώσεις και επιστημονικές ταυτότητες (identities) των εκπαιδευτικών καθώς και οι επιμέρους S-T-E-M επιστημολογίες επηρεάζουν ή/και εμποδίζουν τη διασύνδεση των πεδίων (Millar, 2020).

Προς αυτή την κατεύθυνση, η συνεργασία μεταξύ των εκπαιδευτικών με διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση των ομοιοτήτων και των διαφορών μεταξύ των διαφόρων πεδίων και στην καλλιέργεια ενός κοινού επιπέδου κατανόησης των διασυνδέσεων μεταξύ των πεδίων, καθώς και μιας κοινής γλώσσας επικοινωνίας (Kähkönen κ.ά., 2016). Εντούτοις, η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών ειδικοτήτων δεν είναι πάντοτε ουσιώδης (Wong κ.ά., 2016), ενώ ερευνητικά δεν συνηθίζεται να δίνεται έμφαση στο πώς η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών μπορεί να συνδράμει στο να ξεπεραστούν τα εμπόδια κατά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση διεπιστημονικών προγραμμάτων σπουδών (Millar, 2020).

Συνεπώς, η παρούσα έρευνα έχει ως σκοπό τη μελέτη του πώς εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από όλα τα S-T-E-M πεδία σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό μέσα από ένα συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακών Κοινοτήτων (Couso, 2016). Ειδικότερα, μελετάται το πώς οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται και πραγματοποιούν STEM διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων μέσα από τον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM τεχνουργημάτων και STEM σχεδίων διδασκαλίας. Ως θεωρητικό πλαίσιο Εκπαίδευσης STEM για το παραχθέν διδακτικό υλικό χρησιμοποιήθηκε το πλαίσιο 7 κεντρικών STEM χαρακτηριστικών των Roehrig κ.ά. (2021) ενώ για τη μελέτη των STEM διασυνδέσεων μελετήθηκαν τα συγκεκριμένα διασυνοριακά αντικείμενα (boundary objects) (Akkerman & Bakker, 2011) που αναγνωρίζουν οι εκπαιδευτικοί κατά τον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού, δηλαδή αντικείμενα/θέματα τα οποία ενυπάρχουν σε δύο ή παραπάνω επιστημονικά πεδία. Επιπλέον, διερευνάται η επιρροή της συνεργασίας μεταξύ εκπαιδευτικών με διαφορετικό επιστημονικό υπόβαθρο, καθώς και οι αντιλήψεις τους για τη συνεργασία με συναδέλφους από S-T-E-M πεδία.

## 1.2) Ερευνητικά ερωτήματα

Συγκεκριμένα, τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας έρευνας είναι τα ακόλουθα:

1. Πώς σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από Science-Technology-Engineering-Mathematics (S-T-E-M) επιστημονικά πεδία;
  - 1.1. Σε τι έννοιες/θέματα επικεντρώνουν κατά τον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού;
  - 1.2. Τι STEM χαρακτηριστικά σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο των Roehrig κ.ά. (2021) ενσωματώνουν και με ποιον τρόπο;
  - 1.3. Τι είδους διασυνδέσεις και διασυνοριακά αντικείμενα αναγνωρίζουν;
  - 1.4 Ποια είναι η οπτική των εκπαιδευτικών για τη STEM προσέγγιση μετά την ολοκλήρωση της εκπαιδευτικής δράσης;
2. Πώς επηρέασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας την ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού;

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας προσδοκείται να παρέχουν κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό STEM προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης εκπαιδευτικών. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται η ανίχνευση των ιδιαίτερων δυνατοτήτων αλλά και δυσκολιών που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί ως συνάρτηση του επιστημονικού τους υποβάθρου. Τα πορίσματα της έρευνας δύνανται να συνεισφέρουν στη δημιουργία εξατομικευμένων προγραμμάτων επιμόρφωσης εκπαιδευτικών με βάση τις ιδιαίτερες ικανότητες, δυσκολίες αλλά και αντιλήψεις τους. Παράλληλα, η μελέτη της συνεργασίας μεταξύ εκπαιδευτικών αναμένεται να προσδώσει πληροφόρηση για συνεργατικές τάσεις και μοτίβα συνεργασίας μεταξύ των εκπαιδευτικών, τα οποία μπορούν να ενημερώσουν περαιτέρω τον σχεδιασμό συνεργατικών επιμορφωτικών δράσεων εκπαιδευτικών.

### **1.3) Θεωρητικό Πλαίσιο Υλοποίησης της Έρευνας**

Η παρούσα έρευνα θεμελιώνεται μεθοδολογικά με βάση το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης για την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών (ΜΔΑΕΕ) (Model of Educational Reconstruction for Teacher Education) (Van Dink & Kattmann, 2007), όπως προσαρμόστηκε για τις ανάγκες της παρούσας έρευνας και απεικονίζεται στο Σχήμα 1.1. Το ΜΔΑΕΕ είναι ένα μοντέλο το οποίο βασίζεται στην παραδοχή ότι το περιεχόμενο για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών πρέπει να μετασχηματιστεί και να επικαιροποιηθεί ως προς την καταλληλότητά του στο συγκεκριμένο πλαίσιο εκπαίδευσης, κατά παρόμοιο τρόπο που το επιστημονικό αντικείμενο πρέπει να μετασχηματιστεί για την εκπαίδευση των μαθητών στο Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης (ΜΔΑ) (Model of Educational Reconstruction) (Duit κ.ά., 2012).

Συγκεκριμένα, το ΜΔΑ, μιας προσαρμογής του οποίου για την παρούσα έρευνα φαίνεται αντίστοιχα στο Σχήμα 1.2, αποτελείται από τρία δυναμικώς αλληλεπιδρώντα πεδία, σύμφωνα με τους Duit κ.ά. (2012):

α) τη **διασάφηση και τον μετασχηματισμό του επιστημονικού περιεχομένου** σε περιεχόμενο για διδασκαλία. Στο πεδίο αυτό δύο διαδικασίες λαμβάνουν χώρα: αφενός η στοιχειοποίηση (elementarisation) του επιστημονικού περιεχομένου, δηλαδή η ανάλυση του περιεχομένου στις θεμελιώδεις ιδέες για διδασκαλία, και αφετέρου η δόμηση του περιεχομένου για διδασκαλία. Και στις δύο αυτές διαδικασίες λαμβάνονται υπόψιν οι αντιλήψεις, τα ενδιαφέροντα και οι στάσεις των μαθητών σχετικά με το περιεχόμενο αλλά και αντιλήψεις προς τους ίδιους τους μαθητές, πχ

η αυτοεκτίμηση που έχουν για τη μάθηση ΦΕ. Σύγχρονες θεωρήσεις του μοντέλου συμπεριλαμβάνουν αντιλήψεις για επιστημονικές διαδικασίες διερεύνησης, τη Φύση της Επιστήμης, καθώς και τη σύνδεση με την καθημερινότητα των μαθητών.

Κατ' επέκταση, στο πλαίσιο της Εκπαίδευσης STEM, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι γνώσεις και δεξιότητες από τα τέσσερα πεδία υπόκεινται έναν αντίστοιχο μετασχηματισμό προκειμένου να δομηθεί το περιεχόμενο για STEM διδασκαλία. Παράλληλα, θεωρητικές αρχές διεπιστημονικότητας και ρητής διασύνδεσης μεταξύ των πεδίων πρέπει να ληφθούν υπόψιν στον μετασχηματισμό του STEM περιεχομένου, καθώς επίσης και αντιλήψεις για τη φύση των επιμέρους πεδίων και τη φύση του STEM (π.χ. Φύση της Τεχνολογίας, Μηχανικής και Μαθηματικών). Στη διαδικασία αυτή μετασχηματισμού STEM περιεχομένου όμως δεν πρέπει να αγνοούνται οι ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά των επιμέρους πεδίων, κάτι το οποίο χρήζει περαιτέρω έρευνας προς αυτή την κατεύθυνση.

**β) Εμπειρικές έρευνες για τη διδασκαλία και μάθηση.** Στο πεδίο αυτό περιλαμβάνονται έρευνες για τους μαθητές, δηλαδή οι ιδέες και αντιλήψεις τους καθώς και συναισθηματικοί παράγοντες όπως τα ενδιαφέροντα, οι στάσεις και η αυτοεκτίμησή τους. Παράλληλα, λαμβάνονται υπόψιν έρευνες για διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης, όπως π.χ. διδακτικές μέθοδοι, εργαλεία, καθώς και οι αντιλήψεις και οι πεποιθήσεις των εκπαιδευτικών για το επιστημονικό περιεχόμενο, για τους μαθητές αλλά και για τον ρόλο που έχουν ως εκπαιδευτικοί στην υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας. Επιπλέον, στην περίπτωση της Εκπαίδευσης STEM, οι διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης περιλαμβάνουν και εμπειρικές έρευνες για τη Διεπιστημονικότητα μεταξύ των πεδίων.

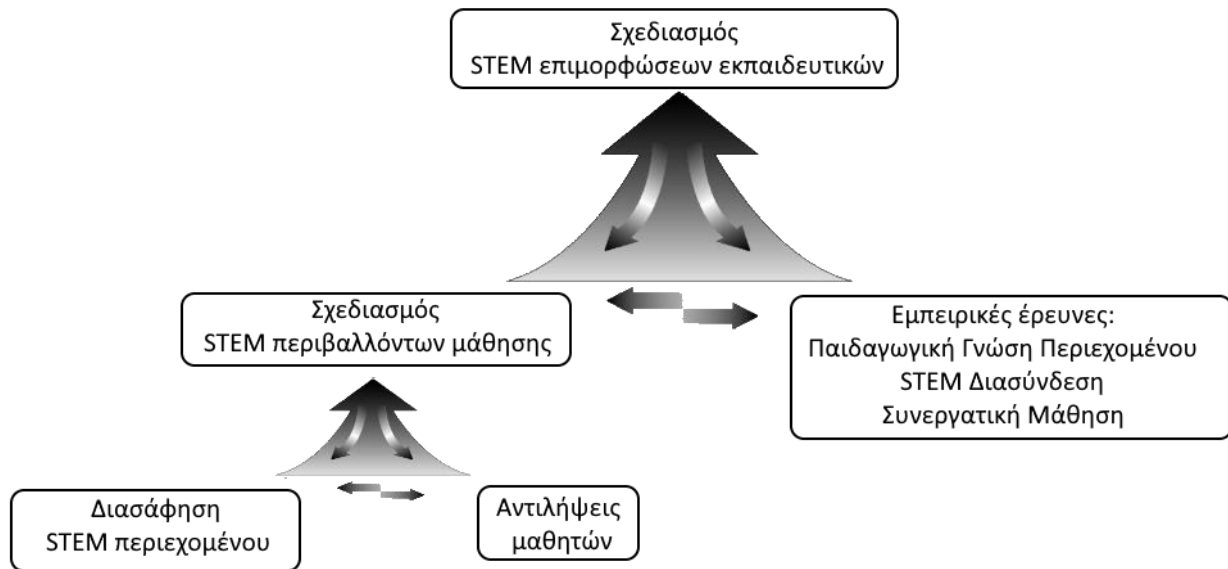
**γ) Ο σχεδιασμός και αξιολόγηση των περιβαλλόντων μάθησης,** η οποία τροφοδοτεί και τροφοδοτείται από τα άλλα δύο πεδία (α, β). Συγκεκριμένα στην περίπτωσή μας, τα περιβάλλοντα μάθησης αφορούν STEM διδασκαλίες που σχεδιάζουν και εφαρμόζουν οι εκπαιδευτικοί.

Σύμφωνα με τους Van Dijk και Kattmann (2007), το ΜΔΑ έχει τρία κεντρικά χαρακτηριστικά: πρώτον, η δυναμική αλληλεπίδραση των τριών στοιχείων του. Συγκεκριμένα, ο σχεδιασμός περιβαλλόντων μάθησης αλληλεπιδρά διαρκώς με τα άλλα δύο στοιχεία, τουτέστιν ενημερώνει και ενημερώνεται από αυτά. Δεύτερον, το ΜΔΑ δίνει εξίσου σημασία στην προσβασιμότητα του περιεχομένου από τους μαθητές, όσο και στην εξέταση και αναδιοργάνωση του επιστημονικού περιεχομένου προς διδασκαλία. Συνεπώς, προσπαθεί να φέρει σε ισορροπία και την 'εφαρμοσμένη' έρευνα η οποία δίνει βάρος στην εμπειρική εφαρμογή στην τάξη και τη 'βασική'

έρευνα η οποία μελετάει κυρίως το περιεχόμενο για διδασκαλία. Τρίτον, συνδέει αφενός την έρευνα και την ανάπτυξη, καθότι σχετίζεται με τον σχεδιασμό και αξιολόγηση περιβαλλόντων μάθησης ή μαθησιακών ακολουθιών (Méheut & Psillos, 2004), και αφετέρου, αποτελεί παράλληλα και έναν οδηγό για τον σχεδιασμό διδασκαλιών ΦΕ (Duit κ.ά., 2012).

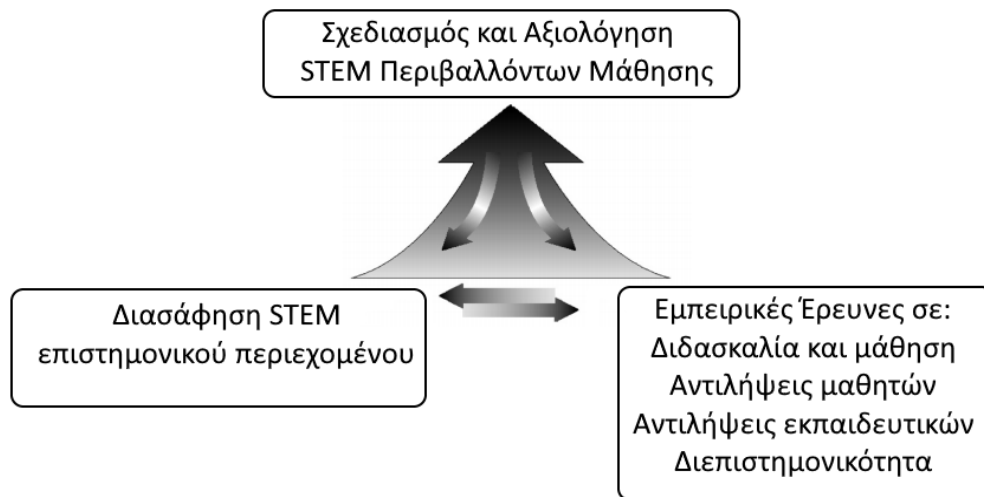
### Σχήμα 1.1

*Το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης για την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών (ΜΔΑΕΕ) (Van Dijk & Kattmann, 2007), Προσαρμοσμένο στις Ανάγκες της Παρούσας Έρευνας*



### Σχήμα 1.2

*Το Μοντέλο Διδακτικής Αναδόμησης (Duit κ.ά., 2012), Προσαρμοσμένο στις Ανάγκες της Παρούσας Έρευνας*



Αντίστοιχα, το ΜΔΑΕΕ ακολουθώντας μια παρόμοια δομή με το ΜΔΑ μελετάει τη διαδικασία Σχεδιασμού STEM περιβαλλόντων μάθησης από τους εκπαιδευτικούς σε ένα δεύτερο επίπεδο, η οποία όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1 αλληλεπιδρά δυναμικά με τα εξής πεδία:

δ) **Εμπειρικές έρευνες σε εκπαιδευτικούς**, που μελετούν αντίστοιχα τις γνώσεις και πεποιθήσεις που έχουν οι εκπαιδευτικοί, καθώς και έρευνες για τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζουν διδασκαλίες. Συνεπώς, στο πεδίο αυτό περιλαμβάνονται έρευνες για την Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (ΠΓΠ) των εκπαιδευτικών, δηλαδή τη γνώση του εκπαιδευτικού για διδασκαλία περιεχομένου με κατάλληλες παιδαγωγικές μεθόδους και στο κατάλληλο πλαίσιο (βλ. Κεφ. 2.2.1). Συγκεκριμένα, ενώ η ΠΓΠ αποτελεί την εξατομικευμένη γνώση που έχει αναπτύξει κάθε εκπαιδευτικός, το πεδίο αυτό συμπεριλαμβάνει μελέτες για τις διαφορετικές εκφάνσεις των ΠΓΠ των εκπαιδευτικών σε συνάρτηση με τις γνώσεις, πεποιθήσεις και εμπειρίες που έχουν. Τα αποτελέσματα αυτά των ερευνών περιγράφονται, συντίθενται, ερμηνεύονται και συνεισφέρουν στην περαιτέρω εκπαίδευση εκπαιδευτικών και κατόπιν ενημερώνουν μελλοντικές επιμορφώσεις σε μια αναδρομική διαδικασία (Van Dijk & Kattmann, 2007).

Επιπροσθέτως, στην περίπτωση των STEM επιμορφώσεων, εμπειρικές έρευνες για το πώς οι εκπαιδευτικοί δημιουργούν, εφαρμόζουν και προσαρμόζουν διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων λαμβάνονται υπόψη. Οι έρευνες αυτές μελετώνται αντίστοιχα ως προς το επιστημονικό υπόβαθρο, τις πεποιθήσεις και τις εμπειρίες των εκπαιδευτικών και συνεισφέρουν αναδρομικά σε ενημερωμένες επιμορφώσεις εκπαιδευτικών.

Επίσης, στα πλαίσια του STEM, το παρόν μοντέλο θεωρεί ότι η συνεργασία παίζει κεντρικό ρόλο στο STEM, καθότι ο εκπαιδευτικός καλείται να συνδυάσει γνώσεις και δεξιότητες από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, πολλά εκ των οποίων δεν αναμένεται να έχει επαρκές υπόβαθρο και εμπειρία. Συνεπώς, λαμβάνονται υπόψιν έρευνες για το πώς οι εκπαιδευτικοί συνεργάζονται με συναδέλφους, ερευνητές και ειδικούς για τον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM διδασκαλιών. Οι έρευνες αυτές τροφοδοτούν περαιτέρω τις STEM επιμορφώσεις εκπαιδευτικών.

ε) Τον **Σχεδιασμό STEM επιμορφώσεων εκπαιδευτικών**, ο οποίος προκύπτει από την αλληλεπίδραση με τα άλλα δύο πεδία, τις εμπειρικές έρευνες σε εκπαιδευτικούς και τον σχεδιασμό STEM περιβαλλόντων μάθησης από τους εκπαιδευτικούς. Αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι η δημιουργία και η ενημέρωση κατευθυντήριων γραμμών για την εκπαίδευση εκπαιδευτικών στη STEM προσέγγιση.

#### **1.4) Δομή της Διατριβής**

Η δομή της παρούσας διατριβής στα επόμενα κεφάλαια έχει ως εξής: Στο *Κεφάλαιο 2* παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση της έρευνας. Συγκεκριμένα, στο *Κεφάλαιο 2.1* παρουσιάζονται θεωρητικές αρχές Εκπαίδευσης STEM καθώς και διατυπώνεται το θεωρητικό πλαίσιο STEM που ακολούθησε η έρευνα. Στο *Κεφάλαιο 2.2* γίνεται επισκόπηση της βιβλιογραφίας για την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών, ενώ στα *Κεφάλαια 2.3-2.5* παρουσιάζεται βιβλιογραφική επισκόπηση συναφή με τα δύο ερευνητικά ερωτήματα, δηλαδή: α) για τον STEM σχεδιασμό διδακτικού υλικού, β) για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών, και γ) για τη Συνεργατική Μάθηση.

Στο *Κεφάλαιο 3* περιγράφεται το δείγμα και πλαίσιο υλοποίησης της εμπειρικής έρευνας, καθώς και η συλλογή και ανάλυση δεδομένων. Στα Αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο *Κεφάλαιο 4* ακολουθείται η ίδια δομή κατ' αντιστοιχία με τη βιβλιογραφική επισκόπηση και την ανάλυση δεδομένων. Δηλαδή παρουσιάζονται με τη σειρά που έχουν διατυπωθεί αντίστοιχα τα δύο ερευνητικά ερωτήματα.

Στο *Κεφάλαιο 5* παρουσιάζεται η συζήτηση των αποτελεσμάτων, η εξαγωγή συμπερασμάτων και οι περιορισμοί. Στο *Κεφάλαιο 6* περιγράφεται η συνεισφορά της έρευνας, ενώ στο *Κεφάλαιο 7* διατυπώνονται κατευθυντήριες γραμμές που απορρέουν από την παρούσα έρευνα.



Ακολουθούν οι σημειώσεις, οι βιβλιογραφικές αναφορές, τα παραρτήματα, οι σχετικές δημοσιεύσεις και οι ευχαριστίες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2) ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

#### 2.1) Θεωρητικό πλαίσιο STEM

##### 2.1.1) S-T-E-M ορισμοί & παραδοχές

Στα πλαίσια του STEM, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται διασυνδέσεις μεταξύ επιστημονικών πεδίων, και μάλιστα με ρητό τρόπο (English, 2016; Roehrig, 2021). Αυτό όμως προϋποθέτει ότι οι μαθητές έχουν πρωτίστως καλλιεργήσει σαφείς αντιλήψεις για τη φύση των πεδίων, τα μοτίβα, τις έννοιες, μεθόδους και ερωτήσεις που σχετίζονται με αυτό. Κατ' επέκταση, και ο εκπαιδευτικός πρέπει να είναι ενήμερος για τις διαφορές μεταξύ των πεδίων, ειδάλλως ελλοχεύουν δύο κίνδυνοι: αφενός να μην αντιληφθούν οι μαθητές τη μοναδικότητα κάθε πεδίου (στο περιεχόμενο, μέθοδοι, ιστορία, φιλοσοφία, κτλ.) στην περίπτωση που δεν διαχωριστούν οι διαφορές τους, και αφετέρου να υπάρχει σύγχυση μεταξύ των πεδίων στην περίπτωση που δεν οριστούν επαρκώς (McComas & Burgin, 2020). Εμπειρικές έρευνες στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών επιβεβαιώνουν την ανάγκη αυτή για περαιτέρω διευκρινήσεις στα επιμέρους πεδία (Bartels κ.ά., 2019). Συνεπώς, στο παρόν κεφάλαιο παρατίθενται: α) ορισμοί του επιστημονικού πεδίου και β) οι ορισμοί των S-T-E-M πεδίων που χρησιμοποιήθηκαν στην υλοποίηση και ανάλυση της παρούσας έρευνας, γ) οι παραδοχές που χρησιμοποιήθηκαν για τα επιστημονικά πεδία σε επίπεδο σχολικής εκπαίδευσης στην Ελλάδα. Τέλος, ακολουθούν ορισμοί για την επιμέρους κατηγοριοποίηση *γνώσεων και δεξιοτήτων* σε ένα πεδίο.

##### *Ο ορισμός ενός επιστημονικού αντικειμένου/πεδίου (discipline)*

Το επιστημονικό αντικείμενο/πεδίο (σ.σ. discipline στα Αγγλικά προερχόμενο από το Λατινικό 'discerne' που σημαίνει 'να μάθω') είναι ένα σώμα γνώσεων το οποίο έχει ιστορικά οργανωθεί έτσι ώστε να διδαχθεί και να μαθευτεί. Συγκεκριμένα, ο ορισμός που χρησιμοποιείται για το επιστημονικό πεδίο είναι "μια διδακτική οργάνωση της γνώσης που υποστηρίζει επιστημικές πρακτικές όπως η μοντελοποίηση, η εξήγηση, η επιχειρηματολογία, κτλ. η οποία παίρνει διαφορετικές μορφές σε κάθε πεδίο" (Barelli κ.ά., 2022). Αντίστοιχα, ο Phenix (1964) ορίζει το

επιστημονικό αντικείμενο ως ‘τρόποι γνώσης’ (ways of knowing) και κατηγοριοποίησε τα πεδία σε διάφορους τρόπους γνώσης (π.χ. εμπειρικός, συμβολικός, αισθητικός, κτλ.).

Ακόμα, ο Krishnan (2009) παραθέτει 6 θεμελιώδη χαρακτηριστικά που ταυτοποιούν ένα επιστημονικό πεδίο:

1. Εστιάζει σε ένα αντικείμενο έρευνας (π.χ. Βιολογία), παρόλο που αυτό μπορεί να μοιράζεται και με άλλο πεδίο/α
2. Έχει ένα σώμα συσσωρευμένης γνώσης σχετικής με το αντικείμενο έρευνας, εξειδικευμένη για αυτό και όχι διαμοιραζόμενη με άλλα πεδία
3. Έχει θεωρίες και έννοιες που οργανώνουν τη συσσωρευμένη αυτή εξειδικευμένη γνώση αποτελεσματικά
4. Χρησιμοποιεί ειδική ορολογία ή ειδική τεχνική γλώσσα προσαρμοσμένη στο αντικείμενο έρευνας
5. Έχει αναπτύξει εξειδικευμένους μεθόδους έρευνας με βάση τις εξειδικευμένες ερευνητικές απαιτήσεις του αντικειμένου έρευνας
6. Πρέπει να έχει μια ιδρυματική παρουσία σε μαθήματα που διδάσκονται στα πανεπιστήμια και σε επαγγελματικές οργανώσεις.

Η θεσμοθέτηση ενός επιστημονικού πεδίου είναι βέβαια μια δυναμική και συνεχώς εξελισσόμενη διαδικασία (McComas & Burgin, 2020).

Παρ’ όλ’ αυτά, στο πλαίσιο του STEM οι McComas & Burgin (2020) αντιτίθενται στη χρήση του όρου επιστημονικό ‘αντικείμενα’ (disciplines) εξαιτίας του ότι η Τεχνολογία δεν μπορεί αυστηρά να οριστεί ως επιστημονικό αντικείμενο (βλ. Κεφ. 2.1.1). Απεναντίας προτείνουν τη χρήση του όρου επιστημονικό ‘πεδίο’ (domain). Υπό το πρίσμα των παραπάνω, η παρούσα διατριβή χρησιμοποιεί τον όρο ‘επιστημονικό πεδίο’ (ή συχνά συνοπτικά και ως ‘πεδίο’), αναφερόμενη σε επιστημονικά πεδία ή αντικείμενα με την ευρεία έννοια.

### *Τα S-T-E-M πεδία*

Παρακάτω παρουσιάζονται επιμέρους θεωρητικά στοιχεία και παραδοχές για τα πεδία των Φυσικών Επιστημών (Science), Τεχνολογίας (Technology), Μηχανικής (Engineering), και Μαθηματικών (Mathematics).

### *Φυσικές Επιστήμες*

Η παρούσα διατριβή χρησιμοποίησε τον ορισμό των ΦΕ κατά NRC (2014):

“Οι ΦΕ ασχολούνται με την μελέτη του φυσικού κόσμου και των νόμων της φύσης που σχετίζονται με τα αντικείμενα της Φυσικής, της Χημείας, της Βιολογίας, καθώς και τη διαχείριση και εφαρμογή των δεδομένων, αρχών, εννοιών και συμβάσεων που σχετίζονται με τα αντικείμενα αυτά. Οι ΦΕ είναι ταυτόχρονα και ένα σώμα γνώσης, που έχει συσσωρευτεί με το χρόνο, αλλά και μια διαδικασία – αυτή της επιστημονικής διερεύνησης (inquiry)- η οποία παράγει νέα γνώση. Η γνώση αυτή με τη σειρά της τροφοδοτεί τη μηχανική διαδικασία σχεδιασμού”.

Αναλυτικότερα, εκτός από το παραδοσιακά διδασκόμενο περιεχόμενο Φυσικής, των πεδίο των ΦΕ εμπεριέχει αντικείμενα από τις Επιστήμες της Ζωής, καθώς και Επιστήμες της Γης και του Διαστήματος (NRC, 2012). Παρ’ όλ’ αυτά, φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία ενσωμάτωσης των αντικειμένων αυτών σε μια διδασκαλία STEM και συγκεκριμένα στη διαδικασία μηχανικού σχεδιασμού, σε σχέση με το παραδοσιακό περιεχόμενο της Φυσικής (Ring-Whalen κ.ά., 2018).

Εκτός από τις βασικές γνώσεις που χαρακτηρίζουν το πεδίο αυτό των ΦΕ, περιλαμβάνονται επίσης και έννοιες με διεπιστημονική φύση όπως αρχές διατήρησης, κλίμακες, δομή και λειτουργία, σχέσεις αιτίου-αποτελέσματος, κτλ. Ακόμα περιλαμβάνονται διεπιστημονικές δεξιότητες όπως η διατύπωση ερωτήματος, η μοντελοποίηση, η ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, η επιχειρηματολογία, κτλ. (NRC, 2012). Συνεπώς, το πεδίο των ΦΕ είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις άλλες επιστήμες.

### *Μαθηματικά*

Το πεδίο των Μαθηματικών μελετάει “τις δομές και τις σχέσεις μεταξύ ποσοτήτων, μεγεθών και του χώρου. Οι ισχυρισμοί στα Μαθηματικά στηρίζονται σε λογική επιχειρηματολογία που βασίζεται σε στοιχειώδη αξιώματα, σε αντίθεση με τις ΦΕ που στηρίζονται σε εμπειρικά δεδομένα από τη φύση. Η γνώση στα Μαθηματικά, όπως και στις ΦΕ, συνεχίζει να αυξάνεται, δεν μπορεί όμως να ανατραπεί, όπως γίνεται στις ΦΕ, εκτός αν μετασχηματιστούν τα στοιχειώδη αξιώματα. Στα πλαίσια σχολικής εκπαίδευσης, τα Μαθηματικά είθισται να περιλαμβάνουν την Αριθμητική, Άλγεβρα, Συναρτήσεις, Γεωμετρία, Στατιστική και Πιθανότητες” (NRC, 2014).

Στο πλαίσιο του STEM τα Μαθηματικά τείνουν να περιθωριοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς (English, 2016; Ring-Whalen κ.ά., 2018), ή να χρησιμοποιούνται μόνο ως εργαλείο για μέτρηση και ανάλυση δεδομένων (Ring-Whalen κ.ά., 2018), κάτι που συνιστά μια περιορισμένη αντίληψη της χρησιμότητας των Μαθηματικών και έχει επικριθεί (Tzanakis, 2016). Ακόμα, έρευνες δείχνουν ότι είναι δύσκολο να επιτευχθεί πρόοδος στις επιδόσεις στα Μαθηματικά μέσα από μια διδασκαλία STEM, συνεπώς, χρειάζεται περαιτέρω υποστήριξη σε αυτό (NRC, 2014).

### *Μηχανική*

Η Μηχανική ως όρος αντιπροσωπεύει αυτό που η διεθνή βιβλιογραφία ορίζει ως Engineering. Ο όρος Μηχανική χρησιμοποιείται συμβατικά στην παρούσα διατριβή, καθότι έχει επικριθεί για τη σύγχυση που προκαλεί η χρήση του σε σχέση με το αντίστοιχο κεφάλαιο Φυσικής. Προτάσεις για αντικατάσταση του όρου περιλαμβάνουν τους όρους Μηχανευτική, Επιστήμη του Μηχανικού, Τεχνοεπιστήμη, Μηχανοτεχνία (Σιδηρόπουλος, 2015).

Το πεδίο της Μηχανικής είναι “ένα σώμα γνώσης που αφορά το σχεδιασμό και τη δημιουργία προϊόντων του ανθρώπινου πολιτισμού, αλλά παράλληλα και μια διαδικασία επίλυσης προβλημάτων. Αυτή η διαδικασία ουσιαστικά είναι ο σχεδιασμός (design) ο οποίος λαμβάνει χώρα υπό τους κάτωθι περιορισμούς: αφενός περιορισμούς από τη φύση και τους νόμους που τη διέπουν και αφετέρου περιορισμούς λόγω υλικοτεχνικών υποδομών, εργονομίας, χρόνου, οικονομικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων” (NRC, 2014).

Παράλληλα, προκειμένου να αποσαφηνιστεί περαιτέρω το νέο αυτό αντικείμενο για τους εκπαιδευτικούς φυσικών επιστημών (Aranda κ.ά., 2020), η έρευνα χρησιμοποίησε το πλαίσιο για την Εκπαίδευση της Μηχανικής στη σχολική εκπαίδευση (Moore κ.ά., 2014, 2017), το οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.1.

### **Πίνακας 2.1**

*Συνοπτικό Πλαίσιο με Ποιοτικούς Δείκτες Σχολικής Εκπαίδευσης στη Μηχανική (Moore κ.ά., 2014, 2017)*

Δείκτης	Περιγραφή
---------	-----------

Διαδικασία Σχεδιασμού		Οι διαδικασίες σχεδιασμού αποτελούν το επίκεντρο της μηχανικής πρακτικής. Η επίλυση προβλημάτων Μηχανικής είναι μια αναδρομική διαδικασία προετοιμασίας, σχεδιασμού και αξιολόγησης των λύσεων.
Υποκατηγορίες	Πρόβλημα & Υπόβαθρο	Αναγνώριση της διατύπωσης του προβλήματος και των ερευνητικών και μαθησιακών δραστηριοτήτων για να αποκτηθεί η απαιτούμενη γνώση.
	Σχεδιασμός & Εφαρμογή	Καταιγισμός ιδεών, ανάπτυξη πολλαπλών λύσεων, αξιολόγηση των περιορισμών, κατασκευή πρωτότυπου/μοντέλου.
	Έλεγχος & Αξιολόγηση	Δημιουργία ελέγξιμων υποθέσεων και σχεδιασμός πειραμάτων για λήψη δεδομένων προκειμένου να ελεγχθεί το πρωτότυπο/λύση και χρησιμοποίηση της ανατροφοδότησης για επανασχεδιασμό.
Εφαρμογή γνώσεων ΦΕ, Μαθηματικών, Τεχνολογίας		Οι εφαρμογές Μηχανικής απαιτούν γνώσεις από τα άλλα τρία αντικείμενα STEM και θα πρέπει να δίνεται έμφαση στη διεπιστημονική φύση της Μηχανικής.
Μηχανικός τρόπος σκέψης		Οι μαθητές θα πρέπει να έχουν ανεξάρτητη και αναστοχαστική σκέψη ικανή για αναζήτηση νέας γνώσης αλλά και να μαθαίνουν από αποτυχίες όταν συναντούν προβλήματα.
Αντίληψη Μηχανικής και της ιδιότητας του Μηχανικού		Οι μαθητές, δεν πρέπει μόνο να συμμετέχουν σε μια μηχανική διαδικασία, αλλά και να αποκτούν αντίληψη των ενεργειών ενός μηχανικού.
Εργαλεία, Τεχνικές και Διαδικασίες Μηχανικής		Οι μαθητές πρέπει να αποκτούν εξοικείωση και εξειδίκευση στα εργαλεία, τις τεχνικές και τις διαδικασίες της Μηχανικής.
Θέματα, Λύσεις και Επιπτώσεις		Οι μαθητές, προκειμένου να επιλύουν σύνθετα προβλήματα, οφείλουν να συνειδητοποιούν τις επιπτώσεις των λύσεών τους πάνω σε τρέχοντα ζητήματα και αντίστροφα.
Ηθική		Οι μαθητές οφείλουν να συνειδητοποιούν ηθικά ζητήματα που είναι έμφυτα με την μηχανική πρακτική.
Ομαδικότητα		Είναι σημαντικό οι μαθητές να αναπτύξουν δεξιότητες συνεργασίας μέσα σε ομάδα.
Επικοινωνία γνώσεων Μηχανικής		Η επικοινωνία είναι η δυνατότητα του μαθητή να γίνεται αποδέκτης της πληροφορίας αποτελεσματικά και να αναμεταδίδει τη γνώση σε άλλους σε ένα πλαίσιο Μηχανικής.

Η καλλιέργεια πρακτικών Μηχανικής θεωρείται σημαντικό στη σύγχρονη εκπαίδευση των μαθητών, παρομοίως όπως και των δεξιοτήτων διερεύνησης (NGSS, 2014). Παρ' όλ' αυτά, δεν θα πρέπει να αναμένεται ότι οι μαθητές θα αναπτύξουν αντίληψη για το τι είναι η Φύση της Μηχανικής, κατά παρόμοιο τρόπο με τον οποίο οι μαθητές δεν αναμένεται να καταλάβουν για τη Φύση της Επιστήμης με το απλά να κάνουν διερευνητικές δραστηριότητες. Αντιθέτως, χρειάζεται ρητή διδασκαλία για το τι είναι Μηχανική στους μαθητές (Pleasant & Olson, 2019).

Παρ' όλ' αυτά, φαίνεται να υπάρχει μεγάλη επικάλυψη με το πεδίο της Τεχνολογίας (βλ. αντίστοιχη παράγραφο στο παρόν Κεφάλαιο) (McComas & Burgin, 2020). Μια κρίσιμη διαφορά

που ταυτοποιεί το πεδίο της Μηχανικής σε σχέση με την Τεχνολογία είναι ο σχεδιασμός (design), ο οποίος θεωρείται περισσότερο χαρακτηριστικό στοιχείο των Μηχανικών (Murphy κ.ά., 2015; Quinn κ.ά., 2020). Επίσης μια βασική διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι η Μηχανική εστιάζει περισσότερο στην εφαρμογή επιστημονικής γνώσης για τον σχεδιασμό και ανάπτυξη τεχνουργήματος ενώ η Τεχνολογία εστιάζει στην πρακτική κατασκευή της. Σύγχρονες τεχνολογικές πρακτικές όμως τείνουν να εξαλείψουν τη διαφορά αυτή παρά ταύτα (Ortiz-Revilla κ.ά., 2020).

### *Τεχνολογία*

Η Τεχνολογία θεωρείται ως το πιο ασαφές ορισμένο πεδίο, ενώ για πολλούς ερευνητές δεν αποτελεί επιστημονικό αντικείμενο με τη στενή σημασία του όρου, αλλά κάτι γενικότερο (McComas & Burgin, 2020). Η Τεχνολογία ως πεδίο θεωρείται ότι έχει μακρύτερη ιστορία απ' ό,τι η Επιστήμη (Science), αφού τα πρώτα τεχνουργήματα του ανθρώπου δεν βασίζονταν σε μεθοδευμένη επιστημονική γνώση (LaPorte & Sanders, 1993).

Συνεπώς ο ευρύς ορισμός που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της έρευνας είναι: “το σύνολο των ανθρώπων, οργανισμών, γνώσεων, διαδικασιών και συσκευών τα οποία συντελούν στη δημιουργία και χρήση τεχνολογικών τεχνουργημάτων (artefacts), καθώς επίσης και τα τεχνουργήματα αυτά καθαυτά” (NRC, 2014).

Η Τεχνολογία ερμηνεύεται και υλοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους στις STEM προσεγγίσεις (Ellis κ.ά. 2020; NRC, 2014). Οι τέσσερις κυρίαρχοι τρόποι που πραγματώνεται η Τεχνολογία στο STEM σύμφωνα με τους Ellis κ.ά. (2020) είναι: α) η Τεχνολογία ως το προϊόν της Μηχανικής, περισσότερο υπό της οπτική της Επαγγελματικής Εκπαίδευσης και της Βιομηχανίας, όπου τα εργαλεία σχεδιάζονται για να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένους στόχους και για να υποστηρίξουν έρευνες. β) Η Τεχνολογία ως Εκπαιδευτική Τεχνολογία, δηλαδή ως εργαλεία Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας (ΤΠΕ), π.χ. πολυμέσα, εργαλεία που κάνουν χρήση διαδικτύου, εργαλεία επικοινωνίας, ‘έξυπνες’ φορητές συσκευές, κτλ. τα οποία χρησιμοποιούνται για διδασκαλία. γ) Η Τεχνολογία ως προγραμματισμός και υπολογιστική σκέψη. Η Wing (2010) όρισε την υπολογιστική σκέψη ως “τις νοητικές διαδικασίες που εμπλέκονται στη διατύπωση προβλημάτων και στις λύσεις τους ώστε οι λύσεις τους να αναπαριστούνται σε μορφή που να μπορεί να επιτελεστεί αποδοτικά από έναν χρήστη

Πληροφορικής (information-processing agent)”. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν στοιχεία που λαμβάνουν αυξανόμενης επικέντρωσης στις STEM προσεγγίσεις και έχουν κοινά στοιχεία με άλλα S-T-E-M πεδία. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 2013 η Association for Computing Machinery προέβλεψε ότι 1 στα 2 επαγγέλματα θα έχουν να κάνουν με την Πληροφορική (computing) (Kaczmarczyk & Dopplick, 2013). δ) Η Τεχνολογία ως εργαλεία και πρακτικές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε αυθεντικές πρακτικές επαγγελματιών, όπως αισθητήρες, μικροσκοπία, λογισμικό μοντελοποίησης, 3D εκτυπωτές, κτλ.

Η Τεχνολογία γενικότερα εμπεριέχει όχι μόνο τα εργαλεία/όργανα/τεχνουργήματα (artefacts), παρά το γεγονός ότι συχνά παρερμηνείες εστιάζουν μόνο σε αυτά (DiGironimo, 2011; Pleasants κ.ά., 2019). Επιπλέον η Φύση της Τεχνολογίας περιλαμβάνει και διαδικασίες (processes), συστήματα, κουλτούρες και αξίες που σχετίζονται με αυτή, καθώς και ιστορικά στοιχεία εξέλιξης της Τεχνολογίας (DiGironimo, 2011; Pleasants & Olson, 2019; Waight & Abd-El-Khalick, 2012). Παρ’ όλ’ αυτά, ορισμένοι ερευνητές θεωρούν ότι η οπτική της Τεχνολογίας ως εργαλεία είναι το στοιχείο που βοηθάει να διαχωριστεί το πεδίο από τα πεδία της Μηχανικής και των ΦΕ (Quinn κ.ά., 2020). Υπάρχει ανάγκη, όμως, όλοι οι εκπαιδευτικοί να καλλιεργήσουν μια πλήρη κατανόηση όλων των ερμηνειών της Τεχνολογίας ασχέτως του τρόπου που τη χρησιμοποιούν (Ellis κ.ά., 2020).

Η παρούσα έρευνα, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποίησε έναν ευρύ ορισμό για την Τεχνολογία, ενσωματώνοντας οπτικές της Τεχνολογίας ως ψηφιακή και μη. Εντούτοις, η έρευνα εστίασε περισσότερο στις ερμηνείες (β), (γ), (δ) των Ellis κ.ά. (2020), επομένως θεωρήθηκε η Πληροφορική ως ‘κεντροβαρικό’ αντικείμενο στο πεδίο αυτό. Αντιθέτως, η (α) ερμηνεία περιθωριοποιήθηκε διότι συχνά οδηγεί σε ασάφεια για το πεδίο της Τεχνολογίας και μια ταύτιση της Τεχνολογίας με το πεδίο της Μηχανικής (Ellis κ.ά., 2020).

### *Τα S-T-E-M πεδία στο Ελληνικό Σχολείο*

Υπό το πρίσμα των παραπάνω ορισμών, η παρούσα έρευνα έκανε μια ανάλυση των μαθημάτων που υπάρχουν στο Αναλυτικό Πρόγραμμα της χρονιάς που διεξήχθη η έρευνα (2019-20), καθώς και των αντίστοιχων ειδικοτήτων των εκπαιδευτικών. Ο σκοπός ήταν να καθοριστούν οι προβολές των S-T-E-M πεδίων όπως ορίζονται στη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε σχέση με τα μαθήματα και τις ειδικότητες εκπαιδευτικών που αντιστοιχίζεται κάθε πεδίο.



Συνεπώς, ταξινομήθηκαν όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 2.2.

## Πίνακας 2.2

*Τα S-T-E-M Πεδία στο Ελληνικό Σχολείο*

Πεδίο	Ειδικότητα Εκπαιδευτικών	Μαθήματα Αναλυτικού Προγράμματος
Φυσικές Επιστήμες (Science)	ΠΕ 04.01 Φυσικών ΠΕ 04.02 Χημικών ΠΕ 04.03 Φυσιογνώστες ΠΕ 04.04 Βιολόγων ΠΕ 04.05 Γεωλόγων	Φυσική Χημεία Βιολογία Γεωλογία Αστροφυσική (επιλογής)
Τεχνολογία (Technology)	ΠΕ 86 Πληροφορικών	Πληροφορική
Μηχανική (Engineering)	ΠΕ 81 Αρχιτεκτόνων, Πολιτικών Μηχανικών, Τοπογράφων ΠΕ 82 Μηχανολόγων Ναυπηγών/Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης/ Μηχανικών Εμπορικού Ναυτικού/ Μηχανοσυνθέτες Αεροσκαφών/ Οχημάτων ΤΕΙ ΠΕ 83 Ηλεκτρολόγων ΠΕ 84 Ηλεκτρονικών ΠΕ 85 Χημικών Μηχανικών/Μεταλλειολόγων-Τεχν. Ορυχείων-Τεχν. Γεωτεχνολογίας/ Τεχν. Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου	Μαθήματα ειδικοτήτων Επαγγελματικών Λυκείων-αντίστοιχα Τεχνολογία (Γυμνάσιο)
Μαθηματικά (Mathematics)	ΠΕ 83 Μαθηματικών	Μαθηματικά (Άλγεβρα, Γεωμετρία, Κατεύθυνσης)

Να διευκρινίσουμε ότι το μάθημα της Τεχνολογίας στο Γυμνάσιο θεωρήθηκε ότι έχει μεγαλύτερη συνάφεια με το μάθημα της Μηχανικής για τους παρακάτω λόγους: α) οι ειδικότητες που καλούνται να διδάξουν το μάθημα της Τεχνολογίας είναι ειδικότητες που βάσει του επίσημου τίτλου σπουδών τους αυτοπροσδιορίζονται ως Μηχανικοί (ΠΕ81-85), β) το περιεχόμενο του μαθήματος της Τεχνολογίας κρίθηκε ότι δίνει μεγάλη βαρύτητα στο θεωρητικό/εννοιολογικό περιεχόμενο που σχετίζεται με τις εφαρμογές/κατασκευές, π.χ. έννοιες ενέργειας, ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας, καθώς και στάδια μηχανικού σχεδιασμού, και γ) σύμφωνα με τους ορισμούς της Τεχνολογίας που υιοθετήθηκαν περιθωριοποιήθηκε η (α) ερμηνεία της Τεχνολογίας για αποφυγή σύγχυσης με το πεδίο της Μηχανικής (βλ. προηγούμενη παράγραφο περί Τεχνολογίας). Επίσης, αθροιστικά οι μαθητές εκπαιδεύονται πολύ περισσότερα χρόνια και περισσότερες εβδομαδιαίες ώρες στο αναλυτικό πρόγραμμα στο πεδίο της Πληροφορικής σε σχέση με το μάθημα 'Τεχνολογία' στο Γυμνάσιο, συνεπώς θεωρήθηκε ότι το πεδίο αυτό είναι πιο αντιπροσωπευτικό στο πεδίο της Τεχνολογίας.

### *Γνώσεις και Δεξιότητες*

Όπως έγινε φανερό από τον ορισμό του επιστημονικού πεδίου στην αντίστοιχη παράγραφο, κάθε πεδίο εμπεριέχει ένα σύνολο γνώσεων και δεξιοτήτων, ενώ αρκετές από αυτές είναι διεπιστημονικής φύσεως. Για την κατηγοριοποίηση των στοιχείων κάθε επιστημονικού πεδίου χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ορισμοί ειδών/πεδίων μάθησης (types/domains of learning).

Σύμφωνα με την UNSESCO, ως γνώση (knowledge) ορίζεται 'η ικανότητα να ανακαλείς και να παρουσιάζεις πληροφορία που περιγράφεται χρησιμοποιώντας μαθησιακά αποτελέσματα. Αντίστοιχα, η δεξιότητα (skill) ορίζεται ως η ικανότητα να κάνεις κάτι σε ένα πλαίσιο που περιγράφεται χρησιμοποιώντας μαθησιακά αποτελέσματα. Η ικανότητα (competence) ορίζεται ως η εφαρμογή των γνώσεων και δεξιοτήτων σε ένα πλαίσιο που περιγράφεται χρησιμοποιώντας μαθησιακά αποτελέσματα (Keeney & Chakroun, 2015).

Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν ορισμοί από το Ευρωπαϊκό Πλαίσιο Επαγγελματικών Προσόντων (European Qualifications Framework), όπως περιγράφονται στους Hoffmann κ.ά. (2010):

- Γνώση είναι το αποτέλεσμα της αφομοίωσης των πληροφοριών μέσα μάθησης. Η Γνώση είναι το σώμα στοιχείων/γεγονότων, αρχών, θεωριών και πρακτικών που σχετίζονται με ένα πεδίο εργασίας ή μελέτης. Στο πλαίσιο αυτό η γνώση περιγράφεται ως θεωρητική ή πραγματολογική.
- Δεξιότητες είναι η ικανότητα να εφαρμόζονται οι γνώσεις και η χρήση της τεχνογνωσίας στην εκπλήρωση στόχων και στην επίλυση προβλήματος. Στο πλαίσιο αυτό οι δεξιότητες περιγράφονται ως γνωσιακή (περιλαμβάνοντας τη χρήση λογικής, διαισθητικής και

δημιουργικής σκέψης) ή πρακτική (περιλαμβάνοντας χειρωνακτική επιδεξιότητα και τη χρήση μεθόδων, υλικών, εργαλείων και οργάνων).

- Ικανότητα σημαίνει η αποδεδειγμένη ικανότητα να μπορεί κάποιος/α να χρησιμοποιεί γνώσεις, δεξιότητες, και προσωπικές, κοινωνικές και/ή μεθοδολογικές ικανότητες σε εργασιακές συνθήκες ή συνθήκες μελέτης και στην επαγγελματική ή προσωπική ανάπτυξη. Στο πλαίσιο αυτό οι ικανότητες περιγράφονται υπό την οπτική της υπευθυνότητας και της αυτονομίας.

Στην παρούσα έρευνα, χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση μόνο οι κατηγορίες των γνώσεων και των δεξιοτήτων, εφόσον δεν υπήρχαν δεδομένα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του διδακτικού υλικού στην τάξη ώστε να μπορεί να αναλυθούν στοιχεία ικανοτήτων σε δεδομένες συνθήκες/πλαίσιο.

### ***2.1.2) Θεωρητικές αρχές STEM***

Μεταβαίνοντας σε επίπεδο διασύνδεσης των πεδίων, παραθέτουμε αρχικά μια συνοπτική ιστορική αναδρομή της Εκπαίδευσης STEM. Επίσης διατυπώνονται ορισμοί της Εκπαίδευσης STEM και STEM διασύνδεσης προκειμένου να αποσαφηνιστεί το πρόβλημα ορισμού που προκύπτει από την πολλαπλότητα των ορισμών του STEM (Garibay, 2015). Παράλληλα, περιγράφονται τα βασικά επίπεδα διασύνδεσης μεταξύ των πεδίων (Klein, 2017; Vasquez κ.ά., 2013). Ακολουθούν οι ορισμοί των όρων διασυνοριακά αντικείμενα και διασυνοριακές μεταβάσεις (Akkerman & Bakker, 2011) και κατόπιν ορίζεται ο STEM σχεδιασμός. Στη συνέχεια, διατυπώνονται οι θεωρητικές παραδοχές που ακολουθήθηκαν στην παρούσα έρευνα.

#### *Συνοπτική Ιστορική Αναδρομή*

Η Εκπαίδευση STEM αντλεί ιστορικά τις βάσεις της σε προσπάθειες ενδυνάμωσης της Εκπαίδευσης στις ΦΕ και τα Μαθηματικά στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής την δεκαετία του 1980. Επίσημες εκθέσεις και εκπαιδευτικοί οδηγοί όπως το ‘A Nation at Risk’ έκαναν επιτακτική την ανάγκη για εκπαίδευση των μαθητών στις ΦΕ, τα Μαθηματικά και την Τεχνολογία (Breiner κ.ά., 2012). Πρωταρχικοί στόχοι εστιάζουν στην τροφοδότηση σε εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό, μία τάση γνωστή και ως ‘feed the pipeline’ (Bybee, 2013). Υπό αυτό το

πρίσμα η National Science Foundation (NSF) απεκάλεσε πρώτη φορά την κίνηση αυτή SMET, η οποία αναγραμματίστηκε σε STEM λόγω του ότι το αρχικό ακρώνυμο ηχούσε σαν ‘smut’ (μυφ. μουτζούρα) και δεν έκανε καλή εντύπωση (Sanders, 2009). Συνεπώς, ο J. Ramaley ως πρόεδρος της NSF εισήγαγε ακολούθως τον όρο STEM ο οποίος και κατοχυρώθηκε.

Παρ’ όλ’ αυτά, διεπιστημονικές προσεγγίσεις υπήρχαν στην εκπαίδευση από πολύ παλαιότερα από την εισήγηση του STEM (Sanders, 2009; Ortiz-Revilla κ.ά., 2020). Η Millar (2020) χρησιμοποιώντας τον όρο ‘συλλογική αμνησία’ επικρίνει το γεγονός ότι η έρευνα στην Εκπαίδευση των ΦΕ είθισται να προβάλλει κάτι ως ‘καινοτόμο’ αγνοώντας τις πρότερες πρωτοβουλίες που έχουν οδηγήσει στη δημιουργία αυτής που παρουσιάζεται ως καινοτομία. Συνεπώς, αξίζει να ιδωθεί το STEM υπό το πρίσμα των ‘προγόνων’ του. Αυτές είναι το ρεύμα Science-Technology-Society (STS) τις δεκαετίες ’70-’80, οι προσεγγίσεις που εστίαζαν στην καλλιέργεια δεξιοτήτων όπως η μάθηση μέσω project (Millar, 2020; Ortiz-Revilla κ.ά., 2020), αλλά και διεπιστημονικές προσεγγίσεις ΦΕ και Μαθηματικών (Tzanakis & Thomaidis, 2000) και ΦΕ και Τεχνολογίας (Waight & Abd-EL-Khalick, 2007).

Θεωρητικά, η Εκπαίδευση STEM βασίζεται στις αρχές του κονστρακτιβισμού και της Γνωσιακής Επιστήμης (Cognitive Science) (Sanders, 2009). Ειδικότερα, οι Bruning κ.ά. (2004) αναγνωρίζουν τέσσερα γνωσιακά χαρακτηριστικά που συνάδουν με τη Εκπαίδευση STEM:

- Η μάθηση είναι μια κονστρακτιβιστική και όχι μια επαναληπτική διαδικασία
- Η κινητοποίηση και οι πεποιθήσεις είναι εγγενείς (integral) στη γνώση (cognition)
- Η κοινωνική αλληλεπίδραση είναι θεμελιώδες στοιχείο στη γνωσιακή ανάπτυξη
- Η γνώση, οι στρατηγικές και η ειδίκευση εξαρτώνται από το πλαίσιο (context).

Εντούτοις, σύγχρονες τάσεις στην Εκπαίδευση STEM τείνουν να προσανατολίσουν τις STEM προσεγγίσεις προς μια πιο επιστημολογικά ενήμερη αντίληψη για το STEM (Erduran, 2020; Millar, 2020) και μια πιο ανθρωπιστική διάσταση, έχοντας ως στόχους την κινητοποίηση και τη συμπερίληψη υποεκπροσωπούμενων ομάδων στα πλαίσια μιας πιο ισότιμης εκπαίδευσης (Avraamidou, 2022; Garibay, 2015; Ortiz-Revilla κ.ά., 2020).

### *Εκπαίδευση STEM*

Η Εκπαίδευση STEM είναι μια ερευνητική τάση στην Εκπαίδευση η οποία παρόλο που απαντάται σε ποικίλα πλαίσια και πρωτοβουλίες, υπάρχει μια ασάφεια στο τι αντιπροσωπεύει (Bybee, 2013). Πολλοί ερευνητές θεωρούν ότι η απροσδιοριστία αυτή πηγάζει από το γεγονός ότι η STEM πρωτοβουλία ξεκίνησε από κοινωνικοοικονομικά και όχι από εκπαιδευτικά κριτήρια (Garibay, 2015; Williams κ.ά. 2011).

Συνεπώς, ορισμοί για το STEM περιλαμβάνουν: α) αναφορές στο σύνολο των S-T-E-M πεδίων ή μόνο σε κάποιο/α από αυτά (Bybee, 2013). Η προσέγγιση αυτή θα λέγαμε ότι είναι παρόμοια με τον τρόπο που στα ελληνικά χρησιμοποιούμε τον όρο ‘θετικές επιστήμες’, χωρίς αναγκαστικά να αναφερόμαστε σε διασύνδεση αυτών. β) Χρήση του STEM ως ένα ακρωνύμιο-slogan, το οποίο χρησιμοποιείται σε διαφημίσεις (π.χ. υλικά ρομποτικής), μαθήματα, συνέδρια, video, κτλ. (Bybee, 2013), χωρίς κατ’ ανάγκη να σχετίζεται ρητά το περιεχόμενο με θεωρητικές αρχές Εκπαίδευσης STEM. γ) Χρήση του STEM εννοώντας μια διδακτική προσέγγιση που εμπεριέχει διασύνδεση των επιστημονικών πεδίων.

Στην παρούσα έρευνα υιοθετείται η (γ) ερμηνεία, και συγκεκριμένα ορίζουμε STEM ως “μια διδακτική προσέγγιση που διασυνδέει/ενοποιεί (integrates) γνώσεις & δεξιότητες που αφορούν τις ΦΕ, την Τεχνολογία, τη Μηχανική & τα Μαθηματικά” (Martín-Páez κ.ά., 2019). Συνεπώς, η Εκπαίδευση STEM *εξ ορισμού* θεωρείται μια διασυνδεδεμένη προσέγγιση, ενώ οι υπόλοιπες ερμηνείες θεωρούμε ότι θα έπρεπε να διευκρινίζονται επιπροσθέτως ή διαφορετικά προκειμένου να αποφευχθεί η ασάφεια. Για παράδειγμα, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, χρησιμοποιείται ο συμβολισμός S-T-E-M όταν γίνεται αναφορά στα επιμέρους πεδία.

### *STEM Διασύνδεση*

Με τον όρο διασύνδεση (integration) ορίζεται “η εργασία σε σύνθετα φαινόμενα ή καταστάσεις σε εργασίες στις οποίες οι μαθητές απαιτούνται να συνδυάσουν γνώσεις και δεξιότητες από πολλούς διαφορετικά επιστημονικά πεδία” (NRC, 2014). Ο όρος ‘διασύνδεση’ –ή και ‘ενοποίηση’ κατά Σκουμπουρδή & Σκουμιό (2016)– δεν υπονοεί την ένωση δύο ή παραπάνω διακριτών επιστημονικών πεδίων σε ένα, αλλά τουναντίον μια σχέση μεταξύ των πεδίων που μπορεί να κυμαίνεται από την απουσία αλληλεπίδρασης μέχρι την πλήρη ταύτιση ή συγχώνευση (Σκουμπουρδή & Σκουμιός, 2016).

Μια βασική κατηγοριοποίηση της διασύνδεσης μεταξύ των πεδίων είναι η ακόλουθη, ανά αυξανόμενου βαθμού διασύνδεσης:

α) μονοεπιστημονική (disciplinary): ο εκπαιδευτικός, παραδοσιακά διδάσκει τις έννοιες και τις δεξιότητες χωρισμένες ανά επιστημονικό πεδίο (Vaquez κ.ά., 2013)

β) πολυεπιστημονική (multidisciplinary): ο εκπαιδευτικός διδάσκει χωριστά γνώσεις και δεξιότητες από τα επιμέρους πεδία αλλά έχοντας ένα κοινό θέμα (Vaquez κ.ά., 2013). Στον τρόπο αυτό τα πεδία παρουσιάζονται με έναν τρόπο σειριακό, συνεργατικό ή αντιπαράθεσης (Klein, 2017).

γ) διεπιστημονική (interdisciplinary): ο εκπαιδευτικός διδάσκει συναφείς έννοιες και δεξιότητες από δύο ή παραπάνω πεδία με σκοπό να εμβαθύνει τις γνώσεις και τις δεξιότητες των μαθητών (Vaquez κ.ά., 2013). Σε αυτή την προσέγγιση τα πεδία διασυνδέονται αμοιβαία, αλληλεπιδρούν και αναμειγνύονται με πιο ουσιαστικό τρόπο (Klein, 2017). Ειδικότερα, ο διεπιστημονικός τρόπος σκέψης ορίζεται ως “η ικανότητα να διασυνδέω γνώσεις και τρόπους σκέψης από δύο ή παραπάνω πεδία ή καθιερωμένες περιοχές εξειδίκευσης με σκοπό να παραχθεί μια γνωστική πρόοδος με τρόπο που δεν θα μπορούσε ή θα ήταν δύσκολο να γίνει μέσα από μονο-επιστημονικές πρακτικές” (Crujeras-Pérez & Jiménez-Alexandre, 2019).

δ) διαεπιστημονική (transdisciplinary): γνώσεις και δεξιότητες από δύο ή περισσότερα επιστημονικά πεδία χρησιμοποιούνται σε ρεαλιστικά προβλήματα και project, βοηθώντας έτσι να σχηματιστούν μαθησιακές εμπειρίες (Vaquez κ.ά., 2013). Στη διαεπιστημονική διασύνδεση ένα κοινό σύστημα αξιωμάτων υπερβαίνει τον σκοπό ύπαρξης επιστημονικών πεδίων μέσα από μια γενικότερη σύνθεση (Klein, 2017). Συνεπώς, σε αυτόν τον βαθμό διασύνδεσης τα επιμέρους πεδία δεν γίνονται διακριτά (Σκουμπουδή & Σκουμιός, 2016).

Πέρα από τα παραπάνω επίπεδα διασύνδεσης, συχνά συναντώνται και άλλες προσεγγίσεις, παρά την κριτική που έχουν δεχτεί. Μία εξ αυτών είναι η μη-επιστημονική (a-disciplinary) προσέγγιση, κατά την οποία δεν χρησιμοποιείται/αξιοποιείται το θεωρητικό κατασκεύασμα του επιστημονικού πεδίου, και αγνοεί τη διδακτική του χρησιμότητα (Barelli κ.ά., 2022). Μια άλλη προσέγγιση είναι η χρηστική μεταφορά εννοιών και μεθόδων από ένα πεδίο σε ένα άλλο, η οποία δεν αξιοποιεί τη μαθησιακή δυναμική από τη μελέτη της ιστορικής εξέλιξης των πεδίων (Tzanakis & Thomaidis, 2000).

Η Klein (2017) διατυπώνει επιπλέον τέσσερις χαρακτηριστικές τυπολογίες της διεπιστημονικότητας. Αυτές είναι: α) η μεθοδολογική διεπιστημονικότητα, κατά την οποία μέθοδοι ‘δανείζονται’ από ένα πεδίο για να εφαρμοστούν σε ένα άλλο με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, υπάρχει ένα επιστημολογικό ‘μπόλιασμα’ σε ένα πεδίο. β) Η θεωρητική διεπιστημονικότητα, που περιλαμβάνει μια πιο ολιστική, γενική θεώρηση και πιο συνεκτική επιστημολογία. Τα αποτελέσματα αυτής είναι η ανάπτυξη εννοιολογικών πλαισίων κατά τη διαδικασία ανάλυσης αποτελεσμάτων, η διασύνδεση/ενοποίηση υποθέσεων μεταξύ των πεδίων και μια νέα σύνθεση από τη σύνδεση μοντέλων και αναλογιών. γ) Η χρηστική/εργαλειακή διεπιστημονικότητα, όταν ο δανεισμός μεθόδων χρησιμοποιείται για τις ανάγκες ενός μόνο πεδίου ή τις ανάγκες άλλων εξωτερικών αναγκών, π.χ. της αγοράς εργασίας, κτλ. δ) Η κριτική διεπιστημονικότητα, όπου υφίσταται μια αμφισβήτηση της άρχουσας δομής της γνώσης και της Εκπαίδευσης με σκοπό να τη μετασχηματίσει (Klein, 2017).

Να διευκρινίσουμε ότι η διεπιστημονικότητα δεν ταυτίζεται με τη συνεργασία μεταξύ ατόμων από διαφορετικά πεδία, αλλά σε ουσιαστική διασύνδεση μεταξύ των πεδίων. Παρ’ όλ’ αυτά, η συνεργασία μπορεί να συνεισφέρει εποικοδομητικά στην επίλυση σύνθετων προβλημάτων και να ενισχύσει τις διασυνδέσεις μεταξύ πεδίων (Klein, 2017).

### *Μοντέλα STEM Διασύνδεσης*

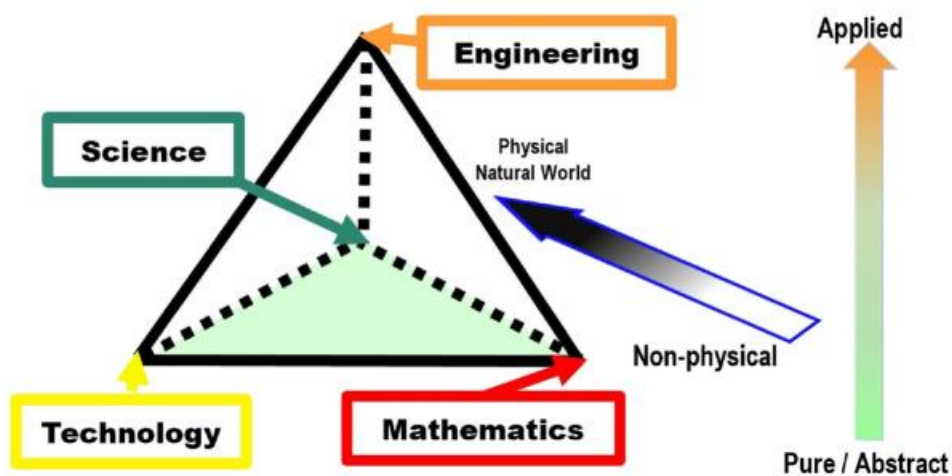
Πέρα από τα προαναφερθέντα τέσσερα επίπεδα διασύνδεσης, πολλοί ερευνητές έχουν προσπαθήσει να διατυπώσουν συγκεκριμένα μοντέλα STEM διασύνδεσης που εμπεριέχουν χαρακτηριστικά και σχέσεις μεταξύ των πεδίων. Μια τέτοια ερευνητική προσπάθεια τείνει να προσδώσει θεωρητική θεμελίωση σε αυτό που θα λέγαμε Φύση του STEM (Nature of STEM), αν και πολλοί ερευνητές επικρίνουν μια τέτοια τάση λέγοντας ότι δεν υπάρχει Φύση του STEM, παρά μόνο φύση των επιμέρους πεδίων (Akerson κ.ά., 2018). Άλλοι ερευνητές, θεωρούν ότι το STEM δεν είναι ένα επιστημονικό αντικείμενο (discipline) αλλά μάλλον ένα μετα-αντικείμενο (metadiscipline) (Kennedy & Odell, 2014), το οποίο έρχεται να προσφέρει μια πρόσθετη συνθετική εμπειρία σε σχέση με τις πρότερες διδασκαλίες των επιμέρους πεδίων (McComas & Burgin, 2020). Η παρούσα διατριβή, αν και συμφωνεί με την προαναφερθείσα θεώρηση του μετα-αντικείμενου, υιοθετεί επιπλέον την άποψη ότι η διασύνδεση μεταξύ των πεδίων μπορεί να

διδασχθεί και μέσα από τη διδασκαλία των πεδίων, όπως π.χ. αναδεικνύοντας τις αλληλεπιδράσεις κατά την ιστορική εξέλιξη των πεδίων (Barelli κ.ά., 2021; Tzanakis, 2016).

Ο Bybee (2013) παρουσίασε 8 διαφορετικά μοντέλα STEM διασύνδεσης, παρουσιάζοντας αντίστοιχες σχηματοποιήσεις και αναλογίες που επεξηγούν τις σχέσεις μεταξύ των πεδίων στο καθένα μοντέλο. Αντίστοιχα μοντέλα διασύνδεσης έχουν διατυπωθεί και από τους εκπαιδευτικούς (βλ. Κεφ. 2.4.3). Απ' την άλλη, ομάδες ερευνητών έχουν χρησιμοποιήσει την Προσέγγιση 'Συγγενειακής' Ομοιότητας (Family Resemblance Approach) για τη Φύση της Επιστήμης (Kaya & Erduran, 2016) προκειμένου να αναδείξουν χαρακτηριστικά του STEM (Ortiz-Revilla κ.ά., 2020; Park κ.ά., 2020). Οι Quinn κ.ά. (2020) παρουσίασαν ένα συγκλίνον STEM μοντέλο που αφενός διατυπώνει τις επικαλύψεις γνώσεων και πρακτικών μεταξύ των επιμέρους πεδίων, και αφετέρου παρουσιάζει τη διασύνδεση των πεδίων ως ένα όγκο μιας τριγωνικής πυραμίδας. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, τα S-T-E-M πεδία βρίσκονται στις κορυφές της τριγωνικής αυτής πυραμίδας, ανάλογα με τις ταξινομήσεις σε α) θεωρητικά/αφαιρετικά-εφαρμοσμένα πεδία και β) μελετώντα τον φυσικό ή τον τεχνητό κόσμο. Στο μοντέλο αυτό, οι συγγραφείς ισχυρίζονται ότι η Φύση της Μηχανικής αντιπροσωπεύει σε καλό βαθμό αυτό που θα λέγαμε Φύση του STEM.

### Σχήμα 2.3

*Το Συγκλίνον Μοντέλο για τη Φύση του STEM (Quinn κ.ά., 2020)*





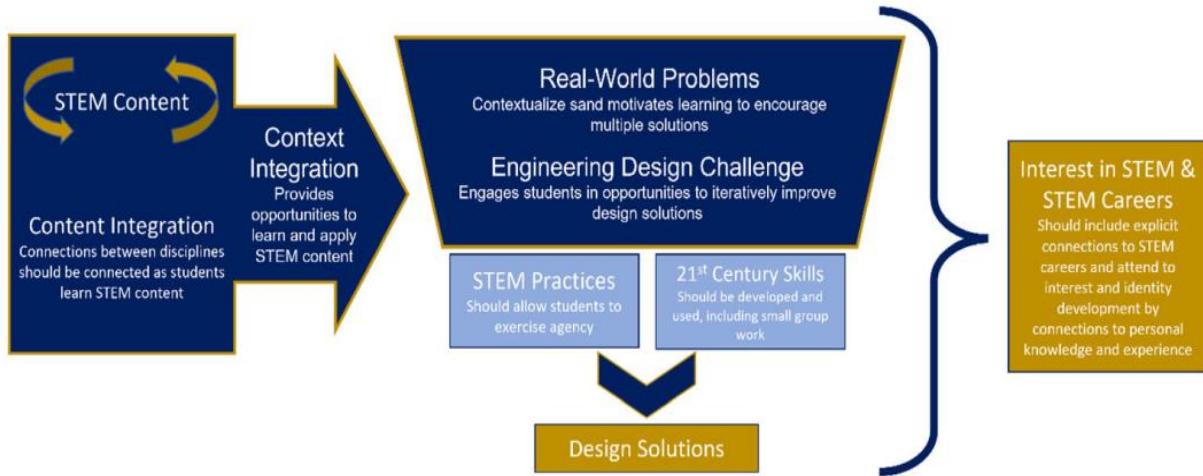
Οι Ortiz-Revilla κ.ά. (2022) διατύπωσαν ένα τριαδικό μοντέλο για τη STEM διασύνδεση, αποτελούμενο από θεωρίες, μεθόδους και σκοπούς, ενώ θεωρούν ότι κεντρικός αρωγός εξέλιξης των πεδίων είναι η επίλυση προβλημάτων κατά Laudan (1977). Η Develaki (2020) συνέκρινε τις επιστημικές πρακτικές όπως η μοντελοποίηση και η επιχειρηματολογία, όπως αυτές πραγματώνονται σε διαφορετικά S-T-E-M πεδία. Η συγγραφέας προτείνει διδασκαλίες που να αναδεικνύουν αυτές τις ιδιαιτερότητες ως έναν τρόπο μάθησης όχι μόνο των επιστημολογιών των επιμέρους πεδίων αλλά και μιας συνεκτικής Εκπαίδευσης STEM.

Στο πλαίσιο αυτό, οι Roehrig κ.ά. (2021) μέσα από μια βιβλιογραφική έρευνα για τη Εκπαίδευση STEM πρότειναν ένα θεωρητικό πλαίσιο STEM που όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4, περιλαμβάνει τα εξής 7 χαρακτηριστικά, τα οποία κρίνονται ως βασικά χαρακτηριστικά για τη Εκπαίδευση STEM:

- 1) Την έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα του πραγματικού κόσμου (real-world), δηλαδή προβληματικές καταστάσεις που συναντούν οι μαθητές γενικά στην καθημερινότητά τους ή στην επικαιρότητα. Υπό αυτό το πρίσμα, ενδείκνυται να απασχολούνται οι μαθητές και με προβλήματα που δεν είναι αμιγώς τεχνοκρατικά αλλά που κινητοποιούν το συναίσθημα και αντιμετωπίζει γενικά η ανθρωπότητα (πχ ρύπανση, κλιματική αλλαγή, κ.ά.).
- 2) Έμφαση στον μηχανικό σχεδιασμό (engineering design). Οι μαθητές συνιστάται να εμπλέκονται με πρακτικές σχεδιασμού, υλοποίησης, αξιολόγησης και βελτίωσης τεχνουργημάτων για την εκπαίδευσή τους. Ζητήματα συμπερίληψης (inclusion), ισότητας φύλων αλλά και ηθικής θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στα προβλήματα Μηχανικής που εμπλέκονται οι μαθητές.
- 3) Σύνδεση με το πλαίσιο. Οι μαθητές συνιστάται να συνδέουν το τεχνικό μέρος κατασκευής με το αντίστοιχο εννοιολογικό πλαίσιο, και όχι να επιδίδονται απλά σε μια διαδικασία tinkering ή δοκιμής-λάθους (trial and error). Διασυνδέσεις με το τοπικό πλαίσιο και κουλτούρα, καθώς και ιστορικές προσεγγίσεις συνιστώνται επίσης.
- 4) Διασύνδεση με το περιεχόμενο (content integration). Οι διδασκαλίες STEM συνιστάται να διασυνδέουν γνώσεις και δεξιότητες από τα τέσσερα πεδία με ρητό τρόπο.

## Σχήμα 2.4

Αλληλεπιδράσεις Μεταξύ των 7 Κεντρικών STEM Χαρακτηριστικών (Roehrig κ.ά., 2021)



- 5) Καλλιέργεια STEM πρακτικών, δηλαδή πρακτικών που προσομοιώνουν τις αυθεντικές πρακτικές των επαγγελματιών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι δεξιότητες δεδομένων (data) όπως η συλλογή, οπτικοποίηση, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, η επιστημονική επιχειρηματολογία, η λήψη αποφάσεων, και η επιστημική αυτενέργεια (epistemic agency), δηλαδή να μπορεί ο μαθητής να προτείνει λύσεις και να διαμορφώνει ο ίδιος τη γνώση του, και όχι να δρα ως παθητικός δέκτης.
- 6) Καλλιέργεια δεξιοτήτων 21<sup>ου</sup> αιώνα, όπως η συνεργασία, η επικοινωνία, η δημιουργικότητα και η κριτική σκέψη. Οι μαθητές πρέπει να μάθουν να εργάζονται σε ομάδες, καθώς και να καλλιεργήσουν αντιλήψεις ότι η αποτυχία εμπεριέχει γνωσιακό όφελος. Σε αυτό το πλαίσιο, η ενσωμάτωση της Τέχνης μπορεί να βοηθήσει την καλλιέργεια της δημιουργικότητας και της κριτικής σκέψης.
- 7) Η προώθηση STEM καριερών. Οι μαθητές συνιστάται να εκτίθενται σε αυθεντικές πρακτικές επαγγελματιών του χώρου έτσι ώστε να παίρνουν έμπνευση και να κινητοποιείται το ενδιαφέρον τους προς τα STEM επαγγέλματα. Παράλληλα, συνιστάται να καλλιεργούνται STEM ταυτότητες μέσω ενδυνάμωσης παραγόντων όπως η αναγνώριση από τους άλλους, το ενδιαφέρον, η ικανότητα και η απόδοση (Avraamidou, 2022; Drymiotou κ.ά., 2021; Munfaridah κ.ά., 2021).

### *‘Σύνορα’, Διασυνοριακές Μεταβάσεις και Διασυνοριακά Αντικείμενα*

Ως ‘σύνορα’ (boundaries) θεωρούμε “τις κοινωνικοπολιτισμικές διαφορές που οδηγούν σε ασυνέχεια στην πράξη ή την αλληλεπίδραση” (Akkerman & Bakker, 2011). Οι συγγραφείς αναφέρουν πολλαπλά πλαίσια στα οποία συναντάμε τέτοια σύνορα, όπως είναι σε τομείς εργασίας, στο σχολείο (π.χ. εκπαιδευτικοί-μαθητές-γονείς) και στην καθημερινή ζωή (π.χ. ενήλικες-ανήλικες, φυλή, κουλτούρες, κτλ.). Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας τα σύνορα αυτά εξετάζονται ως σύνορα μεταξύ επιστημονικών πεδίων. Κατ’ επέκταση, *διασυνοριακή μετάβαση* (boundary crossing) είναι η είσοδος σε περιοχές όπου δεν είμαστε εξοικειωμένοι και συνεπώς, σε ένα σημαντικό βαθμό μη εξοικειωμένοι (Suchman, 1994).

Παράλληλα, χρησιμοποιείται η μεταφορά των *διασυνοριακών αντικειμένων* (boundary objects). Τα διασυνοριακά αντικείμενα είναι ‘αντικείμενα’/τεχνουργήματα που γεφυρώνουν διασταυρούμενες πρακτικές (Akkerman & Bakker, 2011). Συγκεκριμένα, τα διασυνοριακά αντικείμενα αφενός έχουν έναν ικανό βαθμό πλαστικότητας ώστε να προσαρμόζονται στις εκάστοτε ειδικές ανάγκες και περιορισμούς των επιμέρους κοινοτήτων που τις χρησιμοποιούν, και αφετέρου είναι επαρκώς εδραιωμένα ώστε να διατηρούν μια κοινή ταυτότητα μεταξύ διαφορετικών περιοχών (Star, 1989). Συνεπώς, τα αντικείμενα αυτά όταν χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα μεταξύ των επιστημονικών ‘κόσμων’ έχουν μια ασθενώς ορισμένη μορφή, ενώ όταν χρησιμοποιούνται στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου πεδίου έχουν μια πιο εδραιωμένη δομή (Lundgren, 2021; Star, 1989). Αυτή η αμφίσημη φύση τους ενσαρκώνει ένα διάλογο μεταξύ των πεδίων ο οποίος δημιουργεί μια μαθησιακή δυναμική για τη διεπιστημονικότητα (Barelli κ.ά., 2022).

Η μαθησιακή δυναμική από τη χρήση των διασυνοριακών αντικειμένων κατηγοριοποιείται σε 4 βασικές μορφές:

- α) την ταυτοποίηση των επιμέρους πεδίων, μια διαδικασία αναγνώρισης, προβληματισμού και ενδεχόμενης αναθεώρησης των επιμέρους ιδιαιτεροτήτων των πεδίων,
- β) τη συνεργασία, όπου εγκαθιδρύεται ένας διάλογος μεταξύ διαφορετικών μελών προκειμένου να διατηρηθεί η ροή της εργασίας,
- γ) τον αναστοχασμό, όπου αναγνωρίζονται και αναπτύσσονται οι διαφορές μεταξύ πεδίων ή πρακτικών και έτσι κάτι νέο μαθαίνεται για το ίδιο το πεδίο/πρακτική, και

δ) ο μετασχηματισμός, όπου μια αντιμετώπιση μιας έλλειψης ή ενός προβλήματος οδηγεί σε σοβαρή αναθεώρηση και αλλαγή των παρουσών πρακτικών και συσχετίσεων και την ενδεχόμενη εμφάνιση μιας νέας πρακτικής, συχνά αποκαλούμενης και ως διασυνοριακής πρακτικής (Akkerman & Bakker, 2011).

Δύο απαραίτητες διευκρινήσεις χρειάζονται στον όρο διασυνοριακά αντικείμενα σύμφωνα με την Star (2010). Πρώτον, ο όρος σύνορο δεν αναφέρεται σημαίνοντας το άκρο ή την περιφέρεια μιας περιοχής, αλλά σαν ένα κοινό χώρο ανάμεσα στα πεδία, “όπου το ‘εδώ’ και το ‘εκεί’ είναι μπερδεμένα” (Star, 2010). Εξ ου προκύπτει και το πρόθεμα ‘δια-’ στην ελληνική μετάφραση του boundary crossing. Δεύτερον, τα διασυνοριακά αντικείμενα δεν είναι πάντα υλικά αντικείμενα (Star, 2010), αλλά μπορεί να είναι και έννοιες (Barquero κ.ά., 2023; Lundgren, 2021), μέθοδοι/τεχνικές, ερωτήσεις, προβλήματα, αιτιολογήσεις, κτλ. (Barquero κ.ά., 2023). Επιπροσθέτως, οι Barquero κ.ά. (2023) πρότειναν τη χρήση επιστημολογικών (epistemological activators) και γλωσσολογικών θεμάτων (linguistic activators) ως διασυνοριακά αντικείμενα. Τα επιστημολογικά θέματα είναι θέματα τα οποία παίρνουν διαφορετικό νόημα σε διαφορετικά πεδία/κοινότητες και έτσι ενεργοποιούν ένα μετα-επίπεδο ανάλυσης των πεδίων, μέσα από το οποίο τα πεδία μπορούν να χαρακτηριστούν, να συγκριθούν και να περιπλεχτούν (Ravaioli, 2020). Αντίστοιχα, οι γλωσσολογικοί όροι είναι όροι και τρόποι σύνταξης οι οποίοι αποκτούν διαφορετικό νόημα σε διαφορετικά πεδία και συνεπώς ενεργοποιούν ένα παρόμοιο επίπεδο μετα-ανάλυσης των πεδίων (Polverini, 2022).

Όπως διαφαίνεται από τα παραπάνω, τα διασυνοριακά αντικείμενα έχουν χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος περιπτώσεων και πλαισίων (Lundgren, 2021). Μερικά παραδείγματα διασυνοριακών αντικειμένων είναι: μια λίστα καταγραφής ειδών σε ένα μουσείο Φυσικής Ιστορίας (Star & Griesemer, 1989), τα μοντέλα/μοντελοποίηση (Levrini κ.ά., 2023), η πολυπλοκότητα (Levrini κ.ά., 2023; Ravaioli, 2020), οι μετασχηματισμοί Lorrentz στην Ειδική Θεωρία Σχετικότητας (Miani, 2022), η συμμετρία και η αποδεικτική διαδικασία (Durand-Guerrier κ.ά., 2023), η βιωσιμότητα, η ανθεκτικότητα και οι λειτουργίες του οικοσυστήματος (Lundgren, 2021), κ.ά..

Τρία κεντρικά χαρακτηριστικά των διασυνοριακών αντικειμένων σύμφωνα με τη Star (2010) είναι: α) η ερμηνευτική τους ευελιξία, β) η οργανωτική τους δομή ως αντικείμενα συνεργασίας

μεταξύ πεδίων/κοινοτήτων, και γ) η δυναμική της ασθενούς χρήσης σε ευρύ επίπεδο σε συνδυασμό με την εδραιωμένη χρήση σε τοπικό επίπεδο.

Γενικότερα, η μεταφορά των διασυνοριακών μεταβάσεων και διασυνοριακών αντικειμένων είθισται να χρησιμοποιείται για να περιγράψει συνεχείς και αμφίδρομες δράσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ πλαισίων. Σε αυτή την αλληλεπίδραση σημαντικό ρόλο παίζει ο διάλογος μεταξύ ατόμων με πολλαπλές διαφορετικές οπτικές και ερμηνείες (Akkerman & Bakker, 2011). Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, οι μεταφορές αυτές χρησιμοποιούνται ως εργαλείο για να αναλύσει την συνεργασία μεταξύ των πεδίων, κάτι που σύμφωνα με τους Akkerman & Bakker, (2011) θεωρείται και το κυρίαρχο χαρακτηριστικό των διασυνοριακών αντικειμένων.

## **2.2) Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών**

### ***2.2.1) Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου***

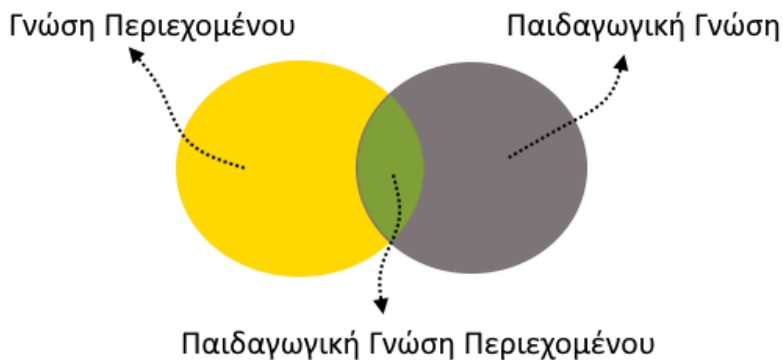
Η Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (ΠΓΠ) είναι ένα πλαίσιο γνώσεων το οποίο είναι ένα απαραίτητο προσόν ενός εκπαιδευτικού για να διδάξει αποτελεσματικά επιστημονικό περιεχόμενο. Συνεπώς, αποτελεί ένα δομικό στοιχείο της εκπαίδευσης εκπαιδευτικών, και δη του Μοντέλου Διδακτικής Αναδόμησης για την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών (βλ. Κεφάλαιο 1.3).

Η ΠΓΠ ορίστηκε αρχικά από τον Shulman (1987) ως “η γνώση που προκύπτει από τη διασύνδεση της Γνώσης Περιεχομένου (ΓΠ) και της Παιδαγωγικής Γνώσης (ΠΓ) με σκοπό την κατανόηση του πώς συγκεκριμένα θέματα, προβλήματα ή ζητήματα οργανώνονται, αναπαριστώνται, και προσαρμόζονται στα ποικίλα ενδιαφέροντα και ικανότητες των μαθητών, και παρουσιάζονται για διδασκαλία”. Το Σχήμα 2.1 αναπαριστάνει τη σχέση αυτή μεταξύ ΓΠ, ΠΓ και ΠΓΠ.

Παρ’ όλ’ αυτά, ο ίδιος ο Shulman μετέπειτα αναγνώρισε 5 ελλείψεις στο μοντέλο αυτό: την έλλειψη επιρροής από συναισθηματικούς παράγοντες, την υπερβολική επικέντρωση στο πώς σκέφτεται ο εκπαιδευτικός σε σύγκριση με το τι πραγματικά κάνει στην τάξη, την αγνόηση του πλαισίου/περικείμενου (context), την αγνόηση των στόχων του εκπαιδευτικού και τη σχέση της ΠΓΠ με τα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών.

## Σχήμα 2.1

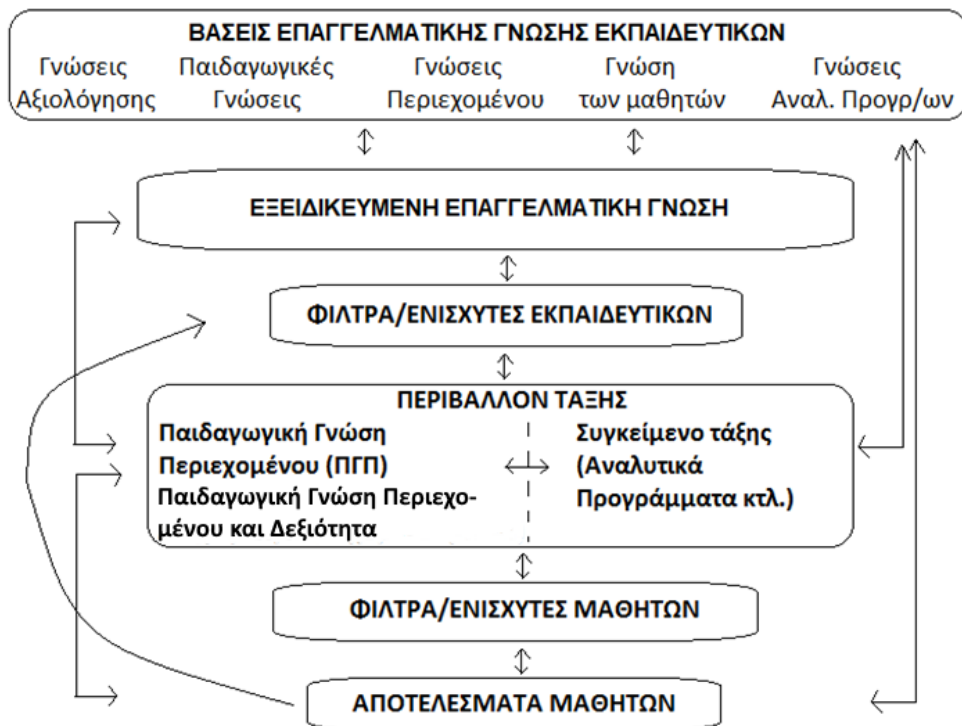
*Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (Shulman, 1987)*



Νεότερα μοντέλα της ΠΓΠ, όπως αυτό που περιγράφηκε από την Gess-Newsome (2015) και αναπαριστάται στο Σχήμα 2.2, επιμερίζουν την ΠΓΠ στην α) προσωπική ΠΓΠ, δηλαδή τη “γνώση, τη λογική και τον σχεδιασμό της διδασκαλίας ενός συγκεκριμένου θέματος με ένα συγκεκριμένο τρόπο για ένα συγκεκριμένο σκοπό σε συγκεκριμένους μαθητές για βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα”, και β) την προσωπική ΠΓΠ & Δεξιότητα, δηλαδή την “πράξη της διδασκαλίας ενός συγκεκριμένου θέματος με ένα συγκεκριμένο τρόπο για ένα συγκεκριμένο σκοπό σε συγκεκριμένους μαθητές για βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα”. Συνεπώς, Η ΠΓΠ συνδέεται άμεσα με αυτό που πραγματικά συμβαίνει στην τάξη. Όμως, η μεν ΠΓΠ θεωρείται ότι σχετίζεται με ρητό αναστοχασμό για την πράξη (reflection on action), ενώ η ΠΓΠ & Δεξιότητα σχετίζεται με ρητό ή υπόρητο αναστοχασμό κατά την πράξη (reflection in action).

## Σχήμα 2.2

*Μοντέλο Επαγγελματικής Γνώσης και Δεξιότητας Εκπαιδευτικών, Συμπεριλαμβανομένου της ΠΓΠ και Επιδράσεις στη Διδακτική Πρακτική και στα Μαθησιακά Αποτελέσματα (Gess-Newsome, 2015).*



Στο Σχήμα 2.2. παρουσιάζονται επιπλέον το πώς η ΠΓΠ επηρεάζεται και επηρεάζει τα υπόλοιπα στοιχεία. Ειδικότερα, οι Βάσεις Επαγγελματικής Γνώσης Εκπαιδευτικών (Teacher Professional Knowledge Bases) που αποτελούν τη γενικότερη και τυπική γνώση που έχει δημιουργηθεί από ειδικούς και ερευνητές, αλληλεπιδρά με την Εξειδικευμένη Επαγγελματική Γνώση (Topic-Specific Professional Knowledge). Η Εξειδικευμένη Επαγγελματική Γνώση αποτελεί τη στατική και τυπική γνώση πάνω σε ένα συγκεκριμένο θέμα, δηλαδή τη γενικότερη κατανόηση της κοινότητας πάνω στο θέμα, σε αντίθεση με την ΠΓΠ που αποτελεί εξατομικευμένο και προσωπικό ‘κατασκεύασμα’ του εκπαιδευτικού. Η Εξειδικευμένη Επαγγελματική Γνώση αλληλοτροφοδοτεί την ΠΓΠ, αφού πρωτίστως περάσει από τα φίλτρα και τους ενισχυτές του κάθε εκπαιδευτικού. Αυτά σχετίζονται με τις προσωπικές γνώσεις, αντιλήψεις και πεποιθήσεις του εκπαιδευτικού και μπορούν να επηρεάσουν στο να αποδεχτεί, απορρίψει ή προσαρμόσει κάποιο μέρος της Εξειδικευμένης Επαγγελματικής Γνώσης.

Στη συνέχεια, η ΠΓΠ και ΠΓΠ & Δεξιότητα (PCK & Skill) που εφαρμόζεται στην τάξη περνάει αντίστοιχα πάλι από φίλτρα και ενισχυτές των ιδίων των μαθητών. Αυτά μπορεί να καθορίζονται από κοινωνικοοικονομικά κριτήρια, τις γονεϊκές και κοινωνικές προσδοκίες, τις στάσεις και ικανότητες των μαθητών, δημογραφικά στοιχεία, κτλ. Ως αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας,

καρποφορούνται τα μαθησιακά αποτελέσματα, τα οποία με τη σειρά τους ανατροφοδοτούν τα φίλτρα και τους ενισχυτές του εκπαιδευτικού.

Παρά την πληρότητα του παραπάνω μοντέλου, το μοντέλο της ΠΓΠ δεν καλύπτει επαρκώς STEM προσεγγίσεις, καθότι δεν λαμβάνονται υπόψιν οι διασυνδέσεις του περιεχομένου ΦΕ με άλλες επιστήμες (Enderson κ.ά., 2020). Συνεπώς υπάρχει μια γενικότερη ανάγκη διεύρυνσης του μοντέλου της ΠΓΠ στο πλαίσιο της Εκπαίδευσης STEM.

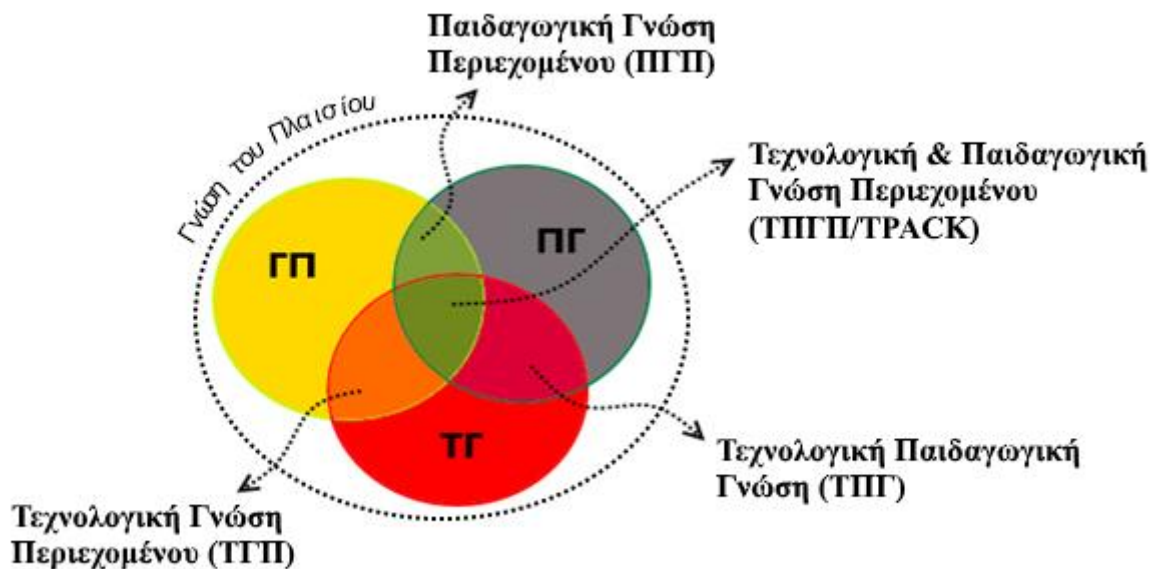
### ***2.2.2) Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου***

Η πρώτη διεύρυνση σε επιστημονικά πεδία που επιχειρήθηκε στο μοντέλο της ΠΓΠ αφορά έρευνες για ενσωμάτωση της Τεχνολογίας. Όπως προτείνανε οι Mishra & Koehler (2006), το μοντέλο της Τεχνολογικής και Παιδαγωγικής Γνώσης Περιεχομένου (ΤΠΓΠ) αποτελεί τη βάση για αποδοτική διδασκαλία με τη χρήση Τεχνολογίας. Σε παρόμοιο τρόπο με την ΠΓΠ, η ΤΠΓΠ προκύπτει από τη συνένωση της ΠΓ, της ΓΠ και της Τεχνολογικής Γνώσης (ΤΓ). Οι επιμέρους συνενώσεις των τριών τομέων αφορούν α) την ΠΓΠ, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, β) την Τεχνολογική Γνώση Περιεχομένου (ΤΓΠ), δηλαδή το πώς η ΤΓ και η ΓΠ επηρεάζει ή/και περιορίζει η μία την άλλη. Για παράδειγμα, υπάρχουν δυνατότητες και περιορισμοί στο τι περιεχόμενο μπορεί να αναπαρασταθεί και να διδαχθεί μέσω της Τεχνολογίας. γ) Την Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση (ΤΠΓ), δηλαδή οι γνώσεις για τις λειτουργίες και δυνατότητες των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ) μέσα σε συγκεκριμένα μαθησιακά περιβάλλοντα, καθώς και η επιρροή που ασκούν οι ΤΠΕ σε αυτά. Η ΤΠΓΠ όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3 ανήκει στη συνένωση των παραπάνω και είναι γνώση αποδοτικής χρησιμοποίησης ΤΠΕ με σκοπό τη μάθηση επιστημονικού περιεχομένου με κατάλληλες παιδαγωγικές τεχνικές που αξιοποιούν τις ΤΠΕ (Mishra & Koehler, 2006).

### **Σχήμα 2.3**

*Η Τεχνολογική Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου (Mishra, 2019)*





Παρ'όλ'αυτά, το μοντέλο αυτό επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες που σχετίζονται με τις αντιλήψεις, τις εμπειρίες και τις αξίες και κουλτούρες των εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ οι οποίοι δρουν σαν άλλα 'φίλτρα' και 'ενισχυτές' στην ενσωμάτωση και τον τρόπο χρήσης της Τεχνολογίας (Niryakis & Stavrou, 2022; Waight & Abd-El-Khalick, 2018).

Στο πλαίσιο αυτό, νεότερες εκδοχές του μοντέλου ΤΠΓΠ ενσωμάτωσαν και τη Γνώση του εκπαιδευτικού για το Πλαίσιο, όπως π.χ. γνώση του εκπαιδευτικού για τις διαθέσιμες τεχνολογίες, για το συγκεκριμένο σχολείο που διδάσκει και τη γειτονιά/περιοχή που είναι το σχολείο, κτλ. (Mishra, 2019), καθώς επίσης και την επιρροή από τη κουλτούρα του σχολείου και του γενικότερου κοινωνικοπολιτικού συστήματος (Warr κ.ά., 2019). Ακόμα νεότερες εκδοχές της ΤΠΓΠ λαμβάνουν υπόψιν τον ρόλο της συνεργατικής συζήτησης για την ανάπτυξη της ΤΠΓΠ. Έτσι η ΤΠΓΠ επιμερίζεται σε α) προσωπική ΤΠΓΠ, β) συλλογική ΤΠΓΠ, η ΤΠΓΠ που έχει διαμοιραστεί/συμφωνηθεί από την κοινότητα, γ) ενσάρκωθισα ΤΠΓΠ, όταν σχεδιάζεται, πραγματοποιείται ή γίνεται αναστοχασμός για τη διδασκαλία με χρήση Τεχνολογίας (Yeh κ.ά., 2021).

### ***2.2.3) STEM Παιδαγωγική Γνώση Περιεχομένου***

Κάποιες πρώιμες τάσεις ορισμού της STEM ΠΓΠ όρισαν τη STEM ΠΓΠ ως: α) γνώση του εκπαιδευτικού για τους μαθητές, δηλαδή τον τρόπο σκέψης τους για STEM θέματα, τις εναλλακτικές τους ιδέες, δυσκολίες, τις μαθησιακές τους πορείες, κτλ., β) την αντίληψη και χρήση αποδοτικών διδακτικών στρατηγικών από τους εκπαιδευτικούς για συγκεκριμένα STEM θέματα, π.χ. στρατηγικές διερεύνησης, αναπαράστασης STEM φαινομένων, διαχείρισης συζήτησης, γ) η ουσιαστική και κατάλληλη ενσωμάτωση της Τεχνολογίας από τους εκπαιδευτικούς έτσι ώστε να βελτιώσει τη διδασκαλία STEM θεμάτων προκειμένου να προετοιμάσει επαγγελματικά τους μαθητές (Allen κ.ά., 2016; Saxton κ.ά., 2014).

Εν αντιθέσει, οι Chan κ.ά. (2019) θεώρησαν ελλιπείς τους ορισμούς που θεωρούν την STEM ΠΓΠ ως γνώσεις του εκπαιδευτικού για να διδάξει STEM. Αναλυτικότερα, θεωρούν ότι οι παραπάνω ορισμοί δεν περιλαμβάνουν την ανάπτυξη δεξιοτήτων από τους μαθητές, π.χ. διδασκαλία για επίλυση προβλήματος, καθώς και στοιχείων περιεχομένου που σχετίζονται με διεπιστημονικό περιεχόμενο. Κατ' επέκταση αντιπροτείνουν τον όρο Πρακτική Γνώση για STEM Διδασκαλία (Practical Knowledge for STEM Teaching). Η Πρακτική Γνώση για STEM Διδασκαλία εκτός από γνώση περιεχομένου περιλαμβάνει στοιχεία από τέσσερις δομικές κατηγορίες: αξιολόγηση, παιδαγωγική, αναλυτικό πρόγραμμα και μαθητές.

Εμπειρικές έρευνες που εμπλέκουν την έννοια της STEM ΠΓΠ δείχνουν ότι το γεγονός ότι εκπαιδευτικοί έχουν αναπτύξει ισχυρή ΠΓΠ στα επιμέρους S-T-E-M πεδία που διδάσκουν δεν συνεπάγεται ότι έχουν αναπτύξει αντίστοιχα STEM ΠΓΠ. Επομένως, προκειμένου να αναπτυχθεί η STEM ΠΓΠ απαιτείται χρόνος ώστε να αναστοχαστούν από τις STEM εμπειρίες τους και να μετατρέψουν την ΠΓΠ τους σε STEM ΠΓΠ (Yeh & Hsu, 2019). Παρ' όλ' αυτά, περισσότερη έρευνα σε θεωρητικό και εμπειρικό επίπεδο απαιτείται προς αυτή την κατεύθυνση. Αντίστοιχα, η STEM ΠΓΠ των εκπαιδευτικών συνιστάται να αναπτυχθεί μέσα από αυθεντικές πρακτικές σε προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης εκπαιδευτικών (Hsu & Fang, 2019).

### ***2.2.4) STEM Επαγγελματική Ανάπτυξη Εκπαιδευτικών***

Γενικότερα, η Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών στη STEM προσέγγιση σχετίζεται με την ανάπτυξη των δεξιοτήτων και στάσεων που απαιτούνται και που πρέπει κατά συνέπεια να αναπτύξουν οι

μαθητές τους για το STEM (Rinke κ.ά., 2016). Υπό αυτό το πρίσμα, έρευνες αναφορικά με την εκπαίδευση εκπαιδευτικών στη STEM προσέγγιση αναδεικνύουν πολλαπλά οφέλη για τους εκπαιδευτικούς, και κατ' επέκταση για τους μαθητές τους.

Συγκεκριμένα, προγράμματα επιμόρφωσης στα οποία συνυπάρχουν διαφορετικά S-T-E-M πεδία παρουσιάζουν καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα για τους εκπαιδευτικούς (Rinke κ.ά., 2016). Παρ' όλ' αυτά, τα προγράμματα επιμόρφωσης είθισται να εμπλέκουν μόνο ένα ή δύο επιστημονικά πεδία και δεν δίνουν έμφαση στη διασύνδεση των πεδίων (Ejjiwale, 2013; Enderson κ.ά., 2020).

Αναφορικά με τις μεθόδους που εφαρμόζονται στις επιμορφώσεις, η ανάπτυξη τεχνουργημάτων από τους εκπαιδευτικούς στα πλαίσια διεπιστημονικών επιμορφώσεων επιφέρει μεγαλύτερο βαθμό διασύνδεσης των πεδίων, καθώς και προώθηση της μηχανικής/σχεδιαστικής σκέψης (Rinke κ.ά., 2016). Παράλληλα, προγράμματα επιμόρφωσης στα οποία καλλιεργείται η μάθηση μέσω project βοηθάει τους μελλοντικούς εκπαιδευτικούς στο να ενισχύσουν σημαντικά την αυτοπεποίθησή τους στις STEM δεξιότητές τους, τη χρησιμότητα που θεωρούν ότι έχουν τα STEM μαθήματα, καθώς και ενισχύεται η φιλοδοξία τους να ακολουθήσουν STEM επαγγέλματα (Beier κ.ά., 2019).

Αναφορικά με την πρακτική των εκπαιδευτικών, επιμορφώσεις που επιτελείται διασύνδεση διαφορετικών S-T-E-M πεδίων δύνανται να επιφέρουν αλλαγές όχι μόνο στην αυτοπεποίθηση των εκπαιδευτικών στα εμπλεκόμενα επιστημονικά πεδία, αλλά και στην διδακτική πρακτική των εκπαιδευτικών (Baxter κ.ά., 2014). Αναλυτικότερα, οι εκπαιδευτικοί στην έρευνα των Baxter κ.ά. (2014) δήλωσαν ένα χρόνο μετά τη λήξη του προγράμματος ότι παρατήρησαν ότι αφιέρωναν λιγότερο χρόνο σε μορφή διάλεξης ενώ αντίθετα αύξησαν τον χρόνο που έδιναν στους μαθητές να εξηγήσουν τις στρατηγικές επίλυσης προβλήματος ή των διερευνητικών ερωτήσεών τους.

Απεναντίας, παρά το αυξημένο ενδιαφέρον για την Εκπαίδευση STEM και την ανάγκη για επιμόρφωση εκπαιδευτικών στο STEM, αρκετά προβλήματα εμφανίζονται κατά την εφαρμογή STEM επιμορφώσεων.

Πρώτον, από τη στιγμή που δεν υπάρχει μια θεσμοθετημένη σχολική δομή για STEM εκπαιδευτικούς στα σχολεία Βθμιας Εκπαίδευσης, υπάρχει αντίστοιχα έλλειψη προγραμμάτων εκπαίδευσης που να εστιάζουν στην καλλιέργεια STEM εκπαιδευτικών (Enderson κ.ά., 2020), που

συνοδεύει την ήδη υπάρχουσα έλλειψη εκπαιδευτικών εξειδικευμένων στο STEM (Ejiwale, 2013).

Δεύτερον, σε σχέση με την ενσωμάτωση των επιμέρους S-T-E-M πεδίων και συγκεκριμένα την Τεχνολογία, οι Rinke κ.ά. (2016) στην έρευνά τους με μελλοντικούς εκπαιδευτικούς παρατήρησαν έλλειψη στην ενσωμάτωση υπολογιστικής σκέψης στα τεχνουργήματα και συνιστούν περισσότερη επιμόρφωση σε θέματα Τεχνολογίας. Ακόμα, σε πολλές περιπτώσεις, οι εκπαιδευτικοί συναντούν δυσκολίες στο πώς να ενσωματώσουν τα Μαθηματικά, κάτι το οποίο μπορεί να ξεπεραστεί με συνεργασία ή/και συνδιδασκαλία μεταξύ εκπαιδευτικών διαφορετικών ειδικοτήτων (Roehrig κ.ά., 2012).

Τρίτον, παρόλο που τα προγράμματα επιμόρφωσης συνιστάται να συνεργάζονται με STEM 'ειδικούς' οι οποίοι δουλεύουν μαζί με τους εκπαιδευτικούς, είναι ασαφές το τι ορίζουμε ως ειδικούς στο STEM και τι είδους υποστήριξη καλούνται να κάνουν μέσα στην τάξη (Enderson κ.ά., 2020).

Ένα τέταρτο πρόβλημα που υφίσταται είναι ότι ορισμένες ομάδες (φύλο, εθνικότητα, κτλ.) υποεκπροσωπούνται στη Εκπαίδευση STEM (Enderson κ.ά., 2020; Peters-Burton & Knight, 2022). Συγκεκριμένα, μόνο το 35% των συνολικών φοιτητών στη STEM μεταδευτεροβάθμια εκπαίδευση είναι γυναίκες, ενώ μόνο το 28% είναι STEM ερευνήτριες (UNESCO, 2017). Συνεπώς, υπάρχει ανάγκη διεύρυνσης της συμμετοχής στο STEM προκειμένου να επιτευχθεί μια πιο συμπεριληπτική Εκπαίδευση STEM (Enderson κ.ά., 2020).

Επιπλέον γενικότερες δυσκολίες που σχετίζονται με τη γενικότερη έλλειψη προγραμμάτων STEM επιμόρφωσης εκπαιδευτικών και την έλλειψη υποδομών και χρηματοδότησης επίσης δυσχεραίνει την προώθηση και εφαρμογή της Εκπαίδευσης STEM (Ejiwale, 2013).

Επομένως, υπάρχει ανάγκη επικέντρωσης σε προγράμματα επιμόρφωσης εκπαιδευτικών τα οποία πληρούν συστάσεις και κατευθυντήριες γραμμές από τη βιβλιογραφία. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω ορισμένες τάσεις ως απόρροια των παραπάνω.

Αρχικά, υπάρχει ανάγκη ενδυνάμωσης των εκπαιδευτικών σε STEM γνώσεις περιεχομένου προκειμένου να διδάξουν STEM (Peters-Burton & Knight, 2022). Επιπλέον, στα πλαίσια ενός προγράμματος STEM επαγγελματικής ανάπτυξης, υπάρχει ανάγκη να υποστηριχτούν οι εκπαιδευτικοί στο να αναγνωρίσουν ουσιαστικές διασυνδέσεις μεταξύ των επιστημονικών πεδίων

(Baxter κ.ά., 2014). Ακόμα, η ενσωμάτωση δημιουργικών δραστηριοτήτων και κατασκευών μπορεί να βοηθήσει την καλλιέργεια STEM διασυνδέσεων (Peters-Burton & Knight, 2022), ειδικότερα μέσω στρατηγικών διερεύνησης και επίλυσης προβλήματος (Martín-Páez κ.ά., 2019). Τέλος, η συνεργασία και η υποστήριξη με STEM ακαδημαϊκό προσωπικό, αλλά και συναδέλφους εκπαιδευτικούς διαφόρων ειδικοτήτων μπορεί να διευρύνει την αντίληψη καθώς και τη διδακτική πρακτική των εκπαιδευτικών στο STEM (Peters-Burton & Knight, 2022; Roehrig κ.ά., 2012).

### **2.3) STEM σχεδιασμός**

Ο σχεδιασμός ορίζεται γενικότερα ως η προσέγγιση ενός ατόμου κατά την οποία αναγνωρίζει και επιλύει προβλήματα στον τεχνητό (human-made) κόσμο (Li κ.ά., 2019). Ειδικότερα, στα πλαίσια του STEM ο σχεδιασμός σχετίζεται αλλά δεν περιορίζεται στον Μηχανικό Σχεδιασμό (Engineering Design). Στα πλαίσια της Εκπαίδευσης Εκπαιδευτικών, ο σχεδιασμός, εκτός από το ότι δίνει στους εκπαιδευτικούς τη δυνατότητα να περάσουν από την ίδια διαδικασία την οποία θα περάσουν και οι μαθητές τους, ταυτόχρονα αποτελεί και έναν μηχανισμό δημιουργίας, οργάνωσης και εφαρμογής του μαθήματος (Billiar κ.ά., 2014). Με άλλα λόγια ο σχεδιασμός είναι μια ανοιχτή διαδικασία και ένας άξονας πάνω στην οποία δομείται και ο σχεδιασμός της διδασκαλίας. Για την παρούσα διατριβή, χρησιμοποιείται ο όρος *STEM σχεδιασμός* (STEM design), υποδηλώνοντας τη διαδικασία σχεδιασμού διδακτικού υλικού από τον εκπαιδευτικό, μια διαδικασία που παράλληλα ταυτίζεται με τον σχεδιασμό και ανάπτυξη τεχνουργημάτων.

Παραδοσιακά, ο σχεδιασμός σαν μέθοδος καθώς και ο αντίστοιχος τρόπος σκέψης σχεδιασμού (design thinking) δεν έχουν σημαντικό ρόλο στην παραδοσιακή δομή ενός σχολείου, πέρα από μαθήματα σε σχέση με την Τέχνη και μαθήματα επαγγελματικής εκπαίδευσης (Li κ.ά., 2019). Παρά ταύτα, οι Li κ.ά. (2019) θεωρούν τη σχεδιαστική λογική και τρόπο σκέψης σαν ένα μοντέλο σκέψης που είναι σημαντικό να αναπτύξει κάθε μαθητής τον 21<sup>ο</sup> αιώνα.

Η εμπλοκή μαθητών με δραστηριότητες σχεδιασμού δύνανται να αποδώσουν πολλά οφέλη. Μέσω διδασκαλιών που εμπλέκουν τους μαθητές σε δραστηριότητες σχεδιασμού, οι μαθητές δύνανται να παρουσιάσουν βελτιωμένα αποτελέσματα στην κατανόηση επιστημονικού περιεχομένου, καθώς και να αυξήσουν τον χρόνο ενασχόλησής τους με μαθηματική λογική και υπολογιστική σκέψη (Kelley & Sung, 2017). Ο σχεδιασμός βοηθάει τους μαθητές να δουν και να επεξεργαστούν το πρόβλημα υπό διαφορετικές οπτικές, επομένως συνεισφέρει στη καλλιέργεια της

δημιουργικότητας και της καινοτομίας (Li κ.ά., 2019). Διδασκαλίες που βασίζονται στον σχεδιασμό μπορεί να αποφέρει στους μαθητές καλύτερη κατανόηση για το πώς επιδρά το πλαίσιο (contextual learning) (Enderson κ.ά., 2020). Επιπλέον, η ενασχόληση με δραστηριότητες σχεδιασμού μπορεί να αυξήσει το ενδιαφέρον των μαθητών και να μειώσει το άγχος τους προς ερευνητικές και σχεδιαστικές δραστηριότητες, καθώς και να τους προσανατολίσει να ακολουθήσουν καριέρες σχετικές με την έρευνα και τον σχεδιασμό (Vossen κ.ά., 2018). Συγκεκριμένα, οι παράγοντες που κινητοποιούν τους μαθητές κατά την ενασχόληση με δραστηριότητες σχεδιασμού περιλαμβάνουν την καινοτομία (novelty), την αυτονομία (επιλογών), και την κοινωνική αλληλεπίδραση/συνεργασία (Dohn, 2013). Παράλληλα, ενδυναμώνονται υποεκπροσωπούμενες ομάδες στο STEM όπως τα κορίτσια, καθότι παρουσιάζουν ίδια επίπεδα εκλαμβανόμενης δυσκολίας με τα αγόρια (Vossen κ.ά., 2018).

Αντίστοιχα, παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη διεξαγωγή δραστηριοτήτων σχεδιασμού από τους μαθητές. Οι μαθητές υποτιμούν τις ευκαιρίες διασύνδεσης των δραστηριοτήτων με το αντίστοιχο περιεχόμενο Μαθηματικών και ΦΕ, καθώς και των πτυχών της Μηχανικής που είναι πιο ποσοτικής φύσεως (Berland κ.ά., 2014). Επίσης, οι μαθητές συχνά δυσκολεύονται στο να μεταφέρουν το επιστημονικό περιεχόμενο μιας δραστηριότητας σχεδιασμού σε νέες καταστάσεις (Kelley & Sung, 2017).

Αναφορικά με την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών, έρευνες δείχνουν ότι υπάρχει έλλειψη κατανόησης των πρακτικών Μηχανικής καθώς και δεξιοτήτων εφαρμογής Μηχανικού Σχεδιασμού στην τάξη (Billiar κ.ά., 2014). Ειδικότερα για τους εκπαιδευτικούς ΦΕ, το αντικείμενο της Μηχανικής (Engineering) είναι πρωτόγνωρο στους περισσότερους (Aranda κ.ά., 2020, Pleasants & Olson, 2019). Παρ' όλ' αυτά, η ενσωμάτωση της Μηχανικής προσφέρει δυνατότητες, όπως το να αποκτήσουν οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί εμπειρική γνώση για το τι θα κάνουν οι μαθητές τους, να σχεδιάσουν, να προσαρμόσουν, να αξιολογήσουν ή και να επαναδιαμορφώσουν ένα έργο ή μια διδακτική ακολουθία (Billiar κ.ά., 2014). Ακόμα, η ενασχόληση των εκπαιδευτικών με δραστηριότητες σχεδιασμού τους προκαλεί να αναθεωρήσουν τις διδακτικές τους πρακτικές και να αφομοιώσουν νέες μεθόδους καθώς και νέες πεποιθήσεις για το πώς πρέπει να γίνεται η διδασκαλία (Bannan-Riland, 2014).

Αναφορικά με τα επιμέρους πεδία STEM, θα λέγαμε ότι υπάρχει μια επικάλυψη στις πρακτικές σχεδιασμού μεταξύ των πεδίων (Sevian & Talanquer, 2014). Γενικότερα, οι κύριες φάσεις

σχεδιασμού περιλαμβάνουν: τον ορισμό του προβλήματος, η αναζήτηση κατάλληλων πληροφοριών και απαιτήσεων, ο σχεδιασμός πλάνου, η υλοποίηση του πρωτότυπου/τεχνουργήματος, η αναδρομική επανάληψη βημάτων για βελτίωση του πρωτότυπου, η ανάλυση του προϊόντος και η επικοινωνία/παρουσίασή του (Vossen κ.ά., 2018). Στο πλαίσιο του STEM σχεδιασμού, οι Billiar κ.ά. (2014) περιγράφουν ένα πλαίσιο STEM σχεδιασμού αναλυτικών προγραμμάτων σπουδών κατ' αντιστοιχία με τον Μηχανικό σχεδιασμό. Τα βασικά στάδια είναι: η αναγνώριση ενός σύνθετου θέματος για τους μαθητές και ο ορισμός εκπαιδευτικών στόχων, β) η αναζήτηση τεχνικών και παιδαγωγικών πρακτικών για τη διδασκαλία του υλικού και θεώρηση των δυσκολιών εφαρμογής, γ) εύρεση πολλαπλών λύσεων προγραμμάτων σπουδών που θα μπορούσε να διδαχθεί το υλικό, δ) επιλογή της λύσης που ταιριάζει καλύτερα στις δεδομένες εκπαιδευτικές συνθήκες, ε) ανάπτυξη μιας αρχικής διδακτικής ενότητας, στ) δοκιμή της ενότητας στην τάξη, ζ) παρουσίαση και συζήτηση των αποτελεσμάτων με συναδέλφους, διευθυντές, κ.ά. για ανατροφοδότηση και προτάσεις, η) αναδιαμόρφωση της ενότητας με βάση την ανατροφοδότηση (Billiar κ.ά., 2014).

Παρ' όλ' αυτά, εντοπίζονται διαφορές μεταξύ των τρόπων που ο σχεδιασμός πραγματώνεται στα διάφορα S-T-E-M πεδία και projects (Berland κ.ά., 2014). Στο πεδίο της Μηχανικής, οι Berland κ.ά. (2014) αναγνωρίζουν τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι τα εξής: α) ο σχεδιασμός ξεκινάει με τον ορισμό προβλήματος, β) τα προβλήματα σχεδιασμού έχουν πολλαπλές λύσεις και οι Μηχανικοί πρέπει να βρουν συστηματικές μεθόδους επιλογής της καλύτερης, γ) ο σχεδιασμός απαιτεί μοντελοποίηση και ανάλυση, δ) η διαδικασία σχεδιασμού είναι αναδρομική (iterative). Στο πλαίσιο για τη σχολική διδασκαλία της Μηχανικής των Moore κ.ά. (2017), ο σχεδιασμός αποτελεί κεντρικό χαρακτηριστικό της Μηχανικής. Συγκεκριμένα, οι Moore κ.ά. (2017) χωρίζουν τον σχεδιασμό σε 3 υποκατηγορίες τις οποίες θεωρούν ότι οι μαθητές πρέπει να κατακτήσουν: α) την αναγνώριση του προβλήματος και την αντίστοιχη βιβλιογραφική αναζήτηση και εκπαιδευτικές δραστηριότητες ώστε οι μαθητές να κατακτήσουν το απαραίτητο υπόβαθρο, β) τον καταιγισμό ιδεών, την ανάπτυξη πολλαπλών λύσεων, την εκτίμηση της σπουδαιότητας των περιορισμών και την ανάπτυξη πρωτοτύπου/μοντέλου ή άλλου προϊόντος, και γ) την πραγματοποίηση ελέγχιμων υποθέσεων και πειραμάτων έτσι ώστε να συλλεχθούν δεδομένα για την αξιολόγηση του πρωτοτύπου/λύσης, και χρησιμοποίηση αυτών για αναπροσαρμογή του πρωτοτύπου. Επιπλέον, ο μηχανικός σχεδιασμός συνδέεται με τα αντίστοιχα επιστημολογικά και

κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα, το αντίστοιχο περιεχόμενο ΦΕ και Μαθηματικών, και την ομαδική εργασία μεταξύ των μελών (Moore κ.ά., 2017; Roehrig κ.ά., 2021).

Αναφορικά με το πεδίο της Τεχνολογίας, ορισμοί για τον σχεδιασμό εμφανίζουν ομοιότητες με τους αντίστοιχους στη Μηχανική (Quinn κ.ά., 2020). Παρά ταύτα, ο σχεδιασμός θεωρείται ότι σχετίζεται περισσότερο με το πεδίο της Μηχανικής, ενώ το πεδίο της Τεχνολογίας συνδέεται περισσότερο με πιο ντετερμινιστική εργασία (Murphy κ.ά., 2015). Επίσης ο σχεδιασμός στο πεδίο της Μηχανικής συχνά ενσωματώνει την αισθητική και τη δημιουργικότητα πιο ενεργά σε σχέση με σχεδιασμό από μη-Μηχανικά επαγγέλματα που εστιάζουν σε πιο πρακτικά ζητήματα (Pleasant & Olson, 2019).

Αντίστοιχα, στο πεδίο των ΦΕ και δη της Χημείας, η διαδικασία του σχεδιασμού σχετίζεται με τη δημιουργία υλοποίηση στρατηγικών για την ανάλυση, σύνθεση ή μετατροπή ουσιών προκειμένου να επιλυθούν τα ζητούμενα προβλήματα (Sevian & Talanquer, 2014). Γενικότερα, ο σχεδιασμός στις ΦΕ σχετίζεται με σχεδιασμό ή βελτίωση πειραματικών διατάξεων (Beier κ.ά., 2019; Stammes κ.ά., 2020). Παρά ταύτα, εκπαιδευτικοί ΦΕ συχνά δεν συνδέουν τον σχεδιασμό ως εκπαιδευτικό στόχο, αλλά χρησιμοποιούν τις δραστηριότητες σχεδιασμού σαν μια παιδαγωγική προσέγγιση για να μάθουν οι μαθητές επιστημονικό περιεχόμενο ή ερευνητικές πρακτικές (Stammes et al., 2020).

Τα Μαθηματικά είθισται να χρησιμοποιούνται σε διαδικασίες σχεδιασμού σε άλλα πεδία (Wittmann, 1995). Συχνά όμως η χρήση τους αντιπροσωπεύει μια μάλλον χρηστική χρήση, μια πρακτική που έχει λάβει κριτική επειδή δεν λαμβάνει υπόψιν τις βαθύτερες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πεδίων. Αντίστροφα, στην εκπαίδευση των Μαθηματικών οι υπόλοιπες επιστήμες χρησιμοποιούνται ως μοντέλα εφαρμογής, κάτι που περιθωριοποιεί ιστορικά και επιστημολογικά στοιχεία κατά την εξέλιξή τους (Tzanakis, 2016) καθώς και τη σημασία του δημιουργικού σχεδιασμού σε εννοιολογικές και πρακτικές καινοτομίες (Wittmann, 1995). Εν αντιθέσει, ο Wittmann (1995) προτείνει τη συμπερίληψη των Μαθηματικών ως σχεδιαστική επιστήμη, όπου τα ‘τεχνητά προϊόντα’ είναι διδακτικές ενότητες, προγράμματα σπουδών, και διερευνήσεις της αποτελεσματικότητάς τους στις εκάστοτε εκπαιδευτικές ‘οικολογίες’.

Γενικότερα, στα πεδία των ΦΕ και Μαθηματικών γίνεται εστίαση στον σχεδιασμό και ανάπτυξη εννοιολογικών συστημάτων αντί για τεχνουργήματα ή εργαλεία στα οποία έχουν εφαρμοστεί τα εννοιολογικά συστήματα αυτά (Lesh & Sriraman, 2005). Εντούτοις, πολλοί ερευνητές αμφισβητούν αυτόν τον διαχωρισμό μεταξύ ‘θεωρητικών/αφαιρετικών’ και ‘εφαρμοσμένων’



επιστημών/επιστημών σχεδιασμού, τουλάχιστον στο πλαίσιο της STEM διασύνδεσης (Nathan κ.ά., 2013; Wittmann, 1995), ενώ απαιτούνται διασυνοριακές μεταβάσεις και πρακτικές (Akkerman & Bakker, 2011).

Υπό το πρίσμα των παραπάνω ζητημάτων, προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης δύνανται να συνεισφέρουν στην εκπαίδευση εκπαιδευτικών στον STEM σχεδιασμό. Ειδικότερα, η μακροπρόθεσμη εμπλοκή των εκπαιδευτικών στην εξέταση των πρακτικών τους με βάση σχεδιαστικές αρχές και με κατάλληλες πηγές προωθεί την ενασχόλησή τους και την κυριότητα (ownership) στην ανάπτυξη και χρήση καινοτομιών (Bannan-Ritland, 2014). Παράλληλα, η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών κατά τον σχεδιασμό διδακτικού υλικού μπορεί να αποφέρει περισσότερες σχεδιαστικές δράσεις, περισσότερη χρήση ψηφιακών μέσων και πηγών, και περισσότερο χρόνο ενασχόλησης και φάσεις προσαρμογής του υλικού από τις ομάδες εκπαιδευτικών σε σύγκριση με ατομικές προσπάθειες (de Jong κ.ά., 2021).

## **2.4) Αντιλήψεις εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM**

### ***2.4.1) Έρευνες για τις Αντιλήψεις των Εκπαιδευτικών στη Εκπαίδευση STEM***

Ένα ισχυρό γνωσιακό υπόβαθρο για το STEM πρέπει να συνοδεύεται από θετικές στάσεις και πεποιθήσεις για τη Εκπαίδευση STEM προκειμένου να καρποφορήσει η εφαρμογή του STEM (Peters-Burton & Knight, 2022). Οι Kurup κ.ά. (2019) μελετώντας τις αντιλήψεις και τις πεποιθήσεις των μελλοντικών εκπαιδευτικών για το STEM, βρήκαν ότι οι εκπαιδευτικοί είναι πολύ θετικά προσκείμενοι στο να διδάξουν STEM στην τάξη τους, Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί θεωρούν μια διδασκαλία που διασυνδέει πεδία ως καρποφόρα αλλά και ενδιαφέρουσα για τους μαθητές (Margot & Ketler, 2019).

Αναφορικά με τους παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν θετικά τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το STEM είναι η STEM επαγγελματική ανάπτυξη, ο επαρκής χρόνος προετοιμασίας και η υποστήριξη από φορείς εκπαίδευσης (Hackman κ.ά., 2021).

Αντίστοιχα, έχει μελετηθεί παράλληλα η επιρροή των χαρακτηριστικών των εκπαιδευτικών στις αντιλήψεις τους για το STEM. Υπό αυτό το πρίσμα, η προεμπειρία των εκπαιδευτικών σε δραστηριότητες επίλυσης προβλήματος φαίνεται να ενισχύει τις θετικές αντιλήψεις τους για το όφελος των STEM επιμορφώσεων (Affouneh κ.ά., 2020). Αντίθετα, τα χρόνια προϋπηρεσίας στην

εκπαίδευση δεν φαίνεται να επηρεάζουν στη κατανόηση της STEM διασύνδεσης καθώς και στη προδιάθεση για το STEM σύμφωνα με την βιβλιογραφική επισκόπηση των Margot & Ketler (2019), ενώ σύμφωνα με την έρευνα των Al Salami κ.ά. (2017) οι πιο έμπειροι εκπαιδευτικοί τείνουν να αναπτύσσουν πιο αρνητικές στάσεις προς τη διεπιστημονική διδασκαλία. Αμφίσημα αποτελέσματα επίσης υφίστανται ως προς την επιρροή της ηλικίας και του φύλου. Συγκεκριμένα, οι Nadelson κ.ά. (2013) βρήκαν ότι σε μια από τις δύο ομάδες μελέτης υπήρξαν θετικότερες στάσεις για την ενσωμάτωση της Μηχανικής στην τάξη όσο αυξανόταν η ηλικία των εκπαιδευτικών. Αναφορικά με το φύλο, ορισμένες έρευνες δείχνουν ότι οι γυναίκες εκπαιδευτικοί έχουν συγκριτικά πιο αρνητικές στάσεις για το STEM (Park κ.ά., 2016), ενώ άλλες δείχνουν ότι δεν υπάρχουν διαφορές (Hackman κ.ά., 2021) ή ό,τι οι διαφορές μπορούν να αναστραφούν κατά τη διάρκεια μιας επιμόρφωσης (Al Salami κ.ά., 2017). Επιπλέον, η έρευνα των Hackman κ.ά. (2021) έδειξε ότι οι εκπαιδευτικοί που εργάζονται σε ιδιωτικά σχολεία είχαν συγκριτικά πιο θετικές στάσεις για το STEM απ' ό,τι οι συνάδελφοί τους στα δημόσια. Οι συγγραφείς ερμήνευσαν το αποτέλεσμα αυτό στο ότι στα ιδιωτικά συνήθως υπάρχουν καλύτερες υλικοτεχνικές υποδομές, μικρότερος αριθμός μαθητών ανά τάξη, αλλά και πιο υποστηρικτικοί διευθυντές σε εκπαιδευτικές καινοτομίες. Ακόμα, αναφορικά με τη βαθμίδα εκπαίδευσης, η STEM προσέγγιση θεωρείται απαιτητική, ιδιαίτερα για τους εκπαιδευτικούς Γυμνασίου. Απ' την άλλη, οι εκπαιδευτικοί λυκείου, παρόλο που νιώθουν πιο πολύ αυτοπεποίθηση και ευχαρίστηση στο να διδάξουν STEM (Hackman κ.ά., 2021), αντιμετωπίζουν πολύ περισσότερα προβλήματα στο να εντάξουν διεπιστημονικά προγράμματα σπουδών (Margot & Ketler, 2019).

Δυσκολίες που αναγνωρίζουν οι εκπαιδευτικοί στη Εκπαίδευση STEM σχετίζονται επίσης με δυσκολίες σε γνώση περιεχομένου σε άλλα πεδία (Affouneh κ.ά., 2020; Roehrig κ.ά., 2012; Ryu κ.ά., 2019), καθώς και έλλειψη δεξιοτήτων του να διδάξουν με διεπιστημονικό τρόπο (Affouneh κ.ά., 2020). Σε σχέση με τις διδακτικές στρατηγικές, συχνά οι εκπαιδευτικοί δεν νιώθουν άνετα και σιγουριά στο να διδάσκουν ένα μάθημα για το οποίο δεν γνωρίζουν τι κατεύθυνση θα πάρει βάσει των επιλογών των μαθητών τους (Stohlman κ.ά., 2012), ενώ θεωρούν ότι απαιτούνται ριζικές αλλαγές στην αφομοίωση παιδαγωγικών μεθόδων κατάλληλων για STEM διδασκαλία, κάτι που δεν είναι πάντα θεμιτό από τους εκπαιδευτικούς (Margot & Ketler, 2019). Αναφορικά με τα διδακτικά μέσα, οι εκπαιδευτικοί δεν νιώθουν άνετα στο να γίνεται χρήση υλικών και εργαλείων που δεν έχουν προετοιμαστεί και εξοικειωθεί οι ίδιοι (Stohlman κ.ά., 2012).

Δυσκολίες οι εκπαιδευτικοί επιπλέον αναγνωρίζουν στο πώς θα αξιολογήσουν τους μαθητές τους στο STEM, ιδιαιτέρως στο πώς να εξατομικεύσουν την αξιολόγηση μεμονωμένων μαθητών στα πλαίσια μιας ομαδικής STEM εργασίας (Herro & Quigley, 2017).

Η έλλειψη διαθέσιμου διδακτικού χρόνου που έχουν οι εκπαιδευτικοί είναι ακόμη μια δυσκολία στην εφαρμογή διδασκαλιών STEM (Roehrig κ.ά., 2012; Ryu κ.ά., 2019), ενώ κάποιιοι εκπαιδευτικοί δήλωσαν έλλειψη προσωπικού χρόνου για επιμόρφωση σε νέα αντικείμενα (Affouneh κ.ά., 2020). Δυσκολίες δηλώνουν οι εκπαιδευτικοί και αναφορικά με τα Αναλυτικά Προγράμματα και τον σωστό χρονισμό μεταξύ μαθημάτων. Συγκεκριμένα, θεωρούν πως αν τα αντίστοιχα κεφάλαια των μαθημάτων προς σύνδεση διδάσκονταν την ίδια χρονική περίοδο θα διευκόλυνε τη STEM διδασκαλία τους (Herro & Quigley, 2017).

Επιπλέον δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι εκπαιδευτικοί σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα διδακτικού υλικού, χρηματοδότηση και υλικοτεχνικές υποδομές, διδακτικές μέθοδοι, επιμόρφωση και προετοιμασία εκπαιδευτικού (Geng κ.ά., 2019; Hackman κ.ά., 2021). Παράλληλα, γενικότερες δυσκολίες που σχετίζονται με την εκπαιδευτική κουλτούρα εντοπίζονται, καθώς κάποιιοι εκπαιδευτικοί δεν είναι θετικά προσκείμενοι στο να αλλάξουν την παραδοσιακού τρόπου διδασκαλία τους (Ryu κ.ά., 2019).

#### ***2.4.2) Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών για τη STEM Διασύνδεση***

Οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τη διασύνδεση των πεδίων και πώς αυτή μπορεί να υλοποιηθεί ποικίλουν (Asghar κ.ά., 2012; Dare κ.ά., 2019; Wong κ.ά. 2016). Η διασύνδεση των πεδίων θεωρείται από τους εκπαιδευτικούς γενικότερα ως μια απαιτητική διαδικασία (Margot & Ketler, 2019). Οι εκπαιδευτικοί στερούνται κατανόησης του πώς να διασυνδέσουν τα πεδία καθώς και παιδαγωγικών πρακτικών στο να ενσωματώσουν ρεαλιστικές καταστάσεις/πραγματικού κόσμου (Kucup κ.ά., 2019). Ακόμα, οι εκπαιδευτικοί εκφράζουν ανησυχίες για το αν θα μπορέσουν να καλύψουν τις γνώσεις που απαιτούνται σε άλλα πεδία, και για αυτό το λόγο τείνουν να προσαρμόζουν τη διδασκαλία τους μόνο σε συγκεκριμένο περιεχόμενο άλλων επιστημών όπου έχουν εκπαιδευτεί (Asghar κ.ά., 2012). Οι εκπαιδευτικοί επίσης στερούνται παραδείγματα πρότυπων STEM εκπαιδευτικών ώστε να μπορούν να τους παρατηρήσουν και να αφομοιώσουν τις πρακτικές τους STEM διασύνδεσης (Ryu κ.ά., 2019).

Αναφορικά με διαφοροποιήσεις αναφορικά με τις ειδικότητες των εκπαιδευτικών, οι Al Salami κ.ά. (2017) παρατήρησαν ότι οι εκπαιδευτικοί ΦΕ αν και εισήλθαν στο πρόγραμμα επιμόρφωσης με συγκριτικά θετικότερες στάσεις για τη διεπιστημονικότητα, εντούτοις στο τέλος του προγράμματος έφυγαν με μικρότερο βαθμό ικανοποίησης από το πρόγραμμα και μεγαλύτερη αντίσταση στο να αλλάξουν πρακτικές. Εν αντιθέσει, στους εκπαιδευτικούς Τεχνολογίας/Μηχανικής και Μαθηματικών παρατηρήθηκαν θετικές αλλαγές σε όλους τους τομείς μελέτης.

Ένα ακόμα σύνηθες μοτίβο που προκύπτει κατά τη STEM διασύνδεση είναι ότι δεν φαίνεται να δίνεται ίση έμφαση σε όλα τα S-T-E-M πεδία από τους εκπαιδευτικούς, καθώς το status των επιστημών δεν θεωρείται να είναι το ίδιο (Wong κ.ά., 2016). Για παράδειγμα, οι εκπαιδευτικοί ΦΕ και Μαθηματικών στην έρευνα των Wong κ.ά. (2016) θεώρησαν τις ΦΕ και τα Μαθηματικά ως πεδία έχοντα υψηλότερο status.

Παρ' όλ' αυτά, οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι τα Μαθηματικά αποκτούν δευτερεύοντα ρόλο στη STEM διασύνδεση των πεδίων (Ring-Wallen κ.ά., 2018). Οι εκπαιδευτικοί Μαθηματικών ειδικότερα αισθάνονται ότι τα Μαθηματικά περιθωριοποιούνται, γίνονται απλώς ένα κομμάτι των ΦΕ, δεν γίνονται ρητώς αντιληπτά μέσα από διδασκαλίες STEM, ενώ ορισμένοι αισθάνονται ότι είναι 'ρίσκο' και 'κινδυνοφόρο' το να γίνουν μέρος της διδασκαλίας STEM τα Μαθηματικά (Wong κ.ά., 2016).

Ακόμα όμως και μεταξύ των ΦΕ, κάποιοι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι η Βιολογία ή Χημεία διασυνδέεται δύσκολα με τα άλλα πεδία (Asghar κ.ά., 2012). Οι εκπαιδευτικοί στις διασυνδέσεις που αναφέρουν με το πεδίο των ΦΕ, είθισται να αναφέρουν τη διατύπωση ερωτημάτων ή τη διεξαγωγή πειραμάτων. Σε αυτό όμως εμφανίζεται πρόβλημα στο γεγονός ότι δεν είναι πάντα ξεκάθαρη η σύνδεση του περιεχομένου ΦΕ που αναφέρουν με τις δραστηριότητες που σχεδιάζουν (Bartels κ.ά., 2019).

Αναφορικά με το πεδίο της Τεχνολογίας, οι εκπαιδευτικοί Τεχνολογίας θεωρούν ότι αποτελεί ένα πρόσφορο έδαφος για τη διασύνδεση όλων των άλλων πεδίων (Asghar κ.ά., 2012). Οι εκπαιδευτικοί τείνουν να διασυνδέουν την Τεχνολογία μέσω πολλών και διαφορετικών τρόπων (Bartels κ.ά., 2019; Luft κ.ά., 2022). Παρ' όλ' αυτά, παρατηρείται μια ασάφεια στους εκπαιδευτικούς για το τι θεωρείται Τεχνολογία σε σχολικό επίπεδο, συγκεκριμένα για το αν

σχετίζεται με τον Τεχνολογικό Σχεδιασμό, τις ΤΠΕ, ένα συνδυασμό των δύο ή τίποτα από αυτά (Wong κ.ά., 2016).

Οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι η ενσωμάτωση της Μηχανικής στη διδασκαλία των ΦΕ αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών (Dare κ.ά., 2014). Ακόμα, οι εκπαιδευτικοί επίσης θεωρούν ότι η ενσωμάτωση πρακτικών δεξιοτήτων Μηχανικής όπως η αντιμετώπιση αστοχιών και δυσκολιών κατά τη σχεδίαση-κατασκευή είναι χρήσιμα στοιχεία που προσφέρονται μέσω της Μηχανικής στο STEM (Margot & Ketler, 2019). Συχνά, όμως, οι εκπαιδευτικοί ΦΕ δεν συνδέουν ρητά το εννοιολογικό περιεχόμενο των ΦΕ στη λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων Μηχανικής (Dare κ.ά., 2014). Επίσης, συχνά οι αντιλήψεις που έχουν οι εκπαιδευτικοί για το τι είναι και πώς εφαρμόζεται η Μηχανική διαφέρουν (Bartels κ.ά., 2019).

Συνεπώς, ένα πρόβλημα που αναδεικνύεται είναι ότι οι εκπαιδευτικοί καλούνται μεν να διδάξουν STEM, χωρίς όμως να υπάρχει επαρκή γνώση για το πώς τα επιμέρους πεδία συγκρίνονται, συσχετίζονται και αλληλοσυμπληρώνονται (Quinn κ.ά., 2020), χωρίς να έχουν οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί επαρκή αντίληψη για το πώς διασυνδέονται τα πεδία (Bartels κ.ά. 2019), και χωρίς οι ερευνητές να έχουν επαρκή γνώση για το πώς οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται αυτές τις σχέσεις και δημιουργούν διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων (Ring κ.ά., 2017).

#### **2.4.3) Αντιλήψεις για Μοντέλα STEM Διασύνδεσης**

Ελάχιστες έρευνες έχουν μελετήσει τις αντιλήψεις των ιδίων των εκπαιδευτικών για συγκεκριμένα μοντέλα STEM διασύνδεσης (Ring κ.ά., 2017), δηλαδή για το πώς οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται ότι λειτουργεί το STEM ως διδακτική προσέγγιση. Το κομμάτι αυτό θα λέγαμε ότι σχετίζεται με την έρευνα για τη Φύση του STEM, λαμβάνοντας υπόψιν όμως την αντίληψη των ατόμων που ασκούν τη διδασκαλία στην τάξη, ήτοι των εκπαιδευτικών.

Στην έρευνα των Bartels κ.ά. (2019), μελλοντικοί εκπαιδευτικοί Αθμιας εκπαίδευσης αναγνώρισαν ως κεντρικά χαρακτηριστικά εφαρμογής της STEM προσέγγισης τα εξής (με φθίνουσα συχνότητα): α) το να φτιάξουν οι μαθητές ένα σχέδιο και να κατασκευάσουν ένα πρωτότυπο, β) το να κάνουν διαδραστικές (hands-on) δραστηριότητες, γ) το να αναστοχαστούν για το πώς το STEM συνδέεται με το υπάρχον μάθημα, δ) το να συλλέξουν δεδομένα, ε) το να ξεκινήσει το μάθημα με μία ερώτηση, και στ) το να κάνουν οι μαθητές παρατηρήσεις.

Αντίστοιχα, οι Ring κ.ά. (2017) μελέτησαν τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών ΦΕ για τη STEM διασύνδεση μέσα από αναστοχαστικές συνεντεύξεις κατά τη διάρκεια ενός θερινού προγράμματος επαγγελματικής ανάπτυξης διάρκειας τριών εβδομάδων. Συγκεκριμένα, μελέτησαν τις σχηματοποιήσεις που παρήγαγαν οι εκπαιδευτικοί προσπαθώντας να αναπαραστήσουν την αντίληψή τους για το τι είναι STEM, καθώς και τις λεκτικές περιγραφές τους για τα μοντέλα αυτά (βλ. και Παράρτημα Π3). Ως αποτέλεσμα μιας ανάλυσης βασισμένης στη συνεχούς συγκριτική μέθοδο (constant comparative method), προέκυψαν τα παρακάτω 8 διαφορετικά STEM μοντέλα, όπως παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχήμα 2.3 και περιγράφονται λεκτικά παρακάτω:

Μοντέλο Α. Παραδοσιακά μοντέλα στα οποία οι Φυσικές Επιστήμες και/ή τα Μαθηματικά διδάσκονται σε ξεχωριστά μαθήματα με μικρή έμφαση στον ρόλο της Τεχνολογίας/Πληροφορικής και των παιδαγωγικών πρακτικών Μηχανικής (Engineering)

Μοντέλο Β. Μοντέλα που αναπαριστούν την Εκπαίδευση STEM να εστιάζει στη διασύνδεση μεταξύ σχολείου και του πραγματικού κόσμου, με το να παρέχει πλαίσια που κάνουν το STEM περιεχόμενο σχετικό με την καθημερινότητα των παιδιών.

Μοντέλο Γ. Μοντέλα που αναπαριστούν την Εκπαίδευση STEM ως τη διδασκαλία επιστημονικών εννοιών (Φυσικών Επιστημών) ενώ ανακαλούνται η Τεχνολογία/Πληροφορική, η Μηχανική (Engineering) και τα Μαθηματικά, όταν απαιτείται.

Μοντέλο Δ. Μοντέλα που απεικονίζουν μεμονωμένα πεδία, τα οποία περιλαμβάνουν άλλα πεδία έχοντας υποστηρικτικό ρόλο, αλλά δεν διασυνδέουν μεταξύ τους τα πεδία νοηματικά/με ουσιώδη τρόπο.

Μοντέλο Ε. Μοντέλα που έχουν στοιχεία στα οποία αναπαριστούν τη συμβολή των διδασκαλιών Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας/Πληροφορικής, Μηχανικής, Μαθηματικών.

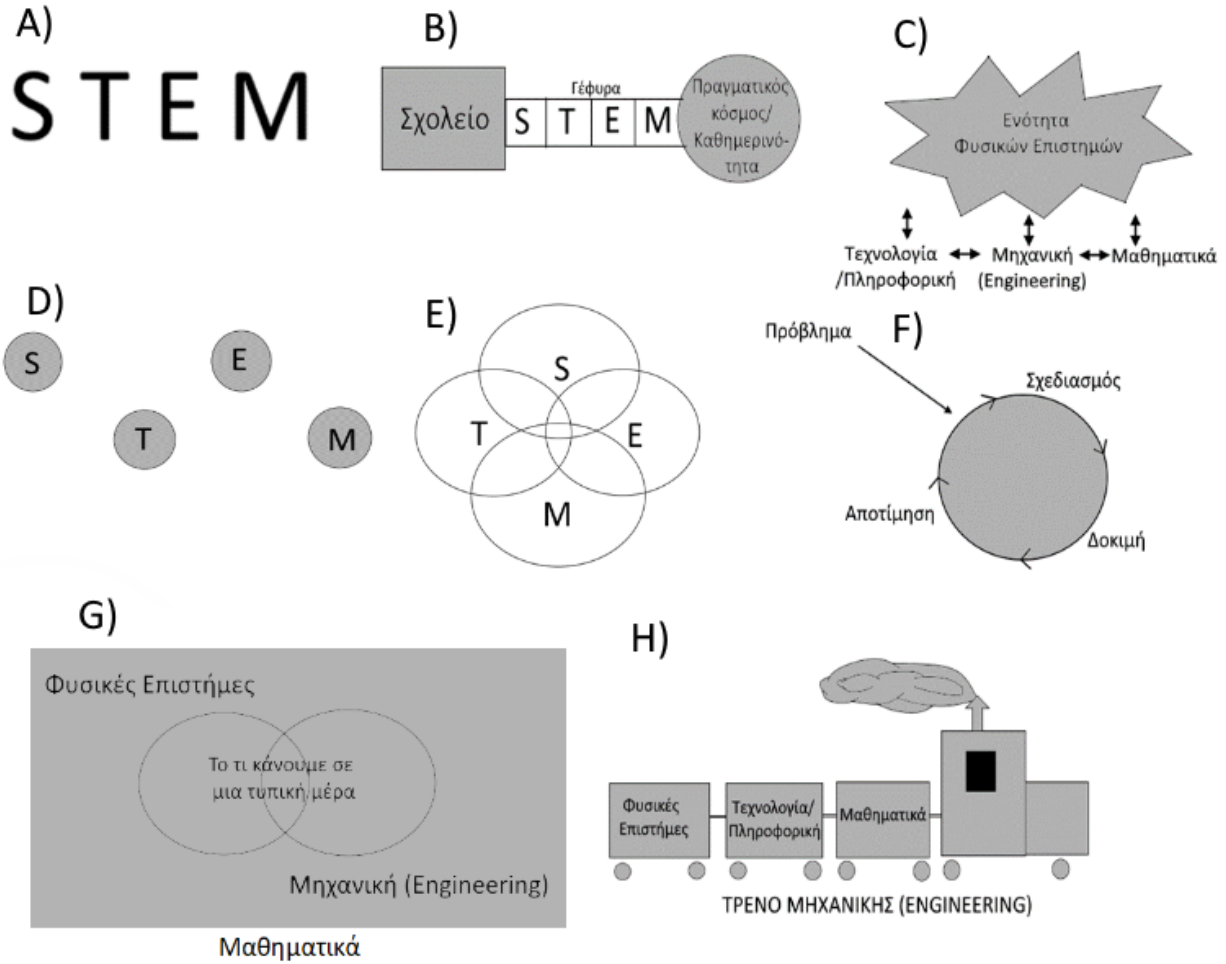
Μοντέλο Φ. Μοντέλα που εστιάζουν στην αναδρομική διαδικασία/έλικα του Μηχανικού (Engineering) σχεδιασμού ως τη διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές μαθαίνουν έννοιες Φυσικών Επιστημών και Μαθηματικών με τη χρήση Τεχνολογίας/Πληροφορικής.

Μοντέλο Γ. Μοντέλα που τοποθετούν ίση έμφαση στη διδασκαλία εννοιών Φυσικών Επιστημών και διαδικασίας/έλικας Μηχανικού (Engineering) σχεδιασμού, με το να χρησιμοποιούν την Τεχνολογία/Πληροφορική ή Μαθηματικές έννοιες όπου χρειάζεται.

Μοντέλο Η. Μοντέλα που αναπαριστούν μια έμφαση στη Μηχανική (Engineering), όπου ανακαλούνται οι Φυσικές Επιστήμες, Τεχνολογία/Πληροφορική, Μαθηματικά όπως χρειάζεται.

## Σχήμα 2.3

Τα Μοντέλα STEM Διασύνδεσης των Εκπαιδευτικών



Οι Ring κ.ά. (2017) επίσης παρατήρησαν αλλαγές στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών κατά τη διάρκεια της επιμόρφωσης. Αναλυτικότερα, οι αναπαραστάσεις των εκπαιδευτικών έτειναν να γίνονται πιο σύνθετες/πλούσιες καθώς το πρόγραμμα εξελισσόταν, κάτι που ερμηνεύτηκε στο ότι η εμπλοκή των εκπαιδευτικών με το STEM απέφερε πιο καλλιεργημένες και βαθύτερες αντιλήψεις για το STEM. Συνολικά, τα επικρατέστερα μοντέλα ήταν το μοντέλο διασύνδεσης πεδίων (E), το μοντέλο Μηχανικής ως πλαίσιο (H) και το μοντέλο που εστιάζει στη σύνδεση με ρεαλιστικά προβλήματα (B).

Κατ' επέκταση, οι Dare κ.ά. (2019) ζήτησαν από εκπαιδευτικούς ΦΕ να ιεραρχήσουν τα παραπάνω 8 μοντέλα STEM διασύνδεσης σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους και να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους. Η έρευνα αυτή ανέδειξε τα μοντέλα σύνδεσης με ρεαλιστικά προβλήματα (B), ΦΕ ως πλαίσιο (C) και μοντέλα διασύνδεσης πεδίων (E) ως τα πλέον προτιμητέα. Παρά του γεγονότος ότι όλοι οι εκπαιδευτικοί δίδασκαν ΦΕ, εντούτοις μεγάλο μέρος απέρριψε μοντέλα που είχαν κάποιο πεδίο ως κυρίαρχο (π.χ. C, H). Ακόμα, οι εκπαιδευτικοί εγκολλώθηκαν μοντέλα που τους έδιναν κάποιας μορφής ευελιξία, όπως το μοντέλο E. Απ' την άλλη, οι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν στις αναπαραστάσεις μοντέλων μια έλλειψη συγκεκριμένων παιδαγωγικών πρακτικών στο πώς να διδάξουν STEM στην τάξη.

Οι παραπάνω σχηματοποιήσεις μοντέλων σε συνδυασμό με την ανάλυση των λεκτικών τους περιγραφών αποτέλεσαν ένα καρποφόρο 'όχημα' ώστε να αναπτύξουν οι εκπαιδευτικοί τις αντιλήψεις τους για το STEM (Dare κ.ά., 2019). Παρ' όλ' αυτά, απουσιάζουν έρευνες οι οποίες μελετούν τις αντιλήψεις για STEM μοντέλα των εκπαιδευτικών προερχόμενοι από τα υπόλοιπα S-T-E-M πεδία, πλην των ΦΕ. Παρομοίως, απουσιάζει η επιχειρηματολογία της επιλογής STEM μοντέλων από εκπαιδευτικούς των υπολοίπων S-T-E-M πεδίων, έτσι ώστε να μελετηθούν τυχόν ομοιότητες και διαφορές, καθώς και η γενικότερη επιρροή της ειδικότητας των εκπαιδευτικών στην αντίληψη για τη STEM διασύνδεση.

## **2.5) Συνεργατική μάθηση**

### **2.5.1) Έρευνες για τη Συνεργατική Μάθηση**

Μέσω της συνεργασίας δίνεται η δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να ανοιχτούν και να εκθέσουν ρητά τις πρακτικές τους στους συναδέλφους τους. Ταυτόχρονα, τους δίνεται η δυνατότητα να μοιραστούν πηγές, διδακτικά εργαλεία, καθώς και να προωθήσουν δημιουργική συζήτηση ως προς ενδεχόμενα αποτελέσματα από τη χρήση των εργαλείων και διδακτικών στρατηγικών στην τάξη (Thompson κ.ά., 2019). Ακόμα, η συνεργασία μπορεί να βοηθήσει τα μέλη να μοιραστούν, να διαπραγματευτούν και να διατηρήσουν νοήματα καθώς και ένα κοινό επίπεδο κατανόησης μέσα από ομαδικές δραστηριότητες (Wang κ.ά., 2020).

Στα πλαίσια της STEM διασύνδεσης, η συνεργασία μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση των ιδιαιτεροτήτων κάθε επιστημονικού πεδίου, τις ασυμβατότητες μεταξύ επιστημονικών οπτικών σε επίπεδο εννοιών αλλά και σε γλωσσολογικό επίπεδο και κατ' επέκταση τη δημιουργία ενός κοινού



επιπέδου κατανόησης και επικοινωνίας (Barelli κ.ά., 2022; Kähkönen κ.ά., 2016; Kelley & Knowles, 2016). Επίσης, μέσω της συνεργασίας δίνεται η δυνατότητα να καλλιεργηθεί η ‘επιστημονική επάρκεια’ στους εκπαιδευτικούς, δηλαδή στοιχειώδους κατανόησης των γνώσεων, μεθόδων, ρητών και υπόρρητων παραδοχών στα υπόλοιπα S-T-E-M πεδία (Kähkönen κ.ά., 2016; NRC, 2014). Στο πλαίσιο αυτό, συνιστάται η δημιουργία διεπιστημονικών ομάδων από εκπαιδευτικούς διαφορετικών ειδικοτήτων (Asghar κ.ά., 2012; Kähkönen κ.ά., 2016; Roehrig κ.ά., 2012). Συγκεκριμένα, η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών διαφορετικών ειδικοτήτων μπορεί να συνδράμει στην αντιμετώπιση των ελλείψεων σε γνώσεων περιεχομένου σε διάφορα επιστημονικά πεδία, που είναι ένα σημαντικό εμπόδιο στην Εκπαίδευση STEM (Stohlman κ.ά. 2012, Wang κ.ά. 2011). Παρομοίως και για την εκπαίδευση μαθητών, όπου παρατηρείται ότι η δημιουργία συνεργατικών ομάδων με ετερογενή χαρακτηριστικά και ρόλους αλλά με ομοιογενή κοινωνικές αλληλεπιδράσεις αποδίδουν καλύτερα μαθησιακά οφέλη (Chen & Kuo, 2019; Jiang κ.ά., 2019).

Ακόμα, η κοινωνική αλληλεπίδραση μπορεί να βοηθήσει τα μέλη της ομάδας να αναπτύξουν δεξιότητες επιχειρηματολογίας καθώς και μεταγνωσιακές δεξιότητες, καθώς μειώνεται το γνωσιακό ‘φορτίο’ και έτσι οι εκπαιδευτικοί μπορούν να εστιάσουν περισσότερο σε διαδικασίες σχεδιασμού, επίβλεψης, ελέγχου και αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, η αλληλεπίδραση μεταξύ μελών βοηθάει στη βελτίωση της μνήμης τους μέσω της καλύτερης και πιο ολοκληρωμένης ανταλλαγής γνώσεων, κάτι που συμβάλλει σε βελτιωμένα μαθησιακά αποτελέσματα (Mathabathe & Potgieter, 2017; Wang κ.ά., 2020). Περαιτέρω πρόοδος παρατηρείται όταν δίνεται στους εκπαιδευτικούς να συνεργαστούν μέσα από επαναλαμβανόμενες συνεδρίες/κύκλους (Thompson κ.ά., 2019).

Η συνεργασία και καθοδήγηση από συναδέλφους (Sgouros & Stavrou, 2019), μέντορες (Michailidi & Stavrou, 2022), STEM ειδικούς (Enderson κ.ά., 2020) καθώς και STEM ακαδημαϊκό προσωπικό (Moore & Smith, 2014) δύνανται να συμβάλλουν σε ποιοτικότερη εκπαίδευση εκπαιδευτικών στο STEM. Όμως, είναι απαραίτητο τα υποστηρικτικά αυτά άτομα να μπορούν να συνεργαστούν σε ποικίλα πλαίσια, ειδάλλως ο ρόλος τους μπορεί να μην καρποφορήσει στην πράξη (Waight & Abd-El-Khalick, 2011). Επιπλέον, η μέθοδος της συνδιδασκαλίας μεταξύ εκπαιδευτικών διαφορετικών ειδικοτήτων μπορεί επίσης να επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα (Roehrig κ.ά., 2012).

Παράλληλα, διαδικτυακές κοινότητες μπορούν να προσφέρουν επιπλέον συνεργατική υποστήριξη προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αίσθηση ‘απομόνωσης’ που συχνά αισθάνονται οι εκπαιδευτικοί (Asghar κ.ά., 2012; Hernández-Sellés κ.ά., 2019).

Παρ’ όλ’ αυτά, ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ώστε η συζήτηση να οδηγηθεί σε βαθύτερες έννοιες και θεωρίες που υποστηρίζουν τη μάθηση, καθότι συχνά η συζήτηση εκπαιδευτικών παραμένει στο επίπεδο παιδαγωγικών πρακτικών εφαρμογής και διάδρασης στην τάξη (Thompson κ.ά., 2019). Ακόμα, χρειάζεται να γίνεται σωστή διαχείριση χρόνου από τους διαχειριστές/υπεύθυνους, οι οποίοι συχνά δεν είναι εκπαιδευμένοι στο να διευθύνουν συνεργασίες, και έτσι μπορεί να αναλώνουν αρκετό χρόνο σε διαδικαστικά ζητήματα (Jones κ.ά., 2013). Επίσης, προκειμένου να παρουσιαστεί πρόοδος μέσα από τη συνεργασία, χρειάζεται να δίνεται στους εκπαιδευτικούς να συνεργαστούν μέσα από επαναλαμβανόμενες συνεδρίες/κύκλους έτσι ώστε να μπορούν να αναθεωρήσουν/αναδιαμορφώσουν τις προσεγγίσεις, στόχους και εργαλεία τους (Thompson κ.ά., 2019).

### **2.5.2) Μαθησιακές Κοινότητες**

Οι Μαθησιακές Κοινότητες (ΜΚ) (Learning Communities) ή Κοινότητες Μάθησης (Communities of Learners) είναι μικρές ομάδες που εν γένει μπορεί να αποτελούνται από εκπαιδευτικούς, ερευνητές, μαθητές, ειδικούς, διευθυντές, κτλ. Οι ΜΚ είναι ένα πλαίσιο που ανήκει στις συμμετοχικές (participatory) προσεγγίσεις στην επιμόρφωση εκπαιδευτικών (Couso, 2016). Οι σκοποί των ΜΚ μπορεί να είναι, μεταξύ άλλων, η βελτίωση δεξιοτήτων διδασκαλίας και μάθησης, ο διαμοιρασμός ευθύνης και πρωτοβουλίας στην ανάπτυξη εκπαιδευτικών, η συμμετοχή σε επαγγελματικά καθοδηγούμενες συζητήσεις για τη διδασκαλία και μάθηση ενός εκπαιδευτικού (Elster, 2010), αλλά και ο κριτικός αναστοχασμός και διάλογος για την αλλαγή υφιστάμενων κοινωνικοπολιτικών δομών (Torres-Olave & Bravo González, 2021).

Τα τρία θεμελιώδη χαρακτηριστικά των ΜΚ είναι οι κοινοί στόχοι, η αμοιβαία ενασχόληση και τα κοινόχρηστα εργαλεία/ρεπερτόριο (Wenger, 1998). Αντίστοιχα, τα πέντε χαρακτηριστικά που καθιστούν τις ΜΚ ως ένα πρότυπο πλαίσιο επαγγελματικής ανάπτυξης σύμφωνα με τις Blonder & Vescio (2022) είναι: α) το ότι λειτουργούν σύμφωνα με κοινές νόρμες και αξίες, β) ότι τα μέλη μοιράζονται συνεργατικά την υπευθυνότητα και την εστίαση προς τη μάθηση των μαθητών, γ) ο αναστοχαστικός διάλογος με τον οποίο εμπλέκονται τα μέλη για τη διδακτική τους πρακτική αλλά

και τη μάθηση των μαθητών, δ) η υποκείμενη εστίαση στη συνεργατικότητα, και ε) το ότι οι εμπλεκόμενοι εκπαιδευτικοί διατίθενται να εκθέσουν και να εξετάσουν δημόσια τις διδακτικές τους πρακτικές.

Οι ΜΚ έχουν τη δυνατότητα να καλλιεργήσουν ένα κλίμα συνεργασίας και εμπιστοσύνης μεταξύ των μελών, κάτι που είναι απαραίτητο στοιχείο για την αποδοτική λειτουργία των ΜΚ (Couso, 2016; Torres-Olave & Bravo González, 2021). Επίσης, οι ΜΚ έχουν τη δυναμική να βελτιώσουν τη διδακτική πρακτική των εκπαιδευτικών (Thompson κ.ά., 2019). Στα πλαίσια της διεπιστημονικότητας, η εφαρμογή αυτοργανούμενων ΜΚ μπορεί να προωθήσει τη αντίληψη και εφαρμογή συνεργατικών διεπιστημονικών προσεγγίσεων ως την πλέον αποδοτική μέθοδο (Torres-Olave & Bravo González, 2021). Επίσης, οι ΜΚ μπορούν να δημιουργήσουν ένα πλαίσιο ώστε οι εκπαιδευτικοί να αναγνωρίσουν χρήσιμες πρακτικές και μαθησιακά αποτελέσματα για STEM διδασκαλία, αλλά και να αναγνωρίσουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των πεδίων (Kelley & Knowles, 2016).

Παρ' όλ' αυτά, προβλήματα μπορεί να προκύψουν κατά την εφαρμογή των ΜΚ, όπως η έλλειψη χρόνου, ο προσανατολισμός περισσότερο σε διαχειριστικά ζητήματα από τους συντονιστές, η πίεση από εξωτερικές αξιολογήσεις, καθώς και εν δυνάμει διαπροσωπικά προβλήματα (Jones κ.ά., 2013). Παράλληλα, δεν έχουν όλες οι ΜΚ τον κριτικό και διερευνητικό χαρακτήρα που απαιτείται σε μία ΜΚ (Couso, 2016), δημιουργώντας έτσι 'ψευδοκοινότητες'. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν τα μέλη τείνουν παθητικά να συμφωνούν με τις συγκλίνουσες απόψεις ή όταν δεν υπάρχει το κατάλληλο κλίμα εμπιστοσύνης και ομαδικότητας (Grossman, 2000). Συνεπώς, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός και καλλιέργεια του κατάλληλου κλίματος συνεργασίας, εμπιστοσύνης και κριτικού και δημιουργικού αναστοχασμού (Couso, 2016; Torres-Olave & Bravo González, 2021).

### ***2.5.3) Αντιλήψεις Εκπαιδευτικών για τη Συνεργασία***

Οι εκπαιδευτικοί δηλώνουν ότι η παροχή υποστήριξης και ο επαρκής χρόνος για συνεργασία είναι ένα από τα βασικά συστατικά ενός επιτυχημένου επιμορφωτικού προγράμματος (Affouneh κ.ά. 2019; Rockland κ.ά., 2010). Παράλληλα, η ενασχόληση εκπαιδευτικών με επιμορφώσεις για τη διεπιστημονικότητα μπορούν να καλλιεργήσουν θετικές τάσεις για συνεργασία (Al Salami κ.ά. 2017; Niryakis κ.ά. 2022; Tal κ.ά., 2001).

Ειδικότερα, οι εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι η συνεργασία μπορεί να βοηθήσει στην ενσωμάτωση άλλων επιστημονικών πεδίων, στην αναγνώριση θεμάτων/περιοχών όπου χρειάζονται επιπλέον γνώσεις που δεν έχουν, καθώς και στην καλλιέργεια διεπιστημονικού τρόπου σκέψης γενικότερα. Σε αυτό το πλαίσιο, οι εκπαιδευτικοί θεωρούν τη συνεργασία –συχνά επικουρούμενη από τεχνολογικά μέσα, ως μια καλή ευκαιρία να έρθουν σε επικοινωνία με ειδικούς σε άλλα επιστημονικά πεδία (Herro & Quigley, 2017).

Αναφορικά με τη βαθμίδα εκπαίδευση, οι εκπαιδευτικοί Βθμιας εκπαίδευσης γενικότερα θεωρούν σημαντική τη συνεργασία σε διεπιστημονικά πλαίσια. Σύμφωνα όμως με την έρευνα των Al Salami κ.ά. (2017) μια διαφοροποίηση παρατηρείται μεταξύ εκπαιδευτικών Γυμνασίου και Λυκείου. Οι πρώτοι ανέφεραν μόνο τη συνεργασία με συναδέλφους ενώ οι δεύτεροι ανέφεραν τη συνεργασία με ερευνητές.

Παρά τα οφέλη της συνεργασίας, εντούτοις, ορισμένοι εκπαιδευτικοί είναι αρνητικά προδιατεθειμένοι στο να ενσωματώσουν συνεργατικές δράσεις λόγω του ότι δεν θέλουν να αλλάξουν την υπάρχουσα δομή που διεξάγουν το μάθημα (Ryu κ.ά., 2018).

Συνολικά, οι παραπάνω έρευνες παρουσιάζουν αποτελέσματα για τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τη συνεργασία στα πλαίσια του STEM. Παρ' όλ' αυτά, παρατηρείται ένα κενό στη βιβλιογραφία για τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών συγκεκριμένα για συναδέλφους αναφορικά με το S-T-E-M επιστημονικό τους υπόβαθρο, αλλά και εξατομικευμένα χαρακτηριστικά συναδέλφων τους που συνεργάζονται.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3) ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1) Υλοποίηση της Έρευνας: Δείγμα

Η έρευνα υλοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπαιδευτικής δράσης *‘Σύγχρονα Ζητήματα Επιστήμης και Τεχνολογίας’*, η οποία σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μέσω της συνεργασίας του Εργαστηρίου Διδακτικής Θετικών Επιστημών (ΕΔΘΕ) του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης, του Εργαστηρίου Πληροφορικής στην Εκπαίδευση και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΕΠΕΔΦΕ) του Παιδαγωγικού Τμήματος Προσχολικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Κρήτης και του Περιφερειακού Κέντρου Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού (ΠΕΚΕΣ) Κρήτης. Η εκπαιδευτική δράση αφορούσε την επιμόρφωση εν ενεργεία εκπαιδευτικών Αθμιας (Προσχολικής & Δημοτικής) και Βθμιας εκπαίδευσης στην Εκπαίδευση STEM.

Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από 26 εκπαιδευτικούς Βθμιας εκπαίδευσης, οι οποίοι δήλωσαν εθελοντική συμμετοχή στην μετά από πρόσκληση που απηύθυνε το ΠΕΚΕΣ Κρήτης και το ΕΔΘΕ και ΕΠΕΔΦΕ του Πανεπιστημίου Κρήτης μέσω των δικτύων συνεργατών τους. Συνεπώς, το δείγμα της έρευνας χαρακτηρίζεται ως βολικό (Cohen κ.ά., 2009). Περισσότερα στοιχεία για τους εκπαιδευτικούς απεικονίζονται στον Πίνακα 3.1. Αθροιστικά το δείγμα αποτελούνταν από 10 εκπαιδευτικούς ΦΕ (4 Φυσικής, 2 Χημείας, 3 Βιολογίας και 1 Γεωλογίας), 5 Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών), 6 Μηχανικής (2 Ηλεκτρολόγοι Μηχ., 3 Ηλεκτρονικοί Μηχ., και 1 Αρχιτέκτονας Μηχ.) και 5 Μαθηματικών. Συνολικά 11 εκπαιδευτικοί δίδασκαν σε Γυμνάσια ενώ 15 σε Λύκεια.

Η κατανομή των εκπαιδευτικών σε τέσσερις ομάδες ΜΚ έγινε με βάση τα παρακάτω κριτήρια (κατά φθίνουσα σημασία): α) την συμπερίληψη τουλάχιστον ενός εκπαιδευτικού από καθένα από τα 4 STEM πεδία σε κάθε ΜΚ, β) τη βαθμίδα εκπαίδευσης (Γυμνάσιο-Λύκειο), γ) τον νομό του σχολείου που διδάσκει ή/και διαμένει, προκειμένου να διευκολυνθεί η δια ζώσης συνάντηση των ομάδων.

Για λόγους ανωνυμίας και συμβολισμού, έχουν αντικατασταθεί τα ονόματα των εκπαιδευτικών με δύο κεφαλαία λατινικά γράμματα και έναν αριθμό για κάθε εκπαιδευτικό. Το πρώτο γράμμα συμβολίζει την ομάδα ΜΚ που συγκαταλέχτηκε ο/η εκπαιδευτικός, ενώ το δεύτερο γράμμα συμβολίζει το επιστημονικό του/της υπόβαθρο/ειδικότητα. Για παράδειγμα, ο εκπαιδευτικός

συμβολιζόμενος ως AS1 είναι Φυσικών Επιστημών (Science) που συμμετείχε στην ομάδα Α. Όπου χρειάστηκε, οι ερευνητές Διδακτικής ΦΕ παραστάθηκαν με R1 και R2. Αναφορικά με περιπτώσεις όπου ο/η συμμετέχων/ουσα είχε διπλή ειδικότητα, π.χ. το πρώτο πτυχίο σπουδών του/της εκπαιδευτικού διέφερε με το αντικείμενο που δίδασκε ή ο/η εκπαιδευτικός είχε δύο πτυχία, κρίθηκε ως πρωτεύουσα ειδικότητα αυτή η οποία σχετίζεται με το μάθημα το οποίο δίδασκε τα τελευταία χρόνια στο σχολείο. Αναφορικά με τα σχολεία που υπηρετούσαν, 18 εκπαιδευτικοί υπηρετούσαν σε αστικά σχολεία (>10.000 κατοίκους), 7 σε επαρχιακά, και 1 ήταν αναπληρωτής παράλληλα και σε αστικό και σε επαρχιακό. Στον Πίνακα 3.1, οι εκπαιδευτικοί συμβολιζόμενοι με \* (BS2 και BT1) συμμετείχαν μόνο στις συναντήσεις σχεδιασμού τεχνουργημάτων (βλ. Κεφ. 3.2), καθώς διέκοψαν τη συμμετοχή τους στο πρόγραμμα μετά την έναρξη της περιόδου των περιορισμών λόγω Covid (9<sup>η</sup> συνάντηση της δράσης, Μάρτιος 2020).

### Πίνακας 3.1

*Συμμετέχοντες/ουσες Εκπαιδευτικοί*

Εκπαιδευτικός	Φύλο	Ειδικότητα/ες	Βαθμίδα εκπαίδευσης	Προϋπηρεσία στην εκπαίδευση (έτη)
AS1	άνδρας	Φυσικών Επιστημών (Φυσικός)	Γυμνάσιο	25
AS2	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Γεωλόγος)	Γυμνάσιο	5
AT1	άνδρας	Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	24
AE1	άνδρας	Μηχανικής (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	19
AE2	άνδρας	Μηχανικής (Ηλεκτρονικός Μηχανικός)	Γυμνάσιο	10
AM1	άνδρας	Μαθηματικών	Γυμνάσιο	22
BS1	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Φυσικός)	Γυμνάσιο	7
BS2*	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Βιολόγος)	Γυμνάσιο	-
BS3	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Φυσικός)	Γυμνάσιο	33
BS4	άνδρας	Φυσικών Επιστημών (Βιολόγος)	Γυμνάσιο	20
BT1*	άνδρας	Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών) (& Μαθηματικών)	Γυμνάσιο	-
BE1	άνδρας	Μηχανικής (Ηλεκτρονικός Μηχανικός)	Γυμνάσιο	8

BM1	άνδρας	Μαθηματικών	Γυμνάσιο	10
CS1	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Χημικός)	Λύκειο (Γενικό)	16
CS2	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Βιολόγος)	Λύκειο (Γενικό)	11
CT1	γυναίκα	Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών) (& Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	19
CE1	γυναίκα	Μηχανικής (Αρχιτέκτων Μηχανικός)	Λύκειο (Επαγγελματικό) & Γυμνάσιο	12
CE2	άνδρας	Μηχανικής (Ηλεκτρονικός Μηχανικός)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	23
CM1	γυναίκα	Μαθηματικών	Λύκειο (Γενικό)	18
DS1	άνδρας	Φυσικών Επιστημών (Φυσικής)	Λύκειο (Γενικό)	13,5
DS2	γυναίκα	Φυσικών Επιστημών (Χημικός) (& Επιστήμης Υπολογιστών)	Λύκειο (Γενικό)	19
DT1	γυναίκα	Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	14
DT2	γυναίκα	Τεχνολογίας (Επιστήμης Υπολογιστών)	Λύκειο (Γενικό)	20
DE1	άνδρας	Μηχανικής (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός)	Λύκειο (Επαγγελματικό)	20
DM1	γυναίκα	Μαθηματικών	Λύκειο (Γενικό)	8
DM2	γυναίκα	Μαθηματικών	Λύκειο (Γενικό)	20

Η προϋπηρεσία των εκπαιδευτικών γενικότερα στην εκπαίδευση βασίστηκε στις απαντήσεις των εκπαιδευτικών αναφορικά με τη συνολική τους προϋπηρεσία ως εκπαιδευτικοί, τόσο σε πλαίσια δημόσιας όσο και ιδιωτικής εκπαίδευσης.

Παράλληλα, κωδικοποιήθηκε η προϋπηρεσία των εκπαιδευτικών στη Εκπαίδευση STEM με βάση τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην αντίστοιχη ερώτηση (βλ. Παράρτημα Π3) και κατηγοριοποιήθηκε σε τρεις κλίμακες:

- μη έχοντες προϋπηρεσία στην εκπαίδευση STEM,
- έχοντες μερική προϋπηρεσία στην εκπαίδευση STEM: αφορά τους εκπαιδευτικούς που δήλωσαν ότι είχαν συμμετάσχει σε ένα STEM πρόγραμμα στο παρελθόν, καθώς επίσης και τους εκπαιδευτικούς που δήλωσαν ότι πραγματοποιούν διασυνδέσεις με άλλα επιστημονικά πεδία κατά την σχολική τους πρακτική ως εκπαιδευτικοί αλλά με υπόρρητο τρόπο και όχι με βάση τις θεωρητικές αρχές του STEM,

- έχοντες επαρκή προϋπηρεσία στην εκπαίδευση STEM: οι εκπαιδευτικοί που δήλωσαν ότι είχαν συμμετάσχει σε πάνω από ένα STEM πρόγραμμα στο παρελθόν.

Υπό αυτό το πρίσμα, στον Πίνακα 3.2 παρατηρούμε την προϋπηρεσία των εκπαιδευτικών στη STEM προσέγγιση, όπως αυτή προέκυψε από την ανάλυση των αυτοαναφορών τους για αυτή (βλ. Παράρτημα Π3).

### Πίνακας 3.2

*Προϋπηρεσία Εκπαιδευτικών στη STEM προσέγγιση*

Προϋπηρεσία στο STEM		
Επαρκής	Μερική	Καθόλου
AS1, AT1, BE1, CE2, DT1, DE1	AS2, AE1, AM1, BS3, BM1, CT1, CE1, CM1, DS1, DT2, DM2	AE2, BS1, BS4, CS1, CS2, DS2, DM1

### 3.2) Υλοποίηση της Έρευνας: Περιγραφή

Η παρούσα έρευνα μελέτησε το τμήμα της δράσης που αφορούσε την επιμόρφωση εν ενεργεία εκπαιδευτικών Βθμιας εκπαίδευσης, η οποία, με εξαίρεση την εισαγωγική συνάντηση, λειτούργησε παράλληλα και ανεξάρτητα με τα υπόλοιπα τμήματα της δράσης. Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα επαγγελματικής ανάπτυξης που αναπτύχθηκε για τους εκπαιδευτικούς Βθμιας εκπαίδευσης είχε ως σκοπό την επιμόρφωση εκπαιδευτικών στην Εκπαίδευση STEM μέσω του σχεδιασμού, ανάπτυξης και εφαρμογής STEM διδακτικού υλικού σε συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας.

Η δομή της εκπαιδευτικής δράσης απεικονίζεται συνοπτικά στον Πίνακα 3.3. Η χρονική διάρκεια του προγράμματος ήταν 7 μήνες και λειτούργησε κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού/σχολικού έτους 2019-2020, ενώ η εναρκτήρια συνάντηση πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβρη του 2019.

### Πίνακας 3.3

*Περιγραφή της Εκπαιδευτικής Δράσης*



Συνάντηση (N)	Συμμετέχοντες	Περιγραφή	Μορφή υλοποίησης
1	Σύνολο εκπαιδευτικών	Εισαγωγική συνάντηση, σχηματισμός ομάδων.	δια ζώσης
2	Σύνολο εκπαιδευτικών	Επιμόρφωση στο αντικείμενο της NET και στη διδακτική της NET.	εξ αποστάσεως
3	Σύνολο εκπαιδευτικών	Επιμόρφωση σε θεωρητικές αρχές Εκπαίδευσης STEM και STEM διασύνδεσης. Παρουσίαση STEM παραδειγμάτων.	εξ αποστάσεως
4-10	Ομάδες MK	Σχεδιασμός & ανάπτυξη STEM ενοτήτων και STEM τεχνουργημάτων.	εξ αποστάσεως/ δια ζώσης
10	Ομάδες MK	Διαμοιρασμός γνώσεων & δεξιοτήτων ανά επιστημονικό πεδίο.	εξ αποστάσεως/ δια ζώσης
11-12	Ομάδες MK	Σχεδιασμός STEM σχεδίων διδασκαλίας.	εξ αποστάσεως
13	Ομάδες MK	Διαμοιρασμός και επίδειξη του τελικού STEM τεχνουργήματος.	δια ζώσης
Εφαρμογή του STEM διδακτικού υλικού στις σχολικές τάξεις			

Συνολικά, η εκπαιδευτική δράση περιλάμβανε τέσσερις κυρίως φάσεις:

α) την αρχική φάση θεωρητικής επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών (συναντήσεις ν.2-3 στον Πίνακα 3.3), όπου οι ερευνητές Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών επιμόρφωσαν τους συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς στο αντικείμενο της NET και σε θεωρητικές αρχές Εκπαίδευσης STEM, καθώς και στην επίδειξη παραδειγμάτων από προηγούμενες εκπαιδευτικές δράσεις που συμμετείχε το Εργαστήριο Διδακτικής Θετικών Επιστημών.

β) τη φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης STEM διδακτικού υλικού σε ομάδες MK (συναντήσεις ν.4-10 στον Πίνακα 3.3), όπου η κάθε επιμέρους MK κλήθηκε να σχεδιάσει και να αναπτύξει μία STEM διδακτική ενότητα και τουλάχιστον ένα κοινό STEM τεχνούργημα. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του διδακτικού υλικού ξεκίνησε εκ του μηδενός και πραγματοποιήθηκε με βάση τις ιδέες και τα ενδιαφέροντά της MK, με μόνη τεθείσα παράμετρο το να ενσωματώνει η διδακτική ενότητα κάποια έννοια/φαινόμενο/εφαρμογή της NET. Επιπλέον, στο τέλος της φάσης αυτής (συνάντηση ν. 10) τα μέλη της εκάστοτε MK διαμοίρασαν γνώσεις και δεξιότητες συναφείς με το θέμα στους συναδέλφους τους στην MK προκειμένου να καλλιεργηθεί στοιχειώδης επιστημονική επάρκεια (disciplinary adequacy) των μελών στο υπό εξέταση θέμα. Για χάριν συντομίας, οι συναντήσεις των επιμέρους ομάδων MK αναφέρονται στο παρόν κείμενο με ένα γράμμα δηλώνοντας την ομάδα και έναν αριθμό, π.χ. Α3 είναι η 3<sup>η</sup> συνάντηση της συγκεκριμένης ομάδας MK (6<sup>η</sup> συνάντηση της γενικότερης δράσης).

γ) τη φάση σχεδιασμού σχεδίων διδασκαλίας σε ομάδες ΜΚ (συναντήσεις ν. 11-12 στον Πίνακα 3.3), όπου ο/η κάθε εκπαιδευτικός σχεδίασε και ανέπτυξε ένα ατομικό σχέδιο STEM διδασκαλίας σχετικό με την κοινή STEM ενότητα που ανέπτυξε η εκάστοτε ΜΚ. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους εκπαιδευτικούς στο τέλος της (β) φάσης να αναπτύξουν ένα σχέδιο STEM διδασκαλίας ο καθένας, το οποίο κατόπιν διαμοιράστηκαν και συζήτησαν με τους συναδέλφους τους στην ΜΚ κατά τις επόμενες δύο συναντήσεις. Συνεπώς, δόθηκε η δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να αναδιαμορφώσουν το ατομικό σχέδιο STEM διδασκαλίας σε δύο περαιτέρω επαναληπτικούς γύρους μετά τις συζητήσεις στην ΜΚ. Τα σχέδια STEM διδασκαλίας των εκπαιδευτικών δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας μια φόρμα/πρότυπο (template) σχεδιασμού STEM ενότητας που δόθηκε στους εκπαιδευτικούς (βλ. Παράρτημα Π2). Η φόρμα αυτή αναπτύχθηκε με βάση την αντίστοιχη φόρμα που δημιουργήθηκε από την διατμηματική ακαδημαϊκή ομάδα ερευνητών STEM στα πλαίσια του προγράμματος IDENTITIES ([www.identitiesproject.eu](http://www.identitiesproject.eu)). Η ανάπτυξη σχεδίων διδασκαλίας έγινε μετά τον καθορισμό της κεντρικής ιδέας και μερικής ανάπτυξης του τεχνουργήματος. Η εξέλιξη του τεχνουργήματος εξακολουθούσε να γινόταν κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, αλλά είχε καθοριστεί σε σημαντικό βαθμό η θεματική ενότητα και το αντίστοιχο τεχνούργημα.

δ) τη φάση εφαρμογής του STEM διδακτικού υλικού στην τάξη. Το παραχθέν STEM τεχνούργημα διαμοιράστηκε και παρουσιάστηκε κατά τη διάρκεια δια ζώσης συνάντησης της κάθε ΜΚ (συνάντηση ν. 13 στον Πίνακα 3.3). Κατόπιν τέθηκε στη διαθεσιμότητα των εκπαιδευτικών να το χρησιμοποιήσουν για διδασκαλία κατά τη διάρκεια του επόμενου σχολικού έτους (2020-2021). Μέρος εκπαιδευτικών εφάρμοσαν μέρη της ενότητας και κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους 2019-2020, παράλληλα με την εκπαιδευτική δράση. Εντούτοις, η παρούσα διατριβή δεν μελέτησε το στάδιο αυτό εφαρμογής του STEM διδακτικού υλικού στην τάξη, συνεπώς εστίασε μόνο στις προηγούμενες φάσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης STEM διδακτικού υλικού στις ΜΚ (φάσεις β, γ).

Για τις ανάγκες των εξ αποστάσεως συναντήσεων, το Εργαστήριο Διδακτικής Θετικών Επιστημών ανέπτυξε διαδικτυακή πλατφόρμα (<https://edthe.edc.uoc.gr/courses/>), όπου περιλάμβανε λογισμικό για τις σύγχρονες διαδικτυακές τηλεσυναντήσεις των ΜΚ, διαδικτυακό χώρο ασύγχρονης επικοινωνίας (forum) μεταξύ των μελών της κάθε ΜΚ, καθώς και χώρο διαμοιρασμού εγγράφων και αρχείων.

Η εξ αποστάσεως δομή του προγράμματος αρχικά δημιουργήθηκε προκειμένου να εξυπηρετήσει τις ανάγκες της δράσης συμπληρωματικά και να διευκολύνει τη συμμετοχή των εκπαιδευτικών, τόσο αναφορικά με τη γεωγραφική απόσταση που βρίσκονταν ορισμένα μέλη των ΜΚ, όσο και λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας που είχαν αρκετοί εκπαιδευτικοί. Παρ' όλ' αυτά, λόγω των περιοριστικών μέτρων που επιβλήθηκαν από το κράτος λόγω της πανδημίας Covid 19, η εξ αποστάσεως δομή μέσω της πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να υποκαταστήσει τη διαζώσης λειτουργία του προγράμματος, όπου αυτή δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί λόγω των μέτρων. Συγκεκριμένα, τα περιοριστικά μέτρα εφαρμόστηκαν αρχής γενομένης από τον Μάρτιο 2020, την περίοδο όπου στο πρόγραμμα πραγματοποιούνταν η 9<sup>η</sup> συνάντηση των ΜΚ. Παράλληλα, προκειμένου να προσαρμοστεί η διαδικασία μηχανικού σχεδιασμού του τεχνουργήματος κατά τη διάρκεια των περιοριστικών μέτρων, οι ΜΚ προσαρμοσαν τη διαδικασία έτσι ώστε: α) κάθε μέλος να αναλαμβάνει ένα μέρος της κατασκευής του τεχνουργήματος και κατόπιν να συντίθενται τα επιμέρους τμήματα, β) κάθε μέλος να συνεισφέρει στο τμήμα του τεχνουργήματος και στη συνέχεια να μεταφέρεται το τμήμα αυτό σε ένα άλλο μέλος έτσι ώστε να συνεισφέρει συμπληρωματικά.

### **3.3) Αντικείμενο Περιεχομένου της Εκπαιδευτικής Δράσης: ΝανοΕπιστήμη-ΝανοΤεχνολογία**

Τα θέματα με τα οποία προτείνεται να ασχολούνται οι εκπαιδευτικοί σε επιμορφώσεις που περιέχουν δραστηριότητες σχεδιασμού προτείνεται να έχουν ενός βαθμού συνθετότητας και χρονικής διάρκειας, έτσι ώστε να προκαλούνται οι εκπαιδευτικοί να ασχοληθούν εις βάθος με το περιεχόμενο και με διαδικασίες (Bannan-Ritland, 2014). Παράλληλα, συστήνεται στην Εκπαίδευση STEM η ενασχόληση με ρεαλιστικά προβλήματα που απασχολούν την καθημερινότητα των μαθητών (Roehrig κ.ά., 2021). Υπό το πρίσμα των παραπάνω, το σύγχρονο αντικείμενο της NET προσφέρεται ως ένα αντικείμενο για STEM διδασκαλία, καθότι: α) σχετίζεται με πολλά φαινόμενα και εφαρμογές που συναντούν οι μαθητές στην καθημερινότητά τους και στην επικαιρότητα (Metaxas κ.ά., 2021), β) ενδείκνυται για τη συζήτηση και την ενσωμάτωση νέων διδακτικών πρακτικών (Michailidi & Stavrou, 2022; Sgouros & Stavrou, 2019), γ) είναι ένα αντικείμενο αιχμής της έρευνας όπου η γνώση δεν είναι κατασταλαγμένη, οπότε δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να γνωρίσουν πτυχές της Φύσης της Επιστήμης (Stavrou κ.ά., 2018), δ) εγείρει συζητήσεις για συναφή κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα

(Kokolaki & Stavrou, 2022), ε) αποτελεί αντικείμενο που μελετάται σε σύγχρονα ερευνητικά κέντρα όπου διεξάγονται εκπαιδευτικές επισκέψεις (Giannakoudaki & Stavrou, 2021), κτλ.

Η NET είναι ένα ευρύ πεδίο που περιλαμβάνει τη μελέτη και τον χειρισμό της ύλης σε ατομικό, μοριακό, και μακρομοριακό επίπεδο (περίπου 1-100nm) προκειμένου να κατασκευαστούν υλικά, συσκευές και συστήματα με ριζικά νέες ιδιότητες και λειτουργίες (Roco, 2001). Σύμφωνα με το πλαίσιο εκπαίδευσης της NET των Stevens κ.ά. (2009), οι 9 μεγάλες ιδέες που προτείνεται να διδαχθούν είναι: 1) το μέγεθος και η κλίμακα, 2) η δομή της ύλης, 3) δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις, 4) κβαντικά φαινόμενα, 5) οι ιδιότητες που αλλάζουν με το μέγεθος, 6) η αυτό-οργάνωση, 7) όργανα και οργανολογία, 8) μοντέλα και προσομοιώσεις, και 9) σχέσεις Επιστήμης-Κοινωνίας-Τεχνολογίας. Κατ' επέκταση, οι Sakhnini & Blonder (2015) προσέθεσαν επιπλέον έννοιες όπως η i) καινοτομία και εφαρμογές της NET, ii) οι μέθοδοι χαρακτηρισμού νανοϋλικών (π.χ. NET μικροσκόπια και λειτουργίες τους), iii) η λειτουργικότητα, iv) η ταξινόμηση των νανοϋλικών, v) οι γενικότερες διαδικασίες κατασκευής νανοϋλικών, καθώς και vi) διαδικασίες παραγωγής Νανοτεχνολογίας.

Η NET είναι εκ φύσεως ένα διεπιστημονικό αντικείμενο, ενώ πολλά πεδία συνδυάζονται στη NET, όπως η Φυσική, η Χημεία, η Βιολογία, η Επιστήμη Υλικών, η Ιατρική, η Μηχανική, κ.ά. (Kähkönen κ.ά., 2016). Συνεπώς, η επιλογή της ενότητας αυτής θεωρήθηκε ότι θα συνδράμει εποικοδομητικά στην STEM επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών.

### **3.4) Συλλογή Δεδομένων**

Τα δεδομένα της έρευνας περιλαμβάνουν:

- Τις απομαγνητοφωνήσεις των (σύγχρονων) συναντήσεων των ΜΚ κατά τα στάδια σχεδιασμού και υλοποίησης τεχνουργημάτων και STEM διδασκαλιών.
- Το τελικό παραχθέν STEM διδακτικό υλικό, δηλαδή:
  - α) τα STEM τεχνουργήματα όπως αυτά διαμοιράστηκαν και παρουσιάστηκαν στην τελική τους μορφή στη τελική συνάντηση επίδειξης (συνάντηση ν.13 στον Πίνακα 3.3), καθώς και διαμέσου του οπτικοακουστικού υλικού (φωτογραφίες και βίντεο), και
  - β) τα σχέδια STEM διδασκαλίας τόσο στην τελική τους μορφή όσο και στις ενδιάμεσες φάσεις σχεδιασμού. Τα σχέδια STEM διδασκαλίας (Παράρτημα 2) δημιουργήθηκαν με βάση ένα

πρότυπο (template) σχεδιασμού STEM ενοτήτων στην τριτοβάθμια εκπαίδευση στα πλαίσια του προγράμματος IDENTITIES ([www.identitiesproject.eu](http://www.identitiesproject.eu)).

- Ατομικές συνεντεύξεις αναστοχασμού μετά το τέλος του κυρίως μέρους της δράσης (συνάντηση ν.13 στον Πίνακα 3.3), αναφορικά με τις εμπειρίες, τις αντιλήψεις και τις στάσεις των εκπαιδευτικών για το STEM και τη συνεργασία (Παράρτημα Π3).

Επιπλέον πηγές δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν επικουρικά για επιπλέον πληροφόρηση και τριγωνοποίηση δεδομένων είναι:

- Αρχικό ερωτηματολόγιο σχετικά με τις ιδέες NET που θα επέλεγαν οι εκπαιδευτικοί για διδασκαλία και μια πρώτη περιγραφή της διδασκαλίας που θα έκαναν (βλ. Παράρτημα 1).
- Τα μηνύματα (ασύγχρονης) επικοινωνίας και αναρτήσεις των μελών των ΜΚ στο forum.
- Ατομικό ημερολόγιο ερευνητή, όπου καταγράφονταν σημειώσεις σχετικά με α) ατομική επικοινωνία του ερευνητή με εξωτερικά μέλη της ΜΚ, όπως ερευνητές και ειδικοί για την αναζήτηση πληροφοριών και την παροχή υλικού, β) ατομική επικοινωνία με μέλη της ΜΚ εκτός των συναντήσεων της ΜΚ που τυχόν προέκυψε (πχ. mail, τηλεφωνικώς, κτλ.).

### **3.5) Ανάλυση Δεδομένων**

Για την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας χρησιμοποιήθηκε ποιοτική ανάλυση περιεχομένου (qualitative content analysis) (Mayring, 2015), μια μικτή μέθοδος (Hussy κ.ά., 2010) όπου συνδυάζεται η δυναμική της ερμηνευτικής προσέγγισης μέσω της ανίχνευσης και κατηγοριοποίησης τμημάτων κειμένου με ταυτόχρονη καταγραφή συχνοτήτων προκειμένου να ανιχνευτούν ερμηνευτικά μοτίβα σχετικά με τα προκαθορισμένα ερευνητικά ερωτήματα.

Στη συγκεκριμένη έρευνα, η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου πραγματοποιήθηκε μέσω διαφορετικών τεχνικών κωδικοποίησης ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε περίπτωσης, καθότι η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου δεν αποτελεί ένα τυποποιημένο εργαλείο αλλά τουναντίον ένα εργαλείο προσαρμοσμένο στο υπό διερεύνηση θέμα (Mayring, 2015). Συνεπώς, χρησιμοποιήθηκε επαγωγική και παραγωγική κωδικοποίηση ή και συνδυασμός των δύο, ο οποίος συχνά απαντάται και ως απαγωγική (abductive) τεχνική (Τσιώλης, 2015). Παράλληλα, εφαρμόστηκε ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων για την περαιτέρω ερμηνεία νοήματος και την ανίχνευση

χαρακτηριστικών τυπολογιών, όπως ακραίες τυπολογίες ή τυπολογίες που έχουν ενδιαφέρον βάσει θεωρίας (Mayring, 2014).

Συνοπτικά, η ανάλυση δεδομένων όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3 γίνεται σε δύο βασικούς άξονες, κατ' αντιστοιχία με τα δύο ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας. Για κάθε ερευνητικό ερώτημα επιδιώχθηκε η τριγωνοποίηση των πορισμάτων από την ανάλυση 2 ή 3 διαφορετικών πηγών δεδομένων προκειμένου να επιτευχθεί συμπίπτουσα εγκυρότητα/πιστότητα (concurrent validity) (Cohen κ.ά., 2009).

Παράλληλα, τα δεδομένα της έρευνας αναλύθηκαν στα πλαίσια ανάλυσης πολλαπλών περιπτώσεων (multiple-case studies). Συγκεκριμένα, οι τέσσερις ανεξάρτητες ΜΚ εκπαιδευτικών αναλύθηκαν ως τέσσερις μελέτες περίπτωσης, όπου τεχνικές σύνθεσης διασταυρούμενων περιπτώσεων (cross-case synthesis) χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση κοινών μοτίβων με μεγαλύτερη ερμηνευτική ισχύ (Yin, 2018).

### Πίνακας 3.3

*Συνοπτική παρουσίαση Ανάλυσης Δεδομένων*

Ερευνητικό ερώτημα	Πηγή δεδομένων	Κωδικοποίηση
1.1) Έννοιες/θέματα που επικεντρώνουν οι εκπαιδευτικοί	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σύγχρονες συζητήσεις ΜΚ</li> <li>• Ασύγχρονες συζητήσεις ΜΚ (Forum)</li> <li>• Τελικό παραχθέν υλικό</li> </ul>	Επαγωγική
1.2) STEM χαρακτηριστικά που ενσωματώνουν οι εκπαιδευτικοί	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχέδια διδασκαλίας</li> <li>• Συζητήσεις ΜΚ</li> </ul>	Παραγωγική (Roehrig's κ.ά., 2021) & επαγωγική
1.3) Διασυνδέσεις & Διασυννοριακά αντικείμενα	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχέδια διδασκαλίας</li> <li>• Συζητήσεις ΜΚ</li> </ul>	Επαγωγική & παραγωγική (Akkerman & Bakker, 2011, IDENTITIES group)
1.4) Οπτική των εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Συνεντεύξεις αναστοχασμού</li> <li>• Σχέδια διδασκαλίας</li> </ul>	Παραγωγική (Ring κ.ά., 2017) & επαγωγική
2) Επιρροή της ΜΚ στον σχεδιασμό & ανάπτυξη υλικού	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σχέδια διδασκαλίας</li> <li>• Συζητήσεις ΜΚ</li> <li>• Συνεντεύξεις αναστοχασμού</li> <li>• Αρχικό ερωτηματολόγιο</li> </ul>	Επαγωγική

Αναλυτικότερα παρουσιάζεται παρακάτω η ανάλυση ανά ερευνητικό ερώτημα:

***Ερ. 1: Πώς σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από S-T-E-M επιστημονικά πεδία;***

➤ 1.1) Σε τι έννοιες/θέματα επικεντρώνουν οι εκπαιδευτικοί;

Για το μέρος αυτό αναλύθηκαν οι συζητήσεις της MK που αφορούσαν τη φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης STEM ενότητων και STEM τεχνουργημάτων (συναντήσεις ν. 4-10, βλ. Πίνακα 3.3). Η ανάλυση περιλαμβάνει τις ιδέες/θέματα που προέκυψαν και επεξεργάστηκαν από την κάθε MK, καθώς και τη δραστηριότητα των μελών της MK για αυτές. Ειδικότερα, η ιδέα/θέμα ως μονάδα ανάλυσης ορίστηκε κάθε στοιχείο (π.χ. έννοια, μέθοδος, εργαλείο, διαδικασία, κτλ.) που συζητήθηκε είτε με σύγχρονο είτε με ασύγχρονο τρόπο στην MK και συνείσφερε ρητά στον σχεδιασμό και ανάπτυξη της STEM ενότητας και του STEM τεχνουργήματος. Ο σχεδιασμός και ανάπτυξη STEM θεματικής ενότητας και STEM τεχνουργήματος μελετήθηκαν ενιαία, καθότι οι STEM ενότητες είχαν ως εγγενές στόχο την ανάπτυξη/χρήση STEM τεχνουργήματος/ων· συνεπώς θεωρήθηκε ότι η εξέλιξη του ενός επηρέαζε την εξέλιξη του άλλου.

Οι παρακάτω κατηγορίες δημιουργήθηκαν επαγωγικά για την ανάλυση των *σχεδιαστικών δράσεων* (design actions) των μελών της εκάστοτε MK:

- Το μέλος *χ εισάγει* (introduces) την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος εισάγει ένα νέο θέμα/ιδέα στη συζήτηση σχετικά με τον STEM σχεδιασμό.
- Το μέλος *χ υποστηρίζει* (supports) την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος υποστηρίζει ή εγκρίνει μία ιδέα/θέμα ή όταν προσδίδει επιπλέον πληροφόρηση/επεξηγήσεις για μια υπάρχουσα ιδέα/θέμα.
- Το μέλος *χ επεκτείνει* (extends) μια ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος επεκτείνει ή εξελίσσει μια ιδέα/θέμα σε μια άλλη συναφή ιδέα/θέμα.
- Το μέλος *χ επικρίνει* (criticises) την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος αποδοκιμάζει/επικρίνει μια ιδέα/θέμα.
- Το μέλος *χ αντιλέγει* (debates) για την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος εξακολουθεί να υποστηρίζει μια ιδέα/θέμα αντιμαχόμενος/η της κριτικής σε αυτή.
- Το μέλος *χ συμφωνεί* (agrees) για την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος υποχωρεί της αρχικής γνώμης του/της και συμφωνεί με την ιδέα/θέμα ενός άλλου μέλος.
- Το μέλος *χ συνδέει* (connects) την ιδέα/θέμα ψ: όταν ένα μέλος συνδέει μια υπάρχουσα ιδέα/θέμα με μια άλλη υπάρχουσα ιδέα/θέμα.

Επιμέρους κριτήρια κωδικοποίησης που προέκυψαν επαγωγικά αναφορικά με τον ορισμό της μονάδας ανάλυσης καθώς και την κατηγοριοποίηση σε σχεδιαστικές δράσεις, καταγράφηκαν σε βιβλίο κωδικοποίησης και κρατήθηκαν κατά την ανάλυση του συνόλου των δεδομένων. Η κωδικοποίηση των σχεδιαστικών δράσεων έγινε με χρήση του λογισμικού ανάλυσης Atlas.ti.

### *Χάρτες Σχεδιασμού*

Προκειμένου να οπτικοποιηθεί η διαδικασία STEM σχεδιασμού χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο αναπαράστασης την οποία ονομάσαμε ως *χάρτες σχεδιασμού* (design visualisations/maps). Συγκεκριμένα, στους χάρτες σχεδιασμού απεικονίζονται: α) οι χρήστες, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση τα μέλη της ΜΚ, β) οι ιδέες/θέματα που συζήτησαν τα μέλη της ΜΚ και γ) οι σχεδιαστικές δράσεις, όπως περιγράφηκαν παραπάνω, που συνδέουν τους χρήστες με τις ιδέες, με τη μορφή βελών από τους χρήστες στις ιδέες. Επιπροσθέτως, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει σύνδεση μεταξύ ιδεών, όπως στην περίπτωση που ένα μέλος επεκτείνει μια υπάρχουσα ιδέα ή στην περίπτωση που ένα μέλος συνδέει δύο υπάρχουσες ιδέες, τότε σχεδιάστηκε επιπλέον και ένα βέλος μεταξύ των συνδεδεμένων ιδεών.

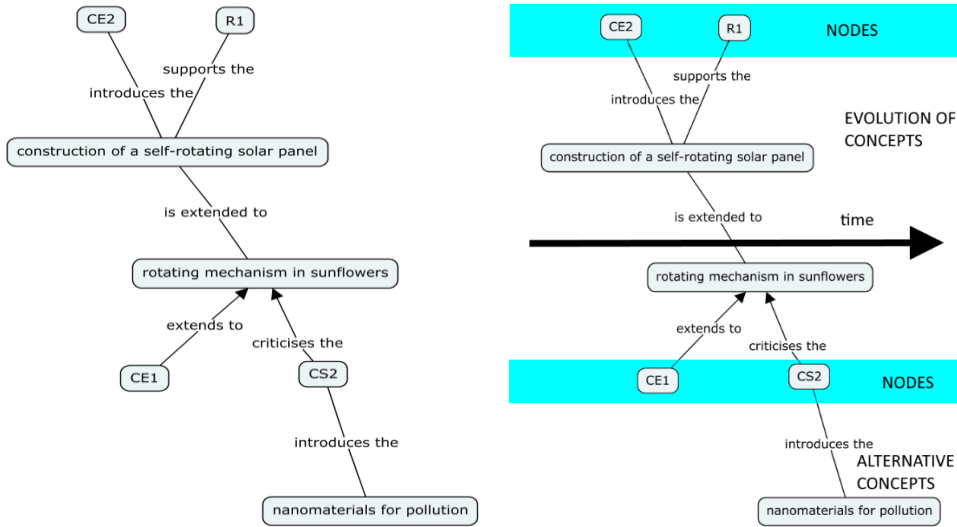
Ο κάθε χάρτης σχεδιασμού απεικονίζει την εξέλιξη των ιδεών κατά τη διάρκεια μίας σύγχρονης τηλεσυνάντησης της ΜΚ, καθώς και της μετέπειτα ασύγχρονης επικοινωνίας στο forum κατά το χρονικό διάστημα έως την επόμενη τηλεσυνάντηση. Η δραστηριότητα των μελών σε ασύγχρονη μορφή απεικονίστηκε στους χάρτες με διακεκομμένη γραμμή και αναλύθηκε ξεχωριστά και παράλληλα με τη σύγχρονη σε υποστηρικτικό ρόλο. Σε κάθε χάρτη σχεδιασμού δεν επαναλήφθηκε ο σχεδιασμός της ίδιας σχεδιαστικής δράσης για την ίδια ιδέα/θέμα από το ίδιο άτομο, δηλαδή δεν κωδικοποιήθηκε δεύτερη φορά η ίδια σχεδιαστική δράση στην ίδια συνάντηση ΜΚ.

Η απεικόνιση των ιδεών/θεμάτων στους χάρτες σχεδιασμού έγινε με χρονολογική σειρά, δηλαδή με τη σειρά που αυτά συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια κάθε συνάντησης. Αυτό έγινε διότι θεωρήθηκε ότι η εξέλιξη του STEM σχεδιασμού επηρεάζεται ρητά ή υπόρρητα από τις προαναφερθείσες ιδέες που συζητήθηκαν στην ομάδα. Επιπλέον, ιδέες που σχετίζονταν μεταξύ τους αναπαράστηκαν στην ίδια περιοχή ή 'ζώνη' εξέλιξης. Τουναντίον, η συζήτηση για εναλλακτικές ιδέες αναπαράστηκε σε παράλληλες 'ζώνες'. Στα Σχήματα 3.1 και 3.2 παρουσιάζονται ενδεικτικά παραδείγματα χαρτών σχεδιασμού.



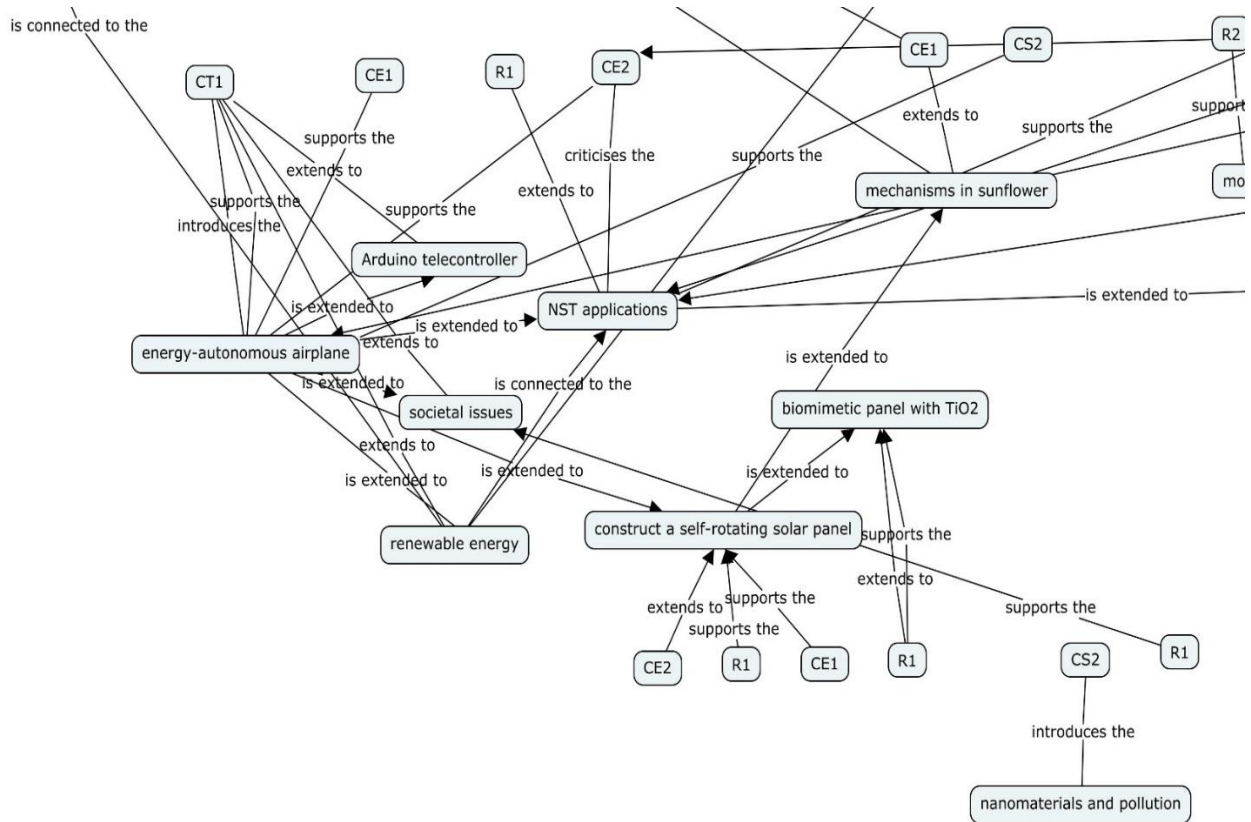
### Σχήμα 3.1

Παράδειγμα Τμήματος ενός Χάρτη Σχεδιασμού, και Επεξήγηση της Δομής του



### Σχήμα 3.2

Παράδειγμα Χάρτη Σχεδιασμού από Μέρους Συζήτησης στην MK



Η δημιουργία χαρτών σχεδιασμού έγινε με χρήση του ελεύθερου λογισμικού CMapTools (<https://cmap.ihmc.us/>) το οποίο παραδοσιακά χρησιμοποιείται για τη δημιουργία εννοιολογικών χαρτών.

#### *Ανάλυση των ιδεών/θεμάτων*

Εκτός από λόγους οπτικοποίησης του STEM σχεδιασμού, οι χάρτες σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον για την καταγραφή συχνοτήτων, τόσο για τις ιδέες/θέματα που συζητήθηκαν, όσο και για τη δραστηριότητα των μελών της ΜΚ για αυτές. Συνεπώς, έγινε στη συνέχεια καταγραφή των ιδεών/θεμάτων που κωδικοποιήθηκαν σε κάθε συνάντηση της κάθε μίας ΜΚ σε πίνακες, καθώς και των συχνοτήτων των σχεδιαστικών δράσεων που συνδέονται με την κάθε μία ιδέα/θέμα. Αντίστοιχοι πίνακες δημιουργήθηκαν επικουρικά για την ασύγχρονη επικοινωνία (forum) της κάθε ΜΚ, προκειμένου να επιβεβαιώσουν ή να συμπληρώσουν τη δραστηριότητα στις σύγχρονες συζητήσεις. Κατόπιν, δημιουργήθηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες για τη συνολική σχεδιαστική δραστηριότητα που καταγράφηκε για όλες τις ιδέες σε κάθε ΜΚ. Όπως προαναφέραμε, δεν κωδικοποιήθηκε η ίδια σχεδιαστική δράση για την ίδια ιδέα/θέμα από το ίδιο άτομο στην ίδια συνάντηση δεύτερη φορά· συνεπώς οι συχνότητες αναπαριστούν το σύνολο των διαφορετικών ατόμων που ενεπλάκησαν σε αυτές, καθώς και των διαφορετικών ιδεών/θεμάτων που οι ιδέες αυτές συνδέονται.

Κατόπιν έγινε ανάλυση των ιδεών/θεμάτων ως προς την ενσωμάτωσή τους στην τελική μορφή του διδακτικού υλικού. Συγκεκριμένα, κωδικοποιήθηκαν το ποιες ιδέες/θέματα εν τέλει πραγματοποιήθηκαν στο παραχθέν διδακτικό υλικό, όπως αυτό διατυπώθηκε στις συζητήσεις, και παρουσιάστηκε στην τελική συνάντηση επίδειξης του υλικού (συνάντηση ν.13 στον Πίνακα 3.3), καθώς και μέσω του οπτικοακουστικού υλικού (φωτογραφίες, βίντεο) που διαμοιράστηκαν τα μέλη της ΜΚ.

Ακολούθως, κωδικοποιήθηκαν οι κεντρικές ιδέες/θέματα σε κάθε ΜΚ. Η *κεντρικότητα των ιδεών/θεμάτων* κρίθηκε με βάση: α) το πλήθος των συναντήσεων ΜΚ στις οποίες συζητήθηκε. Ειδικότερα, ορίστηκε ένα ελάχιστο πλήθος 3 συναντήσεων για τον ορισμό μιας ιδέας ως κεντρική, β) το πόσο εκτενής ήταν η εμπλοκή των μελών σε αυτή την ιδέα, το οποίο εκτιμήθηκε με βάση το πλήθος των σχεδιαστικών δράσεων διαφορετικών ατόμων σε αυτές, και γ) το πόσο εκτενής ήταν

η σύνδεση/επέκταση αυτής της ιδέας με άλλες ιδέες. Συνοδευτικά, δημιουργήθηκαν συννεφόμελα (word clouds) με βάση τις συχνότητες εμφάνισης της κάθε ιδέας/θέματος για καλύτερη οπτικοποίηση των κεντρικών ιδεών/θεμάτων.

Παρομοίως, έγινε επικουρικά ανάλυση κεντρικότητας ιδεών για την ασύγχρονη επικοινωνία (forum) και τα πορίσματα της ανάλυσης από τις δύο πηγές χρησιμοποιήθηκαν για τριγωνοποίηση. Παράλληλα, η ανάλυση ως προς την τελική ενσωμάτωσή τους στο παραχθέν υλικό χρησιμοποιήθηκε αφενός για τριγωνοποίηση και αφετέρου ως ένα επιπλέον στοιχείο για χαρακτηρισμό της κεντρικότητας των ιδεών.

#### *Ανάλυση της σχεδιαστικής δραστηριότητας των μελών για τις ιδέες/θέματα*

Αντίστοιχα, δημιουργήθηκαν πίνακες συχνοτήτων για τη σχεδιαστική δραστηριότητα των μελών της κάθε ΜΚ, προκειμένου να αναλυθεί η συνεισφορά των εκπαιδευτικών στον STEM σχεδιασμό. Συγκεντρωτικοί πίνακες συχνοτήτων προέκυψαν από το άθροισμα της σχεδιαστικής δραστηριότητας των μελών από όλες τις συναντήσεις. Παρόμοια ανάλυση ακολουθήθηκε και για τη σχεδιαστική δραστηριότητα σε ασύγχρονη μορφή (forum).

Παράλληλα, κωδικοποιήθηκε η συνεισφορά των μελών στην ανάπτυξη του STEM τεχνουργήματος, καθώς και η συνεισφορά των μελών σε κεντρικές ιδέες. Κατά συνέπεια, η *κεντρικότητα των μελών* κρίθηκε με βάση: α) το πόσο εκτενής ήταν η σχεδιαστική δραστηριότητα του μέλους στις συναντήσεις της ΜΚ, β) τη συνεισφορά του μέλους σε κεντρικές ιδέες (όπως ορίστηκαν προηγουμένως), και γ) την εμπλοκή του μέλους στην ανάπτυξη τεχνουργήματος. Όπως και στην ανάλυση των ιδεών, τα πορίσματα της ανάλυσης της δραστηριότητας των μελών από διαφορετικές πηγές (σύγχρονες συζητήσεις, forum, συνεισφορά στο τεχνούργημα) χρησιμοποιήθηκαν συνθετικά για τριγωνοποίηση. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για τριγωνοποίηση και η ανάλυση των τάσεων συνεργασίας κατά τις συνεντεύξεις αναστοχασμού των εκπαιδευτικών (βλ. ανάλυση δεδομένων ερευνητικού ερωτήματος 2 στο παρόν κεφάλαιο).

#### *Οριζόντια ανάλυση περιπτώσεων*

Ο σχεδιασμός και ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού από τις τέσσερις ΜΚ πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Συνεπώς οι τέσσερις ΜΚ αναλύθηκαν ως ξεχωριστές

περιπτώσεις μιας πολλαπλής μελέτης περίπτωσης (multiple case study) (Yin, 2018). Υπό αυτό το πρίσμα, πραγματοποιήθηκε στο τελικό αυτό στάδιο μια ‘οριζόντια’ συνθετική ανάλυση περιπτώσεων (cross-case synthesis technique), προκειμένου να ανιχνευτούν γενικότερα μοτίβα μέσα από μια σύγκριση των τεσσάρων επιμέρους περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, ανιχνεύτηκαν οι κεντρικές ιδέες/θέματα οι οποίες εμφανίστηκαν στην ανάλυση περισσότερης από μία ΜΚ, κάτι το οποίο ενισχύει τη γενικότερη κεντρικότητά τους ως θέματα. Αντιστοίχως, ανιχνεύτηκαν γενικότερα μοτίβα για την κεντρικότητα των μελών από τη σύγκριση των τεσσάρων περιπτώσεων, και αναλύθηκαν σχετικά με ιδιότητες των μελών, όπως το επιστημονικό τους υπόβαθρο, η προϋπηρεσία και η προεμπειρία τους στο STEM.

➤ *1.2) Τι STEM χαρακτηριστικά (Roehrig κ.ά., 2021) ενσωματώνουν οι εκπαιδευτικοί και με ποιον τρόπο;*

Για το μέρος αυτό αναλύθηκαν τα σχέδια διδασκαλίας τα οποία σχεδίασαν και ανέπτυξαν οι εκπαιδευτικοί μετά το τέλος της 10<sup>ης</sup> συνάντησης στον Πίνακα 3.3, καθώς και οι συζητήσεις των ΜΚ στις συναντήσεις 11 και 12 των ΜΚ όπου παρουσίασαν τα σχέδια διδασκαλίας και κατόπιν εν γένει αναδιαμόρφωσαν τα σχέδια διδασκαλίας.

Η ανάλυση των σχεδίων διδασκαλίας έγινε αρχικά μέσω της ανίχνευσης θεματικών τμημάτων (themes) και παραγωγικής κωδικοποίησής τους με άξονα τα 7 STEM χαρακτηριστικά από το θεωρητικό πλαίσιο STEM της Roehrig κ.ά. (2021) (βλ. Κεφ. 2.1). Για τις ανάγκες της κωδικοποίησης, δημιουργήθηκε ένα βιβλίο με επαγωγικά κριτήρια για την κωδικοποίηση των κατηγοριών (codebook), το οποίο επανεξετάστηκε και αναθεωρήθηκε μετά την ανάλυση του 25% του υλικού, και το υλικό ξανααναλύθηκε. Συνεπώς, δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας με συχνότητες εμφάνισης των αντιστοίχων θεματικών τμημάτων σε κάθε κατηγορία. Παράλληλα, επιτελέστηκε ανάλυση στην κάθε STEM κατηγορία αναφορικά του με ποιόν τρόπο υλοποιήθηκε το αντίστοιχο STEM χαρακτηριστικό από τους εκπαιδευτικούς. Έτσι προέκυψαν επαγωγικές υποκατηγορίες υλοποίησης του κάθε STEM χαρακτηριστικού και καταγράφηκαν συχνότητες για τα αναδυόμενα μοτίβα. Η παραπάνω ανάλυση πραγματοποιήθηκε στις τελικές εκδοχές των παραδοθέντων σχεδίων διδασκαλίας, ενώ καταγράφηκαν σε πίνακα οι αλλαγές που είχαν σε σχέση με τις προηγούμενες εκδοχές.

Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι συζητήσεις στις συναντήσεις 11 και 12 των επιμέρους ΜΚ προκειμένου: α) να επαληθεύσουν τα πορίσματα της ανάλυσης των σχεδίων διδασκαλίας, αυξάνοντας τη συμπίπτουσα εγκυρότητα/πιστότητα των αποτελεσμάτων, β) να προστεθούν διευκρινήσεις και να αποσαφηνιστούν κάποια ασαφή σημεία που περιείχαν τα σχέδια διδασκαλίας, και γ) να καταγραφούν προσθήκες και αλλαγές που έκαναν οι εκπαιδευτικοί στα σχέδια διδασκαλίας σε σχέση με τα προηγουμένως παραδοθέντα σχέδια διδασκαλίας σε κάθε φάση. Έτσι δημιουργήθηκε ένας συγκεντρωτικός πίνακας για την εξέλιξη των σχεδίων διδασκαλίας, όπως αυτή προκύπτει από τις περιγραφές στις συζητήσεις, καθώς και από τις αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας, σε περιπτώσεις που προέκυψαν ( $n=7$ ).

Τέλος, δημιουργήθηκαν σύντομες περιγραφές των σχεδίων διδασκαλίας σε σχέση με το είδος και τη σειρά των δραστηριοτήτων, όπως αυτές προέκυψαν από περιορισμό δεδομένων (data reduction) από τα παραδοθέντα σχέδια διδασκαλίας και τις περιγραφές τους στις συζητήσεις. Συνεπώς, καταγράφηκαν αναδυόμενα μοτίβα σχετικά με το είδος και τη σειρά δραστηριοτήτων με τη χρήση της συνεχούς συγκριτικής μεθόδου (constant comparative method) (Cohen κ.ά., 2009).

➤ 1.3) *Τι είδους διασυνδέσεις και διασυννοριακά αντικείμενα αναγνωρίζουν;*

Για το μέρος αυτό η ανάλυση έγινε σε τρία επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορά την επιστημονική ανάλυση (disciplinary analysis) των σχεδίων διδασκαλίας, όπως αυτή προκύπτει από τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην ερώτηση στο STEM πρότυπο (template): «*Τι γνώσεις & δεξιότητες [S-T-E-M πεδίου] θεωρείτε ότι εμπλέκονται στην ενότητα;*» (βλ. Παράρτημα Π2). Η μονάδα ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το *επιστημονικό στοιχείο* (disciplinary element). Το επιστημονικό στοιχείο ορίστηκε ως το τμήμα που περιείχε πληροφορία σχετικά με γνώση ή δεξιότητα κάποιου επιστημονικού πεδίου η οποία αναγνωρίστηκε και κατηγοριοποιήθηκε από τους εκπαιδευτικούς αντίστοιχα στην προαναφερθείσα ερώτηση στο STEM πρότυπο (template) (βλ. Παράρτημα Π2).

Η ανάλυση σε αυτό το επίπεδο έγινε μέσω παραγωγικής τεχνικής. Για τους ορισμούς των πεδίων χρησιμοποιήθηκαν οι ορισμοί όπως περιγράφονται αντίστοιχα στο Κεφάλαιο 2.1.1. Για την ταξινόμηση γνώσεων και δεξιοτήτων χρησιμοποιήθηκαν οι προαναφερθέντες ορισμοί της UNESCO (Keevy & Chakroun, 2015), ενώ συμπληρωματικά χρησιμοποιήθηκαν οι ορισμοί του

πλασίου EQF, όπως αυτοί περιγράφηκαν στο Hoffmann κ.ά. (2010) (βλ. Κεφ. 2.1.1). Επαγωγικά κριτήρια αναφορικά με την ταξινόμηση των επιστημονικών στοιχείων καταγράφηκαν και τηρήθηκαν κατά την ανάλυση.

Συνεπώς δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κατηγορίες για το πεδίο των ΦΕ:

- P\_Dis\_SK: στοιχείο γνώσεων που αναφέρεται στις ΦΕ
- P\_Dis\_SS: στοιχείο δεξιοτήτων που αναφέρεται στις ΦΕ
- P\_Dis\_SK-O: στοιχείο γνώσεων ΦΕ που θεωρήθηκε ότι δεν αναφέρεται σε αυτό το πεδίο
- P\_Dis\_SS-O: στοιχείο δεξιοτήτων ΦΕ που θεωρήθηκε ότι δεν αναφέρεται σε αυτό το πεδίο
- P\_Dis\_S-out: γνώση ή δεξιότητα ΦΕ που δεν θεωρήθηκε ότι σχετίζεται με το συγκεκριμένο σχέδιο διδασκαλίας
- P\_Dis\_S-F: αρκετά ελλιπές, αόριστο ή απουσία στοιχείου ΦΕ

και αντιστοίχως για τα υπόλοιπα S-T-E-M πεδία.

Σε δεύτερο επίπεδο έγινε ανάλυση των διασυνδέσεων μεταξύ των επιστημονικών πεδίων που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί απαντώντας στην ερώτηση: «Υπάρχουν διασυνδέσεις/ενοποίηση μεταξύ των πεδίων στη διδακτική ενότητα; Αν ναι, περιγράψτε ποιες είναι αυτές.» (βλ. Παράρτημα Π2). Αναλυτικότερα, ζητήθηκε από τους εκπαιδευτικούς να περιγράψουν θεματικές περιοχές όπου οι ίδιοι αναγνωρίζουν κάποια σύνδεση μεταξύ επιστημονικών πεδίων STEM ή/και άλλων πεδίων. Η μονάδα ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε ήταν το διεπιστημονικό στοιχείο (interdisciplinary element). Το διεπιστημονικό στοιχείο ορίστηκε ως μια θεματική περιοχή διασύνδεσης μεταξύ επιστημονικών πεδίων, κατά την οποία η διασύνδεση δηλώνεται με ρητό τρόπο. Τα διεπιστημονικά στοιχεία προέκυψαν αφενός από την ανάλυση των σχεδίων διδασκαλίας σε συνδυασμό με την ανάλυση των συζητήσεων για αποσαφήνιση και τριγωνοποίηση. Παράλληλα, καταγράφηκε και η εξέλιξη των διεπιστημονικών στοιχείων που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί. Συγκεκριμένα, καταγράφηκαν σε πίνακα οι αλλαγές και προσθήκες που έκαναν οι εκπαιδευτικοί στις συζητήσεις αναφορικά με τα διεπιστημονικά στοιχεία που είχαν αναγνωρίσει σε προηγούμενες συζητήσεις ή παραδοθέντα σχέδια διδασκαλίας.

Συνεπώς δημιουργήθηκαν οι παρακάτω κώδικες:

- P\_ID : αναφέρεται περιοχή/φαινόμενο διασύνδεσης μεταξύ των πεδίων, με ρητές αναφορές μεταξύ ποιων των πεδίων που υπάρχει διασύνδεση
- P\_ID-In : αναφέρεται διασύνδεση, χωρίς όμως ρητή αναφορά σε σχετιζόμενα πεδία ή γίνεται ρητή αναφορά μόνο σε ένα πεδίο

- P\_ID-Va: Γενικές διατυπώσεις των πεδίων χωρίς να αναφέρονται συγκεκριμένες διεπιστημονικές έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές ως διασυνδέσεις
- P\_ID-Out: δεν σχετίζεται άμεσα ή έμμεσα με το συγκεκριμένο σχέδιο διδασκαλίας/δεν αναφέρεται η συγκεκριμένη διασύνδεση στο σχέδιο διδασκαλίας
- P\_ID-F: απουσία διασύνδεσης

Επιπροσθέτως, η ανάλυση και παρουσίαση των διεπιστημονικών στοιχείων έγινε ανά ειδικότητα των εκπαιδευτικών (π.χ. Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας, κτλ.) προκειμένου να ανιχνευτούν διαφορές μεταξύ εκπαιδευτικών με διαφορετικές ειδικότητες. Παρ' όλ' αυτά, λόγω του μικρού δείγματος εκπαιδευτικών, χρησιμοποιήθηκε περιγραφική στατιστική, όπως σύγκριση αθροιστικών συχνοτήτων και μέσων όρων για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, έγινε ανάλυση του κατά πόσο τα διεπιστημονικά στοιχεία περιλαμβάνουν ή όχι κάποιο επιστημονικό πεδίο. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ο μέσος όρος διασυνδέσεων ανά επιστημονικό πεδίο και ανά εκπαιδευτικό των στοιχείων που εμπεριέχουν ένα πεδίο (πχ Science) με τον αντίστοιχο μέσο όρο των στοιχείων που δεν εμπεριέχουν το πεδίο αυτό (NonScience). Με αυτόν τον τρόπο προσπαθήσαμε να ανιχνεύσουμε τάσεις προτίμησης ή περιθωριοποίησης κάποιου πεδίου σε διασυνδέσεις από τους εκπαιδευτικούς συγκεκριμένου επιστημονικού υποβάθρου.

Στο τρίτο επίπεδο ανάλυσης, αναλύθηκαν οι απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην ερώτηση: *«Υπάρχουν έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές της ενότητας που δεν θα μπορούσαν να διδαχθούν σε μια μονοεπιστημονική προσέγγιση; Ποια είναι αυτά;»* (βλ. Παράρτημα Π2). Η ερώτηση αυτή θεωρήθηκε ότι σχετίζεται με διασυνοριακά αντικείμενα, καθότι συζητήθηκε με τους εκπαιδευτικούς ποιες έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές της ενότητας δεν μπορούν επαρκώς να διδαχθούν μέσα από μονοεπιστημονικές προσεγγίσεις, συνεπώς 'ανήκουν σε πολλαπλούς διασταυρούμενους κόσμους' (Akkerman & Bakker, 2011). Η ερώτηση αυτή σχετίζεται με την προηγούμενη, παρ' όλ' αυτά στην παρούσα ερώτηση συζητήθηκαν συγκεκριμένες έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές όπου πραγματοποιείται διασύνδεση, ενώ η προηγούμενη εστίαζε σε γενικότερες θεματικές όπου αναγνωρίζονται διασυνδέσεις και ποια πεδία που εμπλέκονται σε αυτές.

Τα διασυνοριακά αντικείμενα που προέκυψαν από τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών στα σχέδια διδασκαλίας αναλύθηκαν ως προς τη φύση τους με παραγωγικό τρόπο ως προς προκαθορισμένες κατηγορίες. Για την ανάλυση της φύσης των διασυνοριακών αντικειμένων που αναγνωρίστηκαν από τους εκπαιδευτικούς, χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση που προέκυψε από τη συνεργασία

δια-ιδρυματικής ομάδας ερευνητών για τη διεπιστημονικότητα στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος IDENTITIES ([www.identitiesproject.eu](http://www.identitiesproject.eu)). Συνεπώς, οι κατηγορίες των διασυνοριακών αντικειμένων είναι:

- έννοιες/φαινόμενα
- μέθοδοι/τεχνικές
- τεχνουργήματα/αντικείμενα
- ερωτήσεις-αιτιολογήσεις

Όπως και στο προηγούμενο επίπεδο ανάλυσης, έγινε επιπρόσθετη ανάλυση των συζητήσεων όπου οι εκπαιδευτικοί ρωτήθηκαν ρητά να σχολιάσουν τη συγκεκριμένη ερώτηση. Με αυτόν τον τρόπο, έγινε αποσαφήνιση και τριγωνοποίηση των απαντήσεων στα σχέδια διδασκαλίας. Παράλληλα, καταγράφηκαν επιπλέον διασυνοριακά αντικείμενα τα οποία προέκυψαν από την εξέλιξη των συζητήσεων καθώς και από αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας. Τα αποτελέσματα ερμηνεύτηκαν παρομοίως με χρήση περιγραφικής στατιστικής.

➤ *1.4) Ανάλυση της οπτικής των εκπαιδευτικών για την Εκπαίδευση STEM μετά την ολοκλήρωση της εκπαιδευτικής δράσης*

Προκειμένου να μελετήσουμε τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM, αναλύθηκαν οι απαντήσεις των εκπαιδευτικών στις ερωτήσεις της αναστοχαστικής συνέντευξης μετά το πέρας του κυρίως μέρους της εκπαιδευτικής δράσης (βλ. Παράρτημα Π3, βλ. Πίνακα 3.3):

*«Ποιες δυνατότητες αναγνωρίζετε στη STEM διδακτική προσέγγιση;»*

*«Ποιες δυσκολίες συναντήσατε κατά τα στάδια υλοποίησης της STEM διδακτικής προσέγγισης; (δηλ. α) σχεδιασμός τεχνουργήματος β) κατασκευή τεχνουργήματος, γ) διαμόρφωση σχεδίου STEM διδασκαλίας);»*

Συγκεκριμένα, η πρώτη ερώτηση αναφέρεται στα πλεονεκτήματα που αναγνωρίζουν οι εκπαιδευτικοί στη STEM προσέγγιση. Οι κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγική κωδικοποίηση των θεματικών τμημάτων από τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών ήταν οι κατηγορίες από την ανάλυση της STEM βιβλιογραφίας των Martín-Páez's κ.ά. (2019): α) γνωσιακά (cognitive), β) διαδικαστικά (procedural) και συναισθηματικά (attitudinal). Επιπλέον,



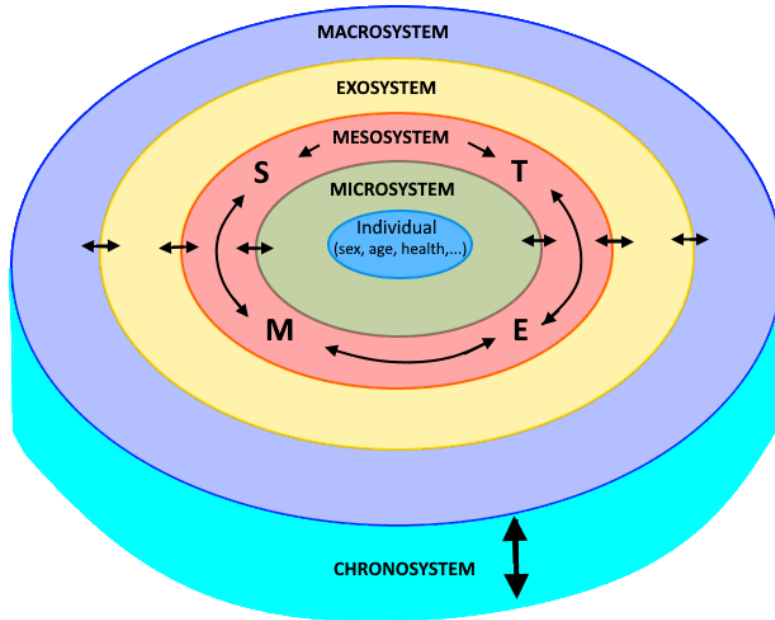
από τα δεδομένα προέκυψε η ανάγκη χρήσης δύο παραπάνω κατηγοριών: δ) σχετικά με την επαγγελματικό προσανατολισμό (career) και ε) σχετικά με την συμπερίληψη (inclusion).

Αντίστοιχα, αναφορικά με τις δυσκολίες που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί στα διάφορα στάδια της STEM προσέγγισης, χρησιμοποιήθηκε επαγωγική κωδικοποίηση των θεματικών τμημάτων από τις απαντήσεις στη δεύτερη ερώτηση. Ο επαγωγικός τρόπος κωδικοποίησης χρησιμοποιήθηκε διότι θεωρήθηκε ότι οι δυσκολίες σχετίζονται αδιάρρηκτα και εξατομικευμένα με τις συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας του εκάστοτε εκπαιδευτικού. Σε δεύτερο στάδιο, προκειμένου να διερευνηθεί το πλήθος παραγόντων που επιδρούν στην αφομοίωση και εφαρμογή της STEM προσέγγισης, όπως αυτή έχει αναλυθεί στη βιβλιογραφία (βλ. Κεφ. 2.4.1), χρησιμοποιήθηκε το συστημικό μοντέλο του Bronfenbrenner (1986). Αναλυτικότερα, από την ανάλυση προέκυψαν επαγωγικά 29 κώδικες, οι οποίοι κατόπιν κατηγοριοποιήθηκαν με παραγωγικό τρόπο στα 5 συστημικά επίπεδα του Βιοοικολογικού μοντέλου του Bronfenbrenner (1986) όπως έχει προσαρμοστεί για τη Εκπαίδευση STEM.

Συγκεκριμένα, το μοντέλο του Bronfenbrenner είναι ένα συστημικό μοντέλο που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1970 με απαρχές στην Εξελικτική Ψυχολογία με σκοπό τη μελέτη της ανάπτυξης του παιδιού υπό την επιρροή παραγόντων από το περιβάλλον του (οικογένεια, σχολείο, ιδρύματα, φροντιστές, εργασιακό περιβάλλον γονέων, κτλ) (Bronfenbrenner, 1986), ενώ κατ' επέκταση χρησιμοποιήθηκε και στη Συμπεριφορική Γενετική για τη μελέτη της φύσης των μηχανισμών που μετασχηματίζουν τους φαινότυπους σε γονότυπους (Bronfenbrenner & Ceci, 1994), εξού και η ονομασία του μοντέλου ως 'βιο-οικολογικό'. Η παρούσα έρευνα υιοθετεί το βιοοικολογικό μοντέλο όπως αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για την Εκπαίδευση (Johnson, 2008; Šarkova, 2014), καθώς και για τις αντιλήψεις εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM ειδικότερα (Hackman κ.ά., 2021), προτείνοντας αντίστοιχα τις κατάλληλες προσαρμογές για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας. Ειδικότερα, το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για τη συστημική μελέτη των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών αναφορικά με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν στην εφαρμογή της STEM προσέγγισης. Το μοντέλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3, αποτελείται από 5 επίπεδα/συστήματα:

### **Σχήμα 3.3**

*Το Βιοοικολογικό Μοντέλο του Bronfenbrenner, Προσαρμοσμένο για τη Εκπαίδευση STEM*



α) Το *Μικροσύστημα*: το άμεσο περιβάλλον του εκπαιδευτικού στο οποίο έχει άμεση και αμφίδρομη επιρροή σε αυτό. Το σύστημα αυτό ενδεικτικά περιλαμβάνει το φυσικό περιβάλλον και υλικοτεχνική υποδομή, το αναλυτικό πρόγραμμα που πρέπει να διδάξει, η καθημερινότητα της τάξης και η παιδαγωγική τεχνική του εκπαιδευτικού, κτλ.

β) Το *Μεσοσύστημα*: αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επιμέρους μικροσυστημάτων και υποσυστημικών δομών. Όπως και στο μικροσύστημα, τα υποσυστήματα αυτά αλληλεπιδρούν αμφίδρομα. Στην περίπτωση του STEM, θεωρούμε ότι οι επιμέρους υποσυστημικές δομές αφορούν τα επιμέρους S-T-E-M πεδία, όπως και τους εκπαιδευτικούς των πεδίων αυτών. Συνεπώς, το σύστημα αυτό περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις του εκπαιδευτικού με άλλα S-T-E-M πεδία, εκπαιδευτικούς των πεδίων αυτών, καθώς και αλληλεπιδράσεις με διευθυντές, ερευνητές, ειδικούς, κτλ.

γ) Το *Εξωσύστημα*: το γενικότερο κοινωνικό σύστημα που περιλαμβάνει πολιτικές, μέσα μαζικής ενημέρωσης, ενώσεις εκπαιδευτικών, καθώς και απρόβλεπτες συγκυρίες και γεγονότα (π.χ. πανδημίες, πόλεμοι) για τους οποίους ο εκπαιδευτικός δεν έχει γενικότερα καμμία επιρροή. Συνεπώς αυτοί οι παράγοντες είθισται να επηρεάζουν μονόδρομα τα υπόλοιπα εσωτερικά συστήματα.

δ) Το *Μακροσύστημα*: το γενικότερο ‘κοινωνικό αποτύπωμα’ μιας κουλτούρας (Johnson, 2008), αποτελούμενο από τις αξίες, τα πιστεύω, τα έθιμα, καθώς και το γενικότερο εκπαιδευτικό σύστημα που εφαρμόζεται. Παρομοίως με το *Εξωσύστημα*, το *Μακροσύστημα* επηρεάζει μονόδρομα όχι μόνο το άτομο αλλά όλα τα εσωτερικά συστήματα.

ε) Το *Χρονοσύστημα*: η χρονική διάσταση που επηρεάζει την εξέλιξη όλων των παραπάνω συστημάτων. Η χρονική διάσταση μπορεί να σχετίζεται με μικρής ή μεγάλης διάρκειας εξέλιξη κατά την οποία παρατηρούνται αλλαγές.

Το καθένα από τα παραπάνω συστήματα είναι ενσωματωμένο στο ευρύτερο σύστημα που το περικλείει, ενώ αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστημάτων λαμβάνουν χώρα τόσο σε ‘οριζόντιο’ επίπεδο, δηλαδή μεταξύ των στοιχείων του ίδιου συστήματος, όσο και σε ‘κάθετο’ επίπεδο, δηλαδή μεταξύ στοιχείων διαφορετικών συστημάτων (Šarkona, 2014).

Συμπληρωματικά, αναλύθηκαν οι στάσεις των εκπαιδευτικών για μελλοντική εφαρμογή της STEM προσέγγισης από τους ίδιους. Ειδικότερα, αναλύθηκαν οι απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην ερώτηση: «*Θα επιλέγατε γενικότερα να εφαρμόσετε STEM διδακτικές προσεγγίσεις στο μέλλον;*» (βλ. Παράρτημα Π3) Με βάση τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών στο συγκεκριμένο θέμα δημιουργήθηκε πίνακας με παραφράσεις των απαντήσεων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε κατόπιν για τη δημιουργία επαγωγικών κατηγοριών.

Αναφορικά με την ανάλυση των μοντέλων STEM διασύνδεσης των εκπαιδευτικών, οι εκπαιδευτικοί κλήθηκαν κατά τη διάρκεια της αναστοχαστικής συνέντευξης να δηλώσουν τις προτιμήσεις τους σε μοντέλα STEM διασύνδεσης από εκπαιδευτικούς που απαντώνται στη βιβλιογραφία (Ring κ.ά., 2017), καθώς και να σχολιάσουν τα μοντέλα αυτά αιτιολογώντας τις προτιμήσεις τους. Παράλληλα, δόθηκε η δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς σε περίπτωση που δεν τους καλύπτει κάποιο από τα δοθέντα μοντέλα, να σχεδιάσουν και να αιτιολογήσουν το δικό τους μοντέλο STEM διασύνδεσης. Για την ανάλυση των προτιμήσεων των εκπαιδευτικών φτιάχτηκαν πίνακες προτίμησης, καθώς και σύντομες παραφράσεις των επιχειρημάτων αποδοχής ή απόρριψης κάθε μοντέλου STEM διασύνδεσης που εξέφρασαν οι εκπαιδευτικοί.

Συνοδευτικά, οι εκπαιδευτικοί ρωτήθηκαν όσο αφορά το τι εμπειρίες/προσλαμβάνουσες επηρέασαν τις προτιμήσεις τους σε μοντέλα STEM διασύνδεσης, ακολουθώντας το πρωτόκολλο STEM αναστοχασμού (Ring κ.ά., 2017). Παρομοίως, χρησιμοποιήθηκε πίνακας με παραφράσεις

των επιχειρημάτων/αντεπιχειρημάτων για τα STEM μοντέλα, οι οποίες ομαδοποιήθηκαν και καταγράφηκαν οι συχνότητες εμφάνισης σε πίνακα.

Παράλληλα, τα μοντέλα STEM διασύνδεσης αναλύθηκαν με βάση τις συνοπτικές περιγραφές από τα σχέδια διδασκαλίας και τα αρχικά ερωτηματολόγια σχεδιασμού STEM ενότητας (βλ. Παράρτημα Π1), προκειμένου να συγκριθούν αλλά και να τριγωνοποιηθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των συνεντεύξεων.

***Ερ. 2: Πώς επηρέασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας την ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού;***

Προκειμένου να μελετηθεί η επιρροή του συνεργατικού πλαισίου της ΜΚ, χρησιμοποιήθηκαν:

- α) ο πίνακας που δημιουργήθηκε και περιείχε σύντομες περιγραφές των διδασκαλιών των εκπαιδευτικών που προέκυψε από περιορισμό των δεδομένων (data reduction) από τα παραδοθέντα σχέδια διδασκαλίας, καθώς επίσης και σύντομες περιγραφές των αλλαγών και προσθηκών που έγιναν σε μετέπειτα εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας,
- β) αντίστοιχα, σύντομες περιγραφές από τις αλλαγές και προσθήκες που τυχόν διατυπώθηκαν για τις διδασκαλίες κατά τη διάρκεια των συζητήσεων στις ΜΚ για τα σχέδια διδασκαλίας
- γ) ο πίνακας που δημιουργήθηκε και περιείχε τις αλλαγές και προσθήκες που παρατηρήθηκαν στις διασυνδέσεις και διασυννοριακά αντικείμενα που αναγνωρίστηκαν από τους εκπαιδευτικούς στα παραδοθέντα σχέδια διδασκαλίας, και
- δ) ο αντίστοιχος πίνακας με τις αλλαγές και προσθήκες σε διασυνδέσεις και διασυννοριακά αντικείμενα που παρατηρήθηκαν από την ανάλυση των συζητήσεων στις ΜΚ.
- ε) ο πίνακας που δημιουργήθηκε και περιείχε σύντομες περιγραφές των απαντήσεων των εκπαιδευτικών στο αρχικό ερωτηματολόγιο αναφορικά με τις πρώτες σκέψεις τους για τον σχεδιασμό διδασκαλιών που να σχετίζονται με τη NET.

Τα αποτελέσματα των (α) και (β) πινάκων αναλύθηκαν ποιοτικά και προέκυψαν συνοπτικές περιγραφές για τα κύρια σημεία εξέλιξης/αλλαγής των διδασκαλιών των εκπαιδευτικών. Αντίστοιχες ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των πινάκων (ε) και (α) χρησιμοποιήθηκαν για να εξεταστούν μεταβολές στον τρόπο σχεδιασμού διδασκαλίας μεταξύ της αρχικής φάσης της επιμόρφωσης και της φάσης σχεδιασμού διδασκαλιών. Ακόμα, από τα αποτελέσματα των (γ) και

(δ) δημιουργήθηκαν πίνακες συχνοτήτων για τις διασυνδέσεις και διασυννοριακά αντικείμενα και κατόπιν εκτιμήθηκαν οι γενικότερες τάσεις για την εξέλιξη του πλήθους τους. Οι αναδυόμενες αλλαγές στα παραπάνω στοιχεία εκτιμήθηκε ότι προέκυψαν λόγω του συνεργατικού πλαισίου ΜΚ που εφαρμόστηκε. Η ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων εμπεριέχει ρήσεις των εκπαιδευτικών όπου αναφέρουν ρητά την επιρροή συναδέλφων σε κάποια στοιχεία, κάτι που ενισχύει την αρχική μας παραδοχή για την επιρροή της ΜΚ σε αυτά.

### *Αντιλήψεις για τη STEM συνεργασία*

Για το μέρος αυτό επικουρικά αναλύθηκαν οι απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην ερώτηση (βλ. Παράρτημα Π3):

*«Ιεραρχήστε (με φθίνουσα σειρά) το τι ειδικότητας εκπαιδευτικό (ΦΕ-Τ-Μηχ-Μαθ) θα επιλέγατε για συνεργασία σε μια διδασκαλία STEM. Αιτιολογήστε τις επιλογές σας.»*

Ενώ αντίστοιχα ερωτήθηκαν να επιλέξουν και στη συγκεκριμένη ομάδα ΜΚ για τη συγκεκριμένη ενότητα ποιον (ένα) εκπαιδευτικό θα επέλεγαν για συνεργασία και γιατί.

Οι απαντήσεις των εκπαιδευτικών σε επίπεδο επιστημονικών πεδίων χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία πίνακα προτιμήσεων και προσμετρήθηκαν οι συχνότητες εμφάνισης για το πλέον και ελάχιστον προτιμητέο πεδίο. Αντίστοιχα δημιουργήθηκαν παραφράσεις των αιτιολογήσεων των εκπαιδευτικών. Η ποιοτική ανάλυση περιεχομένου των αιτιολογήσεων των εκπαιδευτικών κωδικοποιήθηκαν επαγωγικά και προέκυψαν 39 κώδικες αναφορικά με τις τάσεις συνεργασίας των εκπαιδευτικών, από τις οποίες καταγράφηκαν τα αναδυόμενα μοτίβα.

Για τις προτιμήσεις των εκπαιδευτικών για συνεργασία σε ατομικό επίπεδο, καταγράφηκαν οι προτιμήσεις των εκπαιδευτικών σε κάθε ΜΚ σε πίνακα και κατόπιν αναλύθηκαν με τη χρήση Ανάλυσης Δικτύων (Borgatti κ.ά., 2018). Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν δείκτες χαρακτηρισμού όλου του δικτύου, όπως: α) ο συγκεντρωτισμός (centralisation) του δικτύου, δηλαδή το κατά πόσο ατομοκεντρικό είναι ένα δίκτυο, δηλαδή αν ένα μέλος έχει σημαντικά περισσότερη αλληλεπίδραση σχέση με τα υπόλοιπα, β) η αμοιβαιότητα (reciprocity), το κατά πόσο υπάρχουν αμφίδρομες αλληλεπιδράσεις/προτιμήσεις μεταξύ των ίδιων ατόμων στο δίκτυο. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε ο συγκεντρωτισμός ήταν για να μελετήσουμε το κατά πόσο συγκεκριμένα άτομα θεωρούνται κεντρικά και καθολικά προτιμητέα ως συνεργάτες στις ομάδες ΜΚ ή εάν

υπάρχει μεγάλη διασπορά στις προτιμήσεις για συνεργασία μεταξύ των μελών. Αντίστοιχα, ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε η αμοιβαιότητα είναι για να μελετηθεί το κατά πόσο δύο εκπαιδευτικοί θεωρούν ότι αλληλοσυμπληρώνονται ως συνεργάτες στη STEM προσέγγιση. Οι παραπάνω μετρικοί δείκτες χρησιμοποιήθηκαν για ποιοτική σύγκριση μεταξύ των ομάδων ΜΚ, ενώ παράλληλα τα δίκτυα οπτικοποιήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού NetDraw. Η οπτικοποίηση των δικτύων έγινε για καλύτερη ποιοτική εξερεύνηση μοτίβων (Hanneman & Riddle, 2005), συγκεκριμένα σε σχέση με ιδιότητες των μελών, όπως η προϋπηρεσία στην εκπαίδευση και η προεμπειρία στο STEM.

Παράλληλα, επιτελέστηκε ποιοτική ανάλυση περιεχομένου των συνεντεύξεων των εκπαιδευτικών αναφορικά με τις αιτιολογήσεις των επιλογών των εκπαιδευτικών. Από την επαγωγική κωδικοποίηση προέκυψαν 37 κώδικες, και καταγράφηκαν αναδυόμενα μοτίβα για τις τάσεις των εκπαιδευτικών για συνεργασία σε ατομικό επίπεδο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 4.1) Ερ. 1: Πώς σχεδιάζουν και αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό εν ενεργεία εκπαιδευτικοί προερχόμενοι από S-T-E-M επιστημονικά πεδία;

##### 4.1.1) Οι παραχθείσες STEM ενότητες

Οι τέσσερεις ΜΚ σχεδίασαν και ανέπτυξαν τις παρακάτω STEM ενότητες και τεχνουργήματα στην τελική τους μορφή, όπως προκύπτουν από τις περιγραφές των εκπαιδευτικών στις συζητήσεις, στην τελική συνάντηση επίδειξης/διαμοιρασμού του υλικού, καθώς και μέσω του οπτικοακουστικού υλικού που μοιράστηκαν οι εκπαιδευτικοί:

- α) Το «έξυπνο» θερμοκήπιο
- β) DNA Origami και Nanoroμπότ για Στοχοθετημένη Χορήγηση Φαρμάκων (Drug Delivery)
- γ) Το Ενεργειακά Αυτόνομο Αεροπλάνο για Πυρασφάλεια
- δ) Το Μοντέλο Φλας Βασισμένο στη Σπινηλεκτρονική

Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή της κάθε STEM θεματικής ενότητας.

##### ΚΜ Α: Το «έξυπνο» θερμοκήπιο

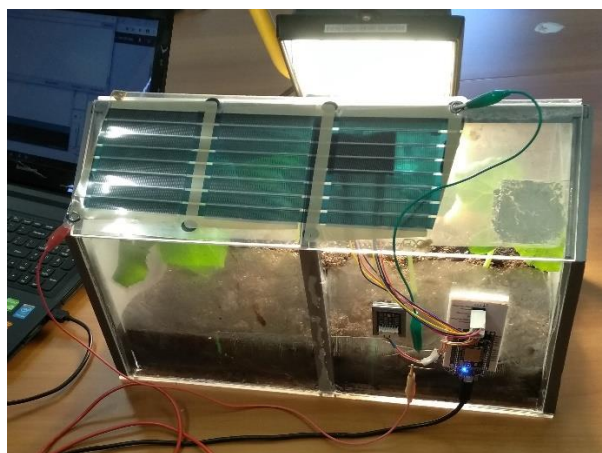
Η ΚΜ Α σχεδίασε και ανέπτυξε ένα θερμοκήπιο από πλαστικό σκελετό εκτυπωμένο από 3D εκτυπωτή και plexiglass, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.1. Το θερμοκήπιο εμπεριείχε αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και έντασης φωτός και μικροελεγκτή Arduino για τη λήψη μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, και αντίστοιχα αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας σε εξωτερικό τοίχωμα του θερμοκηπίου για σύγκριση. Σε μια εσωτερική βάση γεώπανου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τοποθετήθηκε χώμα καθώς και μικρά φυτά όπως πιπεριές, κολοκυθιές, ντοματιές. Τα φυτά ήταν είτε σε μορφή σπόρων είτε σε μορφή μικρών φυτωρίων τα οποία αντικαθίσταντο όταν μεγάλωναν αρκετά ώστε να μη χωράνε στο θερμοκήπιο. Παράλληλα, υπήρχε στην οροφή του θερμοκηπίου ένα δείγμα οργανικού φωτοβολταϊκού, το οποίο ανήκει στα λεγόμενα φωτοβολταϊκά 3<sup>ης</sup> γενιάς με χρήση οργανικών πολυμερών και τα οποία εμφανίζουν χρήσιμες ιδιότητες, όπως το ότι είναι ημιδιαφανή και εύκαμπτα. Συνεπώς, η χρήση τους συνιστάται στο ότι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με την ανάπτυξη φυτών σε ένα τζάμι θερμοκηπίου. Επίσης, το θερμοκήπιο έφερε ένα δείγμα φωτοευαίσθητοποιημένης ηλιακής

κυψελίδας (Dye-Sensitised Solar Cell, DSSC), τα οποία ανήκουν επίσης στα φωτοβολταϊκά 3<sup>ης</sup> γενιάς. Επιπλέον, μέρος της οροφής είχε αδιαβροχοποιηθεί με σπρέι αδιαβροχοποίησης του εμπορίου, ενώ υπήρχαν μικρά δείγματα θερμοχρωμικών τζαμιών. Τα δεδομένα από τους αισθητήρες διαμοιράζονταν στο διαδίκτυο σε μορφή γραφημάτων πραγματικού χρόνου μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας (<https://beebotte.com/>). Η σύνδεση των χρηστών στο διαμοιρασμό δεδομένων μπορούσε να γίνει είτε διαδικτυακά είτε με χρήση τοπικού δικτύου που εγκαθίδρυε ο μικροελεγκτής με κεραία (ESP8266). Ο χρήσης είχε κάποιας μορφής εξ αποστάσεως διάδραση με το σύστημα, αφού μπορούσε να αυξήσει χειροκίνητα τη συχνότητα λήψης μετρήσεων δεδομένων στους αισθητήρες και να αναβοσβήσει ένα λαμπάκι επίδειξης στον μικροελεγκτή, ενώ ένας αυτοματισμός άνοιγε το παράθυρο της σκεπής του θερμοκηπίου όταν η θερμοκρασία υπερέβαινε μια συγκεκριμένη τιμή.

Το έξυπνο θερμοκήπιο ενσωματώθηκε από τους εκπαιδευτικούς σε διδασκαλίες που αφορούσαν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την κλιματική αλλαγή, τη φωτοσύνθεση, πράσινη ενέργεια, και την προσομοίωση και εγκατάσταση συστήματος ελέγχου με αισθητήρες.

#### **Σχήμα 4.1.1**

*Τα STEM τεχνουργήματα: Το Έξυπνο Θερμοκήπιο*



*KM B: DNA Origami και Νανορομπότ για Στοχοθετημένη Χορήγηση Φαρμάκων (Drug Delivery)*

Η KM B ανέπτυξε μια θεματική ενότητα βασισμένη σε μία δημοσίευση στο Nature που περιγράφει μια ιδέα εφαρμογής των μορίων DNA ως αυτοδιοργανούμενοι δομικοί λίθοι για την κατασκευή

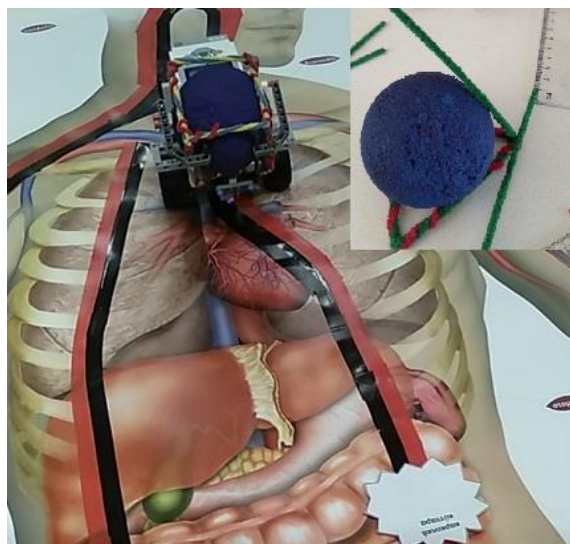


τριδιάστατων γεωμετρικών σχημάτων/origami (Rothemund, 2006). Τα DNA origamis μπορούν να εφαρμοστούν στον εγκλεισμό ουσιών, π.χ. φαρμακευτικών, τα οποία θα μεταφέρονται στοχευμένα σε συγκεκριμένα κύτταρα που υπάρχει ανάγκη, όπως καρκινικά κύτταρα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα DNA origamis φτιάχνονται από συρματάκια καθαρισμού πίπας διαφορετικού χρώματος τα οποία μοντελοποιούν τους κλώνους του DNA. Οι μαθητές υπολογίζουν και κόβουν τα συρματάκια σε κατάλληλα μήκη για τον σχηματισμό των τρισδιάστατων σχημάτων (πυραμίδα, κύβος, κτλ.) και τα περιπλέκουν για να σχηματίσουν δίκλιωνα μόρια, ενώ μονόκλιωνα τμήματα κόκκινου χρώματος προσομοιώνουν τους συνδέσμους μεταξύ διαφορετικών τμημάτων DNA. Οι μαθητές χρησιμοποιούν ένα ψαλίδι σε ρόλο ενζύμου CRISPR/Cas9 για να κόψουν τις αναπαραστάσεις των δίκλωνων μορίων DNA. Τα γεωμετρικά σχήματα πρέπει να είναι τέτοιων διαστάσεων ώστε να μπορούν να σταθεροποιήσουν μέσα τους μπαλάκια από αφρολέξ που προσομοιώνουν φαρμακευτικές ουσίες. Κατόπιν, ένα ρομπότ LEGO προσομοιώνει ένα νανορομπότ το οποίο φέρει τα DNA origamis με μια υποδοχή-βραχίονα και τα εναποθέτει σε σημεία του ανθρώπινου σώματος στα οποία οι μαθητές επιλέγουν ότι υπάρχει πρόβλημα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.2. Συγκεκριμένα, το ρομπότ κυκλοφορεί πάνω σε χάρτη του ανθρώπινου σώματος όπου έχουν σημειωθεί ονομασίες διαφόρων οργάνων, χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα έντασης χωτός/χρώματος ώστε να ακολουθεί μια κόκκινη/μαύρη γραμμή (follow line). Όταν το ρομπότ συναντήσει περιοχή που οι μαθητές έχουν κολλήσει άσπρο αυτοκόλλητο ως καρκινική περιοχή, τότε ο αισθητήρας χρώματος δίνει εντολή και σταματάει το ρομπότ και κατόπιν ο βραχίονας εναποθέτει το DNA origami με τη φαρμακευτική ουσία.

Οι εκπαιδευτικοί ανέπτυξαν διδασκαλίες που σχετίζονταν με το μόριο του DNA ως δομή και λειτουργίες του, τρόπους περίπλεξης δύο κλώνων του καθώς και επεξεργασία του με χρήση 'μοριακών ψαλιδιών'. Ακόμα, ενσωμάτωσαν ζητήματα βιοηθικής π.χ. για πιθανές συνέπειες από την ανθρώπινη παρέμβαση στο ανθρώπινο γονιδίωμα, νανοκλίμακες και σχετικά μεγέθη, κατασκευή και προγραμματισμός του ρομπότ, καθώς και στερεομετρία και κατασκευή τρισδιάστατων σχημάτων.

### **Σχήμα 4.1.2**

*DNA Origami και Νανορομπότ για Στοχοθετημένη Χορήγηση Φαρμάκων (Drug Delivery)*



#### *ΚΜΓ: Το Ενεργειακά Αυτόνομο Αεροπλάνο για Πυρασφάλεια*

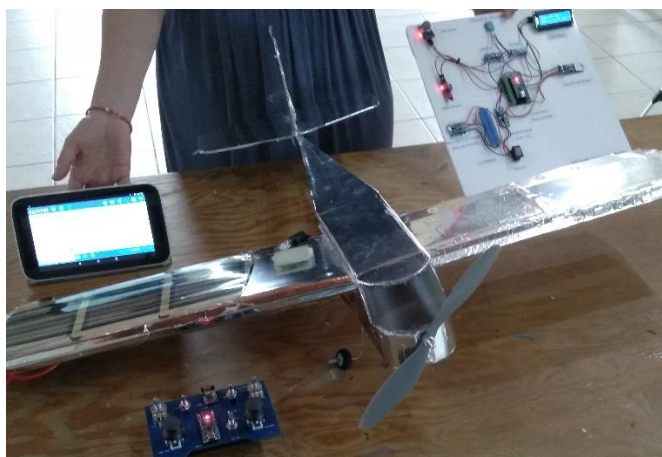
Η ΚΜΓ σχεδίασε και ανέπτυξε ένα μοντέλο αεροπλάνου το οποίο φέρει αισθητήρες και σύστημα τηλεκατεύθυνσης μέσω επικοινωνίας δύο μικροελεγκτών Arduino, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.3. Συγκεκριμένα, το μοντέλο του αεροπλάνου έγινε με *derpion* και με τεχνικές καμπύλωσης του υλικού στα φτερά για ενίσχυση της δύναμης της Άντωσης, ενώ για την τηλεκατεύθυνση χρησιμοποιήθηκαν *servo* κινητήρες στα φτερά και στην ουρά. Για την ώση του αεροπλάνου χρησιμοποιήθηκε ισχυρός *brushless* κινητήρας και μπαταρία *lipo* που προτείνεται για τέτοια χρήση. Συνοδευτικά τοποθετήθηκε οργανικό φωτοβολταϊκό και *DSSC* στα φτερά προκειμένου να εξυπηρετηθεί το σενάριο ενεργειακής αυτονομίας του αεροπλάνου, με αφορμή μια είδηση που είχαν διαβάσει οι εκπαιδευτικοί για μία ενεργειακά αυτόνομη πτήση αεροπλάνου. Επιπλέον, οι εκπαιδευτικοί πλαισίωσαν τη χρήση του για έλεγχο της ποιότητας του αέρα και πυροπροστασία, συνεπώς χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, αερίων (πχ. μεθάνιο), φωτιάς, κτλ οι οποίοι για καλύτερη παρουσίαση παρουσιάστηκαν σε εξωτερική πλακέτα επίδειξης με οθόνη. Οι μετρήσεις αποθηκεύονταν σε *SD card* δεδομένων για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Η επικοινωνία πομπού-δέκτη γινόταν με ραδιοκύματα προκειμένου να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλη εμβέλεια. Παρ' όλ' αυτά, το αεροπλάνο χρησιμοποιήθηκε καθαρά ως διδακτικό εργαλείο και δεν επιχειρήθηκε να πετάξει για λόγους ασφάλειας της κατασκευής.

Οι εκπαιδευτικοί χρησιμοποίησαν το τεχνούργημα για διδασκαλίες σχετικές με νανοϋλικά, σύγχρονα φωτοβολταϊκά και πιθανές εφαρμογές τους, βιομιμητικές επιφάνειες (*sharkskin*) καθώς

και περιβαλλοντικά σενάρια ρύπανσης του αέρα και πρόβλεψης και αξιολόγησης επικινδυνότητας πυρκαγιάς. Επίσης, σχεδιάστηκαν διδασκαλίες για την κατασκευή του αεροπλάνου, εύρεση κέντρου βάρους, αρχές Αεροδυναμικής, είδη συσσωρευτών και κινητήρων και για τον προγραμματισμό της τηλεκατεύθυνσης του αεροπλάνου (σε Bluetooth/RF σύνδεση).

### Σχήμα 4.1.3

*Το Ενεργειακά Αυτόνομο Αεροπλάνο για Πυρασφάλεια*



*ΚΜ Δ: Το Μοντέλο Φλας Βασισμένο στη Σπινηλεκτρονική*

Η ΚΜ Δ σχεδίασε και ανέπτυξε μια ενότητα για τις σύγχρονες μνήμες αποθήκευσης πληροφορίας οι οποίες χρησιμοποιούν το σπιν των ηλεκτρονίων για κωδικοποίηση της πληροφορίας σε δυαδική μορφή (αντί της συμβατικής μεθόδου που χρησιμοποιεί ηλεκτρικά φορτισμένα τρανζίστορ). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.4, η ΚΜ Δ έφτιαξε ένα μοντέλο αναπαράστασης ενός μοντέλου μνήμης φλας (USB), το οποίο –σαν μπαούλο– ανοίγει και εμπεριέχει στο εσωτερικό του 4 οκτάδες από μπαλάκια που αναπαριστούν 4 byte. Τα μπαλάκια είναι βαμμένα με ξεχωριστό χρώμα σε κάθε ημισφαίριο (κόκκινο-μπλε) και μοντελοποιούν τα ηλεκτρόνια με σπιν πάνω/κάτω. Ο χρήστης διατάσσει τα σπιν όπως νομίζει και από κάτω ένα ρομπότ χρησιμοποιώντας αισθητήρες χρώματος ‘διαβάζει’ την πληροφορία και την παριστάνει στην οθόνη σε δυαδική μορφή 0 και 1 (ASCII). Παράλληλα, σκανάροντας τον QR κωδικό ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει μια αντίστοιχη εφαρμογή AppInventor για κινητά όπου μπορεί να κάνει μετάφραση μιας λέξης στον αντίστοιχο δυαδικό κώδικα ASCII. Αντίστοιχα, σε μια τρίτης μορφής αναπαράσταση, ο χρήστης γράφει μια

λέξη με λατινικούς χαρακτήρες στον υπολογιστή ο οποίος είναι συνδεδεμένος με μια διάταξη Arduino, η οποία αναπαριστάνει τη λέξη που έγραψε ο χρήστης με μια σειρά 8 LED που αναβοσβήνουν σύμφωνα με τον δυαδικό κώδικα ASCII.

Οι εκπαιδευτικοί σχεδίασαν διδασκαλίες που εμπλέκουν κβαντικά φαινόμενα, όπως το σπιν των ηλεκτρονίων και φαινόμενα σήραγγας για εφαρμογές ανάγνωσης και καταγραφής πληροφορίας σε δυαδική μορφή. Επίσης, ενέπλεξαν διδασκαλίες για συστήματα αριθμών (πχ. δεκαδικό, δυαδικό, κ.ά.), μετατροπή μεταξύ αυτών και δυνατότητες που προσφέρει η κωδικοποίηση ASCII. Ακόμα, ασχολήθηκαν με τα αποθηκευτικά μέσα και την ιστορική τους εξέλιξη (διαστάσεις-χωρητικότητα), καθώς και τον προγραμματισμό (Arduino-Raspberry-LEGO) της κατασκευής.

#### Σχήμα 4.1.4

*Το Μοντέλο Φλας Βασισμένο στη Σπινηλεκτρονική*



#### 4.1.2) Οι κεντρικές ιδέες/θέματα κατά τον STEM σχεδιασμό

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι ιδέες/θέματα που ορίστηκαν ως κεντρικές (βλ. Μεθοδολογία) λαμβάνοντας υπόψιν τις συζητήσεις κάθε MK. Παρακάτω ακολουθεί σύντομη περιγραφή της επιλογής θέματος και ανάπτυξης των κεντρικών ιδεών, καθώς και σχολιασμός για κάθε MK.

#### Πίνακας 4.1

*Κεντρικές Ιδέες/Θέματα που Συζητήθηκαν στις MK*

	συναντήσεις MK	εισήχθη από*	υποστηρίχτηκε	επεκτάθηκε από*	επεκτάθηκε σε σε**	επικρίθηκε από*	αντιλήχθηκε από*	συμφωνήθηκε	συνδυάστηκε	συνδυάστηκε
<b>MK A</b>										
Υγρασία	5	R2	3	1	1				2	2
Θερμοκρασία	5	AS1	4						3	3
κατασκευή τεχνουργήματος	4	AS1	4	3	3				1	1
χρήση NET	4	AT1	5	3	3	3			6	6
σύστημα συγχρονικής καταγραφής (datalogger)	4	AT1	4	3	3				2	5
συλλογή δεδομένων	4	AS1	4	5	7				1	1
κόστος υλικών	4	AS1	4			2			2	2
έξυπνο θερμοκήπιο	4	R1	5	5	10	1			5	10
διαθεσιμότητα υλικών	3	AE1	5	2	2				2	4
μετεωρολογικός σταθμός με Arduino	3	AT1	7	5	10	5	2		2	4
Διαστάσεις	3	AS1	5	3	5				5	6
θερμοχρωμικό γυαλί	3	R1	3	3	10				2	3
<b>MK B</b>										
DNA δομές που περιλαμβάνουν φαρμακευτικές ουσίες	5	BS4	6	3	12	3	5	1	3	3
ρομπότ LEGO	4	R1	1	3	10	1	1	1	1	1
χρήση αισθητήρα χρώματος-ακολουθία γραμμής	4	R1	2	1	3					
χάρτης ανθρώπινου σώματος	3	R1	4	3	9	1			1	1
<b>MK Γ</b>										
Μοντελοποίηση	7	R1	3						2	5
εξωτερική πλακέτα για	6	CE2	4	2	10			1	1	5

συλλογή δεδομένων										
συλλογή δεδομένων	5	CT1	6	4	5	2			1	1
ενεργειακά αυτόνομο αεροπλάνο	5	CT1	7	5	33	1			3	5
συλλογή δεδομένων στο αεροπλάνο	5	CE2	4	1	1	1	2	1	2	2
γραφήματα και στατιστική ανάλυση δεδομένων	5	CM1	4	1	1				1	2
να κάνουμε το αεροπλάνο να πετάει	5	R1	4	4	5	6	5	1		
σύγκριση φωτοβολταϊκών	4	R1	3	1	1				1	1
arduino τηλεχειριστήριο	4	CT1	4	3	13				2	3
κατασκευή ενός μοντέλου αεροπλάνου	4	CE1	4	3	9	1			1	1
χρησιμοποίηση για περιβαλλοντικό ύς σκοπούς	4	CM1	2						2	3
αισθητήρας φωτιάς	4	CT1	5	1	3	2				
NET εφαρμογές	4	R1	2	1	1	2	1		3	4
εύκαμπτα/οργανικά φωτοβολταϊκά	4	CT1	4	3	3				3	7
παραγόμενη ηλ. τάση	4	R1	5	1	1	2			2	5
χρήση ηλεκτρονικών	4	CE2	5	4	12	4	1	1	2	2
χρήση για πυρασφάλεια	4	CM1	4	1	1				3	4
DSSC	4	CE1	2			2	1	1		
αισθητήρας θερμοκρασίας	3	R1	5						1	1
3D εκτύπωση	3	CE2	5	3	4	4			1	1
διαστάσεις αεροπλάνου	3	CE2	6	2	2	2	1	1	2	3

πηγές από το Εργαστήριο Αριστοτέλειου Παν.	3	CT1	2	2	5	1				
MK Δ										
μνήμη flash με Σπινηλεκτρονική	6	DS1	8	5	35	1			3	6
αναπαράσταση ηλεκτρονίων	5	DS1	3	3	5				1	1
αναπαράσταση με μαγνήτες	5	R1	4	3	11	3			3	6
αριθμός γραμμάτων	5	DS1	6						1	1
ρομπότ που σαρώνει τα ψηφία	5	R1	3	2	5	2				
μετάφραση γραμμάτων σε bits	5	DS1	4	3	3				2	2
φαινόμενο σήραγγας	5	DS1	5	2	2	1			2	5
εφαρμογή μετάφρασης	5	R1	5	4	10				2	2
χρήση Ρομποτικής	5	R1	3	3	6	2			1	2
χρησιμοποίηση ρομποτικού βραχίονα	4	DS1	3	3	5	2			1	1
απαιτούμενος χρόνος	4	R1	2						4	6
spin ηλεκτρονίων	4	R1	2			4			1	1
Διαστάσεις	4	R1	3	1	3				3	4
μετάφραση των bits σε γράμματα	4	R1	3			2				
LED που αναβοσβήνουν και παριστάνουν bits	4	DT1	3	2	4	1			3	3

Υποσημειώσεις: Για συντομία, παρουσιάζονται μόνο οι κεντρικές ιδέες που συζητήθηκαν σε 4 συναντήσεις ή σε 3 συναντήσεις και εμπειρίχαν σχεδιαστική δραστηριότητα  $\geq 5$  σε κάποια κατηγορία.

\*Οι αριθμοί παριστάνουν πλήθος διαφορετικών μελών της MK.

\*\*Οι αριθμοί παριστάνουν συνδέσεις με άλλες ιδέες/θέματα.

## *KΜΑ*

Αναφορικά με την επιλογή της ιδέας, η ομάδα Α ξεκίνησε με αρχική ιδέα τη δημιουργία μετεωρολογικού σταθμού με χρήση αισθητήρων (θερμοκρασίας, υγρασίας, κτλ.) και μικροελεγκτή Arduino μετά από μια πρώτη εσωτερική συζήτηση του AS1 με τον AT1 και την AS2. Εναλλακτικές προτάσεις που διατυπώθηκαν αλλά δεν επιλέχθηκαν ήταν: η κατασκευή μοντέλου ενός μικροσκοπίου NET, μιας κατασκευής που θα εστίαζε στην αλλαγή ιδιοτήτων ανάλογα με το μέγεθος, χρήση σπρέι για αδιαβροχοποίηση ή υφαλοχρώματος που επιβραδύνει την ανάπτυξη υποακτικών οργανισμών (μοράβια) στις βάρκες, κατασκευή ενός 3D εκτυπωτή ή/και 3D αντικειμένων, κατασκευή ενός custom αισθητήρα, κ.ά. Η κυρίαρχα ‘ανταγωνιστική’ ιδέα ήταν η κατασκευή μετεωρολογικού σταθμού που υποστηρίχτηκε από αρκετά μέλη, κυρίως από τον AS1 ο οποίος επειληρηματολόγησε υπέρ των γνώσεων, της προεμπειρίας και του έτοιμου υλικού που είχε αναπτύξει ο AT1 στο θέμα. Η κριτική που τέθηκε στην ιδέα αυτή ήταν κυρίως από τον R1 υπό την έννοια ότι δεν ενσωμάτωνε σε ικανοποιητικό βαθμό τη NET, ενώ η χρήση αδιάβροχης στέγης/καλύμματος που προτάθηκε δεν ανταποκρινόταν στη χρησιμότητα/λειτουργία ενός μετεωρολογικού σταθμού που θα έπρεπε να επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα. Ο AT1 στην Α2 συνάντηση γενικεύοντας πρότεινε τη χρήση του σταθμού ως datalogger σε άλλο πλαίσιο. Υπό αυτό το πρίσμα ο ΑΕ1 πρότεινε τη χρήση δεδομένων του datalogger σε θερμοκήπιο που διατηρούν στο σχολείο τους, και κατ’ επέκταση ο R1 πρότεινε ως ιδέα την κατασκευή ενός ‘έξυπνου’ θερμοκηπίου με εφαρμογές NET, επηρεαζόμενος από προηγούμενη συζήτηση με ερευνητή της NET και προηγούμενης κατασκευής για ‘έξυπνα’ σπίτια στο πρόγραμμα IRRESISTIBLE ([www.irresistible-project.eu](http://www.irresistible-project.eu)). Η ιδέα αυτή προτιμήθηκε και αναπτύχθηκε κατόπιν από τους εκπαιδευτικούς.

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.1, κεντρικά θέματα που συζητήθηκαν εκτενώς ήταν η συλλογή και διαχείριση μετρήσεων από τους αισθητήρες για φυσικά μεγέθη π.χ. θερμοκρασία, πίεση, κτλ., κάτι που για τον Φυσικό της συγκεκριμένης ομάδας ήταν κεντρικής σημασίας.

AS1: ναι βλέπεις τώρα ότι φύγαμε για το εξωτερικό και αφήσαμε το εσωτερικό, το βασικό που ξεκινήσαμε, τη θερμοκρασία, υγρασία και τα λοιπά.

Παρ’όλ’αυτά, συζητήθηκε εκτενώς και η κατασκευή του θερμοκηπίου, τα υλικά και οι διαστάσεις του. Συγκεκριμένα, στον αρχικό σχεδιασμό δεν εκτιμήθηκε καλά το ύψος ώστε να χωράει ένα φυτό μέσα, κάτι που περιόρισε το είδος και μέγεθος των φυτών. Επίσης, τα θερμοχρωμικά γυαλιά



απασχόλησαν την ομάδα ως προς την τοποθέτησή τους σε μέρη του θερμοκηπίου, τη διαθεσιμότητα των υλικών και τις διαστάσεις τους. Ως προς το υλικό συζητήθηκαν τα μειονεκτήματα του plexiglass ως προς το κόστος και τη δυσκολία κοπής και επεξεργασίας. Ο ΑΕ2 αντιπρότεινε τη χρήση διαφανούς πλαστικού η οποία δεν απέδωσε το επιθυμητό αποτέλεσμα και συνεπώς χρησιμοποιήθηκε plexiglass. Ακόμα, όπως προαναφέρθηκε, η χρήση NET ήταν ένα κεντρικό ζήτημα το οποίο απασχόλησε την ομάδα και ως προς την επιλογή θέματος και ως προς τη μετέπειτα κατασκευή.

### *KMB*

Η επιλεχθείσα ιδέα των DNA origamis σε τρισδιάστατα σχήματα για εγκλεισμό φαρμακευτικών ουσιών προέκυψε εξ αρχής στη Β1 συζήτηση της ομάδας και τράβηξε το ενδιαφέρον της πλειοψηφίας των μελών. Κριτική υπήρξε παρά ταύτα ως προς τη δυσκολία κατανοησιμότητας του DNA σε ηλικίες μαθητών Γυμνασίου. Ενδεικτικά κάποιες εναλλακτικές προτάσεις αφορούσαν τον ρόλο υλικών στη θερμική συμπεριφορά κτηρίων, το biodiesel: παρασκευή του και συμβολή στην αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής, λειτουργίες των φυτών, μελλοντικές εφαρμογές ferrofluid, χρήση νανορομπότ για γονιμοποίηση ωαρίου, κ.ά. Η ιδέα που αποτέλεσε βασική εναλλακτική ήταν η χρήση του DNA για τεχνητούς μύες για τη μεταφορά ουσιών (π.χ. φαρμακευτικών), βασισμένο σε μία πηγή εκλαϊκευτικής επιστήμης που ο ΒΤ1 άντλησε και περιέγραφε μελλοντικό ενδεχόμενο τεχνητών μυών γενικότερα. Παρ' όλ' αυτά, ο Ρ1 αμφισβήτησε την επιστημονική εγκυρότητα ενός τέτοιου σεναρίου στην κλίμακα του DNA, διασταυρώνοντάς το με ειδικούς της NET, κάτι που οδήγησε την ομάδα στην πιο 'ασφαλή' ιδέα όπου υπήρχαν πιο αξιόπιστες πηγές.

Οι κεντρικές ιδέες που συζητήθηκαν αφορούσαν τα DNA origami, όπως γεωμετρικές κατασκευές τους και τρόπους μοντελοποίησής τους. Επίσης συζητήθηκε η ρομποτική, συγκεκριμένα το ρομπότ που θα μετέφερε τα DNA origamis και ο προγραμματισμός του να ακολουθεί μια γραμμή με χρήση αισθητήρα χρώματος. Ακόμα συζητήθηκε το είδος, το υλικό και οι διαστάσεις του χάρτη έτσι ώστε να είναι λειτουργικό με τον αισθητήρα χρώματος και ευπαρουσίαστο. Χαρακτηριστικό είναι, παρά ταύτα, ότι στη συγκεκριμένη ομάδα συζητήθηκαν αρκετές διαφορετικές εναλλακτικές ιδέες και σενάρια υλοποίησης.

### *KM Γ*

Η επιλογή της κεντρικής ιδέας του ενεργειακά αυτόνομου αεροπλάνου προέκυψε στη Γ2 συνάντηση της ομάδας, μετά από συζήτηση ορισμένων εναλλακτικών, και βρήκε μεγάλη απήχηση. Η κύρια εναλλακτική ήταν η κατασκευή/επίδειξη μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων (LCD) όπου τα μόρια αυτό-οργανώνονται με αλλαγή της θερμοκρασίας προκαλώντας χρωματικές αλλαγές, κάτι που τελικώς απορρίφθηκε λόγω τοξικότητας υλικών, δυσκολίας στην κατασκευή και δυσκολίας κατανόησης των φαινομένων από τους μαθητές. Ενδεικτικά, άλλες εναλλακτικές αφορούν το πείραμα διπλής σχισμής με απλά υλικά, πειράματα με laser, εμπλουτισμένους ημιαγωγούς, πειράματα με μικκύλια της καζεΐνης σε αλλαγές του pH και θερμοκρασίας, κ.ά. Η επιλεγθείσα ιδέα διατυπώθηκε επιπλέον με διαφορετικές παραλλαγές (π.χ. ενεργειακά αυτόνομο αυτοκίνητο/πλεούμενο), όμως η πλαισίωση της ιδέας για πυρασφάλεια και μελέτη ποιότητας αέρα οδήγησε στο ενεργειακά αυτόνομο αεροπλάνο/drone.

Ένα συχνό θέμα που απασχολούσε την ομάδα ήταν το πώς θα μοντελοποιήσουν φαινόμενα, όπως το κατά πόσο το αεροπλάνο θα έπρεπε να είχε τις προδιαγραφές να πετάει ή απλά να επιδεικνύει/μοντελοποιεί φαινόμενα και λειτουργίες, με το δεύτερο να επικρατεί. Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων ήταν επίσης κεντρικό θέμα, καθώς και η χρήση και εγκατάσταση των αισθητήρων. Μια ακόμα αντιπαράθεση σε αρκετές συναντήσεις σχετιζόταν με το αν οι αισθητήρες θα τοποθετούνταν πάνω στο αεροπλάνο ή σε πλακέτα, με τη δεύτερη λύση να θεωρήθηκε καλύτερη για λόγους επίδειξης. Η χρήση NET εφαρμογών, όπως οργανικά φωτοβολταϊκά και DSSC, η διαθεσιμότητά τους, η σύγκρισή τους με συμβατικά καθώς και η τάση που παράγεται από αυτά συζητήθηκε επίσης εκτενώς. Θέματα κατασκευής του αεροπλάνου, διαστάσεις, και ενδεχόμενη χρήση 3D εκτυπωμένων κομματιών ήταν ακόμα μερικά κεντρικά θέματα. Τέλος, η πλαισίωση χρήσης του αεροπλάνου για περιβαλλοντικούς σκοπούς και πυρασφάλεια ήταν κεντρικό αντικείμενο συζήτησης.

### *KM Δ*

Η ιδέα του μοντέλου μνήμης φλας που τελικώς υλοποιήθηκε διατυπώθηκε από την πρώτη κιόλας συνάντηση της ομάδας και κέρδισε την αποδοχή της ομάδας. Εναλλακτικές ιδέες αφορούν τον υπολογισμό εμβαδού κάτω από μια γραφική παράσταση με χρήση ρομποτικής κατασκευής, την

κατασκευή 3D εκτυπωτή, γεωμετρικά μοντέλα για τη δομή της ύλης, ένα αυτόματο σύστημα αναγνώρισης ομιλίας και ανάγνωσης ποιημάτων από 10 Έλληνες διάσημους ποιητές, κ.ά.

Κεντρικά θέματα που συζητήθηκαν ήταν τρόποι αναπαράστασης και μοντελοποίησης των φαινομένων. Η αναπαράσταση των ηλεκτρονίων προτάθηκε να αναπαρασταθεί με μαγνήτες που θα μπορούσαν ενδεχομένως να περιστρέφονται με άλλο μαγνήτη από το ρομπότ, κάτι που θα ήταν πιο σχετικό με το πραγματικό φαινόμενο, αλλά απορρίφθηκε λόγω μεγάλης απόστασης που απαιτούνταν. Η χρήση ενός ρομποτικού βραχίονα που θα διαλέγει και θα τοποθετεί πούλια αντίστοιχα δύο χρωμάτων σε μία σκακιέρα συζητήθηκε επίσης εκτενώς αλλά απορρίφθηκε λόγω μη πιστής συσχέτισης με το φαινόμενο σύμφωνα με τον R1 και λόγω του ότι θεωρήθηκε περισσότερο αργή διαδικασία κατά τον DS1. Συνεπώς επιλέχθηκε η αναπαράσταση ηλεκτρονίων με μπαλάκια, ενώ το σπιν μοντελοποιήθηκε με διαφορετικό χρώμα, ως μια υλοποιήσιμη και σχετική με το φαινόμενο ιδέα. Γενικότερα, κβαντικά φαινόμενα για το φαινόμενο σήραγγας και το σπιν των ηλεκτρονίων συζητήθηκαν ακόμα. Η μετάφραση από χαρακτήρες σε bits και αντίστροφα ήταν επίσης κεντρικό θέμα, καθώς και η εφαρμογή AppInventor και το πλήθος ψηφίων που θα χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή. Άλλα θέματα σχετίζονται με διαστάσεις της κατασκευής, τη διάταξη με LED, και τη ρομποτική κατασκευή που θα ανεγίνωσκε την αλληλουχία των bits.

### *Κοινά θέματα*

Αναλύοντας οριζόντια τις τέσσερις μελέτες περίπτωσης, μπορούμε να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα αναφορικά με κοινά κεντρικά θέματα και μοτίβα που εμφανίζονταν σε παραπάνω από μία ομάδες εκπαιδευτικών. Να σημειώσουμε ότι οι συχνότητες που αναφέρονται στο παρόν υποκεφάλαιο αναφέρονται σε πλήθος MK της έρευνας, συνεπώς  $1 \leq v \leq 4$ .

Αρχικά, εφόσον το STEM πρόγραμμα –ως είθισται στη STEM προσέγγιση γενικότερα, ενέπλεκε την κατασκευή STEM τεχνουργήματος, μεγάλο μέρος των συζητήσεων αφορούσαν πρακτικά/τεχνικά ζητήματα, όπως θέματα γεωμετρίας π.χ. το σχήμα ( $v=4$ ), και οι διαστάσεις ( $v=4$ ) του τεχνουργήματος, καθώς και θέματα υλικοτεχνικής υποδομής, όπως η διαθεσιμότητα υλικών ( $v=3$ ) και το κόστος ( $v=2$ ). Ο σχεδιασμός του τεχνουργήματος συζητήθηκε σε όλες τις ομάδες, ενώ 3 ομάδες επεξεργάστηκαν και διαμοιράστηκαν κάποιας μορφής προσχέδιο στην ομάδα.

Παράλληλα, όλες οι ομάδες συζήτησαν για τη χρήση 3D εκτυπωτή ή 3D εκτυπωμένων κομματιών, ενώ σε 2 ομάδες συζητήθηκε η κατασκευή 3D εκτυπωτή ως θέμα.

Η χρήση τεχνολογικών εργαλείων όπως αισθητήρες για συλλογή δεδομένων ( $v=2$ ) ήταν επίσης σύννηθες θέμα, όπως και η δημιουργία και ανάλυση γραφημάτων από τα δεδομένα ( $v=2$ ). Εντούτοις, ενσωματώθηκαν και μαθηματικές έννοιες που δεν περιορίζονταν μόνο στη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, όπως γεωμετρικά σχήματα (KM Β) και συστήματα αρίθμησης (KM Δ).

Η χρήση ρομποτικής ήταν ένα σύννηθες θέμα σε όλες τις ομάδες, κάτι που ίσως θα περιμέναμε από τη στιγμή που μια συνήθης παρανόηση που επικρατεί τείνει να ταυτίζει το STEM με τη ρομποτική, όπως φαίνεται και στο παρακάτω απόσπασμα.

AE1: Η αλήθεια είναι, ναι, ότι ξεκινώντας και εγώ ίσως παρεξήγησα το stem συνδυάζοντας το με την εκπαιδευτική ρομποτική, όπως οι περισσότεροι ας πούμε, και η νανοτεχνολογία ήταν μία δυσάρεστη έκπληξη ας πούμε για μένα, το ότι και καλά θα έπρεπε να το, ναι –για να είμαι ειλικρινής δηλαδή.

Συγκεκριμένα, συζητήθηκε η τεχνολογία Arduino σε όλες τις ομάδες και ενσωματώθηκε σε 3, ενώ η τεχνολογία LEGO συζητήθηκε και ενσωματώθηκε σε 2. Χαρακτηριστικό ήταν ότι όλοι οι εκπαιδευτικοί δήλωσαν πιο εξοικειωμένοι με το Arduino παρά με το LEGO, ενώ επιχειρηματολόγησαν υπέρ του χαμηλού του κόστους και της προσβασιμότητας των υλικών του.

Αναφορικά με την ενσωμάτωση της NET, βλέπουμε ότι σε όλες τις ομάδες συζητήθηκαν είτε έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές της NET όπως κάποια/ες από τις 9 ‘μεγάλες ιδέες’, είτε έγινε ρητή συζήτηση για την ενσωμάτωση της Νανοτεχνολογίας γενικότερα. Παρ’όλ’αυτά, σε 2 ομάδες η NET ενσωματώθηκε με μάλλον δευτερεύουσα σημασία/περιθωριακά, καθότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν (φωτοβολταϊκά, DSSC, θερμοχρωμικά) δεν ανήκαν στα πλέον κεντρικά θέματα ενασχόλησης.

Τέλος, ένα σύννηθες κοινό θέμα συζήτησης σε όλες τις ομάδες ήταν η μοντελοποίηση, δηλαδή το πώς θα αναπαρασταθούν έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές. Θα μπορούσαμε αφενός να ερμηνεύσουμε το αποτέλεσμα αυτό με το ότι η NET σαν ενότητα σχετίζεται τον νανόκοσμο/μικρόκοσμο, συνεπώς οι εκπαιδευτικοί έτειναν περισσότερο στο να αναπαραστήσουν μια διαδικασία NET παρά να βρουν και ουσιαστικά να κάνουν χρήση αυθεντικών νανοϋλικών. Θα μπορούσαμε αφετέρου να ερμηνεύσουμε το αποτέλεσμα αυτό με το ότι οι εκπαιδευτικοί νονηματοδοτούσαν τα STEM τεχνουργήματα πρωτίστως ως διδακτικά εργαλεία, περιθωριοποιώντας την τελειότητα/ακρίβεια στην κατασκευή, καθώς και τη χρήση αυθεντικών

νανοϋλικών. Για παράδειγμα, σε πολλές περιπτώσεις απλά η αναπαράσταση μιας διαδικασίας (ένα μοντέλο αεροπλάνου που υποθετικά θα πετούσε, η μετάφραση γραμμάτων σε bits) ή απλά η χρήση ενός μικρού δείγματος νανοϋλικού (θερμοχρωμικό γυαλί, DSSC) ήταν επαρκές στοιχείο για να πυροδοτηθεί η σχετική συζήτηση για τη διδασκαλία του φαινομένου. Παράλληλα, σε όλες τις ομάδες συζητήθηκαν θέματα για την καλύτερη παρουσίαση/επίδειξη του τεχνουργήματος, όπως π.χ. το μέγεθος, το χρώμα ή τυχόν καλλιτεχνικές παρεμβάσεις έτσι ώστε να βοηθήσει τους μαθητές να αντιληφθούν καλύτερα τα φαινόμενα. Συνεπώς θα λέγαμε ότι η διδακτική αξιοποίηση του τεχνουργήματος ήταν μία από τις πλέον κεντρικές διαστάσεις στις συζητήσεις των MK.

#### 4.1.3) Η σχεδιαστική δραστηριότητα των μελών

Σε αυτό το υποκεφάλαιο μελετήσαμε τις ιδέες και θέματα που συζητήθηκαν στις MK αλλά επικεντρώνοντας αυτή τη φορά τον άξονα ανάλυσης στα μέλη της MK, επιχειρώντας να ανιχνεύσουμε ομοιότητες και διαφορές στον σχεδιασμό ενοτήτων μεταξύ S-T-E-M εκπαιδευτικών. Παράλληλα, αναλύθηκε και η δραστηριότητα των μελών των MK στην ανάπτυξη των STEM τεχνουργημάτων. Συνεπώς στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η συνολική σχεδιαστική δραστηριότητα των μελών στις MK. Οι παρακάτω συνοπτικές περιγραφές (βλ. Κεφ. 3.5) παρουσιάζουν σημαντικές συνεισφορές των επιμέρους μελών στις αντίστοιχες MK ως ένδειξη της δραστηριότητάς τους.

**Πίνακας 4.2**

*Η Σχεδιαστική Δραστηριότητα των Μελών*

	Δραστηριότητα στις Συζητήσεις MK						
	Εισάγει	Υποστηρίζει	Επεκτείνει	Επικρίνει	Αντιλέγει για	Συμφωνεί με	Συνδέει
<b>MK A</b>							
AS1	3	61	36	7	8	1	6
AS2	0	3	0	0	0	0	0
AT1	2	53	28	10	2	0	13

AE1	1	12	14	4	1	0	7
AE2	3	35	12	8	1	1	4
AM1	2	5	7	2	0	0	2
R1	2	97	54	14	7	1	17
R2	1	12	4	1	0	0	1
MK B							
BS1	3	20	12	4	1	0	1
BS2*	3	1	2	2	1	3	0
BS3	2	18	18	5	1	0	0
BS4	1	12	11	2	3	0	5
BT1*	8	7	21	2	2	0	12
BE1	1	18	9	6	1	2	0
BM1	0	6	2	2	0	0	0
R1	5	65	63	24	6	0	4
R2	1	1	0	0	1	0	0
MK Γ							
CS1	3	27	9	11	3	1	0
CS2	1	37	2	8	9	2	3
CT1	3	73	38	18	9	1	14
CE1	3	38	26	6	6	1	4
CE2	12	116	66	50	10	5	16
CM1	0	6	8	0	0	0	2
R1	2	112	36	34	10	4	19
R2	1	7	0	0	5	0	3
MK Δ							
DS1	5	44	20	13	0	0	5
DS2	0	6	1	5	0	0	0
DT1	5	15	14	3	0	0	6
DT2	0	13	6	4	0	0	1
DE1	0	46	21	13	1	0	3
DM1	0	7	1	1	0	0	1
DM2	3	36	20	12	0	0	10
R1	7	104	49	18	1	0	11
R2	0	2	6	0	0	0	0

\* παραιτήθηκαν του προγράμματος λόγω της πανδημίας Covid 19.

#### KM A

Στην ομάδα A, κεντρική δραστηριότητα στις συζητήσεις είχαν οι AT1 και AS1, όπως δείχνει και ο Πίνακας 4.1. Ο AT1 ήταν αυτός που εισήγαγε και διέθεσε την κυρίως εναλλακτική ιδέα του

μετεωρολογικού σταθμού που έλαχε μεγάλης αποδοχής, ενώ ήταν επίσης αυτός που μετέφερε τη χρήση του σε γενικότερο πλαίσιο ως datalogger, κάτι που βοήθησε τον AE1 να πλαισιώσει τη χρήση του για θερμοκήπιο. Ο δε AS1 συζήτησε εκτενώς για τη συλλογή δεδομένων και για συναφή φυσικά μεγέθη προς μέτρηση, ενώ παρότι είχε μηδαμινή δραστηριότητα στο forum, ήταν ιδιαίτερα συμμετοχικός και παρεμβατικός στη συζήτηση ιδεών. Συγκεκριμένα, ο AS1 εισήγαγε 9 κεντρικές ιδέες, ο AT1 5, ο AE1 1, ενώ οι R1 και R2 από 8 και 2 αντίστοιχα.

Αναφορικά με την ανάπτυξη του τεχνουργήματος, ο AT1 σχεδίασε τον 3D εκτυπώσιμο σκελετό του θερμοκηπίου, βοήθησε στην επίδειξη της λειτουργίας του 3D εκτυπωτή, και ανέπτυξε το σύστημα αισθητήρων μέσω μικροελεγκτή, το προσάρμοσε στο τεχνούργημα και εκπαίδευσε άλλα μέλη στη λειτουργία του. Παρομοίως έφτιαξε τον αυτοματισμό για το παράθυρο, καθώς και την πλατφόρμα διαμοιρασμού δεδομένων σε τοπική σύνδεση και ευρεία σύνδεση στο διαδίκτυο. Ο AS1 ανέπτυξε πειραματικά ένα δείγμα DSSC με τη βοήθεια του R1, ενώ ο AE2 πειραματίστηκε στην κατασκευή του θερμοκηπίου με πλαστικό, κάτι που, όπως προειπώθηκε, εγκαταλείφθηκε για αισθητικούς και πρακτικούς λόγους. Ο R1 εκτύπωσε με την καθοδήγηση του AT1 τον σκελετό, διόρθωσε τα κομμένα τμήματα plexiglass και τα προσάρμοσε στον σκελετό, καθώς και προσάρμοσε τα θερμοχρωμικά γυαλιά, το οργανικό φωτοβολταϊκό και το DSSC πάνω στο θερμοκήπιο. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι ο AT1 ήταν το πλέον κεντρικό μέλος της ομάδας, ενώ αντίθετα περιθωριακή ήταν η δραστηριότητα των AS2 και AM1.

### *KMB*

Ο BS4 ήταν το μέλος που εισήγαγε την κεντρική ιδέα που υλοποιήθηκε από την ομάδα και υποστήριξε εννοιολογικά στην κατανόησή της, ενώ συνολικά εισήγαγε 3 κεντρικές ιδέες, με τον R1 να εισάγει 4. Παρ' όλ' αυτά, η δραστηριότητά του δεν διαφαίνεται αντιπροσωπευτικά στις συχνότητες στον Πίνακα 4.1· το γεγονός ότι έλειψε σε 3 από τις 7 συναντήσεις της ομάδας λογικά επηρέασε αυτό το αποτέλεσμα. Ο BT1 ήταν ένα επίσης ενεργό μέλος στις συζητήσεις, και εισήγαγε την εναλλακτική ιδέα του 'δακτυλόδρομου'. Χαρακτηριστικό ήταν το ότι ο BT1 εισήγαγε πολλές διαφορετικές ιδέες και συνέδεσε αρκετές υπάρχουσες ιδέες, όμως κάποιες από αυτές δέχτηκαν κριτική για την επιστημονική τους εγκυρότητα και εφαρμοσιμότητα, συνεπώς πολλές από αυτές δεν έλαχαν μεγάλης κεντρικότητας. Η δραστηριότητα των BE1, BS3 και BS1 θα χαρακτηριζόταν ως μέτρια.

Σχετικά με την ανάπτυξη του τεχνουργήματος, ο BS4 εισήγαγε και πειραματίστηκε με μια πρώτη κατασκευή μοντέλων DNA origami με συρματάκια καθαρισμού πίπας, και διαμοιράστηκε με την ομάδα την τεχνική, ενώ η BS1 αναπαρήγαγε αντίστοιχα μοντέλα. Ο BE1 ανέπτυξε το ρομποτικό όχημα και το προγραμματίισε με τη βοήθεια μαθητών του που είχαν ασχοληθεί με LEGO. Η BS3 έκανε έρευνα σχετικά με το είδος και μορφή του χάρτη ανθρώπινου σώματος, ενώ ο R1 προσάρμοσε τα μοντέλα DNA origamis στο ρομπότ, δοκίμασε και βαθμονόμησε τη λειτουργία του πάνω στον χάρτη. Συνεπώς, θα συμπεραίναμε ότι κεντρικό μέλος ήταν ο BS4 με τη βοήθεια του BE1 στο πρακτικό μέρος, ενώ περιφερειακό μέλος θα χαρακτηρίζαμε τον BM1 και τη BS2.

### *KMG*

Η ομάδα Γ ήταν μια ομάδα με έντονη δραστηριότητα από τα περισσότερα μέλη της, με τους εκπαιδευτικούς των επιστημονικών πεδίων Τεχνολογίας και Μηχανικής να δεσπόζουν. Συγκεκριμένα, η CT1 εισήγαγε την κεντρική ιδέα ενός ενεργειακά αυτόνομου αεροπλάνου με χρήση εφαρμογών NET, καθώς και εναλλακτικές ιδέες που κέντρισαν την προσοχή, όπως η αυτό-οργάνωση των κρυστάλλων σε μια LCD οθόνη. Ο CE2 ήταν ένα επίσης κεντρικό μέλος όσο αφορά την εισαγωγή ιδεών αλλά και την υποστήριξη/πληροφόρηση άλλων μελών. Η δραστηριότητα των μελών ήταν έντονη και σε ασύγχρονη μορφή μέσω του forum, με τους CT1 και CE2 να είναι επίσης οι πλέον δραστήριοι. Τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας έδειξαν επίσης ενεργή σχεδιαστική δραστηριότητα, με εξαίρεση την CM1, που όμως έλειπε σε 4 συναντήσεις. Παρ' όλ' αυτά, η CM1 επηρέασε σημαντικά τον STEM σχεδιασμό μέσω της πλαισιοποίησης της κατασκευής για ένα περιβαλλοντικό σενάριο. Συνολικά κεντρικές ιδέες εισήγαγαν οι CE2 (v=12), R1 (v=11), CT1 (n=9), CM1 (v=3), και CE1 (v=1).

Αναφορικά με την ανάπτυξη του τεχνουργήματος, η CE1 σχεδίασε και ανέπτυξε ένα πρώτο μοντέλο αεροπλάνου, το οποίο οδήγησε σε ένα δεύτερο βελτιωμένο μοντέλο με μεγαλύτερη άτρακτο για την εγκατάσταση των ηλεκτρονικών συστημάτων (πλακέτα, συσσωρευτής, κτλ.). Η CE1 επίσης δοκίμασε την εγκατάσταση των ηλεκτρονικών συστημάτων στο αεροπλάνο με την καθοδήγηση του CE2 που στη συνέχεια συνεισέφερε στην εγκατάστασή τους. Ο CE2 επίσης ανέπτυξε τα ηλεκτρονικά συστήματα κίνησης του αεροπλάνου, καθώς και την πλακέτα επίδειξης με τους ηλεκτρονικούς αισθητήρες για συλλογή των μετρήσεων και απεικόνισή τους στην οθόνη. Ο CE2 σχεδίασε τη δημιουργία ενός εκτυπωμένου τηλεχειριστηρίου για τις ανάγκες του



τεχνουργήματος, ενώ η CT1 ανέπτυξε και χρησιμοποίησε ένα δεύτερο τηλεχειριστήριο, το οποίο εφάρμοσε για διδασκαλία στην τάξη της. Ο R1 προσάρμοσε τα φωτοβολταϊκά στο αεροπλάνο, ενώ δοκιμάστηκε και ένα δείγμα sharkskin το οποίο δεν ενσωματώθηκε τελικά για αισθητικούς λόγους. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι τα μέλη CE2 και CT1 ήταν τα πλέον κεντρικά της ομάδας.

#### *KM Δ*

Η κεντρική ιδέα του μοντέλου μνήμης φλας που ενσωματώνει κβαντικά φαινόμενα σπιν και σήραγγας εισήχθη από τον DS1, ο οποίος εισήγαγε 9 κεντρικές ιδέες. Κεντρική δραστηριότητα είχε και η DM2, η οποία παρά το ότι εισήγαγε μόνο 1 κεντρική ιδέα, αναζήτησε και διαμοιράστηκε με την ομάδα πηγές για τη σπινηλεκτρονική, συναφή κβαντικά φαινόμενα, και συστήματα αρίθμησης. Επιπλέον, οι DM2 και DS1 είχαν ιδιαίτερα ενεργό συμμετοχή και μέσω του forum. Ο DE1 είχε σημαντική συμμετοχή ειδικά στο πρακτικό μέρος ανάπτυξης του τεχνουργήματος, ενώ εισήγαγε 2 κεντρικές ιδέες. Άλλες κεντρικές ιδέες εισήγαγαν οι R1 (v=16), DS2 (v=1), και DT1 (v=1).

Σχετικά με την ανάπτυξη του τεχνουργήματος η DM2 ανέπτυξε πολλά προκαταρκτικά πρωτότυπα τα οποία διαμοιράστηκε μέσω της πλατφόρμας με τα άλλα μέλη προκειμένου να αποφασίσει η ομάδα ποιο ενδεχόμενο προτιμάει. Συγκεκριμένα, ανέπτυξε μοντέλα αναπαράστασης ηλεκτρονίων με μαγνήτες, με αφρολέξ, με ξύλο και μακετόχαρτο, ενός μηχανισμού με KNEX ξυλάκια και τροχαλίες που αναποδογύριζαν τα 'ηλεκτρόνια', ενώ έφτιαξε βελτιωμένες εκδοχές των πρωτοτύπων. Η DM2 έφτιαξε μια εφαρμογή στο GeoGebra που αναπαριστούσε την κωδικοποίηση σε 0 και 1 για διαφορετικές κατευθύνσεις σπιν των σιδηρομαγνητικών πλακών του τρανζίστορ, καθώς και μια εφαρμογή GeoGebra για μετατροπή αριθμών σε διαφορετικά συστήματα αρίθμησης. Στο τελικό τεχνουργήμα η DM2 συνείσφερε στην κατασκευή των οκτάδων αναπαράστασης των ηλεκτρονίων σε άξονες. Η DM1 έφτιαξε το ορθογώνιο μοντέλο για ένα φλασάκι το οποίο επιμελήθηκε καλλιτεχνικά. Ο DE1 ανέπτυξε και προγραμματίισε το ρομποτάκι που διάβαζε το 'σπιν' των 'ηλεκτρονίων', το οποίο προσάρμοσε μετέπειτα ο R1. Η DT1 σχεδίασε και ανέπτυξε τη διάταξη Arduino με λαμπάκια LED κατά την οποία ο χρήστης έγραφε μια λέξη στον υπολογιστή ή έλεγε φωνητικά στο κινητό και αυτή αποτυπώνονταν σε δυαδική μορφή με 8 LED που αναβόσβηναν. Τέλος, η DT2 έφτιαξε και διαμοιράστηκε την

εφαρμογή σε AppInventor για κινητά για τη μετάφραση λέξεων στο δυαδικό σύστημα. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι η κεντρικότητα δραστηριότητας διαμοιράστηκε κυρίως μεταξύ των DM2, DS1, και DE1, ενώ περισσότερο περιφερειακά μέλη ήταν η DM1 και η DS2.

### *Μοτίβα δραστηριότητας*

Μια γενική επισκόπηση της δραστηριότητας των μελών στις 4 διαφορετικές MK μπορεί να αναδείξει κάποια αναδυόμενα μοτίβα. Συγκεκριμένα, βλέπουμε μια μεγάλη απόκλιση στις ομάδες μεταξύ κάποιων μελών οι οποίοι/ες είχαν σημαντικά ενεργό συμμετοχή, ενώ κάποια μέλη (συνήθως 1 ή 2σε κάθε MK) είχαν περιθωριακή/μειωμένη δραστηριότητα. Αναλύοντας την κεντρικότητα των μελών σε σχέση με την προϋπηρεσία τους στην εκπαίδευση δεν μπορούμε να ανιχνεύσουμε κάποια συσχέτιση στην παρούσα έρευνα. Αντιθέτως, μπορούμε να δούμε ότι στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, με εξαίρεση τον BS4, τα περισσότερα κεντρικά μέλη δήλωσαν επαρκή ή μερική προεμπειρία στο STEM, κάτι που συμφωνεί με την ανάλυση των συνεντεύξεων των εκπαιδευτικών (Nirygakis κ.ά., 2022). Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι η προεμπειρία σε STEM projects ή/και διεπιστημονικές προσεγγίσεις συνεισφέρει στη δραστηριότητα των μελών στον STEM σχεδιασμό.

### *STEM σχεδιασμός & ειδικότητες*

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναλύουμε την ενεργό συμμετοχή και την κεντρικότητα σε σχέση με την ειδικότητα των εκπαιδευτικών. Κατ' αρχάς, αναφορικά με την κεντρικότητα των μελών, βλέπουμε ότι υπήρξαν κεντρικά μέλη εκπαιδευτικοί από όλα τα πεδία S-T-E-M. Συνεπώς, μπορούμε να πούμε ότι στην παρούσα μελέτη 4 περιπτώσεων MK, το επιστημονικό υπόβαθρο δεν λειτούργησε ως περιοριστικός παράγοντας για το αν θα είναι ένας εκπαιδευτικός κεντρικό μέλος στον STEM σχεδιασμό.

Παρ' όλ' αυτά, αναφορικά με την ενεργό συμμετοχή των εκπαιδευτικών, ένα γενικότερο μοτίβο που προέκυψε δείχνει ότι οι εκπαιδευτικοί Μαθηματικών είθισται να είχαν περιθωριακή σχεδιαστική δραστηριότητα στις περισσότερες ομάδες της παρούσας έρευνας, με εξαίρεση την DM2. Το αποτέλεσμα αυτό διατυπώθηκε και από δηλώσεις των ιδίων των εκπαιδευτικών των Μαθηματικών, όπως φαίνεται παρακάτω.

BM1: Σε οποιοδήποτε θέμα πιστεύω ότι τα Μαθηματικά μπορούν να υπάρξουν υποστηρικτικά [B3 συνάντηση]

CM1: Απλά εγώ θα περιμένω, δηλαδή νομίζω ότι είμαι ο τελευταίος τροχός της αμάξης. Να περιμένω τελικά αυτό που κατασκευάσαμε, αν όντως καταφέραμε να ικανοποιήσουμε τους αρχικούς στόχους. Κι αν δεν τους ικανοποιήσαμε, πάλι θα βάλουμε άλλες παραμέτρους να μετρήσουμε, και εγώ στο τέλος θα λάβω υλικό για να σας δώσω συμπεράσματα. [Γ4 συνάντηση]

DM2: Να πω την αλήθεια ότι εγώ ως Μαθηματικός αισθάνομαι σε μία διδασκαλία STEM ο πιο αδύναμος κρίκος, με την έννοια ότι τα φαινόμενα τα Φυσικά, τα Χημικά, τη γλώσσα προγραμματισμού, όλα αυτά δεν τα ξέρω. Και ξέρω τα Μαθηματικά που όμως τα ξέρουμε όλοι (γέλιο), τα λίγα Μαθηματικά αυτά. Και διερωτάμαι αν τελικά πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος του Μαθηματικού σε μία διδασκαλία STEM; Χρειάζεται; Ή αντίστροφα αν ο Μαθηματικός επιχειρήσει να κάνει μια διδασκαλία STEM μήπως χρειάζεται περισσότερες γνώσεις, περισσότερη κατάρτιση; Αυτό ήθελα να θέσω σαν ερώτημα που με απασχολεί ως πούμε κατά τη διάρκεια όλου του σεμιναρίου. [Δ8 συνάντηση]

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι παραπάνω διατυπώσεις αντίληψης του ρόλου των Μαθηματικών ως περιθωριακό έλαβαν χώρα ακόμα και σε περιπτώσεις μελών όπου έπαιξαν σημαντικό ρόλο στον σχεδιασμό. Για παράδειγμα η DM2 ήταν κεντρικό και το πλέον ενεργό μέλος στην ομάδα Δ, ενώ η CM1 συνείσφερε σημαντικά στην πλαισιοποίηση του τερχνουργήματος σε ένα περιβαλλοντικό θέμα. Επίσης, σε αρκετές περιπτώσεις της παρούσας έρευνας τα Μαθηματικά ενσωματώθηκαν εγγενώς στο διδακτικό υλικό, πέρα από την τετριμμένη χρήση τους στο STEM για γραφική απεικόνιση και ανάλυση δεδομένων (Ring-Whalen κ.ά., 2018). Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν η στερεομετρία και τα τρισδιάστατα σχήματα στην ομάδα Β, τα συστήματα αρίθμησης και μετατροπές τους σε δυαδικό για αποθήκευση πληροφορίας στην ομάδα Δ, η συμμετρία και οι αναλογικές διαστάσεις του αεροπλάνου στην ομάδα Γ, κτλ. Από τα παραπάνω φαίνεται πως υπάρχουν βαθύτερα εμπόδια και αντιλήψεις αυτό-εκτίμησης που εμποδίζουν την καλλιέργεια STEM ταυτότητας στους εκπαιδευτικούς Μαθηματικών.

Μία γενικότερη διαφοροποίηση παρουσιάστηκε και ως προς την ενσωμάτωση του καινοτόμου αντικείμενου της NET. Στην παρούσα έρευνα, οι εκπαιδευτικοί ΦΕ και Μαθηματικών (S-M) έτειναν να υποστηρίζουν πιο ενεργά την ενσωμάτωση θεμάτων της NET, όπως π.χ. στις περιπτώσεις των AS1, BS3, CS1, CS2, DS1, DM2, ενώ αντίστοιχα ορισμένοι εκπαιδευτικοί Τεχνολογίας και Μηχανικής (T-E) έτειναν να είναι πιο σκεπτικοί απέναντι σε θέματα που σχετίζονταν με τη NET ως αντικείμενο, όπως οι περιπτώσεις των AE1, AE2 και CE2. Αντίστροφα, σε συζητήσεις για πρακτικά θέματα σχεδιασμού και ανάπτυξης, οι εκπαιδευτικοί T-E έτειναν να

είχαν πιο ενεργό ρόλο σε αντίθεση με τους συναδέλφους S-M. Συνεπώς, φαίνεται πως στην εισαγωγή και υποστήριξη θεμάτων, αντανακλάται σε κάποιο βαθμό το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών. Εντούτοις, υπήρξαν ‘εξαιρέσεις του κανόνα’, όπου εκπαιδευτικοί επιτέλεσαν ‘διασυννοριακές μεταβάσεις’, όπως η CT1 που ηγείτο θεμάτων NET και καινοτομίας στην ΚΜ Γ ή η DM2 στην ΚΜ Δ που διεκπεραίωσε μεγάλο μέρος του φυσικού τεχνουργήματος και επαναληπτικών κύκλων μηχανικού σχεδιασμού για αυτό. Σε γενικές γραμμές πάρα ταύτα τα παραπάνω μοτίβα δείχνουν διαφοροποιήσεις στις πρακτικές STEM σχεδιασμού σε συνάρτηση με την ειδικότητα των εκπαιδευτικών.

Τέλος, αναφορικά με την ανάπτυξη τεχνουργημάτων, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρότι ο διαχειριστής της συζήτησης έδινε την ευκαιρία στους εκπαιδευτικούς να πάρουν μόνοι τους πρωτοβουλίες, οι εκπαιδευτικοί συνήθως έτειναν να αναλαμβάνουν κομμάτια τα οποία σχετίζονταν περισσότερο με την ειδικότητά τους. Για παράδειγμα, οι εκπαιδευτικοί T-E έτειναν να αναλαμβάνουν την ανάπτυξη ρομποτικής κατασκευής και συστήματος αισθητήρων, ο σχεδιασμός και ανάπτυξη του το μοντέλου αεροπλάνου έγινε από την Αρχιτέκτονα Μηχανικό, ενώ τα 3D εκτυπώσιμα κομμάτια από τον Πληροφορικό. Αντίθετα, η πειραματική κατασκευή ενός δείγματος DSSC ή η κατασκευή στερεομετρικών μοντέλων DNA έγινε από τους εκπαιδευτικούς ΦΕ. Αφενός θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε το αποτέλεσμα αυτό με βάση του ότι υπήρχαν περιορισμοί Covid, οπότε δεν υπήρχε η δυνατότητα άμεσης διάδρασης κατά την κατασκευή, οπότε οι εκπαιδευτικοί επέλεξαν αυτό που τους ήταν πιο οικείο. Αφετέρου μπορούμε να ερμηνεύσουμε το αποτέλεσμα αυτό στο ότι το επιστημονικό υπόβαθρο γενικότερα επηρέασε –εκτός από τον STEM σχεδιασμό– και την ανάπτυξη του τεχνουργήματος. Και εδώ, βέβαια προέκυψαν εξαιρέσεις, όπως π.χ. στην ΚΜ Δ όπου η DM2 έκανε την πιο εκτενή δουλειά στο πεδίο της Μηχανικής.

### *Ο ρόλος των ερευνητών*

Αναλύοντας συγκεκριμένα τη σχεδιαστική δραστηριότητα των ερευνητών Διδακτικής των ΦΕ και συγκεκριμένα της Εκπαίδευσης STEM στις ΜΚ, βλέπουμε ότι υπήρξε μια σημαντική συνεισφορά τόσο στον σχεδιασμό όσο και στην ανάπτυξη τεχνουργήματος, εκτός από τον διαχειριστικό ρόλο της οργάνωσης των συζητήσεων στις ΜΚ. Συγκεκριμένα, η συνεισφορά αυτή έγκειται αφενός στην ενεργό συμμετοχή στις συζητήσεις και στην εισαγωγή, υποστήριξη, επέκταση αλλά και

κριτική ιδεών. Κάποια κεντρικά μοτίβα για τη συνεισφορά των ερευνητών περιλαμβάνουν: α) την υποστήριξη σε διδακτικές μεθοδολογίες, όπως πχ σε συζητήσεις για τη μοντελοποίηση φαινομένων στο τεχνούργημα, όπως συνέβη σε 3 ΜΚ, β) την υποστήριξη της ενσωμάτωσης της NET στις STEM ενότητες, π.χ. μέσω της εισαγωγής και υποστήριξης για τη χρήση θερμοχρωμικών τζαμιών και οργανικών φωτοβολταϊκών στα τεχνουργήματα, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που η εισαγωγή της NET ήταν περιθωριακή και οι εκπαιδευτικοί δεν επικέντρωναν στη NET, όπως στην ομάδα Α, και γ) την εισαγωγή και υποστήριξη της ρομποτικής στα τεχνουργήματα (ομάδες Β και Δ) προκειμένου να υποστηριχθεί η ενσωμάτωση τεχνολογικών εργαλείων και διαδικασιών στις ενότητες. Αφετέρου, θεωρούμε ότι έγιναν κάποιες κρίσιμες παρεμβάσεις από τους ερευνητές αναφορικά με τη λήψη αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό και την επεξεργασία ιδεών, υπό τη μορφή κριτικής ιδεών που δεν υποστηρίζονταν επιστημονικά επαρκώς (ΚΜ Β, δακτυλόδρομος), στερούνταν καινοτομίας (ΚΜ Α, μετεωρολογικός σταθμός και NET), και δεν αναπαριστούσαν πιστά το φαινόμενο (ΚΜ Δ, βραχίονας και πούλια δύο χρωμάτων).

#### ***4.1.4) Ανάλυση ατομικών σχεδίων STEM διδασκαλίας***

Στο υποκεφάλαιο αυτό αναλύονται τα σχέδια διδασκαλίας που ανέπτυξαν, διαμοιράστηκαν και επεξεργάστηκαν οι εκπαιδευτικοί σε δύο επαναληπτικούς κύκλους μετά από την 11<sup>η</sup> και 12<sup>η</sup> συζήτηση στις ΜΚ (βλ. Πίνακα 3.3). Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικές συχνότητες εμφάνισης θεματικών τμημάτων ανάλυσης σε κάθε STEM χαρακτηριστικό σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο των Roehrig κ.ά. (2021). Διευκρινίζουμε ότι δεν δόθηκε κάποιος περιορισμός όσο αφορά τη χρονική διάρκεια των διδασκαλιών που σχεδίασαν οι εκπαιδευτικοί. Συνεπώς, κάποιοι εκπαιδευτικοί σχεδίασαν ένα μάθημα διάρκειας δύο διδακτικών ωρών, ενώ άλλοι σχεδίασαν μια διδασκαλία project χρονικής διάρκειας έως 15 ωρών (π.χ. η CT1), κάτι που είχε ως αποτέλεσμα μεγάλες αποκλίσεις στο πλήθος των θεματικών τμημάτων μεταξύ των εκπαιδευτικών.

### **Πίνακας 4.3**

*Θεματικά Τμήματα στα Σχέδια Διδασκαλίας ανά Εκπαιδευτικό*

Μέλος	1)Προβλήματα πραγματικού κόσμου	2)Μηχανικός σχεδιασμός	3)Διασύνδεση με το πλαίσιο	4)Διασύνδεση πεδίων	5)STEM πρακτικές	6)Δεξιότητες 21 <sup>ου</sup> αι.**				7)STEM καριέρες
						CT	Cre	Coll	Com	
AS1	18	19	26	0	19	10	2	1	2	0
AS2	14	18	21	15	16	10	0	0	0	0
AT1	4	12	4	0	5	1	1	1	0	0
AE1	4	10	10	2	11	1	0	4	2	0
AE2	9	6	8	1	7	0	2	0	0	0
AM1	26	37	45	26	51	13	2	3	4	3
BS1*										
BS2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BS3	5	4	6	0	3	3	0	0	0	0
BS4	8	6	10	9	6	5	2	2	2	0
BT1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BE1	2	7	4	0	4	0	0	0	0	0
BM1	3	7	5	7	5	1	1	3	2	0
CS1	9	5	16	1	7	6	5	0	1	1
CS2	13	12	14	12	30	15	1	10	1	0
CT1	32	56	49	29	53	28	9	5	11	5
CE1	2	12	7	3	5	1	3	1	0	0
CE2	5	10	11	9	9	4	0	2	0	0
CM1	14	10	17	19	27	10	1	2	0	0
DS1	2	3	2	0	4	0	0	2	0	0
DS2	8	2	9	4	5	2	0	1	2	1
DT1*										
DT2	2	1	3	1	10	1	0	10	8	0
DE1	5	1	4	2	2	0	0	2	1	0
DM1	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0
DM2	12	6	18	15	10	9	0	5	1	0

\*Η BS1 και η DT1 παρουσίασαν τις περιγραφές των σχεδίων διδασκαλίας τους μόνο προφορικά

\*\*Η έρευνα εστίασε στην Κριτική Σκέψη (CT), Δημιουργικότητα (Cre), Συνεργασία (Coll), και Επικοινωνία (Com)

Μια γενικότερη σύγκριση της κατανομής των θεματικών τμημάτων δείχνει ότι υπάρχει μια διαφορετική εστίαση σε STEM χαρακτηριστικά μεταξύ εκπαιδευτικών. Για παράδειγμα, ενώ κάποιιοι εκπαιδευτικοί όπως π.χ. η DT2 έδωσαν βάρος στην καλλιέργεια δεξιοτήτων 21<sup>ου</sup> αιώνα και STEM πρακτικών, άλλοι όπως π.χ. ο AT1 επικέντρωσαν στον μηχανικό σχεδιασμό. Παρακάτω ακολουθεί περαιτέρω ανάλυση όσο αφορά το πώς υλοποιήθηκε το καθένα από τα 7 STEM χαρακτηριστικά από τους εκπαιδευτικούς.

1) Έμφαση σε προβλήματα καθημερινότητας/πραγματικού κόσμου: Η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών πλαισίωσε την διδασκαλία τους σε προβλήματα καθημερινότητας. Παρ' όλ' αυτά, σε 6 περιπτώσεις η έμφαση σε προβλήματα πραγματικού κόσμου ήταν περιορισμένη ή απουσίαζε.

Χαρακτηριστικό είναι δε, ότι 5 από τις 6 αυτές περιπτώσεις ήταν εκπαιδευτικοί Τ-Ε επιστημών (4 Μηχανικής και 1 Τεχνολογίας), οι οποίοι έδωσαν πολύ περισσότερη έμφαση στο τεχνικό μέρος π.χ. προγραμματισμός του τεχνουργήματος, και έτσι περιθωριοποίησαν την έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα. Άλλα μοτίβα που εμφανίστηκαν είναι: α) το πρόβλημα πραγματικού κόσμου υπάρχει αλλά υπό τη μορφή θέματος/πλαισίου, χωρίς να υπάρχει ιδιαίτερη πρόκληση-προβληματισμός των μαθητών για αυτό (v=8), π.χ. αναφορές για πράσινη ενέργεια σε μία διδασκαλία για έξυπνα θερμοκήπια, β) χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις διερεύνησης, όπως π.χ. σε μια διαδικασία πειραματικού ελέγχου μεταβλητών, χωρίς όμως να υπάρχει ένα συνεκτικό πρόβλημα με το οποίο να συνδέονται άμεσα όλες οι ερωτήσεις (v=4), γ) υπάρχει αναφορά σε πρόβλημα πραγματικού κόσμου αλλά μερικώς μόνο, δηλαδή μόνο σε συγκεκριμένο μέρος/δραστηριότητα του σχεδίου διδασκαλίας (v=4, 3 εκ των οποίων είναι ΦΕ και 1 Τεχνολογίας), και τέλος δ) 5 εκπαιδευτικοί (3 ΦΕ και 2 Μαθηματικών) χρησιμοποίησαν ένα γενικότερο ανοιχτό πρόβλημα με το οποίο συνδέονταν όλες οι δραστηριότητες του σχεδίου διδασκαλίας.

2) *Ενασχόληση με μηχανικό σχεδιασμό*: μόνο 5 εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν στις διδασκαλίες τους την κατασκευή του STEM τεχνουργήματος που σχεδίασε και ανέπτυξε η ομάδα από τους ίδιους τους μαθητές, ενώ 2 από τους προαναφερθέντες θα το έκαναν με τη βοήθεια συναδέλφων. 11 εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν την κατασκευή επιμέρους μικρότερων τεχνουργημάτων ή μερών του ομαδικού τεχνουργήματος. Απεναντίας, 8 εκπαιδευτικοί σχεδίασαν να χρησιμοποιήσουν το τεχνουργήμα για διδασκαλία, π.χ. μόνο για συλλογή δεδομένων, ενώ 6 εκπαιδευτικοί (5 εκ των οποίων από S-M επιστήμες) απλά θα έκαναν επίδειξη του τεχνουργήματος στην τάξη, χωρίς να δώσουν έμφαση στη διαδικασία μηχανικού σχεδιασμού.

3) *Διασύνδεση με το πλαίσιο*: όλοι οι εκπαιδευτικοί πλαισίωσαν τις δραστηριότητές τους ή μέρος αυτών με STEM εννοιολογικό περιεχόμενο. Επιπλέον, 14 εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν κοινωνικοεπιστημονικά πλαίσια, ενώ 4 εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν στοιχεία από την Ιστορία της Επιστήμης/ιστορικές αναδρομές.

4) *Διασύνδεση επιστημονικών πεδίων*: μόνο 5 εκπαιδευτικοί σχεδίασαν δραστηριότητες όπου συζητήθηκε ρητά η διασύνδεση των πεδίων ή ρητές αναφορές στη διεπιστημονικότητα, κτλ. Η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών (v=18) σχεδίασε δραστηριότητες όπου υπάρχει διασύνδεση μεταξύ πεδίων, χωρίς όμως να γίνεται ρητός αναστοχασμός/συζήτηση για τη διασύνδεσή τους.

5) *STEM πρακτικές*: Οι εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν διάφορες αυθεντικές STEM πρακτικές στα σχέδια διδασκαλίας τους. Ενδεικτικά αναφέρουμε: τη μοντελοποίηση φαινομένων (v=16), μεθοδευμένες πειραματικές δραστηριότητες (v=8), έλεγχο τεχνουργήματος με σκοπό τη βελτίωσή του (v=6), πρακτικές χειρισμού δεδομένων (data practices, v=10), τη διεξαγωγή βιβλιογραφικής αναζήτησης από τους μαθητές στο διαδίκτυο (v=5), δραστηριότητες επιστημικής αυτενέργειας (epistemic agency) γενικότερα (v=17), καταϊγισμό ιδεών (v=9), προγραμματισμό (v=14), κτλ.

6) *Δεξιότητες 21<sup>ου</sup> αιώνα*: η ανάλυση της παρούσας έρευνας εστίασε στην Κριτική Σκέψη (CT), Δημιουργικότητα (Cre), Συνεργασία (Coll), και Επικοινωνία (Com). Σε σχέση με την κριτική σκέψη, ενσωματώθηκαν στοιχεία και δραστηριότητες που ενέπλεκαν: τη σύγκριση αποτελεσμάτων (π.χ. μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών ή μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικού πειράματος) (v=12), την αναγνώριση της χρησιμότητας στο γενικότερο πεδίο (v=8), την αναγνώριση ομοιοτήτων μεταξύ περιπτώσεων (v=2), την αναγνώριση της θετικής χρήσης ενός στοιχείου (v=4), την πρόβλεψη της εξέλιξης ενός φαινομένου (v=4), τη συστημική σκέψη (v=2), κ.ά. Σε σχέση με τη Δημιουργικότητα, 2 εκπαιδευτικοί έθεσαν δραστηριότητες σχεδιασμού του πρωτότυπου στους μαθητές, 1 εκπαιδευτικός ενσωμάτωσε δραστηριότητες που ενέπλεκαν ρητά την Τέχνη όπως με τη δημιουργία κολλάζ, 3 εκπαιδευτικοί έκαναν ρητές αναφορές στη φαντασία, ενώ 9 εκπαιδευτικοί ενσωμάτωσαν δραστηριότητες καταϊγισμού ιδεών. Αναφορικά με τη συνεργασία, υπήρξαν δραστηριότητες εργασίας σε ομάδες (v=12), συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του ίδιου εκπαιδευτικού (v=1) ή διαφορετικών εκπαιδευτικών (v=1), ενώ 8 εκπαιδευτικοί έκαναν αναφορά σε συνεργασία με συνάδελφο κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας τους/συνδιδασκαλία. Σχετικά με την επικοινωνία, 4 εκπαιδευτικοί σχεδίασαν δραστηριότητες όπου οι μαθητές παρουσίαζαν οι ίδιοι (π.χ. το τεχνούργημα), δημιουργούσαν ένα αντικείμενο διάχυσης/διαμοιρασμού (v=1), ενώ υπήρξαν αναφορές για τη φιλικότητα του τεχνολογικού περιβάλλοντος στον χρήστη (v=1), την απλότητα της γλώσσας (v=1), κ.ά.

7) *STEM καριέρες*: Μόνο 4 εκπαιδευτικοί σχεδίασαν δραστηριότητες με ρητές αναφορές σε STEM επαγγελματικό προσανατολισμό και καλλιέργεια STEM ταυτοτήτων στους μαθητές. Συγκεκριμένα αναφέρθηκαν διαστάσεις για συναφή επαγγέλματα, επίδειξη της εργασίων επαγγελματιών του χώρου, καθώς και αναφορές σε επιχειρηματικότητα και χρήση καινοτόμων τεχνολογιών.



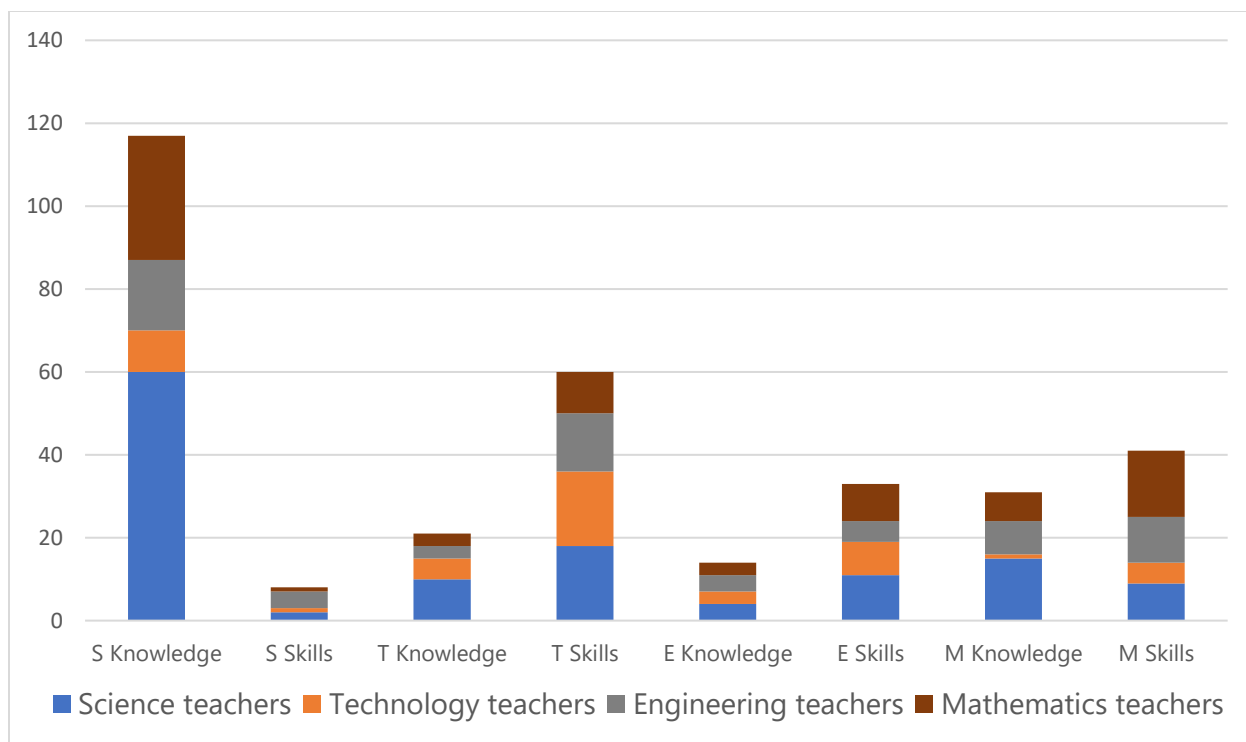
Τα παραπάνω αποτελέσματα αφενός αναδεικνύουν τρόπους με τους οποίους οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται και υλοποιούν τα 7 STEM χαρακτηριστικά, αφετέρου δε αναδεικνύουν παράλληλα και ιδιαιτερότητες και διαφορές αναφορικά με το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε πως αρκετοί εκπαιδευτικοί S-M της παρούσας έρευνας ενσωμάτωσαν πιο εγγενώς ρεαλιστικά προβλήματα της καθημερινότητας, ενώ αντίθετα αρκετοί εκπαιδευτικοί T-E περιθωριοποίησαν αυτή τη διάσταση. Το αντίθετο συμβαίνει με τον μηχανικό σχεδιασμό, όπου αρκετοί εκπαιδευτικοί S-M επιστημών περιθωριοποίησαν τις διαδικασίες κατασκευής τεχνουργήματος. Αξιοσημείωτο είναι ακόμα το γεγονός ότι οι δραστηριότητες ρητής συζήτησης για τη STEM διασύνδεση ήταν περιορισμένες, ενώ η διάσταση STEM καριερών εμφανίστηκε σε ελάχιστες περιπτώσεις.

#### ***4.1.5) Επιστημονική ανάλυση των ενοτήτων***

Αναλύοντας τα επιστημονικά στοιχεία (γνώσεις-δεξιότητες) που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί στις διδασκαλίες που σχεδίασαν, μπορούμε να παρουσιάσουμε τις συγκεντρωτικές συχνότητες των στοιχείων ανά επιστημονικό πεδίο στο Σχήμα 4.2. Στο Σχήμα 4.2 έχουμε διαχωρίσει επίσης τα επιστημονικά στοιχεία ανά ειδικότητα των εκπαιδευτικών, απεικονίζοντας τις επιμέρους S-T-E-M ειδικότητες των εκπαιδευτικών με διαφορετικό χρώμα. Επιπλέον, ο Πίνακας 4.4 παρουσιάζει ενδεικτικά επιστημονικά στοιχεία που κωδικοποιήθηκαν αντίστοιχα σε κάθε κατηγορία.

## **Σχήμα 4.2**

*Γενική Επισκόπηση Επιστημονικών Στοιχείων*



#### Πίνακας 4.4

*Ενδεικτικά Επιστημονικά Στοιχεία που Αναγνώρισαν οι Εκπαιδευτικοί*

	Γνώσεις	Δεξιότητες
Φυσικών Επιστημών	φυσικά μεγέθη, δομή της ύλης, σπιν και κβαντικά φαινόμενα, φαινόμενο σήραγγας, δομή και λειτουργία του DNA, αυτό-οργάνωση, δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις όπως ο δεσμός H, γονίδια και κληρονομικότητα, κέντρο βάρους, Αεροδυναμική, Άντωση, αρχές λειτουργίας μπαταριών, σύσταση ατμόσφαιρας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ρύπανση, φωτοσύνθεση, νανοσωματίδια, φαινόμενο θερμοκηπίου και αέρια θερμοκηπίου, καιρός και κλίμα, παράμετροι που επηρεάζουν την επικινδυνότητα φωτιάς, ηλεκτρομαγνήτες, κτλ.	συλλογή δεδομένων, εκτίμηση επικινδυνότητας φωτιάς, μοντελοποίηση, συντήρηση φυτού (λίπανση, αποστράγγιση)

Τεχνολογίας	γνώση αρχών συνδεσμολογίας και λειτουργίας, μετατροπή λέξεων/πληροφορίας σε δυαδική μορφή, κτλ.	προγραμματισμός, χρήση εργαλείων και συσκευών, κατασκευή τεχνουργημάτων, μοντελοποίηση/προσομοιώσεις, κριτική σκέψη για το πώς δουλεύει, αναγνώριση ψηφιακών αναπαραστάσεων
Μηχανική	αρχές τηλεπικοινωνιών, θεωρία Αεροδυναμικής και αεροδυναμικά σχήματα, αρχές λειτουργίας συσκευών όπως κινητήρες, γνώσεις για κατασκευές, μηχανική αντίληψη	κατασκευή μοντέλων και τεχνουργημάτων όπως η κατασκευή και επιδιόρθωση ρομποτικής κατασκευής, τεχνικές όπως η μετατροπή γραμμικής κίνησης σε κυκλική, σχεδιασμός και χρήση σχεδιαστικού προγράμματος, σύνδεση καλωδίων, μοντελοποίηση, φάσεις του κύκλου μηχανικού σχεδιασμού
Μαθηματικά	Στερεομετρία και ονόματα γεωμετρικών σχημάτων, συμμετρία, Πυθαγόρειο θεώρημα, διαστάσεις, εμβαδόν, όγκος, κλίμακες, Στατιστική, Συνδυαστική	υπολογισμοί, γραφήματα, κλίση, στατιστική ανάλυση, χρήση τεχνολογικών εργαλείων όπως GeoGebra και πίνακες στο Excel, ερμηνεία δεδομένων από γραφικές παραστάσεις και συγκρίσεις, επιλογή και μετατροπές κλίμακας, κτλ.

Η γενική επισκόπηση των επιστημονικών στοιχείων αναδεικνύει κάτι που θα μπορούσαμε να περιμένουμε: τα επιστημονικά στοιχεία ΦΕ που αναγνωρίστηκαν ήταν πρωτίστως γνώσεις παρά δεξιότητες. Το αντίθετο συμβαίνει για τα στοιχεία T-E αντίστοιχα, όπου η φύση των επιστημονικών στοιχείων που αναγνωρίστηκαν σχετίστηκαν περισσότερο με δεξιότητες, παρά με γνώσεις. Συνεπώς, οι επιστήμες της Τεχνολογίας και Μηχανικής συνδυάστηκαν περισσότερο με δεξιότητες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν την ‘ικανότητα να κάνεις κάτι’, ενώ οι ΦΕ με την ικανότητα ‘να ανακαλείς και να χρησιμοποιείς πληροφορίες’ (Keeny & Chakroun, 2015). Χαρακτηριστικό είναι πάρα ταύτα, ότι ενώ αρκετοί εκπαιδευτικοί έκαναν αναφορές στη διαδικασία διερεύνησης στα σχέδια διδασκαλίας (π.χ. στην περιγραφή διδακτικών μεθόδων), δεν έτειναν να συμπεριλάβουν όμως δεξιότητες διερεύνησης στις ερωτήσεις επιστημονικής ανάλυσης.

Αναφορικά με τα επιστημονικά στοιχεία στο πεδίο Μαθηματικών, παρατηρούμε μια διαφοροποίηση υπέρ των δεξιοτήτων. Μια επισκόπηση των αντίστοιχων στοιχείων μπορεί να ερμηνεύσει το αποτέλεσμα αυτό υπό την έννοια του ότι συχνά αναγνωρίστηκαν δεξιότητες γραφικής απεικόνισης, ανάλυσης δεδομένων, χρήσης εργαλείων ΤΠΕ για την οργάνωση και επεξεργασία δεδομένων κτλ. Αυτό θα μπορούσαμε να το ερμηνεύσουμε στο ότι τα Μαθηματικά στο STEM είθισται να χρησιμοποιούνται ως ένα εργαλείο απλά για υπολογισμούς και ανάλυση δεδομένων (Ring-Whalen κ.ά., 2018), ειδικότερα πολλές φορές με ένα χρηστικό τρόπο (Tzanakis & Thomaidis, 2000).

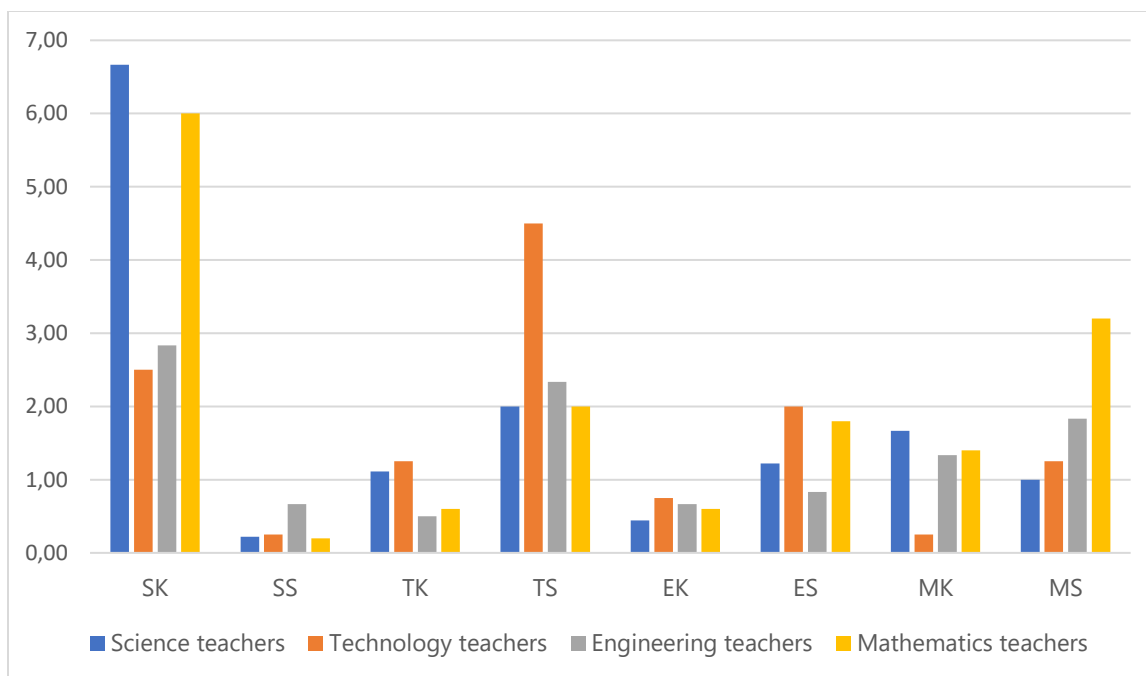
AS1: σπάνια ένας των φυσικών επιστημών θα μπλέξει μέσα την ουσία των μαθηματικών. Δηλαδή εμείς σαν φυσικοί χρησιμοποιούμε τα Μαθηματικά απλά και δεν μπαίνουμε σε περαιτέρω [AS1, αναστοχαστική συνέντευξη]

Η παραπάνω διατύπωση ενός εκπαιδευτικού ΦΕ επιβεβαιώνει μια τέτοια χρηστική χρήση των Μαθηματικών. Συνεπώς, παρόλο που μαθηματικές έννοιες ενεπλάκησαν στο παραχθέν διδακτικό υλικό, η εκτεταμένη χρήση δεξιοτήτων χειρισμού και ανάλυσης δεδομένων επέδρασε στο αποτέλεσμα αυτό.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται πιο αναλυτικά στο Σχήμα 4.3 οι μέσοι όροι των επιστημονικών στοιχείων που αναγνωρίστηκαν ανά εκπαιδευτικό σε σχέση με την ειδικότητά του/της.

### **Σχήμα 4.3**

*Μέσοι Όροι Επιστημονικών Στοιχείων ανά Εκπαιδευτικό σε Συνάρτηση με την Ειδικότητα των Εκπαιδευτικών*



Στον ψ άξονα παρουσιάζεται ο μέσος όρος των επιστημονικών στοιχείων ανά εκπαιδευτικό. Στον χ άξονα το πρώτο γράμμα αντιπροσωπεύει το πεδίο S-T-E-M, ενώ το δεύτερο συμβολίζει τις γνώσεις (K) ή δεξιότητες (S). Π.χ. SK είναι οι γνώσεις ΦΕ.

Ερμηνεύοντας το ραβδόγραμμα του Σχήματος 4.3 μπορούμε να δούμε ότι γενικότερα οι εκπαιδευτικοί έτειναν να αναγνωρίζουν περισσότερα επιστημονικά στοιχεία στο πεδίο της ειδικότητάς τους. Θα λέγαμε ότι αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό από τη στιγμή που οι εκπαιδευτικοί γενικά αναμενόταν να έχουν πιο εκτενείς γνώσεις και δεξιότητες στο πεδίο αυτό. Παρ' όλ' αυτά, η ποιοτική ανάλυση αναδεικνύει μια επιπλέον διάσταση, όπως φαίνεται στο παρακάτω απόσπασμα.

AS1: το πλάνο διδασκαλίας ποικίλλει ανάλογα με τον/ με αυτόν που θα το παρουσιάζει. Επειδή προφανώς θα γίνει από έναν αυτό, θα δώσει μια παραπάνω βαρύτητα, χωρίς να είναι απαραίτητο, νόμιζω ότι θα φύγει και λόγω ειδικότητας αν αφιερώσει ας πούμε A χρόνο στην κατά/ εγώ ας πούμε πχ που είμαι φυσικός αφιερώσω A χρόνο στην κατασκευή του θερμοκηπίου, θα αφιερώσω 3A στη συλλογή των δεδομένων ή στην πώς επηρεάζουν τα δεδομένα αυτά στο project αυτό. Και επίσης θα αφιερώσω πάλι A ποσότητα ας πούμε διδασκαλίας για τη μεταφορά των δεδομένων στην πλατφόρμα. [A7 συνάντηση]

Ανεξαρτήτως από τις παραπάνω γνώσεις και δεξιότητες των εκπαιδευτικών στο δικό τους πεδίο, το παραπάνω απόσπασμα υποδηλώνει ότι κάποιοι εκπαιδευτικοί είχαν και μια παραπάνω επικέντρωση/προσανατολισμό υπέρ του πεδίου τους. Παρόλο που η παρούσα έρευνα δεν δύναται

να ερμηνεύσει τους βαθύτερους λόγους που συμβαίνει αυτό, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο τρόπος σκέψης και η επιστημολογία που έχουν αναπτύξει οι εκπαιδευτικοί, καθώς και οι ανεπτυγμένες ικανότητες στο πεδίο αυτό ενδεχομένως να συμβάλλουν στην άνιση αυτή επικέντρωση μεταξύ των πεδίων.

Εντούτοις, αυτό δεν φαίνεται να συμβαίνει με τα επιστημονικά στοιχεία που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί Μηχανικής. Ειδικότερα, τα στοιχεία αυτά ήταν λιγότερα σε πλήθος σε σχέση με τα άλλα πεδία, ενώ χαρακτηριστικό είναι δε ότι ακόμα και οι εκπαιδευτικοί Μηχανικής αναγνώρισαν λιγότερα στοιχεία στο πεδίο τους. Αυτό το μάλλον μη αναμενόμενο αποτέλεσμα μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τρεις παράγοντες: α) πρώτον, η Μηχανική ως πεδίο θεωρείται συναφές με την Τεχνολογία, ενώ συχνά τα ‘σύνορα’ μεταξύ των δύο πεδίων είναι αμυδρά (Murphy κ.ά., 2015). Το παρακάτω απόσπασμα δείχνει ενδεικτικά μια τέτοια περιοχή που δυσκόλεψε την κατηγοριοποίηση των δύο πεδίων.

BS1: Εε ο μηχανικός είναι αυτός που ασχολείται και με το κομμάτι της ρομποτικής και με τον, με τον σχεδιασμό τα προγράμματα και αυτά ή ο τεχνολόγος τα κάνει αυτά; [BS1, συνέντευξη αναστοχασμού]

Για παράδειγμα, ένας εκπαιδευτικός Μηχανικής έγραψε τη ‘σχεδίαση’ στα επιστημονικά στοιχεία του πεδίου της Τεχνολογίας, παρόλο που η σχεδίαση είναι το κυρίως χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί έναν Μηχανικό από έναν Τεχνολόγο (Murphy κ.ά., 2015). Συνεπώς, το στοιχείο αυτό κωδικοποιήθηκε ως παρανόηση σε άλλο πεδίο (P\_Dis\_ES-O). β) Δεύτερον, παρόλο που στις αρχικές διαλέξεις παρουσιάστηκαν ορισμοί των πεδίων (NRC, 2014) και ο κύκλος μηχανικού σχεδιασμού, και στο υποστηρικτικό υλικό παρουσιάστηκε επιπλέον το θεωρητικό πλαίσιο των Moore κ.ά. (2017) για την Εκπαίδευση στη Μηχανική, παρατηρήθηκε παρά ταύτα μια σύγχυση ή/και έλλειψη κατανόησης στο τι ορίζουμε ως Μηχανική. Χαρακτηριστικό είναι δε ότι η σύγχυση αυτή έλαβε χώρα και ανάμεσα στους εκπαιδευτικούς Μηχανικής. Ενδεικτικά, ένας εκπαιδευτικός Μηχανικής στο σχέδιο διδασκαλίας του άφησε την ερώτηση αυτή στο πεδίο αυτό κενό από επιστημονικά στοιχεία, όντας το μόνο πεδίο το οποίο δεν συμπλήρωσε. Ακόμα, ένας άλλος εκπαιδευτικός Μηχανικής έβαλε στοιχεία όπως γεωμετρικές έννοιες στο πεδίο της Μηχανικής που κωδικοποιήθηκαν επίσης ως παρανοήσεις. γ) Τρίτον, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι σχετίζεται με το προηγούμενο, παρατηρήθηκε μια σύγχυση σε επίπεδο ορολογίας αυτό που θα ορίζαμε ως Engineering στα ελληνικά με τη Μηχανική ως κεφάλαιο της Φυσικής. Συγκεκριμένα, υπήρχαν περιπτώσεις που η διένεξη αυτή των όρων έκανε τους συμμετέχοντες ότι αναφερόμαστε στο

αντίστοιχο κεφάλαιο της Φυσικής, κάτι που προκαλούσε συχνά σύγχυση, ακόμα και σε εκπαιδευτικούς Μηχανικής.

DT2: Σίγουρα χρειάζεται Φυσικός, Μηχανικός δηλαδή. Εδώ πάει, Μηχανική; Είναι άλλο από τις Φυσική Επιστήμες; [DT2, συνέντευξη αναστοχασμού]

R1: η κίνηση του οχήματος από μόνη της είναι μία περιοχή που πρέπει να μπει μέσα και το προγραμματικό κομμάτι, και το Μηχανικό, αλλά και ίσως κάποιες έννοιες Φυσικών Επιστημών για το πώς θα δούμε την κίνηση του οχήματος.

DE1: Μηχανική είναι καθαρά. Είναι κομμάτι Φυσικών Επιστημών η Μηχανική. Δεν είναι ας πούμε δικό μας ηλεκτρολογικό ούτε της Πληροφορικής. [Δ9 συνάντηση]

R1: Ναι. Από αυτά που κάνεις Μηχανική δηλαδή τι θα έλεγες στους συναδέλφους σου εσύ; Τι, να έχουν μία ιδέα ας πούμε;

CT1: [στον CE2] Μηχανική; Τι Μηχανική;

CE2: δεν κατάλαβα. Πού κολλάει,

CT1: Αεροδυναμική εννοεί;

CE2: μάλλον, ξέρω γω;

CT1: Από Αεροδυναμική; Ε αυτό. Αλλαγή ταχύτητας;

CE2: Από Μηχανική δεν μπορώ να βάλω απολύτως τίποτα πέρα από ότι τα/η ταχύτητα του αέρα που θα πρέπει να είναι πάνω από το φτερό να είναι μεγαλύτερη από κάτω από το φτερό. Αυτό μόνο

[...]

CS2: εμένα η Μηχανική πήγε το μυαλό μου στη Φυσική

CE2: και εγώ εκεί πήγε το μυαλό μου να σου πω την αλήθεια [Γ6 συνάντηση]

Τα παραπάνω αποσπάσματα δείχνουν ενδεικτικά προβλήματα τα οποία προκύπτουν λόγω ορολογίας, ενώ υπάρχει ανάγκη επανεξέτασης του όρου μετάφρασης του Engineering (Σιδηρόπουλος, 2015). Σε κάθε περίπτωση σύγχυσης, βέβαια, ακολούθησαν παρεμβάσεις και διευκρινήσεις από τον ερευνητή προκειμένου να υπάρχει μια κοινή ευθυγράμμιση αναφορικά με τους ορισμούς των πεδίων.

Συμπερασματικά, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι τρεις παραπάνω παράγοντες συνέβαλλαν στην μειωμένη αναγνώριση επιστημονικών στοιχείων στο πεδίο της Μηχανικής, ακόμα και από τους εκπαιδευτικούς του κλάδου της Μηχανικής.

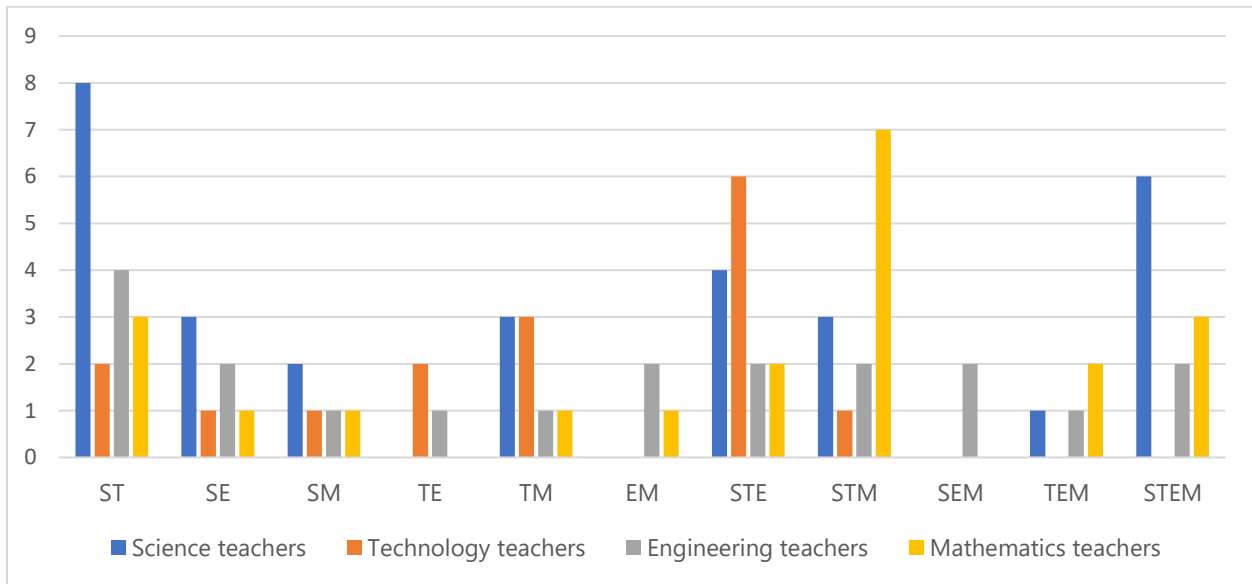
#### **4.1.6) Διεπιστημονική ανάλυση των ενοτήτων**

##### *Ανάλυση Διασυνδέσεων*

Αναλύοντας αντίστοιχα τα διεπιστημονικά στοιχεία από τα σχέδια STEM διδασκαλίας που παρέδωσαν οι εκπαιδευτικοί, μπορούμε να παρουσιάσουμε το Σχήμα 4.4 για το είδος των διασυνδέσεων, καθώς και τον Πίνακα 4.5 για ενδεικτικές διασυνδέσεις που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί για κάθε περίπτωση.

### Σχήμα 4.4

*Διασυνδέσεις Πεδίων σε Σχέση με την Ειδικότητα των Εκπαιδευτικών*



### Πίνακας 4.5

*Διεπιστημονικά Στοιχεία Μεταξύ Επιστημονικών Πεδίων*

ΦΕ-Τεχνολογίας (ST)	φαινόμενο θερμοκηπίου, φωτοσύνθεση, αναζήτηση στο διαδίκτυο, προβληματισμός από την εξέλιξη της Επιστήμης-Τεχνολογίας, εφαρμογές και επιπτώσεις τους, μπαταρίες, αισθητήρες για ατμοσφαιρικές παραμέτρους, δοκιμή του τεχνουργήματος, λειτουργία και δοκιμή κινητήρων, τηλεπικοινωνίες, ασύρματη επικοινωνία, προσομοίωση φωτιάς, ηλεκτρισμός και αποθήκευση πληροφορίας, μετατροπή σήματος, Οπτική Laser και αλλαγή σπιν, αποθήκευση πληροφορίας, δομή της ύλης, κβαντικά φαινόμενα για το πώς οι υπολογιστές διαβάζουν τον δυαδικό κώδικα
---------------------	---



ΦΕ-Μηχανικής (SE)	τηλεχειριστήριο, μελέτη παραμέτρων μέσω ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην κατασκευή, τεχνούργημα-αεροπλάνο, κέντρο βάρους, φωτοβολταϊκά, ηλεκτρόνια
ΦΕ-Μαθηματικών (SM)	γραφήματα από δεδομένα ΦΕ, Internet of Things-διαμοιρασμός δεδομένων στο διαδίκτυο, πράσινη ενέργεια, οπτικοποίηση του DNA στον χώρο, ερμηνεία γραφημάτων και επικινδυνότητα φωτιάς
Τεχνολογίας-Μηχανικής (TE)	αισθητήρες και συνδέσεις, κατασκευή τεχνουργήματος, προγραμματισμός τεχνουργήματος
Τεχνολογίας-Μαθηματικών (TM)	βαθμονόμηση, προγραμματισμός για στατιστική ανάλυση
Μηχανικής-Μαθηματικών (EM)	κέντρο βάρους, ονόματα στερεών στο τεχνούργημα, συμμετρία
ΦΕ-Τεχνολογίας-Μηχανικής (STE)	τεχνούργημα, τοποθέτηση/εγκατάσταση αισθητήρων, υλοποίηση/διαμόρφωση κατασκευής, μοντελοποίηση χημικού δεσμού, μπαταρίες, τηλεπικοινωνία master-slave, λειτουργία κινητήρων, κατασκευή τηλεχειριζόμενου μοντέλου, κυκλώματα με LED αναπαράσταση, ρομποτικό όχημα, κατασκευή και προγραμματισμός αναπαράστασης ηλεκτρονίων
ΦΕ-Τεχνολογίας-Μαθηματικών (STM)	πειραματισμός και μετρήσεις, συλλογή δεδομένων-μετρήσεις, επίλυση προβλημάτων, φαινόμενο θερμοκηπίου & επιπτώσεις, αξιολόγηση ανάπτυξης φυτού, γεωμετρική δομή της έλικας του DNA, κινητήρες, μπαταρίες, δορυφορική χαρτογράφηση, πυρασφάλεια, κωδικοποίηση σήματος σε δυαδική μορφή, δυαδικός κώδικας, κλίμακες-νανοκλίμακα
ΦΕ-Μηχανικής-Μαθηματικών (SEM)	σχήμα φτερών αεροπλάνου, σχεδιασμός
Τεχνολογίας-Μηχανικής-Μαθηματικών (TEM)	σχεδιαστικό πρόγραμμα, σχεδιασμός τεχνουργήματος, Ρομποτική, δοκιμή κατασκευής/αεροσκάφους
ΦΕ-Τεχνολογίας-Μηχανικής-Μαθηματικών (STEM)	ανάλυση δεδομένων, παρουσίαση δεδομένων σε διαδικτυακή πλατφόρμα, τεχνούργημα και αισθητήρες, κατασκευή, κατασκευή με το φυτό και φωτοσύνθεση, συλλογή και ανάλυση δεδομένων, μπαταρίες, spin με συνθήκη if, πύλη NOT, κατασκευή τεχνουργήματος για την κίνηση των ηλεκτρονίων

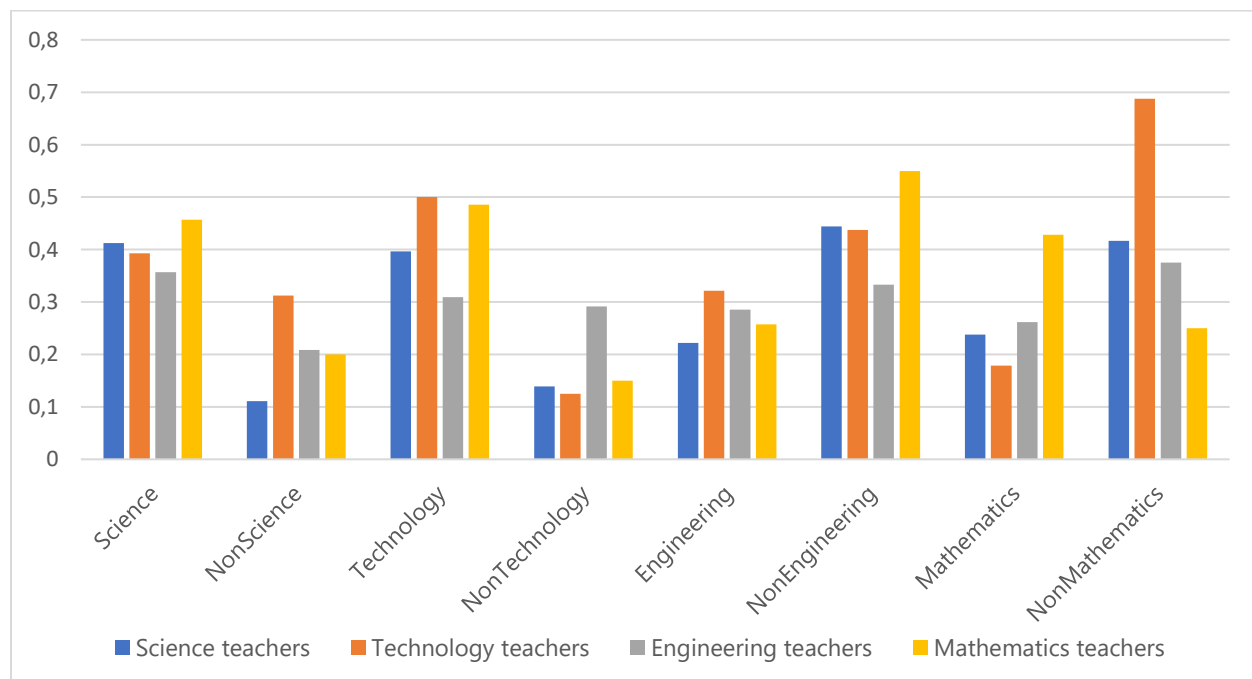
Από τα αποτελέσματα που φαίνονται στο Σχήμα 4.4, μπορούμε να δούμε ότι οι εκπαιδευτικοί έτειναν να αναγνωρίζουν περισσότερες διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων των ΦΕ και της Τεχνολογίας. Αξιοσημείωτο είναι δε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις κάποιοι εκπαιδευτικοί αναγνώριζαν διαφορετικά ή επιπλέον πεδία για το ίδιο θέμα όπου θεωρήθηκε ότι υπάρχει

διασύνδεση. Για παράδειγμα, στη διδασκαλία για συσσωρευτές/μπαταρίες (χρήση, είδη) του τεχνουργήματος, κάποιοι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν διασύνδεση μεταξύ ΦΕ και Τεχνολογίας, ενώ ένας άλλος εκπαιδευτικός πρόσθεσε επίσης ότι εμπλέκονται τα Μαθηματικά μέσω καμπύλων φόρτισης/εκφόρτισης, ενώ μία άλλη εκπαιδευτικός ανέφερε ότι όλα τα S-T-E-M πεδία στην ουσία εμπλέκονται στο θέμα. Επομένως, οι διασυνδέσεις εμπειριέχον και το υποκειμενικό στοιχείο του κάθε εκπαιδευτικού, το οποίο υποθέτουμε ότι είναι συνάρτηση των γνώσεων, δεξιοτήτων, των εμπειριών του και της γενικότερης ΠΓΠ που έχει αναπτύξει στο συγκεκριμένο θέμα.

Υπό αυτό το πρίσμα, στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται μια συμπληρωματική ανάλυση των διασυνδέσεων ως προς το αν συμπεριλαμβάνεται καθένα πεδίο STEM ή όχι. Όπως και προηγουμένως, υπολογίστηκε ο μέσος όρος διασυνδέσεων ανά εκπαιδευτικό και ανά ειδικότητα. Για παράδειγμα, μελετάται το κατά πόσο οι διασυνδέσεις που αναγνωρίστηκαν συμπεριλαμβάνουν ένα πεδίο (π.χ. Science) σε σύγκριση με το αν δεν το συμπεριλαμβάνουν (π.χ. NonScience).

### Σχήμα 4.5

*Μέσοι Όροι των Διασυνδέσεων ανά Εκπαιδευτικό και ανά Ειδικότητα*



Το Σχήμα 4.5 αναδεικνύει κάποιες τάσεις που χρήζουν σχολιασμό. Αρχικά, βλέπουμε ότι οι εκπαιδευτικοί έτειναν να συμπεριλαμβάνουν το πεδίο της ειδικότητάς τους σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με διασυνδέσεις που δεν το συμπεριλάμβαναν. Το αποτέλεσμα αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των επιστημονικών στοιχείων στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Αναλυτικότερα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι εκπαιδευτικοί έχοντας περισσότερες γνώσεις, δεξιότητες, εμπειρίες, αλλά και ενδεχομένως αυξημένη επικέντρωση/προσανατολισμό στο δικό τους πεδίο, έτειναν να συμπεριλαμβάνουν το πεδίο τους περισσότερο.

Παρ' όλ' αυτά, αυτό δεν συμβαίνει για το πεδίο της Μηχανικής, όπου οι εκπαιδευτικοί όλων των ειδικοτήτων έχουν σχετικά χαμηλότερους ή σε παρόμοια επίπεδα μέσους όρους διασυνδέσεων με και χωρίς αυτό το πεδίο. Αφενός αυτό μπορεί να ερμηνευτεί με βάση τη γενικότερη σύγχυση στον ορισμό της Μηχανικής, όπως σχολιάστηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Αφετέρου, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το γεγονός ότι λόγω των περιορισμών Covid η κατασκευή του τεχνουργήματος έγινε παράλληλα από τους εκπαιδευτικούς ή σειριακά (με ανταλλαγή μερών του τεχνουργήματος μεταξύ των εκπαιδευτικών) μπορεί να επέδρασε ανασταλτικά στα περισσότερα μέλη στην επιμόρφωση του πώς σχετίζεται η Μηχανική στην ενότητα.

Τέλος, αξίζει να σχολιαστεί το γεγονός ότι, με εξαίρεση των εκπαιδευτικών Μαθηματικών, οι εκπαιδευτικοί των υπολοίπων ειδικοτήτων είχαν περισσότερες διασυνδέσεις που δεν συμπεριλάμβαναν τα Μαθηματικά. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει τον περιθωριακό ρόλο που είθισται να έχουν τα Μαθηματικά στο STEM όπως διαφαίνεται στη βιβλιογραφία (English, 2016; NRC, 2014), καθώς διαφαίνεται επίσης και μέσω του αναστοχασμού των εκπαιδευτικών στην παρούσα έρευνα (βλ. Κεφάλαιο 4.3).

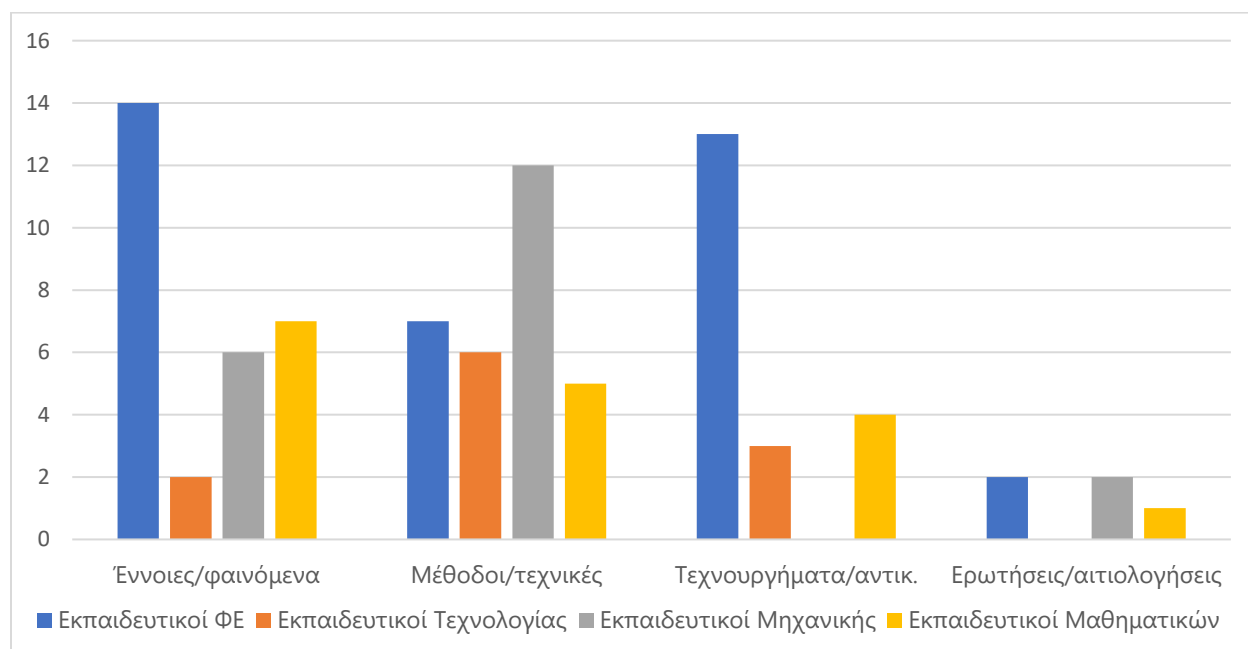
#### *Ανάλυση Διασυννοριακών Αντικειμένων*

Σε συνέχεια του προηγούμενου υποκεφαλαίου, ακολουθεί η ανάλυση των διασυννοριακών αντικειμένων τα οποία προέκυψαν από τις απαντήσεις των εκπαιδευτικών στην παρακάτω ερώτηση που περιλάμβανε το STEM πρότυπο (βλ. Παράρτημα Π2), και που επίσης σχολιάστηκε και αναλύθηκε και μέσω των συζητήσεων στις αντίστοιχες συναντήσεις ΜΚ (βλ. Πίνακα 3.3): «Υπάρχουν έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές της ενότητας που δεν θα μπορούσαν να διδαχθούν σε μια μονοεπιστημονική προσέγγιση; Ποια είναι αυτά;». Το Σχήμα 4.6 παρουσιάζει την κατανομή των

διασυννοριακών αντικειμένων στις 4 κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση (βλ. Κεφ. 3.5). Αντίστοιχα, ο Πίνακας 4.6 παρουσιάζει ενδεικτικά διασυννοριακά αντικείμενα που κωδικοποιήθηκαν σε κάθε κατηγορία.

## Σχήμα 4.6

*Φύση των Διασυννοριακών Αντικειμένων ανά Ειδικότητα Εκπαιδευτικών*



## Πίνακας 4.6

*Ενδεικτικά Διασυννοριακά Αντικείμενα που Αναγνώρισαν οι Εκπαιδευτικοί*

Κατηγορία	Διασυννοριακά αντικείμενα που κωδικοποιήθηκαν
Έννοιες/φαινόμενα	φωτοσύνθεση, θερμοκρασία, φως, υγρασία, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , Ηλεκτρομαγνητισμός: συνδέσεις, φαινόμενο θερμοκηπίου, αυτό-οργάνωση, DNA: κωδικοποίηση και μετάδοση πληροφορίας, κλίμακες, Στερεομετρία και σχηματισμοί DNA, Βιομημητική, Αεροδυναμική, συμμετρία, πυρασφάλεια, δομή της ύλης, μαγνητικές ιδιότητες και αριθμός ηλεκτρονίων στα τροχιακά, επιρροή τροχιακών από μαγνητικό πεδίο, δυαδικό σύστημα, κίνηση

	ηλεκτρονίων, η έννοια της μετάφρασης πληροφορίας, επιλογή/τοποθέτηση του κατάλληλου φυτού στο τεχνούργημα
Μέθοδοι/τεχνικές	τοποθέτηση αισθητήρων, διαμοιρασμός δεδομένων στο διαδίκτυο, προγραμματισμός, αυτοματισμός, γραφική παράσταση από λογισμικό, βαθμονόμηση, τεχνική κολλήσεων στην κατασκευή, διαδικασία κατασκευής τεχνουργήματος, κύκλος/έλικα μηχανικού σχεδιασμού: αναστοχασμός-επανατοποθέτηση, εργαλεία και χειρωνακτικές δεξιότητες κατασκευής, χρήση τεχνολογικών μέσων-υπολογιστή, κατασκευή τεχνουργήματος, σχεδιασμός τεχνουργήματος, ανάλυση γραφικής παράστασης, συλλογή δεδομένων, ερμηνεία σφαλμάτων στα δεδομένα, τηλεχειρισμός, μετατροπή κίνησης (γραμμική-κυκλική), τηλεπικοινωνιακή ζεύξη, ανάθεση εργασίας-project (π.χ. κατασκευής/ερευνητικής), προγραμματισμός, δορυφορική χαρτογράφηση, συλλογή και ανάλυση δεδομένων, μετατροπή και αποθήκευση πληροφορίας
Τεχνουργήματα/ αντικείμενα	κατασκευή θερμοκηπίου, Arduino hardware, μπαταρίες, νανοϋλικά, φωτοβολταϊκά, κινητήρες αεροπλάνου, κατασκευή αεροπλάνου, τεχνούργημα και λειτουργία του, κινητήρες, φωτοβολταϊκά, μπαταρίες, κατασκευή μνήμης flash, κατασκευή (μοντέλου Η), ρομποτικό όχημα
Ερωτήσεις/αιτιολογήσεις	Πώς μπορούμε να βοηθήσουμε στην ανακύκλωση/Κοινωνία, πόσο θετικά/αρνητικά είναι τα τεχνολογικά επιτεύγματα των επιστημών, πώς να περιορίσουμε τη ρύπανση, αιτιολόγηση-γιατί κατασκευάζεται έτσι το τεχνούργημα, γιατί η γλώσσα του υπολογιστή είναι το 1-0 και κβαντικά φαινόμενα

Όπως μπορούμε να δούμε, τα διασυνοριακά αντικείμενα σχετίζονται θεματικά με τις διασυνδέσεις στην προηγούμενη ερώτηση, αν και η εστίαση της ερώτησης που οδήγησε στην κωδικοποίηση των διασυνοριακών αντικειμένων αφορά πιο συγκεκριμένα ‘αντικείμενα’/θέματα καθώς και το είδος/φύση τους.

Προσπαθώντας να ερμηνεύσουμε την κατανομή των διασυνοριακών αντικειμένων ως προς τη φύση τους, παρατηρούμε το εξής κυρίαρχο μοτίβο: οι μεν εκπαιδευτικοί ΦΕ έτειναν να αντιλαμβάνονται τα διασυνοριακά αντικείμενα στην διδακτική τους ενότητα υπό τη μορφή εννοιών και τεχνουργημάτων, ενώ οι εκπαιδευτικοί Τ-Ε αντιλήφθηκαν τα διασυνοριακά αντικείμενα της ενότητάς τους υπό τη μορφή μεθόδων/τεχνικών. Το αποτέλεσμα αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αντικατοπτρίζει για μια ακόμη φορά την επίδραση του επιστημονικού

υποβάθρου. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί ΦΕ εστίασαν στο εννοιολογικό κομμάτι ως όχημα για να προσεγγίσουν τη διεπιστημονικότητα. Απεναντίας, οι εκπαιδευτικοί T-E έδωσαν περισσότερο έμφαση σε διαδικασίες (π.χ. κατασκευή, προγραμματισμός, σχεδίαση, κτλ.). Επιπλέον, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το αποτέλεσμα αυτό ευθυγραμμίζεται με τον διαχωρισμό επιστημονικών στοιχείων σε γνώσεις και δεξιότητες ανά ειδικότητα που περιγράφηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Παρ'όλ'αυτά, παρατηρούμε ότι οι εκπαιδευτικοί ΦΕ αναγνώρισαν και ένα μεγάλο πλήθος διασυνοριακών αντικειμένων υπό τη μορφή τεχνουργημάτων/αντικειμένων. Το αποτέλεσμα αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί υπό το πρίσμα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των σχεδίων διδασκαλίας στο Κεφάλαιο 4.1.4. Αρκετοί εκπαιδευτικοί θεωρητικών/αφαιρετικών επιστημών έτειναν να *χρησιμοποιούν* τα τεχνουργήματα για συλλογή δεδομένων ή για επίδειξη, σε αντίθεση με τους εκπαιδευτικούς εφαρμοσμένων επιστημών που εστίασαν περισσότερο στη *διαδικασία* κατασκευής/προγραμματισμού τους.

Τέλος, παρατηρούμε ότι για τους εκπαιδευτικούς Μαθηματικών υπάρχει μια σχετικά μοιρασμένη κατανομή σε έννοιες, μεθόδους και τεχνουργήματα. Εντούτοις, η αναγνώριση εννοιών κυριαρχεί ελαφρώς, ακολουθώντας το μοτίβο των θεωρητικών/αφαιρετικών επιστημών.

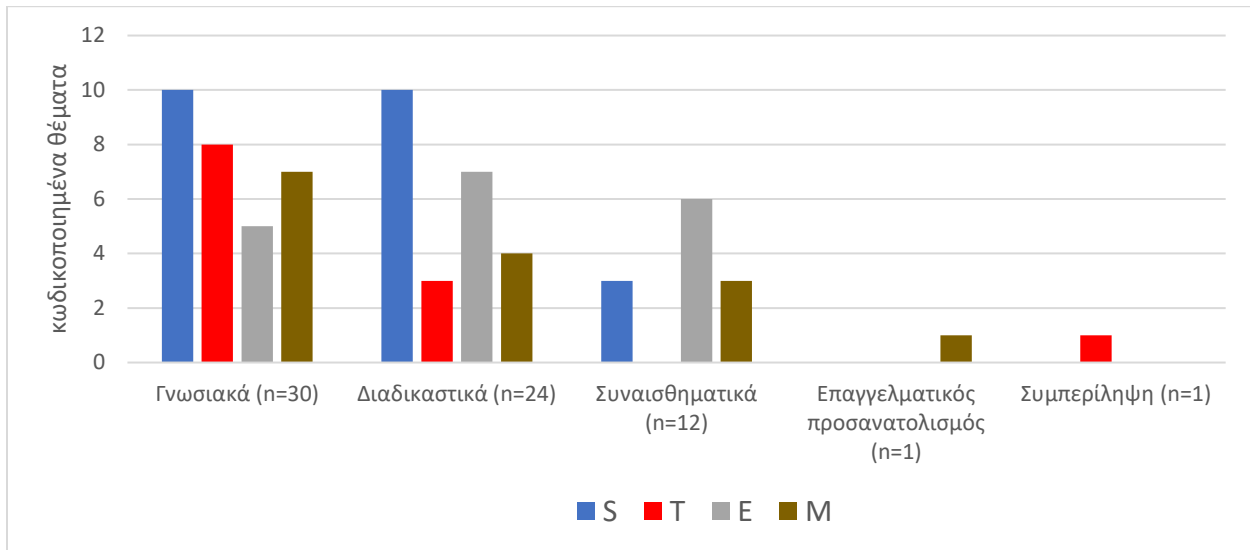
#### ***4.1.7) Η Οπτική των Εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM***

Παράλληλα, παρουσιάζονται κατόπιν οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τη Εκπαίδευση STEM και τη STEM διασύνδεση ειδικότερα, όπως αυτές αναλύθηκαν μέσω των συνεντεύξεων αναστοχασμού, ενώ ακολουθεί μια σύνδεση των αντιλήψεών τους με τα παραχθέντα σχέδια διδασκαλίας.

Αρχικά, αναφορικά με τα πλεονεκτήματα και τις δυνατότητες που οι εκπαιδευτικοί της έρευνας θεωρούν ότι προκύπτουν μέσω της STEM διδακτικής προσέγγισης, στο Σχήμα 4.7.1 παρουσιάζουμε τα θέματα που κωδικοποιήθηκαν ανά κατηγορία, ενώ αντίστοιχα στο Σχήμα 4.7.2 παρουσιάζουμε παρομοίως τα αποτελέσματα σε σχέση με το πλήθος εκπαιδευτικών.

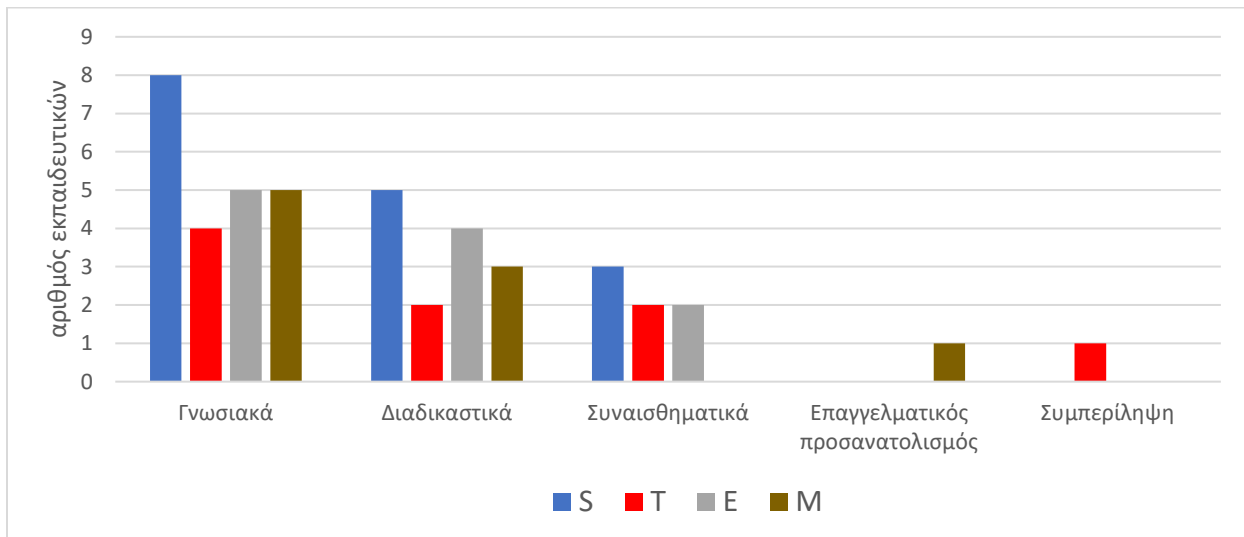
#### **Σχήμα 4.7.1**

*Δυνατότητες στην STEM Διδακτική Προσέγγιση ανά Κωδικοποιημένα Τμήματα*



**Σχήμα 4.7.2**

*Δυνατότητες στην STEM Διδακτική Προσέγγιση ανά Πλήθος Εκπαιδευτικών*



Οι εκπαιδευτικοί, όπως φαίνεται στα παραπάνω Σχήματα 4.7.1 και 4.7.2, αναγνώρισαν πλεονεκτήματα στην STEM προσέγγιση κυρίως υπό την έννοια γνωσιακών οφελών. Ειδικότερα, στην κατηγορία αυτή κατηγοριοποιήθηκαν κώδικες που σχετίζονται με α) βελτιωμένη μάθηση περιεχομένου, β) καλύτερη αντίληψη για τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι επιστήμες και για τη διεπιστημονικότητα, γ) βελτιωμένη κατανόηση φαινομένων της

καθημερινότητας/πραγματικού κόσμου, και δ) καλύτερο τρόπο διερευνητικής προσέγγισης της γνώσης υπό το πρίσμα εννοιολογικής κατανόησης.

AT1: Να μπούμε λες στη θέση των μαθητών, ότι κατανοούν καλύτερα κάποιες έννοιες. Πιστεύω δηλαδή ότι επειδή ασχολούνται με διάφορα θέματα, το βλέπουν από διάφορες πλευρές και γωνίες το θέμα, οπότε πιστεύω ότι το κατανοούν καλ/θα κατανοήσουν καλύτερα κάτι που είναι με προσέγγιση STEM

BM1: Ε το ότι γίνεται πιο αντιληπτά, εποπτικά τα πράγματα στους, μπορούνε να καταλάβουνε τις διασυνδέσεις μεταξύ των επιστημών

Αναφορικά με δυνατότητες που προάγουν δεξιότητες και διαδικαστική γνώση, τα θέματα που κωδικοποιήθηκαν σχετίζονται με: α) καλλιέργεια δεξιοτήτων (πρακτικών/χειρωνακτικών, συνεργατικότητας, κριτικής σκέψης, επίλυσης προβλήματος, κ.ά.), β) σχετικά με την απόκτηση εμπειριών/βιωματικής εκπαίδευσης, γ) σχετικά με τη σύνδεση θεωρίας με την πράξη/εφαρμογή, δ) σχετικά με τη μέθοδο διερεύνησης ως διαδικασία/μέθοδος.

BS4: Εε μετά, πολύ καλό γιατί τους βάζει, αν τρέξει, τους βάζει περισσότερο στην εργαστηριακή τέτοια. Δηλαδή εργαστηριακά, να να ασχολούνται, παρά να γράφουνε μόνο και να λύνουν ασκήσεις και τα λοιπά. Να προβληματίζονται πάνω σε αυτό, ομαδικά να συνεργάζονται, να βρίσκουν λύσεις. Πολύ θετικό.

DM1: Δηλαδή, τα παιδιά, άλλο να του πεις θεωρητικά κάτι στην τάξη μέσα, να τους μιλήσεις για την κανονική κατανομή, θεωρητικά στην τάξη μέσα, έστω και αν τους κάνεις σχεδιάγραμμα και τα λοιπά και άλλο να τους το δείξεις έμπρακτα με, με ρομποτάκι, με κατασκευή, με το να το πιάσουνε. Το να είναι κάτι που είναι απτό είναι τελείως διαφορετικό για τα παιδιά. Ειδικά για τα παιδιά της τεχνικής εκπαίδευσης που είμαι εγώ ας πούμε, είναι τελείως διαφορετικό το να κάνουνε κάτι στην πράξη από το να τους πεις κάτι θεωρητικό το οποίο ακόμα και αν το δούνε σε βίντεο δεν έχουν την εικόνα αυτουνού του αντικειμένου μπροστά τους

Τα πλεονεκτήματα που αφορούν συναισθηματικούς παράγοντες σχετίζονται με την πρόκληση ενδιαφέροντος από τους μαθητές, την καλλιέργεια αυτοπεποίθησης και φαντασίας στους μαθητές, και την ψυχαγωγία/διασκέδαση των μαθητών.

BE1: Και έχω πολλά παραδείγματα ας πούμε που τρελαίνονται τα παιδιά. Καταρχήν όταν ασχολούνται με το STEM, δεν θέλουν διαλείμματα. Είναι μεγάλο αβαντάζ αυτό. Δηλαδή τόσο πολύ τα απορροφάει που ποτέ δεν μου είχανε ζητήσει διάλειμμα [ναι;]. Το έχεις ξαναδεί ποτέ σε μάθημα; Δηλαδή να πας να κάνεις μάθημα και να του λες τρεις-τέσσερις ώρες, να το έχεις μέσα σε μία εκπαιδευτική διαδικασία και να μη σου λέει πάμε να κάνουμε ένα διάλειμμα;



Παράγοντες που σχετίζονται με την επιλογή καριέρας εμπεριέχουν θέματα σχετικά με τον επαγγελματικό προσανατολισμό, καθώς και θέματα που σχετίζονται με την επιχειρηματικότητα και οικονομία.

AM1: αλλά και επιχειρηματικά. Γιατί όχι, να μην το επεκτείνει κάνεις το θερμοκήπιο ας πούμε

R1: οικονομικά λες

AM1: οικονομικά ναι ναι

R1: επαγγελματικά

AM1: Και επιχειρηματικά για τους μαθητές αργότερα. Γιατί εδώ το ψάχνουν και πολύ. Και με τα θερμοκήπια βέβαια, νομίζω.

Τέλος, διαστάσεις συμπερίληψης σχετίζονται με την προώθηση και υποστήριξη μειονοτικών/υποεκπροσωπούμενων ομάδων στην εκπαίδευση.

DT2: και επίσης βοηθάει πολύ τους μαθητές με κάποιες μαθησιακές δυσκολίες. Αποδεδειγμένα, έχει πολλά θέματα και Πληροφορικής [χμ] και STEM βοηθάνε πολύ στην κατανόηση εννοιών, όχι μόνο έναν μαθητή που δεν έχει δυσκολίες, αλλά και μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες, τους βοηθάει πάρα πολύ να τους αναδείξει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία η παραδοσιακή διδασκαλία όχι απλά τους δυσχεραίνει, αλλά τους κάνει να μην μπορούν να παρακολουθήσουν κιόλας πολλές φορές.

Τα παραπάνω αποτελέσματα αναδεικνύουν τα είδη των δυνατοτήτων που προσφέρει η εκπαιδευτική καινοτομία της STEM προσέγγισης, σύμφωνα με τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών μετά το τέλος του κυρίως μέρους της εκπαιδευτικής δράσης. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε δε, ότι οι αντιλήψεις αυτές των εκπαιδευτικών προέρχονται από εν γένει θεωρητική εκπαίδευση στο STEM που έχουν λάβει, από προσωπικές απόψεις και θεωρήσεις, τυχόν προεμπειρίες στο STEM που μπορεί να έχουν αποκτήσει, καθώς και από την εμπειρία τους στον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού στο παρόν πρόγραμμα (βλ. και στο παρόν Κεφάλαιο, Σχήμα 4.10). Συνεπώς, δεν υπήρξε μεθοδευμένη εφαρμογή STEM προσέγγισης στην τάξη από το σύνολο των εκπαιδευτικών, τουλάχιστον στο στάδιο που πραγματοποιήθηκαν οι συνεντεύξεις αναστοχασμού.

Αντίστοιχα, αναλύθηκαν οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν οι εκπαιδευτικοί στα διάφορα στάδια STEM προσέγγισης, όπως ο σχεδιασμός και ανάπτυξη τεχνουργήματος, και η διαμόρφωση του STEM σχεδίου διδασκαλίας. Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι κυριότερες δυσκολίες, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν στα 5 συστημικά επίπεδα από το μοντέλο του Bronfenbrenner για τη Εκπαίδευση STEM. Όπως και στα προηγούμενα γραφήματα, η παρουσίαση γίνεται ανά ειδικότητα των εκπαιδευτικών. Κατόπιν, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι δυσκολίες ανά συστημικό επίπεδο.

## Πίνακας 4.7

### Δυσκολίες Εκπαιδευτικών στη Εκπαίδευση STEM

Κατηγορία	N (εκπαιδ ευτικοί)	N (κωδικοπ οιμένα θέματα)	S	T	E	M
<b>Μικροσύστημα</b>						
Έλλειψη προεμπειρίας στο STEM	7	12	5	-	-	2
Τεχνικές δυσκολίες	7	17	2	1	4	-
Χρονικοί περιορισμοί	7	10	2	1	3	1
Διαθεσιμότητα εκπαιδευτικών σε σχέση με άλλες υποχρεώσεις	6	6	2	1	1	2
Έλλειψη υποδομών, εργαλείων	6	8	3	2	1	-
Το γνωσιακό επίπεδο και ηλικία των μαθητών	5	8	2	1	1	1
Γνώση περιεχομένου	5	6	3	-	2	-
Συναισθηματικοί παράγοντες (ενδιαφέρον, υπομονή)	4	7	1	1	1	1
<b>Μεσοσύστημα</b>						
Δεξιότητες σχετικά με άλλα πεδία	12	19	6	1	1	4
Γνώση περιεχομένου σχετική με άλλα πεδία	11	23	4	1	2	4
Η εξ αποστάσεως φύση των συναντήσεων λόγω έλλειψης διαθεσιμότητας συναδέλφων στην ΜΚ	7	13	4	1	2	-
Ορισμός του θέματος, σύγκλιση από την ομάδα	7	8	2	1	3	1
Προβλήματα συνεργασίας/επικοινωνίας μεταξύ συναδέλφων	6	7	2	-	2	2
<b>Εξωσύστημα</b>						
Η εξ αποστάσεως φύση των συναντήσεων λόγω περιορισμών Covid	4	4	3	1	-	-
Διαθεσιμότητα συναδέλφων λόγω Covid	2	2	1	-	1	-

Συμπεριφορά μαθητών και ατμόσφαιρα τάξης λόγω Covid	1	1	-	-	-	1
Μακροσύστημα						
Εκπαιδευτική κουλτούρα & αναλυτικό πρόγραμμα	1	1	-	1	-	-
Χρονοσύστημα						
Εξέλιξη-χάσμα γενεών	1	1	1	-	-	-

α) Μικροσύστημα: Οι εκπαιδευτικοί της έρευνας δήλωσαν μια πλειάδα δυσκολιών στο βαθμό του Μικροσυστήματος. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.7, οι κυριότερες δυσκολίες σχετίζονται με την έλλειψη προεμπειρίας στο STEM, τεχνικές/πρακτικές δυσκολίες, έλλειψη χρόνου και υποδομών, καθώς και περιορισμένη διαθεσιμότητα εκπαιδευτικών. Ενδεικτικά αποσπάσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

AM1: Ακόμα και να τις έχω, δεν έχω κάνει ποτέ εφαρμογή [χμ]. Η εφαρμογή ξέρεις, πολύ δύσκολα. Ακόμα στο youtube(~) να δω κάτι να το φτιάξω, καμία σχέση με αυτό. [Προεμπειρία STEM]

CS2: Ωραία αυτό είχε τη δυσκολία ότι γενικά δεν είχα/ και εγώ ας πούμε πρώτη φορά ουσιαστικά αντιμετώπισα αυτή την προσέγγιση. [Προεμπειρία STEM]

DM2: αλλά δεν γίνεται, γιατί είμαστε και μεγάλοι, έχουμε τις υποχρεώσεις μας. [Διαθεσιμότητα]

CE1: Εντάξει, εγώ δυσκολεύτηκα/ ήταν κάποια πράγματα που τα ξαναέκανα. Προσπαθούσα με αλλά / ας πούμε στις γωνίες προσπαθούσα με το κουμπί των 45 μοιρών, μετά τελικά το παράτησα γιατί είχε/ήταν και παλιό και δεν έκοβε. Ενώ το πρώτο μου είχε γίνει καλά μετά το δεύτερο δεν μου γινότανε. [Τεχνικές]

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.7, ότι δυσκολίες αναφορικά με έλλειψη προεμπειρίας STEM αναφέρθηκαν μόνο από εκπαιδευτικούς S-M, και όχι από συναδέλφους τους T-E. Αυτό δείχνει ότι οι εκπαιδευτικοί S-M της παρούσας έρευνας εισέρχονται στο STEM θεωρώντας τον εαυτό τους συγκριτικά πολύ πιο άπειρο στο STEM απ'ό,τι οι αντίστοιχοι εκπαιδευτικοί T-E.

β) Μεσοσύστημα: Αντίστοιχα στο μεσοσύστημα παρατηρούμε συχνές δυσκολίες αναφορικά με την έλλειψη γνώσεων και δεξιοτήτων σε άλλα S-T-E-M πεδία, προβλήματα διαθεσιμότητας συναδέλφων, δυσκολίες συνεργασίας και επιλογής κοινού θέματος.

AM1: Λοιπόν, τώρα, όσο αφορά/άρα ήταν η έλλειψη γνώσεων που είχα όσο αφορά το και τους αισθητήρες να σου πω την αλήθεια. Δεν είναι/δηλαδή για το πώς να το συνδέσω, ας πούμε τεχνικές ξέρω γω [Δεξιότητες στα άλλα πεδία]

DM2: μετά άρχισαν άλλες δυσκολίες, δηλαδή να αρχίσω να κατανοώ τα φυσικά φαινόμενα [Γνώσεις στα άλλα πεδία]

CE2: Ο σχεδιασμός οι μοναδικές δυσκολίες που είχαμε ήταν εκεί να καταλήξουμε σε τι θα κάνουμε.  
[Επιλογή θέματος]

Χαρακτηριστικό είναι δε, ότι παρόλο που η διεπιστημονικότητα και η σύνδεση με άλλα πεδία ήταν κυρίαρχο επιχείρημα στην προαναφερθείσα ανάλυση ως δυνατότητα στο STEM, σε αυτή την ανάλυση αναφέρεται παράλληλα και ως μια σημαντική δυσκολία.

Σε συνέχεια του μοτίβου που παρατηρήθηκε στο μικροσύστημα, παρατηρούμε και στο μεσοσύστημα μια διαφοροποίηση μεταξύ εκπαιδευτικών S-M και T-E της έρευνας. Αναλυτικότερα, διακρίνουμε ότι οι εκπαιδευτικοί S-M δήλωσαν μεγαλύτερη έλλειψη γνώσεων και δεξιοτήτων σε άλλα πεδία σε σύγκριση με τους εκπαιδευτικούς T-E.

γ) Εξωσύστημα: Ως εξωτερικούς παράγοντες οι οποίοι επηρέασαν τη διαδικασία οι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν τους περιορισμούς για δια ζώσης συνάντηση λόγω Covid, καθώς και της περιορισμένης διαθεσιμότητας των εκπαιδευτικών λόγω φόρτου εργασίας και λοιπών υποχρεώσεων, καθώς και την αλλαγή στη συμπεριφορά των μαθητών

CS2: Θεωρώ ότι αν ήμασταν μαζί, αν ήμασταν κοντά ας πούμε και μπορούσαμε να βρεθούμε/ να ήμασταν δια ζώσης και να κάναμε την κατασκευή θεωρώ ότι θα είχα βοηθήσει περισσότερο [Οκ]. Δηλαδή νομίζω ότι και ο τρόπος που έγινε αυτό και το γεγονός ότι μεσολάβησε και όλο αυτό το διάστημα που ήμασταν ο καθένας στο σπίτι του, και ήτανε/ δεν είχαμε δηλαδή τόσο, δεν ήταν τόσο εύκολη η επαφή μεταξύ μας, εε νομίζω ότι ήταν ένας παράγοντας που δεν βοήθησε η αλήθεια είναι. Αν μπορούσαμε να ήμασταν στο ίδιο χώρο, να τα συζητάμε κάτω έτσι όπως είμαστε και όταν θα γίνεται η κατασκευή, ας πούμε η CE1 για παράδειγμα, να είμαστε και εμείς εκεί σίγουρα θα μπορούσαμε να βοηθήσουμε περισσότερο

DM1: ήταν δύσκολο να προσαρμοστεί, γιατί ακόμα και μετά που επιστρέψαμε είχαμε πολύ λίγη συμμετοχή μες στο σχολείο.

Όπως διαφαίνεται και από τα παραπάνω αποσπάσματα, οι παράγοντες αυτοί επηρέασαν μονόδρομα το σύστημα, καθώς και επηρέασαν έμμεσα όλα τα εσωτερικά υποσυστήματα.

δ) Μακροσύστημα: Παρόλο που σε πολλά σημεία οι εκπαιδευτικοί έκαναν αναφορές για περιορισμούς βάσει του γενικότερου εκπαιδευτικού συστήματος και κουλτούρας, μία εκπαιδευτικός το ανέφερε και ως απάντηση στην ερώτηση για τις δυσκολίες.

DT2: Ναι έχει να κάνει με τη νοοτροπία ή με την όλη σχεδίαση της διδασκαλίας η οποία είναι μία έννοια άγνωστη για την Ελληνική πραγματικότητα. Γιατί τα περισσότερα προγράμματα σπουδών και αναλυτικά προγράμματα εστιάζουν/ είναι πιο παραδοσιακά. Εστιάζουν στη θεωρητική επισκόπηση εννοιών

ε) Χρονοσύστημα: Μία εκπαιδευτικός επίσης αναφέρθηκε στην ασυμβατότητα της εκπαίδευσης σε παλαιότερες εποχές σε σχέση με τη σημερινή εκπαιδευτική πραγματικότητα.

BS3: γιατί εγώ, εντάξει τώρα εγώ είμαι τώρα παλιάς κοπής άτομο, δηλαδή έχω τελειώσει πριν από πάρα πολλά χρόνια, δεν ήταν, το ξανασυζητήσαμε αυτό, δεν ήταν τότε στις προτεραιότητες, ούτε καν

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ανασταλτικών παραγόντων για την ενσωμάτωση STEM προσέγγισης, σύμφωνα με τους εκπαιδευτικούς. Οι δυσκολίες αυτές πηγάζουν όχι μόνο από το άμεσο περιβάλλον του εκπαιδευτικού, αλλά σχετίζονται και με γενικότερους μη-εκπαιδευτικούς παράγοντες, συστημικούς παράγοντες ή ακόμα και εξωγενείς παράγοντες για τους οποίους ο εκπαιδευτικός δεν έχει καμμία επιρροή στο να μπορεί να αλλάξει. Αντιθέτως, οι κεντρικές εκπαιδευτικές αλλαγές είθισται να επιρρίπτουν ευθύνες για την αποτυχία καρποφόρησης των εκπαιδευτικών αλλαγών στους εκπαιδευτικούς (Hackman κ.ά., 2021; Waight & Abd-El-Khalick, 2012), π.χ. στην έλλειψη γνώσεων, δεξιοτήτων και αρνητικών στάσεων που έχουν. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι υπάρχει ένα πλήθος συστημικών παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την αποτελεσματική προώθηση εκπαιδευτικών αλλαγών, όπως αυτή του STEM. Ειδικότερα στην περίπτωση της καινοτομίας του STEM, όπου συνδυάζονται γνώσεις και δεξιότητες από διαφορετικά πεδία, και που μια τέτοια δομή αντικρούει στην υπάρχουσα δομή, υλικοτεχνική υποδομή και κουλτούρα που υπάρχει στα σχολεία, τα αποτελέσματα συνιστούν ότι η συστημική προσέγγιση είναι απαραίτητη προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι ποικίλες δυσκολίες που συναντάει η εφαρμογή της STEM προσέγγισης.

Ένα σημείο που χρήζει επιπλέον σχολιασμού είναι αυτό της συνεργασίας. Παρόλο που η συνεργασία έχει μακράν τονιστεί για τα οφέλη που επιφέρει στην εκπαιδευτική διαδικασία, δεν πρέπει όμως να αγνοούνται οι δυσκολίες και προκλήσεις που επίσης προκύπτουν (Jones κ.ά., 2013). Τέτοιες δυσκολίες μπορεί να σχετίζονται με την επικοινωνία, η λήψη αποφάσεων και συμπόρευση μεταξύ εκπαιδευτικών με διαφορετικό υπόβαθρο και προσανατολισμό. Αν και η αντιπαράθεση μπορεί να θεωρηθεί υγιής και να προάγει την επίλυση προβλήματος και την κατανόηση διαφορετικών οπτικών στο θέμα (Dooner κ.ά., 2008), δεν παύει να προσθέτει άλλο ένα επίπεδο δυσκολίας σε ομαδικά εγχειρήματα.

Ακόμα, η διαδικασία των διασυνοριακών μεταβάσεων (boundary crossing) η οποία απαιτείται για την πραγματοποίηση STEM διασυνδέσεων προϋποθέτει αλληλεπίδραση με άλλες κοινότητες

(Akkerman & Bakker, 2011), που στην περίπτωση μας σχετίζεται με επιστημονικά πεδία. Η αλλαγή αυτή της επιστημονικής ταυτότητας του εκπαιδευτικού προς ένα πιο διεπιστημονικό προσανατολισμό δεν είναι εύκολη, αφού απαιτεί τη ‘μετάφραση’ των ιδεών/θεμάτων σε διεπιστημονικά πλαίσια (Kähkönen κ.ά., 2016). Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν τη δυσκολία αυτή μέσα από τα μάτια των εκπαιδευτικών.

Τέλος, αναφορικά με τις στάσεις των εκπαιδευτικών για τη μελλοντική εφαρμογή της STEM προσέγγισης, όλοι οι εκπαιδευτικοί στο τέλος του κυρίως μέρους του προγράμματος (μετά τη συνάντηση  $n=13$  στον Πίνακα 3.3) δήλωσαν πολύ θετικές ή μάλλον θετικές στάσεις. Συγκεκριμένα, οι απαντήσεις 12 εκπαιδευτικών στο ερώτημα «*Θα επιλέγατε γενικότερα να εφαρμόσετε STEM διδακτικές προσεγγίσεις στο μέλλον;*» κωδικοποιήθηκαν ως ‘σίγουρα ναι’.

AE1: σίγουρα. Νομίζω ότι το μέλλον είναι εκεί. Το μέλλον της διδασκαλίας δηλαδή πάει σε τέτοιου τύπου διδασκαλίες που, ναι, έχουνε προσεγγίσεις από όλες τις, ταυτόχρονα συνεργασία

Αντίστοιχα, 1 απάντηση κωδικοποιήθηκε ως ‘ναι’, ενώ 11 απαντήσεις κωδικοποιήθηκαν ως ‘ναι υπό προϋποθέσεις’.

BS3: θα επέλεγα, ναι γιατί όχι; Τώρα για να είμαι ειλικρινής τη συχνότητα και τη διάσταση είναι κάτι το οποίο, ε θα επέλεγα, το είπα και την άλλη φορά με δεδομένη την στήριξη και τη συνεργασία των συναδέλφων, δεν μπορεί να το κάνει. [...] Θα το επέλεγα στη βάση μιας συνεργασίας με αντίστοιχα τις ειδικότητες που βάλαμε, τουλάχιστον μία ακόμα που είναι για μένα σημαντική που είναι η Πληροφορική, έτσι του Πληροφορικού, θα το επέλεγα ναι

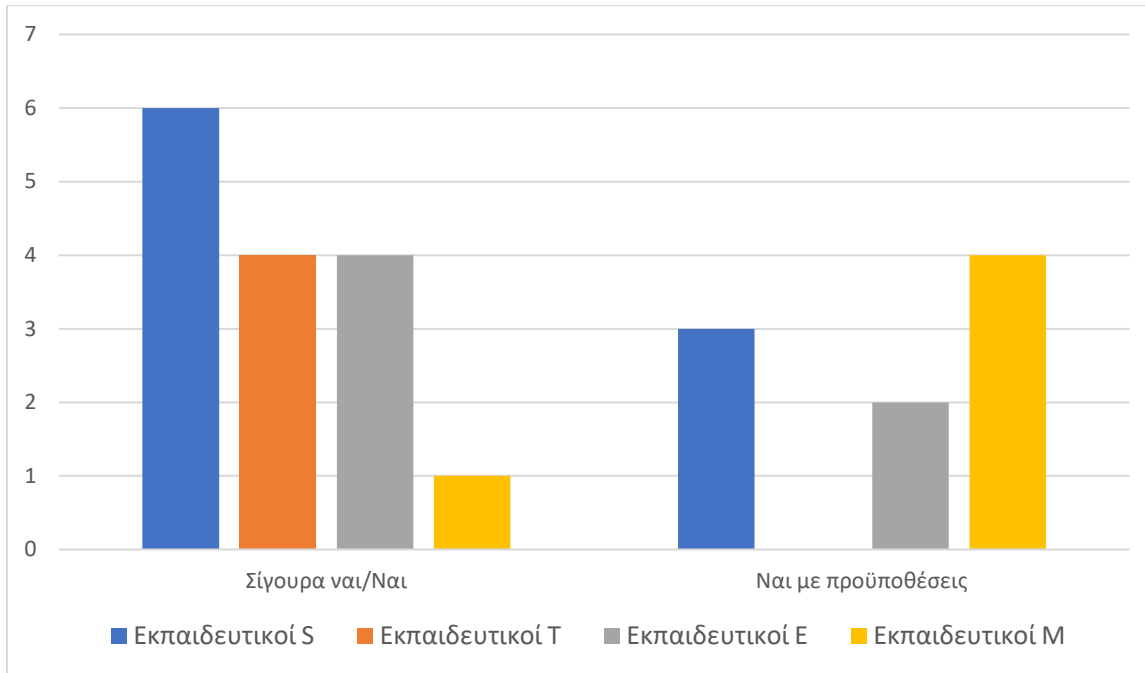
BE1: είναι η δεύτερη φορά που έρχομαι σε επαφή με το STEM και αν βρω και άλλες ευκαιρίες να μπορέσω ας πούμε να εφαρμόσω STEM στο σχολείο θα το έκανα ευχαρίστως, πολύ ευχαρίστως. Είναι πολύ ενδιαφέρουσα προσέγγιση στον τρόπο που θα κάνεις διδασκαλία. Έτσι; Το θεωρώ πολύ. Και κάποια στιγμή/ εγώ πιστεύω ότι το μόνο πρόβλημα που έχει για να εφαρμοστεί στα σχολεία είναι ότι θέλει καλό ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Δηλαδή θέλει κάποια υλικά, θέλει παραδείγματος χάρη να έχεις ανά ομάδα ας πούμε κομπιούτερ, να έχεις πρόσβαση στο διαδίκτυο, να έχεις (~) άλλου τύπου τάξης από ό,τι έχουμε τώρα. Δηλαδή περισσότερο σαν εργαστήριο να το κάνεις, όχι σαν τάξη. Έτσι; Αλλά είναι πολύ καλός τρόπος προσέγγισης του/της νέας γνώσης έτσι; Και φυσικά θα το ξανάκανα

Στις προϋποθέσεις τις οποίες ειπώθηκαν προκειμένου να εφαρμόσουν οι εκπαιδευτικοί μελλοντικά STEM, δηλώθηκε η ανάγκη ύπαρξης συνεργασίας με συναδέλφους ( $n=7$ ) και επιμόρφωσης/καθοδήγησης ( $n=1$ ), μια άλλη δομή αναλυτικού προγράμματος/εκπαιδευτικού συστήματος ( $n=3$ ), υλικοτεχνική υποδομή ( $n=2$ ), ενδιαφέρον από τα παιδιά ( $n=2$ ), χρόνος ( $n=1$ )

και εμπειρία ( $n=1$ ) από τον εκπαιδευτικό. Το Σχήμα 4.8 παρουσιάζει την κατανομή των κατηγοριών των στάσεων ανά ειδικότητα.

#### Σχήμα 4.8

*Στάσεις των Εκπαιδευτικών για Μελλοντική Εφαρμογή STEM προσέγγισης*



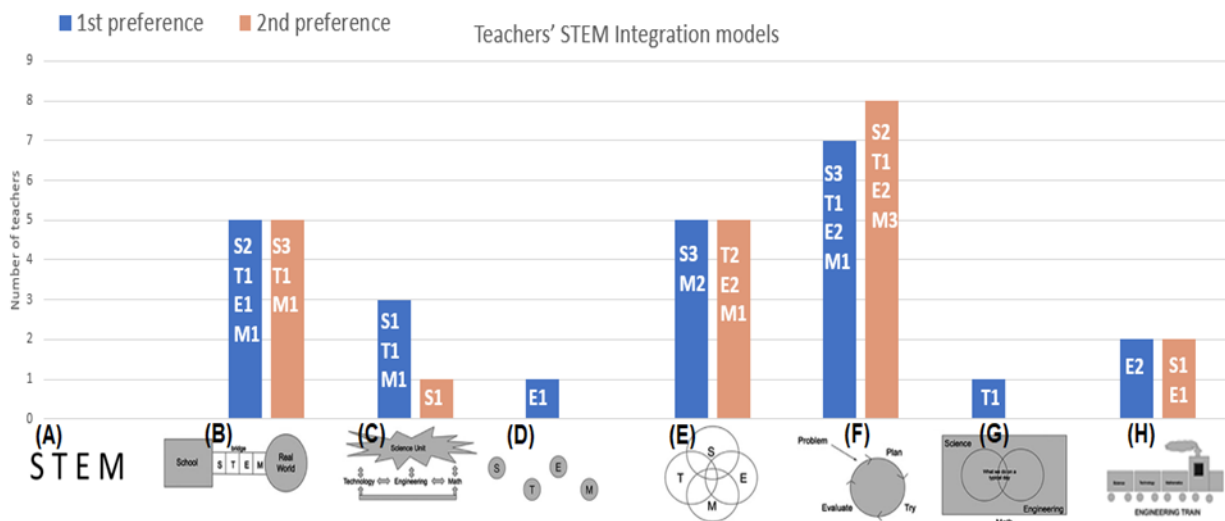
Συνεπώς, δεδομένου των πλεονεκτημάτων και των δυσκολιών που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί, όλοι οι εκπαιδευτικοί ολοκλήρωσαν το επιμορφωτικό πρόγραμμα με θετικές ή θετικές υπό προϋποθέσεις στάσεις για μελλοντική εφαρμογή STEM προσέγγισης. Αξιοσημείωτο είναι ότι και σε αυτό το κομμάτι, οι εκπαιδευτικοί T-E είχαν συγκριτικά λιγότερες επιφυλάξεις για την εφαρμογή STEM (22% Ναι με προϋποθέσεις έναντι 78% Σίγουρα ναι) σε σχέση με τους εκπαιδευτικούς S-M (50% Ναι με προϋποθέσεις έναντι 50% Σίγουρα ναι). Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την μεγαλύτερη έλλειψη γνώσεων και δεξιοτήτων που δήλωσε ένα μέρος εκπαιδευτικών S-M της παρούσας έρευνας, όπως περιγράφηκε παραπάνω και αποτυπώθηκε στον Πίνακα 4.7.

#### 4.1.8) Αντιλήψεις για τη STEM Διασύνδεση

Αναλύοντας τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για μοντέλα STEM διασύνδεσης, παρουσιάζουμε στο Σχήμα 4.9.1 τις προτιμήσεις των εκπαιδευτικών σε μοντέλα που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία (Ring κ.ά., 2017), καθώς και τα επιχειρήματα υπέρ (+) και κατά (-) που εξέθεσαν για τα μοντέλα στον Πίνακα 4.8. Παράλληλα, προκειμένου να γίνει περισσότερο αντιληπτή η κατανομή των προτιμήσεων, παρουσιάζουμε την ποσοστιαία κατανομή των εκπαιδευτικών ανά ειδικότητα σε μοντέλα STEM στο Σχήμα 4.9.2.

#### Σχήμα 4.9.1

Οι Προτιμήσεις των Εκπαιδευτικών σε Μοντέλα STEM Διασύνδεσης

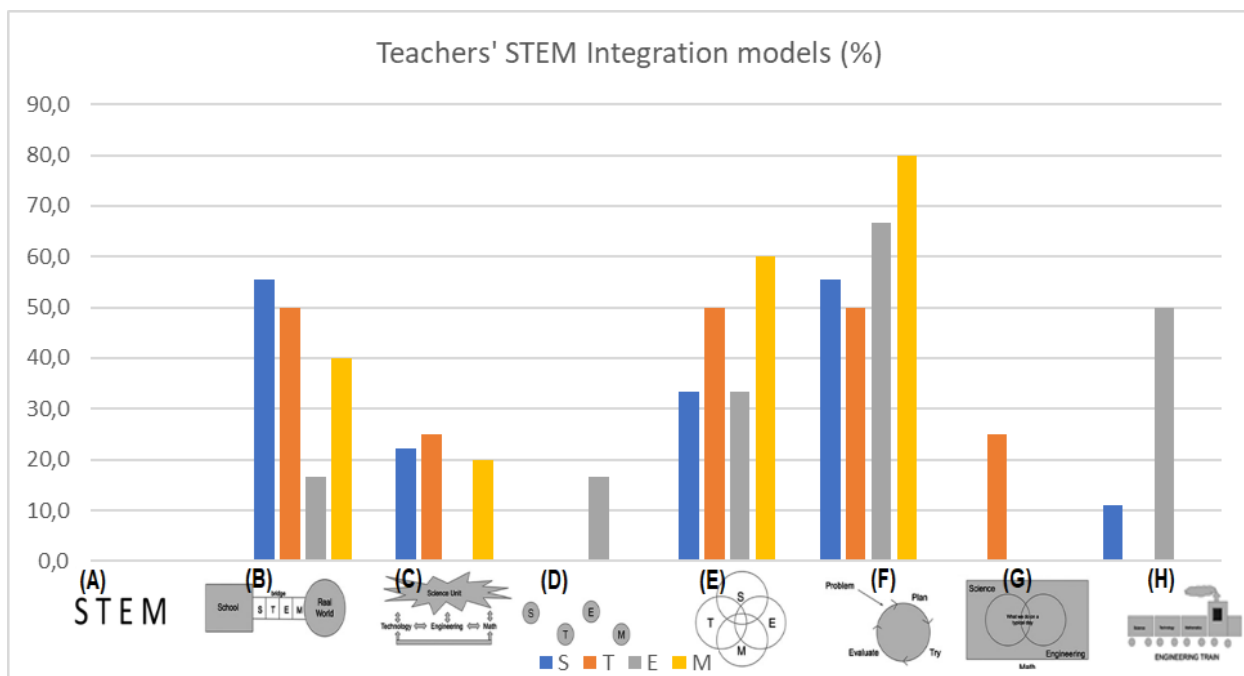


\*Οι ψηφιοποιημένες αναπαραστάσεις των μοντέλων είναι από τους Dare κ.ά. (2019). Σε κάθε μπάρα, το γράμμα S, T, E, M αναπαριστά την ειδικότητα του εκπαιδευτικού και ο αριθμός δίπλα στο γράμμα 'το πλήθος των εκπαιδευτικών που επέλεξαν αυτό το μοντέλο.

#### Σχήμα 4.9.2

Οι Ποσοστιαίες Προτιμήσεις των Εκπαιδευτικών σε Μοντέλα STEM Διασύνδεσης

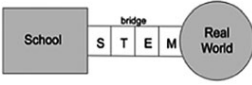
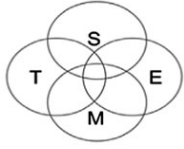
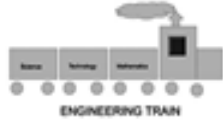


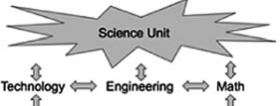
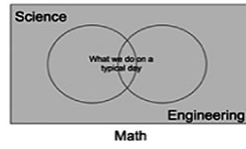
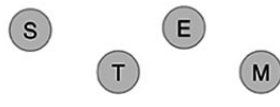


**Πίνακας 4.8**

*Επιχειρήματα (+) και Αντεπιχειρήματα (-) για Μοντέλα STEM Διασύνδεσης*

Μοντέλο	Κωδικοποιημένα επιχειρήματα
<p>(F)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(+) έμφαση στο να ξεκινάς με ένα πρόβλημα /problem-based</li> <li>(+) επιδράει στα συναισθήματα των μαθητών: ενδιαφέρον και αυτοπεποίθηση</li> <li>(+) πιο κοντά στον πραγματικό κόσμο, στις μελλοντικές τους καριέρες</li> <li>(+) πιο ερευνητικό/ inquiry-based</li> <li>(+) συνεχές feedback/επαναληψιμότητα</li> <li>(+) πιο κοντά στις πρακτικές Τεχνολογίας/Μηχανικής</li> <li>(+) έχει εφαρμοστεί σε Ευρωπαϊκά προγράμματα-projects</li> <li>(-) οι μαθητές δεν πρέπει να μένουν μόνο σε διαδικασίες δοκιμής-λάθους (try-and-error) αλλά επίσης να συνδέουν το σχετικό εννοιολογικό περιεχόμενο/θεωρία</li> <li>(-) προϋπόθεση να τους διδάσκουμε και έννοιες (S,M), αλλιώς θα χρειαστούν πολλές επαναλήψεις/δοκιμές</li> <li>(-) πιο κατάλληλο για λύκειο, όχι για μαθητές γυμνασίου</li> <li>(-) είναι περιοριστικό να οπτικοποιείται αυτή η πρακτική μόνο στη Μηχανική</li> </ul>

<p>(B)</p> 	<p>(+) σημασία του να συνδέεις με την καθημερινότητα/πραγματικό κόσμο</p> <p>(+) συνεισφέρει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων/δεξιοτήτων 21<sup>ου</sup> αιώνα</p> <p>(+) πιο κοντά στην εμπειρία των μαθητών</p> <p>(+) το πρόβλημα είναι αυτό που σε πάει στην πραγματική ζωή (συσχέτιση με το μοντέλο F)</p> <p>(+) πιο σημαντικό για την εκπαιδευτική πρακτική</p> <p>(+) συνδέει με τις εφαρμογές/πρακτικές δραστηριότητες</p> <p>(+) συνεισφέρει σε καλύτερη κατανόηση</p> <p>(+) συνεισφέρει σε διεπιστημονικές διασυνδέσεις -σύνθεση</p>
<p>(E)</p> 	<p>(+) δείχνει/προωθεί τη διασύνδεση μεταξύ των επιστημών</p> <p>(+) συνδυασμός επιστημονικών και διεπιστημονικών γνώσεων/διδασκαλιών ή συνδιδασκαλίας</p> <p>(+) μπορείς να ξεκινήσεις από τα άλλα πεδία επίσης, όχι μόνο από τις ΦΕ</p> <p>(+) εμπλέκει πολλά πεδία</p> <p>(+) μπορεί να μην εμπλέκει απαραίτητα όλα τα τέσσερα πεδία</p> <p>(+) υπάρχουν πολλές περιοχές/δυνατότητες διασύνδεσης</p> <p>(-) δύσκολο να ξεχωρίσεις τις κοινές περιοχές-τομές μεταξύ των επιστημών</p> <p>(-) το STEM δεν είναι τόσο (θεωρητική) διδασκαλία, αλλά κυρίως κατασκευή</p> <p>(-) θα έπρεπε να υπάρχει ένα κεντρικός άξονας</p> <p>(-) βασικά δεν υπάρχουν διακριτοί διαχωρισμοί μεταξύ των επιστημών</p>
<p>(H)</p> 	<p>(+) έμφαση στο τεχνούργημα εξαιτίας της Μηχανικής</p> <p>(+) περιλαμβάνει επίσης και τη θεωρία μαζί με το τεχνούργημα (σε αντίθεση με το μοντέλο F)</p> <p>(+) σημασία και κεντρικότητας της Μηχανικής σε άλλα STEM πεδία επίσης, τροφοδοτεί τις ΦΕ</p> <p>(+) πιο κοντά στους εκπαιδευτικούς Μηχανικής</p> <p>(+) προωθείται σε ξένες χώρες (Δυτική κουλτούρα)</p> <p>(-) δεν είναι πάντα ένα πεδίο που ηγείται</p> <p>(-) συνηθισμένη πρακτική για εκπαιδευτικούς Τεχνολογίας, όχι για εκπαιδευτικούς ΦΕ ή Μαθηματικών</p> <p>(-) δεν θα έπρεπε να ηγείται ένα πεδίο</p>

<p>(C)</p> 	<p>(+) ξεκινάει από το περιεχόμενο ΦΕ/πρόβλημα και τα υπόλοιπα έρχονται επικουρικά στην υλοποίηση          (+) κεντρική έμφαση στις ΦΕ/σε ενότητα ΦΕ          (+) ταιριάζει στην υπάρχουσα σχολική κουλτούρα          (+) είναι ένα σύστημα που συνηθίζεται          (+) συμφωνία στο ότι ‘ανακαλούνται Τ, Ε, Μ <i>όποτε χρειαστεί</i>’, ο εκπαιδευτικός πρέπει να έχει κάποια Ελευθερία          (+) θεωρήσεις ότι το STEM είναι πιο κοντά στη Φυσική ή τη Χημεία          (-) STEM δεν σημαίνει να δίνεις έμφαση στις ΦΕ/δεν θα πρέπει να είναι ένα πεδίο που να ηγείται          (-) ταιριάζει σε εκπαιδευτικούς ΦΕ μόνο          (-) κριτική στο ότι <i>criticism on ‘ανακαλούνται Τ, Ε, Μ <i>όποτε χρειαστεί</i>’, πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε</i></p>
<p>(G)</p> 	<p>(+) δίνει έμφαση στις ΦΕ          (-) όχι απαραίτητα ίση έμφαση</p>
<p>(D)</p> 	<p>(+) σημαντικό να έχουν γνώσεις από τα επιμέρους πεδία σαν προαπαιτούμενο          (+) ταιριάζει στην υπάρχουσα σχολική δομή          (+) καλύτερο για μαθητές γυμνασίου          (-) όχι μεμονωμένα πεδία          (-) βασικά δεν υπάρχουν διακριτοί διαχωρισμοί μεταξύ των πεδίων</p>
<p>(A) S T E M</p>	<p>(+) ταιριάζει στην υπάρχουσα σχολική δομή          (-) δεν θα έπρεπε να ηγείται ένα πεδίο</p>

Μια πρώτη επισκόπηση στο Σχήμα 4.9.1 δείχνει ότι τα πλέον προτιμητέα μοντέλα STEM Διασύνδεσης είναι τα μοντέλα που εστιάζουν στον κύκλο μηχανικού σχεδιασμού (F), τη διασύνδεση πεδίων (E), και τα ρεαλιστικά προβλήματα ως πλαίσιο (B). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν εν μέρει με τα αποτελέσματα στην έρευνα των Dare et al (2019) όπου κυριάρχησαν τα μοντέλα B, C, E στις προτιμήσεις των εκπαιδευτικών. Παράλληλα, είναι σε μερική συμφωνία και με την έρευνα των Ring κ.ά. (2017), όπου τα μοντέλα E, H και B κυριάρχησαν στο τέλος του επιμορφωτικού προγράμματος. Εν αντιθέσει όμως, οι εκπαιδευτικοί της παρούσας έρευνας θεώρησαν περιοριστικό το μοντέλο H επειδή δίνει σαφή και άνιση έμφαση στο πεδίο της

Μηχανικής, ενώ ταυτόχρονα θεώρησαν τον σχεδιασμό κάτι πιο γενικό και να έχει εφαρμογή γενικότερα και σε άλλες επιστήμες, ένα επιχείρημα που υποστηρίζεται και από τους Ortiz-Revilla κ.ά. (2020). Ακόμα, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η συμπερίληψη εκπαιδευτικών από όλα τα S-T-E-M πεδία, συγκεκριμένα και από εκπαιδευτικούς εφαρμοσμένων επιστημών μπορεί να επηρέασε αυτή τη διαφοροποίηση σε σχέση με τις προαναφερθείσες παρόμοιες έρευνες όπου συμμετείχαν μόνο εκπαιδευτικοί ΦΕ.

Προσπαθώντας να αναλύσουμε τις προτιμήσεις των εκπαιδευτικών σε σχέση με το επιστημονικό τους υπόβαθρο, παρατηρούμε κάποια αξιοσημείωτα στοιχεία. Αρχικά βλέπουμε ένα συγκριτικά μεγάλο ποσοστό εκπαιδευτικών ΦΕ να δήλωσε πρωτεύουσα/δευτερεύουσα προτίμηση στο μοντέλο που εστιάζει στα ρεαλιστικά προβλήματα/πραγματικού κόσμου. Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτό αντικατοπτρίζει σε κάποιο βαθμό τον επιστημολογικό προσανατολισμό των ΦΕ ως επιστήμη που προσανατολίζεται στην κατανόηση του φυσικού κόσμου, όπως υποστηρίζεται και στο συγκλίνον μοντέλο των Quinn κ.ά. (2020) για τη Φύση του STEM.

Ένα δεύτερο μοτίβο είναι ότι το ότι 3 εκπαιδευτικοί Μηχανικής, δηλαδή το 50% του συνόλου σε αυτή την ειδικότητα, επέλεξε ως πρωτεύουσα/δευτερεύουσα επιλογή το μοντέλο H, το οποίο επικεντρώνει στο πεδίο της Μηχανικής ως άγων των υπολοίπων πεδίων στο STEM. Ακόμα, ένα μοτίβο προκύπτει από το ότι μεγάλο μέρος των Μαθηματικών επέλεξαν το μοντέλο F, επειδή όμως δήλωσαν 3 εξ αυτών, θεώρησαν σημαντικό να ξεκινάμε από ένα πρόβλημα, κάτι που μπορούμε να συσχετίσουμε με τις πρακτικές εκπαίδευσης στα Μαθηματικά. Συμπερασματικά, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το επιστημονικό υπόβαθρο/ειδικότητα επηρέασε τις επιλογές μοντέλων STEM των εκπαιδευτικών. Η ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων μας παρέχει δηλώσεις που επιβεβαιώνουν αυτή την επιρροή.

DE1: Αυτό [μοντέλο C] δεν ισχύει σε μας, ισχύει στους φυσικούς

AE1: το F και το H μου αρέσουνε. Μπορεί και λόγω της ειδικότητάς μου σαν ηλεκτρολόγος

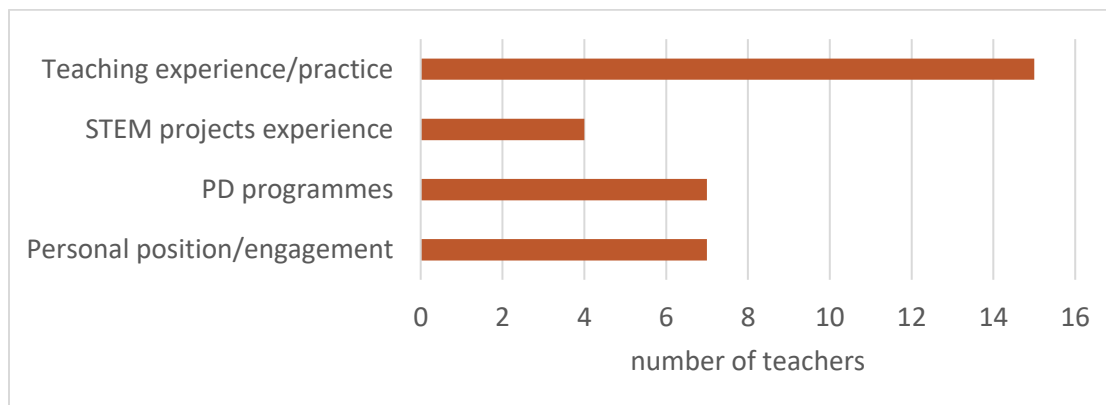
Διαφοροποιήσεις υπήρξαν όχι μόνο ως προς την ειδικότητα, αλλά και γενικότερα σε προσωπικό επίπεδο ως προς τα επιχειρήματα αποδοχής ή απόρριψης ενός μοντέλου. Χαρακτηριστικό είναι ότι κάποιες φορές αυτό που δηλώθηκε ως επιχείρημα για αποδοχή ενός μοντέλου από κάποιους εκπαιδευτικούς, ταυτόχρονα το ίδιο επιχείρημα λειτουργούσε σαν αντεπιχείρημα για άλλο εκπαιδευτικό. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι για το αν θα πρέπει ένα πεδίο να υπερισχύει/κυριαρχεί

ή αν θα πρέπει να υπάρχει μια σχετική ίση έμφαση στα πεδία S-T-E-M, κάτι που οδήγησε κάποιους εκπαιδευτικούς να επιλέξουν ή να απορρίψουν τέτοια μοντέλα, π.χ. τα μοντέλα C και H. Περαιτέρω διαφοροποιήσεις υπήρξαν και ως προς το πώς οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονταν το ίδιο μοντέλο. Συγκεκριμένα, παρόλο που στο σύνολο των εκπαιδευτικών χρησιμοποιήθηκαν γραπτά και λεκτικά οι ίδιες περιγραφές των μοντέλων από τους Dare κ.ά. (2019), ορισμένες φορές οι εκπαιδευτικοί ερμήνευαν διαφορετικά ή εστίαζαν σε διαφορετικό χαρακτηριστικό στο κάθε μοντέλο απ' ό,τι οι συνάδελφοί τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτέλεσε το μοντέλο E. Κάποιοι εκπαιδευτικοί ερμήνευσαν στο ότι το μοντέλο δίνει έμφαση στις διεπιστημονικές διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων. Ένας εκπαιδευτικός δήλωσε ότι είναι 'αναπόφευκτη' η τομή των πεδίων, κάτι που θεώρησε θετικό. Αντίθετα, μία άλλη εκπαιδευτικός εκτίμησε ότι το μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για συνδιδασκαλία, με την έννοια του ότι μπορεί να υπάρχει αρχικά μια διδασκαλία των επιμέρους πεδίων με ένα πολυεπιστημονικό τρόπο και μετά μια διεπιστημονική σύνθεση. Επομένως, παρατηρούμε ότι τα προσωπικά 'φίλτρα και ενισχυτές' των εκπαιδευτικών (Gess-Newsome, 2015) επιδρούν στην αντίληψη των εκπαιδευτικών για το STEM, άρα τα μοντέλα διασύνδεσης στην πράξη είναι περισσότερα από 8.

Παρ' όλες τις διαφοροποιήσεις οι οποίες έλαβαν χώρα, όμως, μπορούμε να αποφανθούμε ότι κάποια STEM χαρακτηριστικά θεωρήθηκαν κεντρικής σημασίας και έλαχαν αυξημένης αποδοχής από τους εκπαιδευτικούς της έρευνας. Ενδεικτικά μπορούμε να πούμε ότι είναι τα μοντέλα που βασίζονται στον κύκλο μηχανικού σχεδιασμού, στη συνάφεια με ρεαλιστικά προβλήματα, τη σημασία του να ξεκινάμε με ένα πρόβλημα, και την ανάγκη του να διασυνδέουμε τη θεωρητική εκπαίδευση με πρακτικές δραστηριότητες. Επιπλέον, η κατανομή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.9.1 προσδίδει πληροφόρηση για τις ιεραρχικές προτιμήσεις των εκπαιδευτικών στα χαρακτηριστικά αυτά, καθώς ο Πίνακας 4.8 τα επιχειρήματα που υποστηρίζουν τις επιλογές αυτές. Τέλος, αναφορικά με τις εμπειρίες/προσλαμβάνουσες στις οποίες βασίστηκαν οι εκπαιδευτικοί ώστε να επιλέξουν τα αντίστοιχα μοντέλα σύμφωνα με το πρωτόκολλο STEM αναστοχασμού (Ring κ.ά., 2017) (βλ. Παράρτημα Π3), μπορούμε να δούμε στο Σχήμα 4.10 τις συχνότητες σε κάθε κατηγορία. Συμπερασματικά, βλέπουμε ότι η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών απάντησε ότι έπαιξε ρόλο η διδακτική τους εμπειρία/πρακτική, δηλαδή να δοκιμάζουν διάφορες στρατηγικές και προσεγγίσεις και να παρατηρούν την αντίδραση/αναστοχασμό των μαθητών.

## Σχήμα 4.10

*Εμπειρίες που Επηρέασαν τα Επιλεχθέντα Μοντέλα των Εκπαιδευτικών*



### **4.1.9) Οριζόντια Σύγκριση Μοντέλων Εκπαιδευτικών**

Η ανάλυση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για μοντέλα STEM διασύνδεσης σε σχέση με τα τελικά σχέδια διδασκαλίας τους (ν=24) ανέδειξε τα παρακάτω αποτελέσματα:

Σε 7 περιπτώσεις εκπαιδευτικών, η περιγραφή των σχεδίων διδασκαλίας τους κρίθηκε ότι προσομοιώνει την πρωτεύουσα προτίμησή τους σε STEM μοντέλα διασύνδεσης. Αντίστοιχα, σε 2 περιπτώσεις κρίθηκε ότι προσομοιώνει τη δευτερεύουσα προτίμησή τους σε STEM μοντέλα, ενώ σε 4 περιπτώσεις η περιγραφή του σχεδίου διδασκαλίας θεωρήθηκε ότι συνδέεται με έναν συνδυασμό των δύο πρώτων προτιμήσεων σε STEM μοντέλα διασύνδεσης. Για παράδειγμα, στο σχέδιο διδασκαλίας της ΓΤ1, η ίση επικέντρωση μεταξύ ΦΕ και Μηχανικής (μοντέλο G) και η έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα (μοντέλο B) θεωρήθηκε ότι συνυπάρχουν στην περιγραφή του σχεδίου διδασκαλίας της.

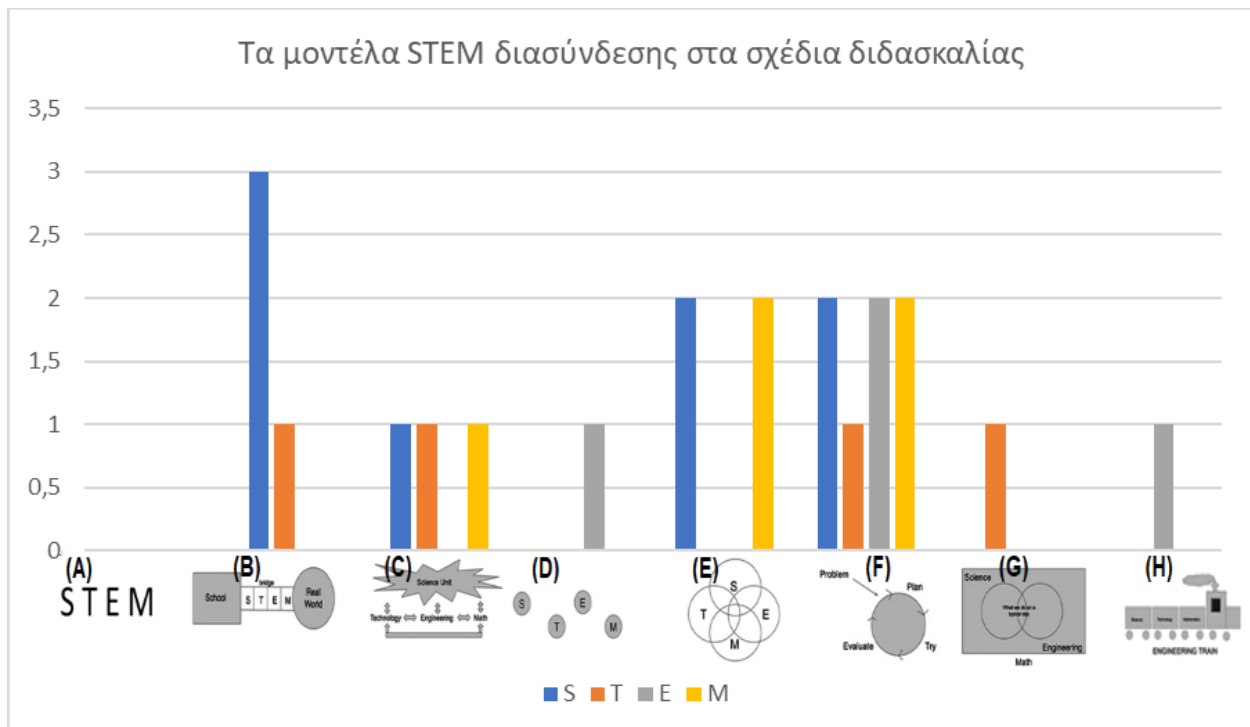
Παράλληλα, προέκυψαν και περιγραφές σχεδίων οι οποίες δεν θεωρήθηκε ότι αντιπροσώπευαν επαρκώς το/α αντίστοιχο/α μοντέλο/α, αλλά σχετίζονταν μερικώς/σε κάποιο βαθμό με αυτό. Υπό αυτό το πρίσμα, 6 τελικά σχέδια διδασκαλίας εκπαιδευτικών θεωρήθηκε ότι σχετίζονταν μερικώς με την πρωτεύουσα προτίμηση STEM μοντέλου του/της εκπαιδευτικού, ενώ 2 τελικά σχέδια διδασκαλίας θεωρήθηκε ότι σχετίζονταν μερικώς με έναν συνδυασμό των δύο πρώτων προτιμήσεων STEM μοντέλων των εκπαιδευτικών. Χαρακτηριστικό είναι δε ότι σε 2 περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι η περιγραφή του σχεδίου διδασκαλίας δεν σχετίζεται με κανένα από τις δύο

προτιμήσεις STEM μοντέλων των εκπαιδευτικών. Για παράδειγμα, ενώ το σχέδιο διδασκαλίας του CE2 εστίαζε περισσότερο στη Μηχανική με την προσθήκη αναστοχαστικών συζητήσεων για διεπιστημονικά φαινόμενα που διασταυρωνόταν η θεματική, ο εκπαιδευτικός εντούτοις δήλωσε προτίμηση στα μοντέλα γεφύρωσης με ρεαλιστικά προβλήματα (B) και μοντέλα σύνδεσης πεδίων (E).

Συνοψίζοντας τα μοντέλα STEM διασύνδεσης τα οποία κρίθηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν πράγματι στην ανάπτυξη σχεδίων διδασκαλίας από τους εκπαιδευτικούς (n=7), μπορούμε να απεικονίσουμε την κατανομή των εκπαιδευτικών σε μοντέλα STEM διασύνδεσης που εφάρμοσαν κατά τον σχεδιασμό STEM σχεδίων διδασκαλίας στο Σχήμα 4.11.1, και αντίστοιχα την ποσοστιαία κατανομή στο Σχήμα 4.11.2 σε παρόμοια μορφοποίηση με το Σχήμα 4.9.1 και 4.9.2.

### Σχήμα 4.11.1

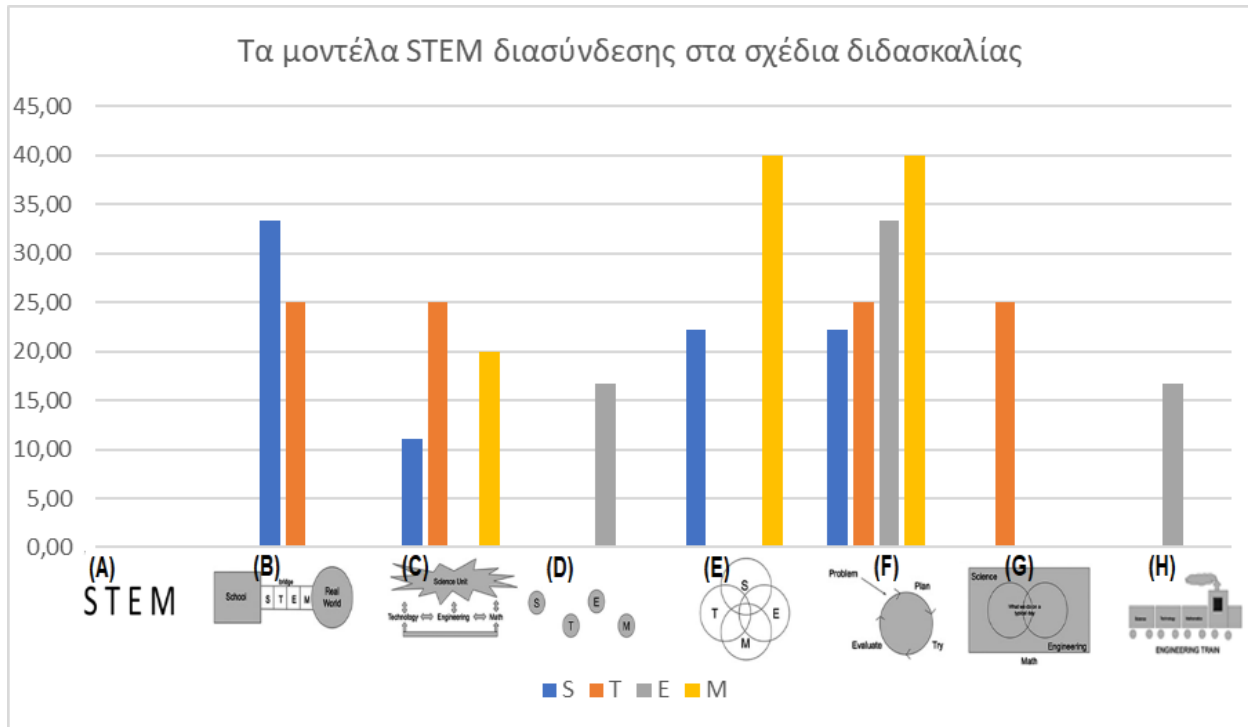
Τα Μοντέλα STEM Διασύνδεσης που οι Εκπαιδευτικοί Εφάρμοσαν στα Σχέδια STEM Διδασκαλίας



\*Σε περιπτώσεις που κρίθηκε ότι το μοντέλο που ακολουθείται στο σχέδιο διδασκαλίας είναι συνδυασμός δύο μοντέλων, τότε κωδικοποιήθηκε και στα δύο μοντέλα αυτά.

## Σχήμα 4.11.2

Τα Ποσοστά Μοντέλων STEM Διασύνδεσης που οι Εκπαιδευτικοί Εφάρμοσαν στα Σχέδια STEM Διδασκαλίας



Όπως παρατηρούμε στα παραπάνω Σχήματα, τα μοντέλα που εφάρμοσαν οι εκπαιδευτικοί ακολουθούν τα ίδια γενικά μοτίβα με τα μοντέλα που εξέφρασαν στις αναστοχαστικές συνεντεύξεις. Παράλληλα, η επιρροή της ειδικότητας των εκπαιδευτικών σε κάποια μοντέλα, όπως η προτίμηση των εκπαιδευτικών ΦΕ στο μοντέλο Β ή η προτίμηση των εκπαιδευτικών Μαθηματικών στην εκκίνηση με ένα πρόβλημα (μοντέλο F) είναι εμφανής και στην κατανομή αυτή.

Συμπερασματικά, μπορούμε να ισχυριστούμε αφενός ότι τα 8 μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν από τη βιβλιογραφία, αν και αντιπροσωπευτικά σε μεγάλο βαθμό, δεν καλύπτουν όμως το μεγάλο εύρος των πιθανών μοντέλων των εκπαιδευτικών, ενώ συχνά οι εκπαιδευτικοί συνδύαζαν στοιχεία από 2 μοντέλα στο σχέδιο διδασκαλίας τους. Αφετέρου, μπορούμε να δούμε ότι συχνά η



αναστοχαστική επίγνωση του εκπαιδευτικού του μοντέλου STEM διασύνδεσης που ο ίδιος στην πράξη σχεδιάζει απαιτεί έναν υψηλό βαθμό αυτογνωσίας την οποία δεν έχουν πάντα οι εκπαιδευτικοί.

#### **4.2) Ερ. 2: Πώς επηρέασε το συνεργατικό πλαίσιο Μαθησιακής Κοινότητας την ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού;**

Η επιρροή του συνεργατικού πλαισίου ΜΚ μελετήθηκε α) μέσα από την εξέλιξη των STEM διδασκαλιών όπως περιγράφονται στις διάφορες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας καθώς και στις συζητήσεις των ΜΚ, και β) μέσα από τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στην επιστημονική ανάλυση των ενοτήτων, όπως προέκυψε στις αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας και γ) μέσα από τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στην διεπιστημονική ανάλυση, όπως προέκυψε τόσο από αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας, όσο και από τις μετέπειτα συζητήσεις στην ΜΚ (βλ. Κεφ. 3.5). Συνεπώς, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων ακολουθεί μια παρόμοια σειρά με το ερευνητικό ερώτημα 1 στο προηγούμενο υποκεφάλαιο 4.1.

Παρ' όλ' αυτά, η επιρροή της ΜΚ δεν αφορά μόνο τα σχέδια STEM διδασκαλίας, αλλά και τον σχεδιασμό των ενοτήτων κατά την δεύτερη φάση και την ανάπτυξη τεχνουργημάτων (συναντήσεις ν. 4-10 στον Πίνακα 3.3). Πράγματι, το γεγονός ότι εκπαιδευτικοί επέκτειναν ιδέες συναδέλφων σε άλλες ιδέες μπορεί να θεωρηθεί προϊόν συνεργασίας, αφού η επιπλέον επέκταση της αρχικής ιδέας ενδεχομένως να μην είχε προκύψει χωρίς τη συζήτηση και τον διαμοιρασμό των ιδεών στην ομάδα. Παρομοίως, η σύνδεση ιδεών από άλλα μέλη, καθώς και η υποστήριξη και κριτική ιδεών είναι μια εγγενώς συνεργατική διεργασία. Η ανάπτυξη τεχνουργήματος έγινε επίσης σε όλες τις ομάδες συνεργατικά, καθότι διαφορετικά μέλη δούλευαν πάνω στο τεχνούργημα, είτε παράλληλα σε διαφορετικά τμήματα του τεχνουργήματος, είτε σειριακά, αξιοποιώντας το κομμάτι που είχε πρωτίστως αναπτύξει οι συνάδελφοί τους στην ΜΚ. Τουναντίον όμως, η ανάλυση στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο εστιάζει μόνο στο STEM διδακτικό υλικό ως το τελικό προϊόν της συνεργασίας και τεθείς στόχος της εκπαιδευτικής δράσης.

#### **4.2.1) Τα Σχέδια STEM Διδασκαλίας**

Η εξέλιξη των σχεδίων διδασκαλίας αναλύεται σε επίπεδο ομάδας ΜΚ, εφόσον αυτό ήταν το περιβάλλον λειτουργίας και ανάπτυξης STEM διδακτικού υλικού από τους εκπαιδευτικούς. Παρακάτω περιγράφονται αλλαγές και προσαρμογές στον STEM σχεδιασμό διδακτικού υλικού που έκαναν οι εκπαιδευτικοί ως αποτέλεσμα της αφομοίωσης στοιχείων και γενικότερης επιρροής από συναδέλφους τους στην ΜΚ.

##### *ΜΚ Α*

Κατά τη διάρκεια των συναντήσεων για το STEM διδακτικό υλικό (Α6 και Α7) δεν υπήρξαν ριζικές αλλαγές στα σχέδια διδασκαλίας των εκπαιδευτικών. Ένα κοινό θέμα το οποίο προέκυψε στη συζήτηση ήταν εάν θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί η συνδιδασκαλία ως μέθοδος έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες και η έλλειψη γνώσεων σε άλλα επιστημονικά πεδία που ανέφεραν ορισμένοι εκπαιδευτικοί. Η ΑS2 εισήγαγε και υποστήριξε σθεναρά τη λύση της συνδιδασκαλίας στην Α6 συνάντηση, επειδή όπως δήλωσε αυτό θα είχε τα βέλτιστα αποτελέσματα και θα βοηθούσε να ξεπεραστεί η έλλειψη γνώσεων και εμπειριών και η έλλειψη ενασχόλησης με άλλα πεδία εξαιτίας της εξ αποστάσεως λειτουργίας της ΜΚ. Ως αποτέλεσμα, στο αναθεωρημένο σχέδιο διδασκαλίας της ενσωμάτωσε συνεργασίες με αρκετούς συναδέλφους από άλλες επιστήμες. Η ιδέα της συνδιδασκαλίας, αν και δεν συνιστά ενημερωμένη διεπιστημονική προσέγγιση, υποστηρίχτηκε κατόπιν και από τον ΑΜ1, ενώ ο ΑS1 αρχικά πρότεινε κυρίως συνδιδασκαλία με τον εκπαιδευτικό Πληροφορικής. Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι η επιρροή της ΜΚ ήταν ανασταλτική ως προς τη διεπιστημονικότητα στη συγκεκριμένη περίπτωση. Στη δεύτερη συνάντηση ΜΚ όμως, ο ΑS1 δήλωσε ότι θεώρησε καλή πρόκληση να αναλάβει μόνος του την υλοποίηση μιας STEM διδασκαλίας, παρόλο που δήλωσε ότι αναπόφευκτα θα έδινε άنيση έμφαση στα πεδία.

Μια άλλη αλλαγή που έλαβε χώρα αφορούσε τη χρονική διάρκεια της διδασκαλίας, που σύμφωνα με τα λεγόμενα του ΑS1 στη συνάντηση Α6 θα έπρεπε να πάρει πολλές διδακτικές ώρες, ίσως και με τη μορφή project μηνών, μια τακτική που κατόπιν αφομοίωσε ο ΑΕ1 στην επόμενη συνάντηση. Επιπλέον, ο ΑΤ1 ενσωμάτωσε σε μετέπειτα εκδοχή του σχεδίου διδασκαλίας του την επικοινωνία δεδομένων στο διαδίκτυο, κάτι που ο ΑΕ2 εκτίμησε θετικά ως ενδεχόμενο. Ο ΑΕ2 επίσης ενσωμάτωσε το ενδεχόμενο χρήσης αισθητήρων για συλλογή δεδομένων που ειπώθηκε από

συναδέλφους, καθώς και την ανάθεση δημιουργικής εργασίας στους μαθητές. Ακόμα, ο ΑΕ2 επέλεξε στη μετέπειτα συνάντηση (Α7) να χωρίσει το σχέδιο διδασκαλίας του σε τρία μέρη, ένα για κάθε τάξη του Γυμνασίου κατάλληλα. Τέλος, ο ΑΕ1 αφομοίωσε την ιδέα της χρήσης προσομοίωσης (Tinkercad) που είχε προτείνει προηγουμένως ο ΑΤ1.

### *ΜΚ Β*

Κατά τη διάρκεια των συζητήσεων για τα σχέδια διδασκαλίας, ένα μείζον θέμα ήταν το πώς να μετασχηματιστεί το απαιτητικό περιεχόμενο προκειμένου να γίνει αντιληπτό από τους μαθητές. Υπό αυτό το πρίσμα ο ΒΕ1 πρότεινε την παιχνιδοποίηση ως μέθοδο, κάτι που εγκολπώθηκε από τον ΒS4, ο οποίος κατόπιν πρότεινε μια παιγνιώδη εφαρμογή για τις (νανο)κλίμακες και τα σχετικά μεγέθη. Η χρήση της εφαρμογής αφομοιώθηκε κατόπιν από τους ΒS1 και ΒΕ1. Μια ακόμη μείζονα αλλαγή αφορούσε την ενσωμάτωση κοινωνικοεπιστημονικών ζητημάτων, όπως ηθικές προεκτάσεις και προβληματισμοί για την εξέλιξη της Τεχνολογίας και τη μελέτη/παρέμβαση στο DNA που εισήγαγε η ΒS3. Τέτοιες διαστάσεις αξιολογήθηκαν θετικά και ενσωματώθηκαν κατόπιν από τους ΒS1 και ΒS4.

Ένα θέμα εκτενούς συζήτησης ήταν η παροχή υποστηρικτικού υλικού από τα μέλη της ΜΚ που έθεσε ο ΒΕ1. Ο ΒS4 ανταποκρινόμενος στο αίτημα αυτό παρείχε εξηγήσεις και υποστηρικτικά βίντεο για τα φαινόμενα, όπως π.χ. για τις κλίμακες, τη δομή του DNA και τα νουκλεοτίδια. Ακόμα, η ΒS3 τόνισε τη σημασία να γίνει κουβέντα για τους χημικούς δεσμούς, την ισχύ τους και τη φύση των δυνάμεων σε ένα δεσμό, ένα θέμα που ακολουθήθηκε επίσης από τον ΒS4.

### *ΜΚ Γ*

Στην ομάδα αυτή 3 εκπαιδευτικοί παρείχαν αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας, ενώ 3 εκπαιδευτικοί δεν προέβησαν σε σημαντικές αλλαγές. Συγκεκριμένα, η CS2 είχε προτείνει να υπάρχει μια αναστοχαστική συζήτηση με τους μαθητές για τη διεπιστημονικότητα, κάτι που ο CE2 θεώρησε καλό να υπάρχει στο τέλος, ενώ η CT1 ενσωμάτωσε μια τέτοια δραστηριότητα κατόπιν στο σχέδιό της. Η CT1 προσέθεσε επίσης δραστηριότητες συζήτησης με τους μαθητές για το συναφές εννοιολογικό περιεχόμενο των πρακτικών δραστηριοτήτων στις μετέπειτα εκδοχές

των σχεδίων διδασκαλίας της. Ακόμα, ο CE2 επέκτεινε τη χρονική διάρκεια του σχεδίου του από 1 σε 3 ώρες, επηρεαζόμενος, καθώς είπε από τα σχέδια των συναδέλφων στην MK.

Η CT1 επίσης προσέθεσε μια δραστηριότητα δοκιμής του τεχνουργήματος σε εξωτερικό χώρο και συλλογής δεδομένων για σύγκριση των συνδέσεων (ραδιοκύματα με Bluetooth). Παρομοίως, ο CE2 πρόσθεσε κατά τη φάση ελέγχου μια δραστηριότητα όπου οι μαθητές δοκίμαζαν το τεχνουργήμα. Οι CE2 και CT1 ενσωμάτωσαν και οι δύο δραστηριότητες προγραμματισμού των αισθητήρων σε μετέπειτα εκδοχές των σχεδίων. Η CT1 καινοτόμησε με το να σχεδιάσει επιπλέον μια δραστηριότητα συνεργασίας των μαθητών από δύο διαφορετικές τάξεις. Η CT1 επίσης δήλωσε την επιθυμία να έφτιαχνε ένα παρόμοιο πάνελ όπως αυτό που ανέπτυξε CE2 που να μπορεί να κάνει συγκρίσεις φωτοβολταϊκών, σε συνεργασία με το τμήμα Ηλεκτρολογίας. Ακόμα, η CT1 πρόσθεσε μία δραστηριότητα με brushless κινητήρα, που ήταν ένα κεντρικό θέμα στη διδασκαλία που είχε διαμοιραστεί ο CE2. Η CE1 ανέφερε στη δεύτερη περιγραφή του σχεδίου της μία συζήτηση με τους μαθητές για τους πρακτικούς περιορισμούς στην κατασκευή του τεχνουργήματος. Τέλος, η CT1 πρόσθεσε στην τελευταία εκδοχή του σχεδίου της μια δραστηριότητα σχετική με θεωρητικές αρχές του κύκλου μηχανικού σχεδιασμού/κύκλου ζωής προϊόντος.

#### *MK Δ*

Κατά τη διάρκεια των συναντήσεων στην MK Δ, η DM2 διαμοιράστηκε κάποια υποστηρικτικά βίντεο για κβαντικά φαινόμενα όπως το φαινόμενο σήραγγας και μαγνητικά φαινόμενα, που αξιοποιήθηκαν κατόπιν από τους DS1 και DS2 στα σχέδιά τους. Οι DS1 και DM2 πρότειναν οι μαθητές να ασχοληθούν με διαφορετικά μέρη της κατασκευής παράλληλα, ενώ η DM2 πρότεινε μια κυκλική εναλλαγή των ομάδων μαθητών, μια ιδέα που μετέπειτα αξιοποιήθηκε από τον DE1. Η DS2 πρόσθεσε επίσης δραστηριότητες για τον μικρο- και νανόκοσμο, κάτι που όπως είπε είχε ακούσει από τους συναδέλφους πριν.

Επιπλέον αλλαγές σχετίζονται με την παρουσίαση του τεχνουργήματος από τους μαθητές που ενσωμάτωσε η DS2, καθώς και μια δραστηριότητα όπου οι μαθητές θα έπαιρναν τον ρόλο του επιστήμονα και θα έψαχναν για άλλα διχοτομικά φαινόμενα και κατόπιν θα τα παρουσίαζαν στην τάξη. Η DT2 πρόσθεσε στη συνάντηση Δ9 ότι οι μαθητές θα μπορούσαν να μελετούν τον κώδικα για κινητά, μετά από προηγούμενη συζήτηση των DM2 και DE1 για το αν οι μαθητές είναι σε

θέση να προγραμματίσουν ή να παρέμβουν σε έτοιμο κώδικα. Η DT1 πρόσθεσε στη δεύτερη περιγραφή του σχεδίου της μια θεωρητική δραστηριότητα για τα αποθηκευτικά μέσα γενικότερα, και ένα φύλλο αξιολόγησης στο τέλος του μαθήματος, δύο δραστηριότητες που είχαν προηγουμένως παρουσιαστεί από τον DS2. Τέλος, ο DS1 πρότεινε ένα μοντέλο συνδιδασκαλίας με συναδέλφους.

Συνολικά, μπορούμε να δούμε ότι υπήρξε κάποιας μορφής διάδραση και αφομοίωση στοιχείων και ιδεών μεταξύ των μελών. Η αλληλεπίδραση αυτή γενικότερα συμπεριλάμβανε α) τον διαμοιρασμό πηγών και πληροφοριών μεταξύ των μελών, β) τον διαμοιρασμό μεθόδων και διαδικασιών υλοποίησης (π.χ. συνδιδασκαλία, πολύμηνη μέθοδος project, δοκιμή και αξιολόγηση), γ) την ενσωμάτωση δραστηριοτήτων, δ) την ενσωμάτωση γενικότερων διαστάσεων πάνω στο θέμα (π.χ. συζήτηση για διεπιστημονικότητα, κοινωνικοεπιστημονικά θέματα), κ.ά. Χαρακτηριστικό είναι δε ότι σε πολλές περιπτώσεις τα μέλη έκαναν ρητές αναφορές στους συναδέλφους που τους επηρέασαν στο να αλλάξουν/προσθέσουν κάτι στο σχέδιό τους. Δεν έλειψαν, όμως και επιρροές προς λιγότερο ενημερωμένες διεπιστημονικές προσεγγίσεις, όπως η ιδέα της συνεργασίας/συνδιδασκαλίας ως μέθοδος.

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα ανάλυση εστίασε στις αλληλεπιδράσεις στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού (σχέδια διδασκαλίας). Συνεπώς, δεδομένου της μικρής διάρκειας που διήρκεσε αυτή η φάση (2 συναντήσεις MK σε διάστημα 15 ημερών), μπορούμε γενικότερα να συμπεράνουμε ότι υπήρξε μια επαρκής αλληλεπίδραση στα πλαίσια των MK.

#### ***4.2.2) Συγκρίσεις με τις Αρχικές Περιγραφές Διδασκαλίας***

Η συγκριτική μελέτη των αρχικών περιγραφών που παρέδωσαν οι εκπαιδευτικοί (n=13) στα αρχικά ερωτηματολόγια (βλ. Παράρτημα Π1) σε σχέση με τα τελικά σχέδια διδασκαλίας που τα μέλη αυτά παρέδωσαν αναδεικνύει τα εξής: σε 7 περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μερικές μεταβολές, ενώ σε 6 περιπτώσεις παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές.

Συγκεκριμένα, αναφορικά με την πρώτη κατηγορία (μερικών αλλαγών), σε 4 περιπτώσεις ο/η εκπαιδευτικός ακολούθησε παρόμοια μεθοδολογία και σειρά δραστηριοτήτων αλλά προσανατολίστηκε προς το θέμα που επέλεξε η ομάδα και εμπλούτισε την αρχική του περιγραφή.

Σε δύο περιπτώσεις οι εκπαιδευτικοί κράτησαν το ίδιο θέμα καθότι αποτέλεσε και το κεντρικό θέμα της ομάδας, αλλά άλλαξαν τις μεθόδους. Αναλυτικότερα, ο DS1 άλλαξε τη δραστηριότητα κατασκευής του τεχνουργήματος σε χρήση του τεχνουργήματος, επειδή όπως δήλωσε έχει ήδη φτιαχτεί το τεχνούργημα από την ομάδα. Ο BS4 αρχικά ανέφερε για χωρισμό της διδασκαλίας όπου ο κάθε εκπαιδευτικός θα δίδασκε το κομμάτι του ενώ στη B8 συνάντηση ανέφερε μόνο για συνδιαμόρφωση του σχεδίου διδασκαλίας και παράλληλα σχεδίασε μια διδασκαλία για έναν εκπαιδευτικό. Ακόμα, 1 εκπαιδευτικός (CT1) εκτός από το ότι προσανατολίστηκε στο θέμα της ομάδας, πρόσθεσε επίσης περισσότερα στοιχεία Μηχανικής στο σχέδιό της, ενδεχομένως επηρεαζόμενη από την ισχυρή αλληλεπίδραση στο κομμάτι αυτό στην ομάδα Γ.

Αναφορικά για τις περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν μεγάλες αλλαγές, ο AM1 άλλαξε από μια διδασκαλία προσανατολισμένη σε κατασκευή μοντέλων από 3D εκτυπωτή σε μια πειραματική διδασκαλία που χρησιμοποιούσε την ανάπτυξη τεχνουργήματος (θερμοκηπίου) μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο προβλήματος. Παρομοίως η DT1 μετατοπίστηκε από την κατασκευή 3D εκτυπωτή σε μια διδασκαλία που εκτός από την ανάπτυξη τεχνουργήματος με μικροελεγκτές, εμπεριείχε και θεωρία για τα αποθηκευτικά μέσα και τρόπο αποθήκευσης πληροφορίας. Η DT2 αρχικά ανέφερε τη χρήση αυθεντικών παραδειγμάτων ενώ στο τέλος ενέπλεξε τη χρήση τεχνουργημάτων, όπως την εφαρμογή AppInventor και τη ρομποτική κατασκευή. Απεναντίας δε, η CS2 ενώ είχε σχεδιάσει αρχικά την κατασκευή μοντέλου με συνεργασία με συναδέλφους, στο τελικό σχέδιό της εστίασε στη χρήση του τεχνουργήματος και επεξήγηση της λειτουργίας του, σε ενδεχόμενη συνεργασία με Πληροφορικό. Η DS2 ανέπτυξε συγκεκριμένο θέμα σε σχέση με αρχικές γενικές ιδέες NET σε πρώιμη μορφή. Τέλος, η DM1 ενώ αρχικά είχε προσανατολιστεί σε έννοιες που σχετίζονται με το αναλυτικό πρόγραμμα της Γεωμετρίας, αργότερα ενέπλεξε διεπιστημονικά θέματα που ασχολήθηκε η ομάδα.

Γενικότερα, σε αρκετές περιπτώσεις οι αρχικές περιγραφές STEM διδασκαλίας των εκπαιδευτικών ήταν λακωνικές ( $n=5$ ) ή απουσίαζε η περιγραφή και αναφέρονταν μόνο οι ιδέες NET που στόχευαν ( $n=2$ ). Αντίθετα, σε 6 περιπτώσεις η περιγραφή ήταν πιο σαφής και αναφέρονταν δραστηριότητες. Μπορούμε να ερμηνεύσουμε το ότι οι εκπαιδευτικοί δεν έκαναν εκτενείς και σαφείς περιγραφές διδασκαλιών στην αρχική τους έλλειψη σε γνώσεις για το αντικείμενο της NET αλλά και της STEM προσέγγισης, κάτι που διατυπώθηκε και ρητά από κάποιους εκπαιδευτικούς σαν σχόλιο στο ερωτηματολόγιο ( $n=2$ ).

Παράλληλα, σε ορισμένες περιπτώσεις δε, παρουσιάστηκαν και ομοιότητες σε κάποια κυρίαρχα χαρακτηριστικά στοιχεία που ενσωμάτωσαν οι εκπαιδευτικοί στα σχέδιά τους, και που τα είχαν εισάγει και στα αρχικά ερωτηματολόγια. Για παράδειγμα, η DM2 είχε εξ αρχής σχεδιάσει την ανάθεση ρόλων σε ομάδες μαθητών, ενώ η BS3 και η CT1 είχαν εξ αρχής εισάγει κοινωνικούς προβληματισμούς που σχετίζονταν με την ενότητα της NET. Ακόμα, η DT1 είχε επικεντρωθεί από την αρχική φάση για το πώς ο εκπαιδευτικός θα λειτουργήσει ως διευκολυντής της γνώσης σε πλαίσιο διερεύνησης, κ.ο.κ..

Γενικότερα, παρατηρήθηκαν αλλαγές και μετατοπίσεις όχι μόνο ως προς το θέμα, αλλά και ειδικότερα στον τρόπο/μεθόδους διδασκαλίας του θέματος, σε θέματα ενσωμάτωσης και χρήσης της κατασκευής, καθώς και σε εμπλουτισμό με διεπιστημονικά στοιχεία. Οι παραπάνω μεταβολές μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οφείλονται στην επίδραση της συνεργασίας μέσω των συναντήσεων των MK. Με βάση την παραδοχή ότι οι εκπαιδευτικοί ξεκινούν από μια μάλλον μονοεπιστημονική προσέγγιση, μπορούμε να θεωρήσουμε την αλληλεπίδραση της MK ως ένα επιτελικό στοιχείο στη γενικότερη STEM επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών.

#### ***4.2.3) Επιστημονική Ανάλυση των Ενοτήτων***

Οι συζητήσεις στις MK εστίασαν μόνο στην περιγραφή των διδασκαλιών και στη διεπιστημονική ανάλυση για τα δεδομένα χρονικά πλαίσια. Άρα δεν υπήρξε ρητή και μεθοδευμένη συζήτηση για την επιστημονική ανάλυση. Επομένως, τυχόν αλλαγές στο κομμάτι αυτό ανιχνεύτηκαν μόνο από τις αναθεωρημένες εκδοχές σχεδίων διδασκαλίας ( $n=7$ ).

Στο πλαίσιο αυτό, η AS2 πρόσθεσε επιπλέον στοιχεία ΦΕ και Μαθηματικών σε μετέπειτα αναθεωρημένη εκδοχή του σχεδίου της. Επίσης, μετέφερε ένα στοιχείο (ανάλυση γραφημάτων) από το πεδίο της Τεχνολογίας που είχε θεωρηθεί άστοχη κατηγοριοποίηση στο πεδίο των Μαθηματικών. Εντούτοις, μια σύγχυση στους ορισμούς Τεχνολογίας και Μηχανικής οδήγησε στην μεταφορά ενός στοιχείου (κώδικας) από το πεδίο της Τεχνολογίας στη Μηχανική, κάτι που κωδικοποιήθηκε ως άστοχο (P\_Dis\_TK-O). Στην περίπτωση της CT1, προστέθηκαν στοιχεία σε όλα τα πεδία. Η DS2 έκανε επίσης προσθήκες στοιχείων στα πεδία των ΦΕ και Μαθηματικών. Η DT2 πρόσθεσε στοιχεία στα πεδία των ΦΕ, Μηχανικής και Μαθηματικών, τα οποία είχε προηγουμένως αφήσει κενά. Απεναντίας οι AM1, CE2, και CM1 δεν άλλαξαν τα επιστημονικά στοιχεία σε αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας τους.

Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι το συνεργατικό πλαίσιο μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να αναγνωρίσουν επιπλέον στοιχεία από κάθε επιστημονικό πεδίο, όπως προκύπτει από την εξέλιξη της επιστημονικής ανάλυσης (βλ. Κεφ. 4.1). Προσοχή, βέβαια, απαιτείται στη διατύπωση και επικοινωνία των ορισμών των πεδίων προκειμένου να γίνει πιο συγκεκριμένη η ταυτοποίηση στοιχείων ανάμεσα σε συναφή πεδία.

#### 4.2.4) Διεπιστημονική Ανάλυση των Ενοτήτων

Αναλύοντας τις αλλαγές που παρατηρήθηκαν στις διασυνδέσεις και τα διασυνοριακά αντικείμενα που αναγνώρισαν οι εκπαιδευτικοί, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα στον Πίνακα 4.9. Οι αλλαγές ανιχνεύτηκαν αφενός από τα λεγόμενα των εκπαιδευτικών στις συζητήσεις όπου ρωτήθηκαν ρητά να σχολιάσουν τις διασυνδέσεις και τα διασυνοριακά αντικείμενα στην ενότητα τους, και αφετέρου από τις αναθεωρημένες εκδοχές των σχεδίων διδασκαλίας τους, όταν υπήρξαν.

**Πίνακας 4.9**

*Αλλαγές στις Διασυνδέσεις και τα Διασυνοριακά Αντικείμενα που Αναγνώρισαν οι Εκπαιδευτικοί*

ID	Διεπιστημονικά στοιχεία				Διασυνοριακά αντικείμενα			
	αρχικά σχέδια διδασκαλίας	αλλαγές (1 <sup>η</sup> συζήτηση)	αλλαγές (2 <sup>η</sup> συζήτηση)	αναθεωρημένο σχέδιο διδασκαλίας /ή μετά τη συζήτηση	αρχικά σχέδια διδασκαλίας	αλλαγές (1 <sup>η</sup> συζήτηση)	αλλαγές (2 <sup>η</sup> συζήτηση)	αναθεωρημένο σχέδιο διδασκαλίας /ή μετά τη συζήτηση
AS1	ασαφές	+7	(τροποποιήσεις)		ασαφές	+7	+2	
AS2	ασαφές	+1	ασαφές	1 (+έμμεσα)	ασαφές	+3	ασαφές	ασαφές
AT1	ασαφές	+2	+1		ασαφές	+1	+3	
AE1	εκτός θέματος /ασαφές	+1	ασαφές	ασαφές	εκτός θέματος/1	+1	+3	απουσία
AE2	έμμεσα	+4	+1		απουσία	+1	+2	
AM1	1	+3	+3	7	1	+3	+2	5



BS1		έμμεσα	(τροποποιήσεις)	5		-	+1	ασαφές
BS2								
BS3	απουσία	+3	έμμεσα, (+τροποποιήσεις)		απουσία	-	+2	
BS4	απουσία	0	+2		2	-	ασαφές	
BT1								
BE1		έμμεσα		ασαφές		-		απουσία
BM1	1	0	+1		1	-	0	
CS1	ασαφές	+3	+1		ασαφές	+2	+4	
CS2	4	+2	0		7	0	+2	
CT1	έμμεσα	+4	+1	4	1	+2	0	3
CE1	έμμεσα	+3	+1		1	0	+3	
CE2	2	+3	+1	3	απουσία	+1	+2	2
CM1	έμμεσα	+4	0	9	3	0	+1	5
DS1	4	(τροποποιήσεις)	0		ασαφές	0	+3	
DS2		+2	+3	4		ασαφές	+2	1
DT1	(εκτός θέματος) 1	+1	+2		εκτός θέματος/ απουσία	0	+1	
DT2	ασαφές	+4	0	5	ασαφές	0	+2	ασαφές
DE1		+2	+1	2		0	+2	απουσία
DM1				έμμεσα				απουσία
DM2	έμμεσα	+2	+1		1	0	+2	

\*Επεξήγηση κωδικοποίησης (βλ. και Ανάλυση Δεδομένων):

*Έμμεσα (In)*: αναφέρεται διασύνδεση, χωρίς όμως ρητή αναφορά σε σχετιζόμενα πεδία ή γίνεται ρητή αναφορά μόνο σε ένα πεδίο.

*Ασαφές (Va)*: Γενικές διατυπώσεις των πεδίων χωρίς να αναφέρονται συγκεκριμένες διεπιστημονικές έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές ως διασυνδέσεις.

*Απουσία (F)*: Κενό/δεν αναγράφεται διασύνδεση ή διασυνωριακό αντικείμενο.

Τα κελιά με γκρι δηλώνουν ότι δεν δόθηκε αναθεωρημένο σχέδιο διδασκαλίας. Τα κελιά με κόκκινο δηλώνουν απουσία του μέλους από τη συνάντηση/εις.

Όπως φαίνεται παραπάνω στον Πίνακα 4.9, οι εκπαιδευτικοί μέσα από τις συζητήσεις στις ΜΚ μπόρεσαν να αναγνωρίσουν περισσότερα διεπιστημονικά στοιχεία και διασυνωριακά αντικείμενα σε σχέση με τα αρχικά τους σχέδια διδασκαλίας.

Συγκεκριμένα, αναφορικά με τις διασυνδέσεις που προέκυψαν μέσα από τις συζητήσεις των ΜΚ, 5 εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν επιπλέον διεπιστημονικά στοιχεία σε σχέση με το σχέδιο διδασκαλίας που είχαν παραδώσει πριν. Ακόμα, η συζήτηση βοήθησε 12 εκπαιδευτικούς να αναγνωρίσουν ρητές διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων σε σχέση με προηγούμενες καταστάσεις όπου είτε δεν είχαν συμπληρώσει στοιχεία ή είχαν ασαφείς περιγραφές ( $n=7$ ) ή είχαν έμμεσες/άρρητες περιγραφές για τις διασυνδέσεις ( $n=5$ ). Παρ' όλ' αυτά, υπήρξαν περιπτώσεις όπου δεν παρατηρήθηκε κάποια μεταβολή ( $n=3$ ), ο/η εκπαιδευτικός δεν συμμετείχε σε καμία από τις δύο συζητήσεις ( $n=1$ ), ή ακόμα και περιπτώσεις όπου ο/η εκπαιδευτικός αν και αναγνώρισε διασυνδέσεις, σε μετέπειτα συζήτηση ξαναγύρισε σε πιο ασαφείς ή άρρητες περιγραφές διασυνδέσεων ( $n=3$ ).

Αντίστοιχη μελέτη για τα αναθεωρημένα σχέδια διδασκαλίας που παρέδωσαν μέρος των εκπαιδευτικών ( $n=7$ ), παρατηρήθηκε η συμπερίληψη διεπιστημονικών στοιχείων σε σχέση με προηγούμενες ασαφείς περιγραφές ( $n=2$ ) ή άρρητες περιγραφές των διασυνδέσεων ( $n=2$ ). Ακόμα 2 εκπαιδευτικοί πρόσθεσαν επιπλέον επιστημονικά στοιχεία, ενώ αντίστοιχα σε μία περίπτωση δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική μεταβολή.

Παρομοίως για τα διασυνοριακά αντικείμενα, 12 εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν και περιέγραψαν διασυνοριακά αντικείμενα στην ενότητά τους σε σχέση με προηγούμενες ασαφείς περιγραφές, ενώ 7 πρόσθεσαν επιπλέον διασυνοριακά αντικείμενα σε σχέση με αυτά που είχαν ήδη περιγράψει. Σε 3 εκπαιδευτικούς δεν παρατηρήθηκε μεταβολή, ενώ 2 εκπαιδευτικοί κατέληξαν σε πιο ασαφείς περιγραφές σε σχέση με αρχικές ή ενδιάμεσες περιγραφές τους.

Συνολικά, μπορούμε να αποφανθούμε ότι οι εκπαιδευτικοί της παρούσας έρευνας υποστηρίχτηκαν από το συνεργατικό πλαίσιο της ΜΚ υπό την έννοια: α) του να σχηματοποιήσουν και να αντιληφθούν συγκεκριμένες διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων καθώς και αντίστοιχα διασυνοριακά αντικείμενα στην ενότητά τους, β) του να κάνουν πιο ρητές και συγκεκριμένες τις διασυνδέσεις που προηγουμένως είχαν εκφράσει έμμεσα/γενικά, γ) του να εμπλουτίσουν το υπάρχον ρεπερτόριο διασυνδέσεων και διασυνοριακών αντικειμένων σε περιπτώσεις που είχαν αναγνωρίσει κάποια εξ αρχής.

DS2: στο σενάριο αυτό που θα σας στείλουμε, η DS2 είμαι, στο σενάριο που θα σας στείλουμε θα μας κάνετε και διορθώσεις-παραμβάσεις έτσι ώστε να το βελτιώσουμε; Δηλαδή εγώ θα ήθελα, να πω την αλήθεια, να άκουγα και από τους συναδέλφους -βέβαια ήταν η πρώτη φορά που το ακούσανε, να

άκουγα παρεμβάσεις να το βελτιώσω και δικές τους ιδέες. Μου είπε η κυρία DM2 βέβαια αλλά οι υπόλοιποι δεν μίλησαν [Δ8 συνάντηση].

CM1: Εγώ απλά πρόσθεσα αυτές τις παρατηρήσεις που κάναμε την προηγούμενη φορά, ειδικά δεν άλλαξα κάτι βασικό στην εργασία μου. Αλλά εκεί τις διασυνδέσεις των εννοιών ας πούμε λίγο πιο οργανωμένα όπως με βοήθησε η προηγούμενη συνάντηση. Ε διόρθωσα εκείνο το κομμάτι, [Γ9 συνάντηση].

Τα παραπάνω αποσπάσματα από τις συζητήσεις για τα σχέδια διδασκαλίας επιβεβαιώνουν την ανάγκη για συνεργασία αλλά και την υποστήριξη που έλαβαν τα μέλη από συναδέλφους κατά τον σχεδιασμό διδακτικού υλικού. Στο κεφάλαιο 4.4.3 αναλύονται περαιτέρω οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το θέμα της συνεργασίας.

#### ***4.2.5) Αντιλήψεις για τη STEM Συνεργασία***

Παρομοίως όπως και στο ερευνητικό ερώτημα 1 (βλ. Κεφ. 4.1.7–4.1.8), έτσι και στο παρόν ερευνητικό ερώτημα αναλύονται συμπληρωματικά οι αντιλήψεις των ιδίων των εκπαιδευτικών για τη συνεργασία, όπως προέκυψαν από την ανάλυση των συνεντεύξεων.

##### *Αντιλήψεις Συνεργασίας σε Επίπεδο Ειδικοτήτων*

Αναλύοντας αρχικά τις τάσεις για συνεργασία σε επίπεδο ειδικοτήτων, μπορούμε να δούμε στον Πίνακα 4.10 την ιεράρχηση σε ειδικότητες που εξέφρασαν οι εκπαιδευτικοί της έρευνας. Ως πρώτη προτίμηση για συνεργασία η πλειοψηφία του δείγματος δήλωσε με έναν εκπαιδευτικό ΦΕ (v=13). Τα επιχειρήματα για αυτή την επιλογή εστιάζουν στο να παρέχει βοήθεια για την θεμελίωση του αρχικού ρεαλιστικού προβλήματος, καθώς και ότι έχει την επάρκεια να υποστηρίξει το εννοιολογικό κομμάτι που αρκετοί θεώρησαν ότι χρειάζονται υποστήριξη σε αυτό. Η Τεχνολογία επίσης επιλέχθηκε ως πρώτη ανάγκη για συνεργασία σε 6 περιπτώσεις, με το επιχείρημα ότι οι εκπαιδευτικοί αυτοί δεν είχαν την άνεση/εξοικείωση με την Τεχνολογία, ενώ θεωρήθηκε και ως βασική δεξιότητα και χρήσιμη στην καθημερινότητα.

Αντίθετα, ο εκπαιδευτικός Μαθηματικών θεωρήθηκε από τους περισσότερους εκπαιδευτικούς (v=15) ως ο λιγότερο σημαντικός στην ιεραρχία για συνεργασία. Το κεντρικό μοτίβο που κυριάρχησε στην αιτιολόγηση αυτού του αποτελέσματος ήταν το ότι τις γνώσεις Μαθηματικών σε σχολικό επίπεδο τις έχουν σε μεγάλο βαθμό και οι υπόλοιποι καθότι θεωρούνται βασικές.

Απεναντίας, ένας εκπαιδευτικός δήλωσε ότι σε πιο ανεβασμένο επίπεδο (π.χ. πανεπιστημιακό) θα ήταν διαφορετικά. Ακόμα, υποστηρίχτηκε η άποψη ότι δεν ξεκινάς από τα Μαθηματικά στο STEM, κάτι που έχει καταγραφεί στη βιβλιογραφία (NRC, 2014).

#### Πίνακας 4.10

*Τάσεις STEM Συνεργασίας σε Επίπεδο Ειδικοτήτων*

	Συνεργασία					Συνεργασία			
AS1	T	E	S	M	CS1	E	T	S	M
AS2	T	E	M	S	CS2	E	T	M	S
AE1	T	S	E	M	CT1	S	M	E	T
AT1	S	E	T	M	CE1	S	E	T	M
AM1	T	S	E	M	CE2	S	T	E	M
AE2	E	T	S	M	CM1	S	T	E	M
BS1	S	T	E	M	DS1	S	E	T	M
BS2	-	-	-	-	DS2	S	E	T	M
BS3	T	E	S	S	DT1	S	E	T	M
BS4	M	S	T	E	DT2	E	S	M	T
BT1	-	-	-	-	DE1	S	T	M	E
BE1	S	E	M	T	DM1	T	S	E	M
BM1	S	E	T	M	DM2	S	T	M	E

Προσπαθώντας να εντοπίσουμε γενικότερα μοτίβα από τις αιτιολογήσεις των εκπαιδευτικών αναφορικά με συνεργατικές τάσεις, δύο κυρίαρχα μοτίβα ξεχώρισαν. Αφενός, μια σημαντική μάζα εκπαιδευτικών (v=9) επέλεξε έναν εκπαιδευτικό μιας διαφορετικής ειδικότητας, γιατί δήλωσε ρητά έλλειψη στο πεδίο αυτό. Χαρακτηριστικό είναι ότι στις 8 από τις 9 περιπτώσεις αυτές οι επιλογές των εκπαιδευτικών είχαν να κάνουν με συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών S-M και T-E επιστημών. Θα λέγαμε ότι το μοτίβο αυτό επιδιώκει τη ‘συμπληρωματικότητα’ στο STEM, επειδή όπως δήλωσε στερείται γνώσεις ή/και δεξιότητες στο πεδίο αυτό. Το δεύτερο μοτίβο, λιγότερο σύννηθες (v=4), περιλαμβάνει εκπαιδευτικούς οι οποίοι δήλωσαν μια ‘συναφή’ ειδικότητα επειδή όπως δήλωσαν είναι ‘πιο κοντά’ και θα είχαν καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία. Στο μοτίβο αυτό ‘γεινίασης’ παρατηρούμε τάσεις για συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών S-M και μεταξύ T-

Ε. Δεν έλειψαν βέβαια και οι περιπτώσεις εκπαιδευτικών που δήλωσαν προτίμηση για συνεργασία με εκπαιδευτικό ίδιας ειδικότητας προκειμένου να εμβαθύνουν περισσότερο στο θέμα και να μάθουν ο ένας από τον άλλο (v=1) ή επειδή θεωρούν σημαντικό το πεδίο αυτό ούτως ή άλλως (v=3).

#### *Αντιλήψεις Συνεργασίας σε Προσωπικό Επίπεδο*

Επικεντρώνοντας στη συγκεκριμένη ΜΚ που είχε συμμετάσχει ο κάθε εκπαιδευτικός και με βάση τη STEM ενότητα που ανέπτυξε η αντίστοιχη ΜΚ, οι εκπαιδευτικοί κλήθηκαν να δηλώσουν μία προτίμηση για συνεργασία με άλλο έναν συνάδελφο. Τα αποτελέσματα παριστάνονται στα Κοινωνιογράμματα 1,2,3, και 4 αντίστοιχα για κάθε ΜΚ. Παράλληλα, έχουν παρασταθεί οι ιδιότητες των μελών (προεμπειρία στο STEM και χρόνια προϋπηρεσίας) με σύμβολα, όπως φαίνεται στο Υπόμνημα, ενώ ο Πίνακας 4.11 παρουσιάζει δείκτες χαρακτηρισμού των δικτύων όπως ο Συγκεντρωτισμός και η Αμοιβαιότητα (βλ. Ανάλυση Δεδομένων).

#### **Υπόμνημα**

##### *Ιδιότητες χρηστών*

node attribute	categories
STEM experience	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> <span>no experience</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: blue; margin-right: 5px;"></div> <span>little experience</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> <span>experienced</span> </div> </div>
teaching experience	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>little experience</span> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <span>quite experienced</span> </div> </div> <p>teaching experience (in years) is represented by the size of the node/square</p>

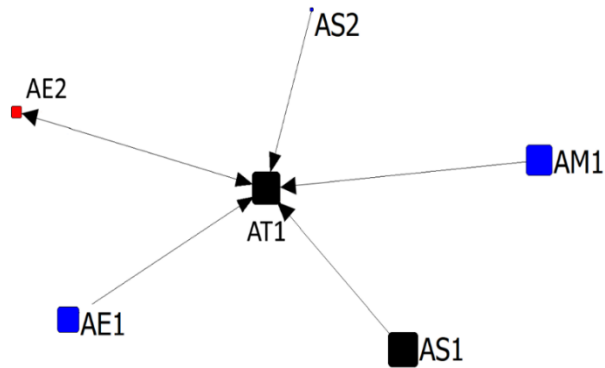
#### **Πίνακας 4.11**

##### *Συγκεντρωτισμός και Αμοιβαιότητα στα Δίκτυα*

LC group	Centralisation (in)	Reciprocity (dyad)
A	0,960	0,200
B	0,444	0,250
C	0,480	0,200
D	0,194	0,167

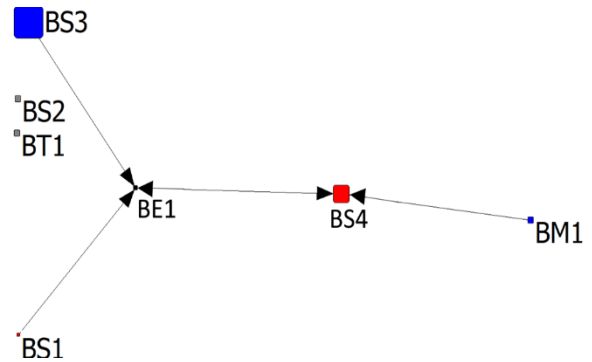
### Κοινωνιόγραμμα 1

Δίκτυο Συνεργασίας KM A



### Κοινωνιόγραμμα 2

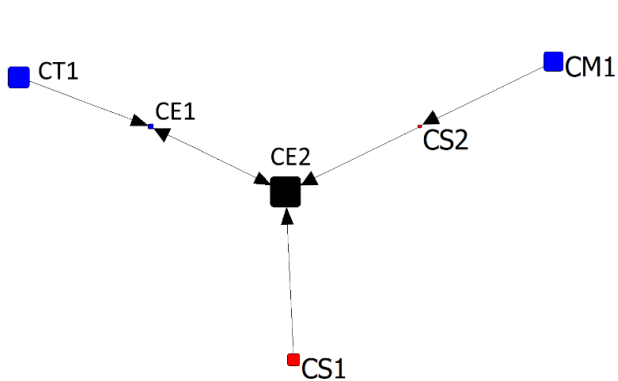
Δίκτυο Συνεργασίας KM B



Σημείωση: \*παραιτήθηκαν του προγράμματος

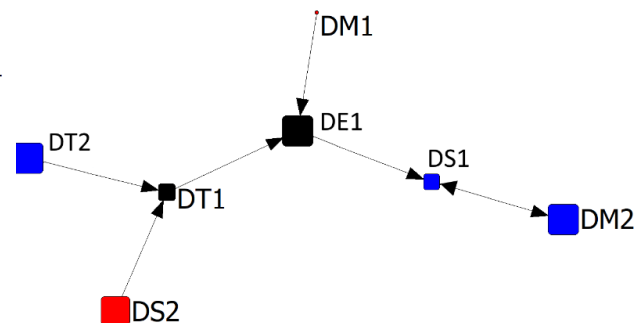
### Κοινωνιόγραμμα 3

Δίκτυο Συνεργασίας KM Γ



### Κοινωνιόγραμμα 4

Δίκτυο Συνεργασίας KM Δ



Από μία οριζόντια επισκόπηση όλων των Δικτύων, μπορούμε να αναγνωρίσουμε ένα ισχυρό μοτίβο: σε όλες τις ομάδες, το/α μέλος/η με τη μέγιστη κεντρικότητα είθισται να ήταν αυτά τα οποία ήταν ειδήμονες σε θέματα Ψηφιακής Τεχνολογίας. Τα μέλη δηλαδή τα οποία είχαν ειδικευση στη χρησιμοποίηση Arduino (ομάδες A, C, D) ή LEGO (Ομάδες B, D). Ειδικότερα, στο

δίκτυο Α το μέλος με την ειδίκευση στη ψηφιακή Τεχνολογία έλαχε τη μέγιστη δυνατή κεντρικότητα. Εξαίρεση αποτέλεσε το δίκτυο Δ όπου η κεντρικότητα ήταν εξίσου μοιρασμένη σε τρία μέλη, δύο εκ των οποίων ήταν ειδικοί στη Ψηφιακή Τεχνολογία. Το παραπάνω αποτέλεσμα φανερώνει αφενός τη σημασία που δίνουν οι εκπαιδευτικοί στην ενσωμάτωση της Τεχνολογίας στο STEM, όπως επίσης τονίστηκε και μέσα από τις συνεντεύξεις.

AS1: για μένα το πιο σημαντικό κομμάτι που είναι

R1: το Πληροφορική/Τεχνολογία;

AS1: ναι, αυτό που μου λείπει και μένα. Έχω έλλειψη

Αφετέρου, το αποτέλεσμα αυτό φανερώνει και την ιδιαίτερη δυσκολία που θέτει η Τεχνολογία για τους μη ειδικούς (Niryakis & Stavrou, 2022; Waight & Abd-El-Khalick, 2012; Wang κ.ά., 2011), όπως επίσης επιβεβαιώνεται και μέσω της ποιοτικής ανάλυσης των συνεντεύξεων και φανερώνει ενδεικτικά το παραπάνω απόσπασμα.

Συνεχίζοντας την ανάλυση υπό την οπτική των ειδικοτήτων, μπορούμε να παρατηρήσουμε ένα δευτερογενές μοτίβο που θέλει τους εκπαιδευτικούς ΦΕ σε μια ενδιάμεση ζώνη (core-periphery). Συγκεκριμένα σε 3 από τις 4 ΜΚ ένας εκπαιδευτικός ΦΕ βρίσκεται στην ενδιάμεση ζώνη του δικτύου. Τα επιχειρήματα που κωδικοποιήθηκαν για τις επιλογές αυτές έχουν να κάνουν αφενός στις ομάδες Β και Δ με τη συνεισφορά των εκπαιδευτικών BS4 και DS1 αντίστοιχα στην εύρεση και διαμόρφωση της αρχικής ιδέας, και αφετέρου με τη συνάφεια με το επιλεγθέν θέμα. Αντίθετα, στην ομάδα C, η εκπαιδευτικός ΦΕ προτιμήθηκε για συνεργασία λόγω ‘συγγένειας απόψεων’ στο σχέδιο διδασκαλίας, γειτνίασης όσο αφορά την ειδικότητα και άρα καλύτερης επικοινωνίας.

Ακόμα, παρατηρούμε ότι είθισται οι εκπαιδευτικοί Μαθηματικών να βρίσκονται στην ‘περιφέρεια’ των δικτύων σε όλες τις ΜΚ, με εξαίρεση την ΜΚ Δ όπου η Μαθηματικός προτιμήθηκε από τον εκπαιδευτικό ΦΕ. Το παραπάνω αποτέλεσμα επιβεβαιώνει τον περιθωριακό ρόλο που είθισται να έχουν τα Μαθηματικά στις STEM προσεγγίσεις (English, 2016; NRC, 2014).

Συνολικά, αναφορικά με τα επιχειρήματα που χρησιμοποίησαν οι εκπαιδευτικοί για τις προσωπικές τους επιλογές συνεργασίας πιο συχνά θέματα εμπειρείχαν αναφορές ότι το/α άτομο/α που επέλεξαν ήταν συνεργάσιμος/η, επικοινωνιακός/ή και όχι απόλυτος/η (ν=9), είχε γνώσεις (ν=8 θέματα), δεξιότητες (ν=8), ιδέες/την κεντρική ιδέα της ενότητας (ν=7), ήταν σχετικός/ή ως ειδικότητα με το θέμα (ν=8), είχε συναφές αντικείμενο με τον/την ίδιο/α (ν=6) ή ‘συμπληρωματικό’ αντικείμενο (ν=5), καθώς και εμπειρία στο STEM (ν=5).

Αναφορικά με τις ιδιότητες που είχαν τα κεντρικά μέλη, παρατηρούμε ότι η προϋπηρεσία στην εκπαίδευση δεν φαίνεται να έπαιξε ρόλο στην κεντρικότητα του μέλους. Εν αντιθέσει, η προεμπειρία στο STEM φαίνεται να έπαιξε κομβικό ρόλο, καθότι όλα τα κεντρικά μέλη (πλην του DS1) ήταν μέλη που είχαν δηλώσει ότι είχαν ξαναεργαστεί εκτενώς με το STEM. Το αποτέλεσμα αυτό, πέραν από την επισκόπηση των δικτύων, ειπώθηκε και ρητά από τους εκπαιδευτικούς, όπως προαναφέρθηκε.

Τέλος, αναλύοντας τις αμοιβαιότητες μεταξύ μελών, μπορούμε να εξάγουμε κάποια αποτελέσματα μέσω της αλληλοεκτίμησης/αλληλοσύνδεσης που δηλώνουν ζευγάρια εκπαιδευτικών. Στην παρούσα έρευνα, κάθε MK είχε από μία αμοιβαιότητα. Σύμφωνα με τις αιτιολογήσεις των εκπαιδευτικών, στις ομάδες A και C η αμοιβαιότητα προέκυψε βάσει της συμπληρωματικότητας των δεξιοτήτων των δύο μελών, συγκεκριμένα μεταξύ Μηχανικού-Τεχνολόγου και Ηλεκτρονικού Μηχανικού-Αρχιτέκτονα Μηχανικού, αντίστοιχα. Παρομοίως, στην ομάδα B η αμοιβαιότητα προέκυψε από συμπληρωματικότητα των γνώσεων και δεξιοτήτων, καθώς και συνάφεια με το επιλεγθέν θέμα. Αντίθετα, στην ομάδα D η αμοιβαιότητα προέκυψε λόγω καλύτερης επικοινωνίας, παροχής ανατροφοδότησης και υποστήριξης, καθώς και περισσότερης συμμετοχής/εμπλοκής με το πρόγραμμα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5) ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ –ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παραθέτουμε μια συζήτηση των αποτελεσμάτων, επιχειρώντας αφενός να συνθέσουμε τα αποτελέσματα από επιμέρους αναλύσεις για τη δημιουργία γενικών συμπερασμάτων, και αφετέρου να τονίσουμε σημεία τα οποία θεωρούμε σημαντικά και χρήζουν περαιτέρω σχολιασμό.

#### 5.1) Γενική Επισκόπηση του STEM Διδακτικού Υλικού

Η ανάλυση του STEM διδακτικού υλικού που σχεδίασαν και ανέπτυξαν οι εκπαιδευτικοί, δηλαδή οι STEM διδακτικές ενότητες, σχέδια διδασκαλίας και τεχνουργήματα, αναδεικνύει πληροφορίες για τις STEM πρακτικές των εκπαιδευτικών καθώς και τις πτυχές Εκπαίδευσης STEM τις οποίες ενσωματώνουν κατά τον σχεδιασμό STEM διδασκαλιών.

Μια γενικότερη αποτίμηση του παραχθέντος διδακτικού υλικού δείχνει αρχικά ότι σε όλες τις ομάδες ΜΚ ενσωματώθηκαν γνώσεις και δεξιότητες από όλα τα τέσσερα δομικά πεδία του STEM. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι συχνά εκπαιδευτικοί δηλώνουν δυσκολία στο να ενσωματωθεί το πεδίο τους στο STEM, όπως π.χ. το πεδίο της Βιολογίας, Χημείας (Asghar κ.ά., 2012) ή της Γεωμετρίας (Margot & Ketler, 2019), οι ομάδες ΜΚ της παρούσας έρευνας παρήγαγαν διδακτικό υλικό που ενσωμάτωνε ουσιαστικά τα παραπάνω πεδία. Επιπλέον, από την ανάλυση της γενικότερης διδακτικής ενότητας και του τεχνουργήματος που προέκυψε σε κάθε ομάδα, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η συμπερίληψη των επιμέρους πεδίων έγινε σε έναν αρκετά ισότιμο βαθμό. Με βάση την ανάλυση των συζητήσεων και των αναστοχαστικών συνεντεύξεων, συμπεραίνουμε ότι η συμπερίληψη εκπαιδευτικών από όλα τα πεδία, καθώς και η εφαρμογή του συνεργατικού πλαισίου ΜΚ συνέβαλλε σε αυτό το αποτέλεσμα.

Αντιθέτως, σε ατομικό επίπεδο, όπως αυτό αναλύθηκε μέσω των σχεδίων διδασκαλίας του/της κάθε εκπαιδευτικού αλλά και της δραστηριότητάς του/της στις συζητήσεις των ΜΚ, παρατηρήθηκαν αρκετές διαφοροποιήσεις. Οι διαφοροποιήσεις αυτές αφορούσαν: α) γνώσεις και δεξιότητες από τα επιμέρους πεδία που επέλεξαν να ενσωματώσουν οι εκπαιδευτικοί, β) χαρακτηριστικά STEM διδασκαλίας, γ) διασυνδέσεις και διασυννοριακά αντικείμενα που

αναγνώρισαν κατά τον σχεδιασμό διδασκαλιών τους, δ) ιδέες και θέματα που εισηγήθηκαν, συνεισφέραν αλλά και συζήτησαν κατά τη διάρκεια των συζητήσεων στην ΜΚ.

Οι δύο παραπάνω διαπιστώσεις δεν θεωρούμε ότι συνιστούν αντίφαση, αλλά τουναντίον ότι η μία συμπληρώνει την άλλη. Οι ομάδες εκπαιδευτικών, έχοντας ως κεντρικό άξονα μια κοινώς συμφωνηθείσα διδακτική ενότητα/θεματική και ένα STEM τεχνούργημα, τα αξιοποίησαν και τα ενσωμάτωσαν εξατομικευμένα με βάση τις δικές τους ικανότητες, προτιμήσεις και ανάγκες, καθώς και έχοντας ως σημείο αναφοράς το δικό τους πλαίσιο/συνθήκες τάξης. Υπό το πρίσμα των παραπάνω, μπορούμε να ανιχνεύσουμε τη δημιουργία μιας ‘διεπιστημονικής ζώνης’ (interdisciplinary zone) μέσα από τη συνεργασία των εκπαιδευτικών σε κάθε ΜΚ, την οποία ο κάθε εκπαιδευτικός εφαρμόζει κατά το δοκούν ως προς το εύρος και τον τρόπο. Συγκεκριμένα, μπορούμε να θεωρήσουμε το *STEM τεχνούργημα* κάθε ομάδας ως ένα διασυνοριακό αντικείμενο, καθότι συμπεραίνουμε ότι πληροί τις προϋποθέσεις της Star (2010) που ορίζουν ένα διασυνοριακό αντικείμενο. Συγκεκριμένα, στα STEM τεχνουργήματα αναγνωρίζεται: α) η ερμηνευτική τους ευελιξία, καθότι το STEM τεχνούργημα έχει την ‘πλαστικότητα’ ώστε να μπορεί να ερμηνευτεί με βάση διαφορετικές οπτικές, β) η οργανωτική τους δομή αποτελεί αντικείμενο συνεργασίας μεταξύ πεδίων/κοινοτήτων, στην περίπτωση μας εκπαιδευτικών διαφορετικών πεδίων, και γ) η δυναμική της ασθενοῦς χρήσης σε ευρύ επίπεδο, δηλαδή επίπεδο ομάδας ΜΚ που περιέχει πολλές διαφορετικές ειδικότητες, και ταυτόχρονα η εδραιωμένη χρήση σε τοπικό επίπεδο, στην περίπτωση μας η χρήση τους από έναν εκπαιδευτικό στα πλαίσια της δικής του διδασκαλίας και με το υπάρχον επιστημονικό υπόβαθρο και προσανατολισμό που έχει.

Εστιάζοντας την ανάλυση σε ιδέες και θέματα που οι ομάδες ΜΚ επικέντρωσαν, παρατηρούμε ότι οι ομάδες ασχολήθηκαν με ένα πλήθος θεμάτων. Τα κοινά θέματα από την οριζόντια ανάλυση μεταξύ των ομάδων ανέδειξαν κάποιες κοινές τάσεις και μοτίβα. Ένα από τα κυρίαρχα μοτίβα ήταν η μοντελοποίηση εννοιών/φαινομένων/εφαρμογών για διδασκαλία. Το θέμα αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε ότι απέκτησε περισσότερη σημασία από τη στιγμή που οι ομάδες ασχολήθηκαν με το αντικείμενο της NET που αφορά φαινόμενα του μικρόκοσμου όπου ενδείκνυται η μοντελοποίηση ως διδακτικό μέσο/τεχνική (Geelan, 2012; Levirini κ.ά., 2023). Επιπλέον, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το αποτέλεσμα αυτό αντανάκλα τον διδακτικό προσανατολισμό των εκπαιδευτικών στο STEM, όπου η προσομοίωση και η αναπαράσταση φαινομένων επαρκεί και κυριαρχεί έναντι της κατασκευής ενός πλήρως λειτουργικού και αυθεντικού τεχνουργήματος. Υπό αυτό το πρίσμα, οι εκπαιδευτικοί σε περιπτώσεις περιθωριοποίησαν τη χρήση αυθεντικών

νανοϋλικών ή διαδικασιών και αρκέστηκαν στη διδακτική αξιοποίηση μοντέλων, ενώ ταυτόχρονα ασχολήθηκαν με πρακτικά θέματα παρουσίας στην τάξη ή σε μια έκθεση.

Παράλληλα, εκτενής ήταν και η ενασχόληση των ΜΚ με πρακτικά ζητήματα υλοποίησης των τεχνουργημάτων, όπως οι διαστάσεις, σχήμα, είδος υλικών, περιορισμούς σε υλικά, κτλ. Τα θέματα αυτά δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται καθαρά διαδικαστικά/διεκπεραιωτικά, καθότι επηρεάζουν ή ακόμα και περιορίζουν τον γενικότερο σχεδιασμό του τεχνουργήματος. Τέτοια παραδείγματα όπου τεχνικά ζητήματα οδήγησαν σε επανεξέταση του πρωτότυπου διαπιστώθηκαν και στις 4 ομάδες ΜΚ. Δεδομένου ότι στην παρούσα έρευνα η ανάπτυξη τεχνουργήματος έγινε κατά μόνας και στις εξ αποστάσεως ΜΚ συζητούνταν αναστοχαστικά η εξέλιξή τους, μπορούμε να υποθέσουμε ότι σε μια ζώσης ανάπτυξη τεχνουργημάτων η συζήτηση τέτοιων ζητημάτων θα ήταν ακόμα πιο εκτενής.

Αναφορικά με την ενσωμάτωση της Τεχνολογίας π.χ. ψηφιακά εργαλεία και αισθητήρες, μικροελεγκτές, διαδικτυακές πλατφόρμες, κτλ., παρατηρούμε ότι οι εκπαιδευτικοί έδωσαν εξέχουσα σημασία στην ενσωμάτωσή τους στο STEM τεχνουργήμα. Παράλληλα όμως, αρκετοί δήλωσαν δυσκολίες στη χρήση τους, κάτι που αποτυπώνεται και στα σχέδια διδασκαλίας των εκπαιδευτικών. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν τις δυσκολίες που η Τεχνολογία θέτει στους μη-ειδικούς (Niryakis & Stavrou, 2022; Waight & Abd-El-Khalick, 2012; Wang κ.ά., 2011). Κατ' επέκταση, παρατηρήθηκαν δυσκολίες ακόμα και όταν εκπαιδευτικοί που είχαν ειδίκευση σε μια τεχνολογική πλατφόρμα (π.χ. Arduino) καλούνταν να εφαρμόσουν μια άλλη μη-γνώριμη πλατφόρμα (π.χ. LEGO Ev3), υποδηλώνοντας την ανάγκη για εξειδίκευση των τεχνολογικών μέσων (Waight & Abd-El-Khalick, 2012).

Ακόμα, σε μια ακραία εκδοχή της επικέντρωσης στην Τεχνολογία, παρατηρήθηκε η παρανόηση ότι το STEM αφορά κυρίως ή ταυτίζεται με την εκπαιδευτική ρομποτική. Το αποτέλεσμα αυτό απαντάται στη βιβλιογραφία (McComas & Burgin, 2020) και φανερώνει αφενός ελλείψεις στην κατανόηση του τι είναι STEM από τους εκπαιδευτικούς και αφετέρου πώς συχνά το STEM χρησιμοποιείται σαν slogan (Bybee, 2013), συχνά για εμπορικούς ή μη-αμιγώς εκπαιδευτικούς σκοπούς. Συνεπώς, το παρόν αποτέλεσμα μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται να τονιστεί ο διαχωρισμός μεταξύ STEM και εκπαιδευτικής ρομποτικής, ενώ γενικότερα απαιτείται επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στο πεδίο της Τεχνολογίας καθώς και για τον ρόλο της Τεχνολογίας στο STEM.

Τέλος, αναφορικά με την ενσωμάτωση του σύγχρονου και διεπιστημονικού αντικείμενου της NET, παρατηρήθηκε ότι η NET ενσωματώθηκε σε όλες τις διδακτικές ενότητες. Παρ' όλ' αυτά, μόνο σε δύο MK (B και Δ) η ενσωμάτωση της NET θεωρήθηκε εγγενής με στο τεχνούργημα. Αντίθετα, στις ομάδες Α και Γ η NET ενσωματώθηκε πιο περιφερειακά στο τεχνούργημα. Ακόμα, παρατηρήθηκε μεγάλη απόκλιση στην ενσωμάτωση της NET μεταξύ των εκπαιδευτικών, αφού σύμφωνα με την ανάλυση των συζητήσεων, των συνεντεύξεων και των σχεδίων διδασκαλίας, μερικοί εκπαιδευτικοί ήταν επιφυλακτικοί ή και συχνά αντίθετοι προς τη χρήση της στο σχολείο. Τα αντεπιχειρήματα για τη χρήση της NET αφορούσαν κυρίως την κατανοησιμότητα της NET από το γνωσιακό-ηλικιακό επίπεδο των μαθητών τους, καθώς και δική τους ανασφάλεια σχετικά με τον βαθμό γνώσης και ετοιμότητας. Σε σχέση με τα παραπάνω αντεπιχειρήματα, αν και αναγνωρίζουμε όντως τον βαθμό δυσκολίας διδασκαλίας εννοιών/φαινομένων του μικρο/νανόκοσμου, θεωρούμε εντούτοις ότι εκφράζει και μια έλλειψη κατάρτισης των εκπαιδευτικών στη διδασκαλία σύγχρονων αντικειμένων στις ηλικίες Γυμνασίου-Λυκείου. Αντίστοιχες έρευνες για την ενσωμάτωση της NET (Kokolaki & Stavrou, 2022; Manou κ.ά., 2021; Michailidi & Stavrou, 2022; Peikos κ.ά., 2021; Sgouros & Stavrou, 2019) μπορούν να ενημερώσουν περαιτέρω STEM επιμορφώσεις στα πλαίσια της NET. Παράλληλα, η ανάλυση ανέδειξε ότι ορισμένοι εκπαιδευτικοί ήταν πρόθυμοι ή δεκτικοί στην ενσωμάτωση της εκπαιδευτικής καινοτομίας της NET. Συνεπώς, η καθοδήγηση από τους ερευνητές καθώς και η συνεργασία με εκπαιδευτικούς που υποστήριζαν την ενσωμάτωση της NET θεωρούμε ότι συνέβαλλε στην παρούσα έρευνα ως προς το τελικό αποτέλεσμα ενσωμάτωσης της NET στο διδακτικό υλικό. Δεδομένου ότι η NET αποτελεί ένα εκ φύσεως διεπιστημονικό αντικείμενο (Kähkönen κ.ά., 2016), μπορούμε να θεωρήσουμε την ενσωμάτωση της NET στο διδακτικό υλικό των MK ως ένα αποτέλεσμα καλλιέργειας διεπιστημονικής πρακτικής από τους εκπαιδευτικούς.

## **5.2) STEM Διασύνδεση**

### **5.2.1) Μοντέλα STEM Διασύνδεσης**

Η ανάλυση των προτιμήσεων των εκπαιδευτικών σε μοντέλα STEM διασύνδεσης ανέδειξε τόσο διαφορές όσο και κοινές τάσεις μεταξύ των εκπαιδευτικών του δείγματος. Αναφορικά με τις διαφορές στα μοντέλα STEM διασύνδεσης, παρατηρήθηκαν αποκλίσεις τόσο ως προς το επιστημονικό υπόβαθρο και προσανατολισμό των εκπαιδευτικών, όσο και ως προς την ερμηνεία

του εκάστοτε μοντέλου από διαφορετικούς εκπαιδευτικούς. Συνεπώς, τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι παράγοντες τόσο σε επίπεδο ειδικότητας όσο και σε προσωπικό επίπεδο επηρεάζουν τις αντιλήψεις για μοντέλα STEM διασύνδεσης. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν ότι οι προσλαμβάνουσές τους λόγω διδακτικής εμπειρίας και προηγούμενης συμμετοχής σε STEM projects και επιμορφώσεις, αλλά και προσωπικές απόψεις και θέσεις είναι παράγοντες που θα λέγαμε ότι δρουν ως ‘φίλτρα και ενισχυτές’ (Gess-Newsome, 2015) προς τη διαμόρφωση αυτού που θα ονομάζαμε ως STEM PCK.

Η απόκλιση αυτή σε μοντέλα STEM διασύνδεσης δεν θεωρούμε ότι πρέπει να εκλαμβάνεται ως προβληματική. Έρευνες στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών συνιστούν ότι οι εκπαιδευτικοί πρέπει να έχουν κυριότητα (ownership) των εκπαιδευτικών καινοτομιών και να φέρνουν και να διαπραγματεύονται τις δικές τους αντιλήψεις και εμπειρίες σε αυτές (Couso, 2016), όπως για παράδειγμα στην καινοτόμο προσέγγιση του STEM στην περίπτωση μας. Παράλληλα, οι εκπαιδευτικοί συχνά επιδιώκουν STEM μοντέλα που τους δίνουν ένα βαθμό ευελιξίας στην εφαρμογή, όπως π.χ. αναφέρεται για το μοντέλο E (Dare κ.ά., 2019). Συνεπώς, θα θεωρούσαμε έως ενός βαθμού φυσιολογικό το ότι διαφορετικοί εκπαιδευτικοί εστιάζουν σε διαφορετικά χαρακτηριστικά του STEM. Σε κάθε περίπτωση πάρα ταύτα, στόχος είναι να καλλιεργείται μια καρποφόρος και ρητή αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών πεδίων, η αναγνώριση και διαπραγμάτευση διαφορετικών οπτικών, και συνεπώς η πραγματοποίηση διασυνοριακών μεταβάσεων προκειμένου να καλλιεργηθούν διασυνδέσεις (Barelli κ.ά., 2022).

Παράλληλα, τα αναδυόμενα μοτίβα μοντέλων STEM διασύνδεσης αναδεικνύουν κάποια χαρακτηριστικά που οι εκπαιδευτικοί θεωρούν κεντρικά στη STEM διασύνδεση. Αυτά είναι κυρίως ο κύκλος μηχανικού σχεδιασμού ξεκινώντας από ένα αρχικό πρόβλημα, η διασύνδεση πεδίων, και η έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα. Παρόμοιες έρευνες στο ερευνητικό αυτό πεδίο αναδεικνύουν ως ένα βαθμό παρόμοια αποτελέσματα ως προς τα επιθυμητά μοντέλα STEM διασύνδεσης (Dare κ.ά., 2021; Ring κ.ά., 2017). Δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά αυτά ενυπάρχουν επίσης σε σύγχρονα θεωρητικά πλαίσια όπως αυτό των Roehrig κ.ά. (2021), μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών μετά το πέρας της εκπαιδευτικής δράσης είχε γενικότερα ενημερωμένες αντιλήψεις για τη STEM διασύνδεση.

Τα μοντέλα STEM διασύνδεσης των εκπαιδευτικών αντικατοπτρίζονται επίσης στην πλειοψηφία των περιπτώσεων και μέσα από τις πρακτικές STEM σχεδιασμού διδακτικού υλικού. Παρ’ όλ’

αυτά, η παρούσα έρευνα αναδεικνύει ότι δεν θα πρέπει να θεωρείται δεδομένο ότι οι εκπαιδευτικοί έχουν επαρκείς αναστοχαστικές ικανότητες για τις πρακτικές STEM σχεδιασμού των ιδίων. Συγκεκριμένα, μερικές ή σημαντικές αποκλίσεις που διαπιστώθηκαν μεταξύ αντιλήψεων και σχεδίων διδασκαλίας σε ένα σημαντικό ποσοστό επιβεβαιώνουν το παραπάνω πόρισμα. Η διεξαγωγή επιπλέον αναδρομικών κύκλων *ανασχεδιασμού* και περαιτέρω αναδιαμόρφωσης του διδακτικού υλικού καθώς και εφαρμογής του στην τάξη μετά την εξερεύνηση μοντέλων STEM διασύνδεσης θα μπορούσε ενδεχομένως να ευθυγραμμίσει σε μεγαλύτερο βαθμό τις αντιλήψεις με τις πρακτικές σχεδιασμού των εκπαιδευτικών. Μια τέτοια ευθυγράμμιση μεταξύ STEM αντιλήψεων και πρακτικών μπορεί να συνεισφέρει σε πιο καλλιεργημένες STEM προσεγγίσεις από τους εκπαιδευτικούς, καθώς και σε πιο στοχευμένες επιμορφωτικές δράσεις.

### **5.2.2) Η Επίδραση του Επιστημονικού Υποβάθρου**

Τα αποτελέσματα τόσο από την ανάλυση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για τη STEM διασύνδεση, όσο και από τις πρακτικές σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού αναδεικνύουν ότι το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών επηρεάζει τον τρόπο που αντιλαμβάνονται και εφαρμόζουν αντίστοιχα STEM οι εκπαιδευτικοί. Ειδικότερα, μια κυρίαρχη διαφοροποίηση έλαβε χώρα μεταξύ των εκπαιδευτικών S-M σε σχέση με τους αντίστοιχους εκπαιδευτικούς T-E, ενώ περαιτέρω ιδιαιτερότητες εμφανίστηκαν και όσο αφορά τα επιμέρους S-T-E-M πεδία.

Ειδικότερα, διαφοροποιήσεις σε επίπεδο ειδικότητας παρατηρήθηκαν από την ανάλυση των συζητήσεων αλλά και του παραχθέντος διδακτικού υλικού. Όπως φανερώνει η ανάλυση πολλαπλών περιπτώσεων από τις τέσσερις MK, κατά τον σχεδιασμό STEM ενοτήτων, οι εκπαιδευτικοί S-M της έρευνας έτειναν να εστιάζουν περισσότερο σε έννοιες και φαινόμενα της NET, στην πλαισιοποίηση του θέματος προς μελέτη σε ρεαλιστικά προβλήματα της καθημερινότητας, και στη μοντελοποίηση φαινομένων. Αντίστοιχα οι εκπαιδευτικοί T-E κυριαρχούσαν σε συζητήσεις για τεχνολογικά θέματα (μικροελεγκτές, Ρομποτική, συνδεσμολογίες) καθώς και πρακτικά θέματα (π.χ. σχεδίασης, επεξεργασίας υλικών). Παρομοίως, κατά την ανάπτυξη του τεχνουργημάτων η πλειοψηφία των εκπαιδευτικών έπαιρναν πρωτοβουλίες να συνεισφέρουν σε μέρη που ήταν συναφή με την ειδικότητά τους. Κατ' επέκταση, στα σχέδια διδασκαλίας πολλοί εκπαιδευτικοί S-M ενεπλάκησαν περιφερειακά με τον κύκλο

μηχανικού σχεδιασμού, καθότι συχνά περιορίστηκαν σε επίδειξη ή απλή χρήση του τεχνουργήματος. Παράλληλα, σημαντικό μέρος εκπαιδευτικών S-M χρησιμοποίησε ένα γενικότερο πρόβλημα ή και κοινωνικοεπιστημονικά ζητήματα ως κορμό πάνω στον οποίο δόμησαν τη διδασκαλία τους. Αντίθετα, πολλοί εκπαιδευτικοί T-E περιθωριοποίησαν τη σύνδεση με καθημερινά φαινόμενα, ενώ σχεδίασαν εκτενείς διδασκαλίες σε τεχνικές γνώσεις και διαδικασίες που αφορούσαν τον προγραμματισμό/κατασκευή ή συνδεσμολογία στο/α τεχνούργημα/τα.

Αρκετοί εκπαιδευτικοί της παρούσας έρευνας αναγνώρισαν διαφορετικού τύπου διασυνδέσεις και διασυνοριακά αντικείμενα στις STEM διδασκαλίες τους. Αφενός, οι εκπαιδευτικοί έτειναν γενικότερα να αναγνωρίζουν διασυνδέσεις με το δικό τους πεδίο, και αφετέρου χρησιμοποίησαν διασυνοριακά αντικείμενα που θεωρήθηκαν πιο συναφή με τις επιστημικές πρακτικές τους. Συνεπώς, οι εκπαιδευτικοί S-M αναγνώρισαν συγκριτικά περισσότερο έννοιες ως διασυνοριακά αντικείμενα, ενώ οι συνάδελφοί τους T-E περισσότερο διαδικασίες/τεχνικές.

Οι παραπάνω διαφοροποιήσεις αντικατοπτρίζονται και στις αντιλήψεις που εξέφρασαν οι εκπαιδευτικοί. Συγκεκριμένα, αρκετοί εκπαιδευτικοί ΦΕ τόνισαν STEM μοντέλα που έδιναν έμφαση σε ρεαλιστικά προβλήματα/καθημερινότητας, αρκετοί εκπαιδευτικοί Μηχανικής σε μοντέλα που επικέντρωναν στη Μηχανική ως πλαίσιο, ενώ πολλοί εκπαιδευτικοί Μαθηματικών θεώρησαν σημαντική την εκκίνηση με ένα πρόβλημα. Οι παραπάνω τάσεις θεωρήθηκαν ότι σχετίζονται με επιστημικές πρακτικές κάθε πεδίου σύμφωνα με συγκριτικές μελέτες για τις ομοιότητες και διαφορές μεταξύ της φύσης των πεδίων αυτών (Quinn κ.ά., 2020).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ειδικότητα και το επιστημονικό προφίλ των εκπαιδευτικών επηρέασε ποικιλοτρόπως τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουν και αντιλαμβάνονται το STEM. Το συμπέρασμα αυτό γενικότερα θα μπορούσε κάποιος/α να χαρακτηρίσει ως αναμενόμενο, από τη στιγμή που ένας/μια εκπαιδευτικός έχει αυξημένες γνώσεις, δεξιότητες αλλά και έναν επιστημολογικό προσανατολισμό σε ένα πεδίο. Θεωρούμε την άποψη αυτή εύλογη, παρ' όλ' αυτά περιορισμένος αριθμός ερευνών απαντάται στη βιβλιογραφία όπου στοχεύεται συγκεκριμένα η μελέτη της επίδρασης της ειδικότητας των εκπαιδευτικών, ενώ είθισται η επιρροή από την ειδικότητα να εμφανίζεται επαγωγικά στα αποτελέσματα (Ring-Whalen κ.ά., 2018; Roehrig κ.ά., 2012). Επιπλέον, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας αναδεικνύουν συγκεκριμένες πτυχές που η ειδικότητα επιδράει στον STEM σχεδιασμό και στις

αντιλήψεις και με ποιον τρόπο σχετίζεται με θεωρητικά εργαλεία διεπιστημονικότητας και μοντέλα STEM διασύνδεσης.

Παρά τις γενικότερες τάσεις που αναπτύχθηκαν παραπάνω, υπήρξε βέβαια και ένα σημαντικό ποσοστό εκπαιδευτικών που επιχείρησε εκτενώς διασυνοριακές μεταβάσεις, ενώ ορισμένα μέλη έφταναν στο σημείο να ηγούνται σε πεδία που στερεοτυπικά δεν είχαν εξειδίκευση. Για παράδειγμα, η DM2 ηγούνται σε θέματα κατασκευών (όπως το φυσικό τεχνούργημα και πρωτότυπα, ψηφιακή εφαρμογή GeoGebra, κ.ά.), καθώς και συνεισέφερε ουσιαστικά και σε φαινόμενα Κβαντικής Φυσικής, ενώ αντίστοιχα η CT1 είχε κυρίαρχη συνεισφορά σε θέματα Κβαντικής Φυσικής και NET. Επιπλέον, δεν μπορούμε να θεωρήσουμε τυχαίο το γεγονός ότι τα μέλη αυτά ήταν και κεντρικά μέλη στις ομάδες τους.

AS1: Αλλά το ότι θα ασχοληθούμε όλοι με όλα είναι νομίζω δεδομένο. Και εμένα μου αρέσει, με εξιτάρει αυτό το πράγμα. Δηλαδή μου αρέσει που θα πω και κάτι εκτός Φυσικής[...]Αυτά με εξιτάρει όταν είναι να τα πω και ίσως και ο μαθητής δείξει ένα ενδιαφέρον από ένα καθηγητή που έχει μάθει να ακούει ένα Α αντικείμενο να του μιλάει και για να άλλα αντικείμενα[...]το βλέπουμε και στην καθημερινότητά μας, όταν -γιατί όλοι ξεφεύγουμε φυσικά από το αντικείμενό μας και κάποια στιγμή θα πούμε και κάτι άλλο. Είτε θα σχολιάσουμε κάτι, μία πολιτική δήλωση ή ξέρω γω ένα άλλο φαινόμενο πώς πήγε το διαστημόπλοιο ας πούμε, μία ανακοίνωση που έκανε η NASA ή ένα αθλητικό γεγονός ή ο,τιδήποτε. Σας πληροφορώ ότι/ νομίζω το ξέρουμε όλοι, ότι τα παιδιά μας θέλουν να έχουμε ολοκληρωμένη γνώση και άποψη. Δηλαδή δεν θέλουν ένα στείορο καθηγητή που θα τους λέει μόνο θρησκευτικά, μόνο βιολογία. Θέλει ο καθ/στα μάτια του μαθητή ο καθηγητής είναι Θεός. Και ο Θεός πρέπει να ξέρει τα πάντα (γέλιο). Με αυτή την έννοια με εξιτάρει και εμένα να ξέρω από όλα ας πούμε.  
[A7 συνάντηση]

Επιπροσθέτως, όπως φαίνεται και στο παραπάνω απόσπασμα, ορισμένοι εκπαιδευτικοί έδειξαν ενδιαφέρον στο να δοκιμάσουν διασυνοριακές μεταβάσεις πέρα από το επιστημονικό τους υπόβαθρο. Παράλληλα, είχαν θετική εικόνα και προεμπειρίες για το αποτέλεσμα τέτοιας εφαρμογής στην τάξη με μαθητές. Βάσει της ανάλυσης των συζητήσεων που εξελίχθηκαν στις MK, θεωρούμε κομβικής σημασίας τον σχεδιασμό ομάδων MK που να προβλέπει τη συμπερίληψη τουλάχιστον ενός ατόμου σε κάθε ομάδα MK που να είναι δεκτικό σε διασυνοριακές μεταβάσεις προκειμένου να επηρεάσει συνεργατικά τους συναδέλφους του/της στην MK.

Τέλος, ένα σημείο που θεωρούμε ότι χρήζει περαιτέρω σχολιασμού είναι το γεγονός ότι, παρόλο που, όπως αναλύθηκε παραπάνω, υπήρξε μια αμοιβαία συμπληρωματικότητα στις STEM πρακτικές, δηλαδή σε δυνατότητες και ελλείψεις μεταξύ των εκπαιδευτικών S-M και T-E, εντούτοις οι πρώτοι εμφανίστηκαν να δηλώνουν μεγαλύτερες ελλείψεις στο STEM. Ειδικότερα,



μεγάλο μέρος των εκπαιδευτικών S-M της παρούσας έρευνας δήλωσαν δυσκολίες σε διεπιστημονικές γνώσεις και δεξιότητες σε άλλα πεδία, καθώς και έλλειψη πρότερων STEM εμπειριών. Αντίθετα, κάτι τέτοιο ήταν εξαιρετικά περιορισμένο στους συναδέλφους T-E. Βασιζόμενοι στην ποιοτική ανάλυση των συζητήσεων και των συνεντεύξεων, θεωρούμε το αποτέλεσμα αυτό ότι είναι συνάρτηση της δυσκολίας των εκπαιδευτικών σε θέματα Τεχνολογίας. Η Τεχνολογία αποτελεί ένα σύνθετο (wicked) πρόβλημα για τους εκπαιδευτικούς (Wang κ.ά., 2019), και θεωρείται απαιτητικό για τους μη-ειδικούς (Nirygakis & Stavrou, 2022; Waight & Abd-El-Khalick, 2012; Wang κ.ά., 2011). Η δυσκολία αυτή, σε συνδυασμό με το ότι υπάρχει μια γενικότερη παρανόηση που ανιχνεύτηκε και στην παρούσα έρευνα ότι το STEM αφορά ή ταυτίζεται με ρομποτάκια και tinkering/makerspaces, συντελεί, θεωρούμε στην αντίληψη ότι οι εκπαιδευτικοί S-M δηλώνουν συγκριτικά περισσότερες ελλείψεις σε ικανότητες και προεμπειρία στο STEM.

### ***5.2.3) Η Επίδραση της Συνεργασίας***

Εκτός από το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών, η συνεργασία ήταν ένας ακόμα παράγοντας που σύμφωνα με την ανάλυση επηρέασε τη STEM διασύνδεση που επιτελούν οι εκπαιδευτικοί. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί επηρεάστηκαν και επηρέασαν συναδέλφους τους στις τέσσερις MK κατά τον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού μέσω: α) του διαμοιρασμού πηγών και πληροφοριών, όπως βίντεο, διαδικτυακές πηγές και επιστημονικά άρθρα β) του διαμοιρασμού ψηφιακών εργαλείων και μέσων διδασκαλίας, όπως online πλατφόρμες μοντελοποίησης και διαμοιρασμού δεδομένων, γ) αφομοίωσης διαφορετικών οπτικών προσέγγισης της θεματικής που πρότειναν οι συνάδελφοι, όπως συμπερίληψη συναφών κοινωνικοεπιστημονικών ζητημάτων, δ) αφομοίωσης επιστημολογικών προσεγγίσεων για τη διασύνδεση των πεδίων, όπως δραστηριότητες όπου οι εκπαιδευτικοί συζητούσαν ρητά με τους μαθητές τους για τη διεπιστημονικότητα, ε) διδακτικών μεθόδων, όπως ο χωρισμός μαθητών σε ομάδες και η διάδραση μεταξύ των ομάδων, η συνεργασία ή/και η συνδιδασκαλία με συναδέλφους, ο αριθμός των διδακτικών ωρών για τη διεξαγωγή του μαθήματος, κτλ., στ) του διαμοιρασμού και αφομοίωσης ιδεών και θεμάτων που είχαν προτείνει οι συνάδελφοί τους. Τα παραπάνω προκύπτουν από την ανάλυση των συζητήσεων στις MK, ενώ παράλληλα αλλαγές μπορούν να παρατηρηθούν και μέσω των συγκρίσεων των αρχικών περιγραφών διδασκαλίας των

εκπαιδευτικών στο αρχικό ερωτηματολόγιο και τις διάφορες εκδοχές σχεδίων διδασκαλίας που παρέδωσαν. Οι εκπαιδευτικοί γενικότερα εμπλούτισαν τις περιγραφές διδασκαλίας τους προσθέτοντας στοιχεία. Η εξέλιξη αυτή του διδακτικού τους υλικού θεωρούμε ότι οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη συνεργασία με συναδέλφους, κάτι που προκύπτει και από τις ρήσεις των ιδίων των εκπαιδευτικών στις συζητήσεις και στις αναστοχαστικές συνεντεύξεις.

Συγκεκριμένα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι παραπάνω αλλαγές και προσθήκες αποδίδονται: i) στην αμοιβαία εμπλοκή (mutual engagement) των μελών, ii) στο κοινό εγχείρημα (joint enterprise), συγκεκριμένα το να ασχοληθούν με την ανάπτυξη κοινής ενότητας/θέματος και κοινού στόχου, και iii) το κοινόχρηστο ρεπερτόριο (shared repertoire) εργαλείων και τεχνουργημάτων που αξιοποίησαν για διδασκαλίας. Συνεπώς, το πλαίσιο της ΜΚ, μέσα από τα τρία κεντρικά χαρακτηριστικά του (Wenger, 1998) θεωρούμε ότι επέδρασε εποικοδομητικά στη διεπιστημονική και επιστημονική ανάλυση, αλλά και τον σχεδιασμό των STEM διδασκαλιών γενικότερα.

Το συνεργατικό πλαίσιο των ΜΚ βοήθησε επίσης τους εκπαιδευτικούς στην καλλιέργεια διεπιστημονικών προσεγγίσεων όσο αφορά τις συγκεκριμένες STEM ενότητες που επεξεργάστηκαν. Όπως ανέδειξε η ανάλυση των σχεδίων διδασκαλίας και των αντίστοιχων συζητήσεων στις ΜΚ για τα σχέδια διδασκαλίας, οι εκπαιδευτικοί μέσα από τις συζητήσεις στις ΜΚ αναγνώρισαν και ενσωμάτωσαν περισσότερες ή/και πιο ενημερωμένες/ρητές STEM διασυνδέσεις αλλά και διασυννοριακά αντικείμενα στις διδακτικές τους ενότητες. Συνεπώς, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι ενισχύθηκε η διεπιστημονική προσέγγιση μέσα από τη συνεργασία εκπαιδευτικών με διαφορετικές ειδικότητες.

Η συνεργασία με ερευνητές Εκπαίδευσης STEM επίσης λειτούργησε επιτελικά στην επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Αναλυτικότερα, οι ερευνητές Εκπαίδευσης STEM όντας αρκετά κεντρικά μέλη στις συζητήσεις σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού είχαν λειτουργικό ρόλο ως συντονιστές της συζήτησης αλλά και ουσιαστικό ρόλο συμβολής στον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού. Κάποια κοινά μοτίβα της συμβολής τους περιλαμβάνουν: α) υποστήριξη σε θεωρητικές αρχές Εκπαίδευσης STEM, β) υποστήριξη σε διδακτικές μεθόδους και μεθοδολογίες, όπως θέματα μοντελοποίησης φαινομένων στο τεχνουργήμα, γ) προώθηση και υποστήριξη της ενσωμάτωσης του σύγχρονου αντικειμένου της NET, ειδικά σε περιπτώσεις που οι εκπαιδευτικοί ήταν διστακτικοί ή και αρνητικοί σε αυτή, δ) την υποστήριξη στην ενσωμάτωση τεχνολογικών

μέσων, όπως ρομποτική, αισθητήρες, ε) τον κριτικό αναστοχασμό στην επιλογή θέματος, ειδικά σε περιπτώσεις όπου υπήρχε έλλειψη επιστημονικής εγκυρότητας ή εφαρμοσιμότητας της ιδέας, έλλειψη καινοτομίας ή παραστατικότητας του φαινομένου, στ) την αναγνώριση και καλλιέργεια ρητών διασυνδέσεων μεταξύ των πεδίων, ειδικά σε περιπτώσεις όπου οι εκπαιδευτικοί εξέφραζαν γενικές ή ασαφείς περιγραφές των διασυνδέσεων.

Συμπερασματικά, μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η συνεργασία έπαιξε σημαντικό ρόλο στην παρούσα επιμορφωτική δράση. Αν και η συνεργασία θεωρείται γενικότερα βοηθητικός παράγοντας σε όλες τις επιμορφώσεις εκπαιδευτικών, εντούτοις θεωρούμε ότι ιδιαίτερα στο STEM η συνεργασία είναι καταλυτικός παράγοντας, καθότι είναι φυσιολογικό ένας/μία εκπαιδευτικός από μόνος/η του/της να μην έχει καλλιεργήσει επαρκείς γνώσεις σε όλα τα S-T-E-M πεδία. Υπό αυτό το πρίσμα, η συνεργασία με άλλους S-T-E-M συναδέλφους και ειδικούς μπορεί να λειτουργήσει ως ένα επιμορφωτικό πλαίσιο που μπορεί να βοηθήσει τους εκπαιδευτικούς να καλλιεργήσουν ένα στοιχειώδη βαθμό ‘επιστημονικής επάρκειας’ (Kähkönen κ.ά., 2016) και στα υπόλοιπα πεδία.

#### ***5.2.4) Η Επίδραση του Πλαισίου***

Η παρούσα διατριβή, εκτός από την επιρροή από το επιστημονικό υπόβαθρο και από τη συνεργασία, επεδίωξε μια ολιστική προσέγγιση των παραγόντων που επηρεάζουν ή/και εμποδίζουν την εφαρμογή STEM διδασκαλιών στην τάξη. Τα αποτελέσματα της έρευνας ανέδειξαν μια πληθώρα συστημικών παραγόντων που αντιλαμβάνονται οι εκπαιδευτικοί ως εμπόδια για την προώθηση της εκπαιδευτικής καινοτομίας του STEM. Συνεπώς, σε αντίθεση με τις συνηθισμένες τάσεις σε επίσημες αναφορές εκπαιδευτικής πολιτικής που θεωρούν ως αίτιους για την αποτυχία εκπαιδευτικών καινοτομιών τους εκπαιδευτικούς (Hackman κ.ά., 2021; Waight & Abd-El-Khalick, 2012), οι παράγοντες που ανέδειξε η παρούσα έρευνα δεν σχετίζονται μόνο με ελλείψεις των εκπαιδευτικών, π.χ. την έλλειψη γνώσεων, δεξιοτήτων, προεμπειριών στο να διδάξουν STEM ή/και αρνητικών στάσεων προς το STEM. Απεναντίας, εμπλέκονται συστημικοί παράγοντες που έχουν να κάνουν με υλικοτεχνικές υποδομές, αναλυτικά προγράμματα, την υπάρχουσα δομή της σχολικής εκπαίδευσης, την αλληλεπίδραση με άλλους εκπαιδευτικούς και άλλα επιστημονικά πεδία, τη γενικότερη κουλτούρα εκπαίδευσης, κ.ά.

Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι ενώ κάποιους παράγοντες μπορεί ο εκπαιδευτικός να αλλάξει ο/η ίδιος/α, πολλοί παράγοντες παρά ταύτα επιδρούν σχεδόν μονόδρομα και για τις οποίες ο/η εκπαιδευτικός δεν φέρει ευθύνη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την συγκεκριμένη έρευνα ήταν η επιρροή της πανδημίας Covid-19, η οποία επέδρασε ανασταλτικά σε δια ζώσης συνεργατικές διαδικασίες μηχανικού σχεδιασμού του τεχνουργήματος, δια ζώσης διάδρασης με άλλους εκπαιδευτικούς, καθώς και στη γενικότερη εφαρμογή του διδακτικού υλικού στην τάξη. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η επιρροή της χρονικής εξέλιξης και της κουλτούρας εκπαίδευσης, οποίες στην περίπτωση του STEM διαφέρουν σημαντικά σε σχέση με τα φοιτητικά χρόνια που εκπαιδεύτηκαν οι εκπαιδευτικοί (Kurt & Pehlivan, 2013; Ryu κ.ά., 2019).

Οι παραπάνω παράγοντες δεν επιδρούν μόνο στις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για το STEM αλλά και στις πρακτικές STEM σχεδιασμού τους. Για παράδειγμα, μία εκπαιδευτικός δήλωσε ότι το σχέδιο διδασκαλίας της θα άλλαζε μορφή σε άλλη τάξη του Λυκείου. Αντίστοιχα για τα μοντέλα STEM διασύνδεσης, ένας εκπαιδευτικός είπε ότι το μοντέλο που θεωρεί καλύτερο άλλαζε σε σχέση με το αν αναφερόμαστε σε Γυμνάσιο ή Λύκειο, ενώ ένας άλλος εκπαιδευτικός δήλωσε ότι θα χρησιμοποιούσε άλλο μοντέλο STEM διασύνδεσης στην υπάρχουσα δομή του σχολείου και άλλο μοντέλο σε ένα εξιδανικευμένο πλαίσιο όπου θα είχε περισσότερη αυτονομία.

Συνεπώς, τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής αντιτίθεται σε εκπαιδευτικές παρεμβάσεις που λαμβάνουν υπόψιν γραμμικές σχέσεις ‘αίτιο-αποτέλεσμα’ για την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών καινοτομιών. Τουναντίον, αναδεικνύει την ύπαρξη συστημικών παραγόντων που επηρεάζουν την αποτελεσματική προώθηση της STEM προσέγγισης, σε συμφωνία με αντίστοιχες έρευνες στην Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών (Affouneh κ.ά., 2020; Hackman κ.ά., 2021).

### **5.3) S-T-E-M συνεργασία στο STEM**

Επεκτείνοντας τη συζήτηση στο υποκεφάλαιο 5.2 για την επιρροή της συνεργασίας στον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM διασυνδέσεων, αξίζει να συζητηθεί συγκεκριμένα το με ποια πεδία και ποιους συναδέλφους επιδιώκουν περισσότερο να συνεργαστούν οι εκπαιδευτικοί και γιατί. Όπως διατυπώθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.1, η έρευνα βασίστηκε στην παραδοχή ότι η συνεργασία είναι δομικό στοιχείο μιας STEM προσέγγισης. Συνεπώς, μια τέτοια ανάλυση επιτελεί, κατά τη γνώμη μας, στην αναγνώριση των αναγκών αλλά και προτιμήσεων που έχουν οι εκπαιδευτικοί για τον σχεδιασμό και κατ’ επέκταση στην πραγματοποίηση STEM διδασκαλιών.

Ίσως το πιο ισχυρό μοτίβο που προέκυψε από την ανάλυση να είναι η *συμπληρωματικότητα* γνώσεων και δεξιοτήτων που επιδιώκουν οι εκπαιδευτικοί. Ακολουθώντας τη γενικότερη διαφοροποίηση μεταξύ εκπαιδευτικών ‘θεωρητικών/αφαιρετικών’ και ‘εφαρμοσμένων’ επιστημών (Becher, 2011; Nathan et al., 2013) που ανιχνεύτηκε σε πολλά σημεία της ανάλυσης (π.χ. Κεφ. 4.1.3, 4.2.3, 4.2.4, 4.3.1, κ.ά.), μπορούμε να ισχυριστούμε ότι αυτή η συνεργατική τάση επιβεβαιώνει αυτή τη διαφοροποίηση. Αν είναι να εφαρμοστεί μια διδασκαλία βασιζόμενη σε διασυνδέσεις πεδίων, τότε η συνεργασία με τους ‘άλλους’ είναι υψίστης σημασίας. Μια τέτοια συνεργασία όχι μόνο θα καλύψει τις ελλείψεις σε γνώσεις και δεξιότητες που έχουν οι εκπαιδευτικοί στα πεδία αυτά όπως δήλωσαν οι εκπαιδευτικοί, αλλά και θα βοηθήσει στην επίτευξη διασυνοριακών μεταβάσεων σε αυτά. Παρ’ όλ’ αυτά, εύλογα από τα αποτελέσματα θα μπορούσε κάποιος να αμφισβητήσει το τελευταίο. Παρά την προσπάθεια καλλιέργειας διεπιστημονικών προσεγγίσεων στο πρόγραμμα επιμόρφωσης, δεν έλειψαν περιπτώσεις όπου ο/η εκπαιδευτικός ήθελε συνεργασία ή/και συνδιδασκαλία με έναν εκπαιδευτικό (συνήθως Πληροφορικής) έτσι ώστε να αναλάβει εκείνος/η εξ ολοκλήρου το κομμάτι που του αναλογεί. Μια τέτοια τάση δεν συνιστά διασυνοριακή μετάβαση για τον εκπαιδευτικό, παρόλο που για τους μαθητές δημιουργείται ένα ευνοϊκό πλαίσιο για τέτοια μετάβαση. Συνεπώς, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στο τι εννοούμε συνεργασία. Η Klein (2017) τονίζει ότι πολλοί ταυτίζουν τη διεπιστημονικότητα με τη συνεργασία, χωρίς να ισχύει κάτι τέτοιο. Η συνεργασία μπορεί να φτιάξει ένα ευνοϊκό πλαίσιο ώστε να βοηθηθεί η καλλιέργεια διασυνδέσεων, αλλά επιπλέον απαιτείται ένα πλαίσιο ‘αλληλοεπιμόρφωσης’ για αυτό. Η παρούσα έρευνα ισχυρίζεται ότι αυτό το πλαίσιο αλληλοεπιμόρφωσης εκπαιδευτικών μπορεί να υλοποιηθεί μέσα από την αμοιβαία εμπλοκή, το κοινό εγχείρημα και το κοινόχρηστο ρεπερτόριο που σύμφωνα με τον Wenger (1998) προσφέρει το πλαίσιο της ΜΚ.

Παράλληλα, ένα δευτερεύον μοτίβο είναι ότι αρκετοί εκπαιδευτικοί δήλωσαν προτίμηση για συνεργασία με συνάδελφο ίδιας, συναφής ή ‘γειτονικής’ ειδικότητας. Επιχειρήματα για αυτό είναι η καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία, ενώ πολλοί θεώρησαν σημαντικό το πεδίο αυτό να υποστηριχθεί και από δεύτερο εκπαιδευτικό ή για να μάθουν κάτι περισσότερο στο ίδιο τους το πεδίο. Συνεπώς, συνεχίζοντας τη συζήτηση για το προηγούμενο μοτίβο, η διασυνοριακή μετάβαση σε κάτι εκ διαμέτρου διαφορετικό δεν είναι εύκολη καθότι απαιτεί ανοιχτότητα και εκτίμηση των διαφορετικών πεδίων (Kähkönen κ.ά., 2016), αλλά και ενδεχόμενο μεγάλο μετασχηματισμό των πρακτικών και των αντιλήψεων (Akkerman & Bakker, 2011). Συνεπώς, μια διασυνοριακή

μετάβαση σε ένα συναφές πεδίο, π.χ. Φυσική-Χημεία, είναι ένα πρώτο και πιο εύκολο, θα χαρακτηρίζαμε, βήμα. Επιπλέον, δεν θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι ένας εκπαιδευτικός που έχει ένα επιστημονικό υπόβαθρο έχει φτάσει σε μια φάση κορεσμού γνώσεων και δεξιοτήτων σε αυτό. Επομένως, υπήρξαν και αντιλήψεις όπου ο εκπαιδευτικός ήθελε να εμβαθύνει ο ίδιος στο δικό του πεδίο μέσα από συνεργασία με εκπαιδευτικό ιδίου πεδίου.

Σε επίπεδο επιστημονικών πεδίων, η επιλογή του πεδίου των ΦΕ ως κυρίαρχη προτίμηση δεν θα πρέπει να μας ξενίσει. Θα μπορούσαμε αρχικά να ερμηνεύσουμε το αποτέλεσμα αυτό στα πλαίσια της παρανόησης του STEM ότι αφορά κυρίως τις ΦΕ (Bybee, 2013; Chiu κ.ά., 2015). Μια άλλη ερμηνεία είναι ότι συχνά οι εκπαιδευτικοί δεν έχουν συνηθίσει σε μεθόδους διδασκαλίας που να ξεκινούν από ανοιχτά προβλήματα. Αυτή η διαδικασία του να μην υπάρχει σαφές και προκαθορισμένο περιεχόμενο κάνει τους εκπαιδευτικούς επιφυλακτικούς, συνεπώς η υποστήριξη στο εννοιολογικό περιεχόμενο και στον καθορισμό του προβλήματος είναι σημαντική για αυτούς. Τα αποτελέσματα από τον σχεδιασμό των ενοτήτων (βλ. Κεφ. 4.1) ενισχύουν αυτή την ερμηνεία, καθώς η συνεισφορά των εκπαιδευτικών ΦΕ στην παραγωγή της ιδέας (ομάδες Β, Γ) ή στην πλαισίωση της ιδέας ήταν σημαντική. Αντίστοιχα σημαντική κρίθηκε και η συνεργασία με εκπαιδευτικό που ήξερε να χειρίζεται Ψηφιακές Τεχνολογίες, καθώς θεωρήθηκε ότι η Τεχνολογία αποτελεί ένα σημαντικό αν και απαιτητικό πεδίο για τους μη-ειδικούς (Niryakis & Stavrou, 2022, Waight & Abd-El-Khalick, 2012, Wang κ.ά., 2011). Το αποτέλεσμα αυτό διασταυρώνεται και από την ενεργό εμπλοκή και συνεισφορά των ειδικών σε θέματα Τεχνολογίας κατά τον STEM σχεδιασμό.

Εν αντιθέσει, η συνεργασία με εκπαιδευτικούς Μαθηματικών περιθωριοποιήθηκε όπως φαίνεται από τις συνεντεύξεις και από τη συμμετοχικότητα της πλειοψηφίας των εκπαιδευτικών Μαθηματικών στον STEM σχεδιασμό. Αν και συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι ένα στερεοτυπικά ‘θεωρητικό/αφαιρετικό’ πεδίο όπως τα Μαθηματικά δεν θεωρείται ότι συνδέονται άμεσα με το STEM, η παρούσα έρευνα ανέδειξε ως κυρίαρχο μοτίβο επιχειρήματος το ότι οι εκπαιδευτικοί θεώρησαν ότι έχουν ικανοποιητικό επίπεδο γνώσεων και δεξιοτήτων στο πεδίο αυτό. Ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι η παραδοσιακά εκτενής σημασία που έχει δοθεί στη διδασκαλία του μαθήματος αυτού στα αναλυτικά προγράμματα έχει αντιστρόφως καλλιεργήσει στη μεγάλη μάζα των εκπαιδευτικών θετικών επιστημών ένα ικανοποιητικό υπόβαθρο στα Μαθηματικά, και κατ’ επέκταση έχει προκαλέσει την έλλειψη τάσης συνεργασίας με τον αντίστοιχο εκπαιδευτικό. Γενικότερα, η επιχειρηματολογία των εκπαιδευτικών σε αυτή την τάση

θεωρούμε ότι συνδέεται με το προαναφερθέν κυρίαρχο μοτίβο στις ΦΕ και την Τεχνολογία: *τη συνεργασία ως ανάγκη κάλυψης γνώσεων και δεξιοτήτων*. Εφόσον οι εκπαιδευτικοί έχουν επαρκή γνώση σε ένα πεδίο όπως π.χ. των Μαθηματικών, περιθωριοποιείται η ανάγκη συνεργασίας με συναδέλφους/φίστες αυτού του πεδίου. Περισσότερη έρευνα απαιτείται παρά ταύτα σε θέματα STEM όπου απαιτούνται πιο προχωρημένα Μαθηματικά για την ανίχνευση ενδεχόμενων διαφοροποιήσεων στις συνεργατικές τάσεις.

Η αντίστοιχη ανάλυση συνεργατικών τάσεων σε προσωπικό επίπεδο έριξαν φως αντίστοιχα αφενός στις ανάγκες των εκπαιδευτικών όπως προαναφέρθηκε π.χ. στο πεδίο της Τεχνολογίας, και αφετέρου στα σημαντικά χαρακτηριστικά ενός STEM ‘ειδικού’. Τα χαρακτηριστικά αυτά σύμφωνα με τις δηλώσεις των εκπαιδευτικών δεν αφορούν την προεμπειρία στην εκπαίδευση γενικότερα, αλλά τουναντίον αφορούν την προεμπειρία στη Εκπαίδευση STEM (π.χ. σε STEM projects). Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει την ανάγκη των εκπαιδευτικών για πρότυπα μοντέλα/παραδείγματα εκπαιδευτικών προκειμένου να τους παρατηρήσουν και να αφομοιώσουν πρακτικές τους (Ryu κ.ά., 2019).

Παρ’ όλ’ αυτά οι ικανότητες STEM ειδικών δεν περιορίζονται στην STEM εμπειρία. Παιδαγωγική κατάρτιση, κριτική σκέψη αλλά μέσω καλής επικοινωνίας, ενδιαφέρον για τη δράση αλλά και για αλληλεπίδραση με τις απόψεις και γνωσιακές ανάγκες του/ης άλλου/ης, καθώς και συνεισφορά σε ιδέες ήταν χαρακτηριστικά τα οποία προέκυψαν από τις συνεντεύξεις αλλά και από τις πρακτικές σχεδιασμού των εκπαιδευτικών. Συνεπώς, η Εκπαίδευση STEM, εκτός από διασύνδεση πολλών πεδίων, απαιτεί παράλληλα και διασύνδεση πολλών ικανοτήτων σε ποικίλες πτυχές.

Τέλος, αξίζει να σχολιαστεί το γεγονός ότι η κεντρικότητα των μελών δεν φαίνεται επηρεάστηκε από το τι επιστημονικό υπόβαθρο είχαν οι εκπαιδευτικοί στην παρούσα μελέτη περίπτωσης. Παρά τον περιθωριοποιημένο ρόλο των Μαθηματικών στο STEM, κεντρικό μέλος υπήρξε και εκπαιδευτικός Μαθηματικών. Η ερμηνεία που θα μπορούσαμε να δώσουμε είναι ότι από τη στιγμή που η Εκπαίδευση STEM προϋποθέτει διασυνδέσεις μεταξύ πεδίων, κανένας εκπαιδευτικός δεν μπορεί να θεωρηθεί περιθωριοποιημένος, εφόσον δίνεται η δυνατότητα διασύνδεσης του δικού του πεδίου με άλλα πεδία που ούτως ή άλλως δεν είναι περιθωριοποιημένα. Συνεπώς, στα πλαίσια του STEM όλοι οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αποκτήσουν το επίπεδο του ‘STEM ειδικού’. Περαιτέρω έρευνα χρειάζεται προκειμένου να επιβεβαιωθεί ή να απορριφθεί αυτή η ερμηνεία.

#### 5.4) Τα S-T-E-M Πεδία στο STEM

Χαρακτηριστικά τα οποία ανέδειξε η ανάλυση στην παρούσα έρευνα και αφορούν την επιστημολογία και τη φύση των S-T-E-M πεδίων περιλαμβάνουν τα εξής:

Πρώτον, αναφορικά με τη φύση των πεδίων, οι εκπαιδευτικοί αναγνώρισαν περισσότερα στοιχεία στις ΦΕ υπό το πρίσμα των εννοιών, ενώ αντίθετα στην Τεχνολογία και στη Μηχανική υπό το πρίσμα δεξιοτήτων. Επίσης, τα εργαλεία που χρησιμοποίησαν οι εκπαιδευτικοί εμπίπτουν σε ένα παρόμοιο διαχωρισμό καθότι οι εκπαιδευτικοί ΦΕ αναγνώρισαν περισσότερες έννοιες ως διασυννοριακά αντικείμενα, ενώ αντίστοιχα οι εκπαιδευτικοί Τεχνολογίας και Μηχανικής τεχνικές. Αντίστοιχα, σε αρκετά σημεία της ανάλυσης προέκυψε η διαφοροποίηση ‘θεωρητικών/αφαιρετικών’ και ‘εφαρμοσμένων’ επιστημών (Becher, 2011; Nathan κ.ά., 2013). Αφενός, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάτι τέτοιο εν μέρει ισχύει με βάση τα κεντρικά χαρακτηριστικά κάθε πεδίου όπως προκύπτουν από τη συγκριτική μελέτη της φύσης των S-T-E-M πεδίων (Quinn κ.ά., 2020). Εξάλλου, αν δεχθούμε την παραδοχή ότι οι εκπαιδευτικοί είθισται να μη γνωρίζουν εκτενώς τα υπόλοιπα S-T-E-M πεδία εκτός από το δικό τους, τότε μπορεί να θεωρηθεί φυσιολογικό οι εκπαιδευτικοί να ερμηνεύουν τα υπόλοιπα πεδία με βάση τα πιο κοινά ή/και στερεοτυπικά τους χαρακτηριστικά. Αφετέρου όμως, συμφωνούμε με τους Nathan κ.ά. (2013) ότι ένας τέτοιος στερεοτυπικός διαχωρισμός στα πλαίσια του STEM κρίνεται ανεπαρκής. Συγκεκριμένα, θεωρούμε ότι ένας τέτοιος διαχωρισμός μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε μια εργαλειακή αντιμετώπιση ενός πεδίου, όπως για παράδειγμα ότι τα Μαθηματικά χρησιμοποιούνται απλά για ανάλυση δεδομένων και γραφήματα (Ring-Whalen κ.ά., 2018; Tzanakis, 2016). Συνεπώς, αναδεικνύεται η ανάγκη της ολόπλευρης ανάδειξης των επιμέρους επιστημονικών πεδίων ως ένα οργανωμένο σώμα γνώσεων, δεξιοτήτων, μεθόδων, επιστημολογίας και γλωσσικής ορολογίας. Μια τέτοια ολιστική προσέγγιση μπορεί να τροφοδοτήσει επιπλέον την καλλιέργεια διασυνδέσεων.

Δεύτερον, τα πορίσματα της ανάλυσης έδειξαν μια ασάφεια έως και δυσκολία των εκπαιδευτικών να αντιληφθούν τι απαρτίζει το πεδίο της Μηχανικής. Η δυσκολία αυτή δεν πηγάζει μόνο από τη σύγχυση που χρησιμοποιείται από την προβληματική μετάφραση του όρου στα ελληνικά (Σιδηρόπουλος, 2015), αλλά και από τη σύγχυση με το πεδίο της Τεχνολογίας (Murphy κ.ά., 2015). Γενικότερα όμως η Μηχανική αποτελεί ένα νέο πεδίο για πολλούς εκπαιδευτικούς (Aranda κ.ά., 2020), ενώ τα σχολεία στις περισσότερες χώρες συνεχίζουν σε μεγάλο βαθμό να στηρίζουν μια περισσότερο θεωρητική εκπαίδευση (Enderson κ.ά., 2020). Συνεπώς, μπορούμε να



θεωρήσουμε ότι η Μηχανική ως ένα αντικείμενο που δεν έχει τραβήξει τη δέουσα προσοχή στο σχολικό μαθησιακό περιβάλλον, τουλάχιστον για τη χώρα μας και το πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Παράλληλα, η περιορισμένη βιβλιογραφία σχετικά με την επιστημολογική δόμηση για τη Φύση της Μηχανικής (Pleasant & Olson, 2019) είναι ένας επιπλέον λόγος για τη μη σαφή εικόνα που έχουν οι εκπαιδευτικοί για αυτό το αντικείμενο, ακόμα και οι ίδιοι οι εκπαιδευτικοί Μηχανικής. Συνεπώς, απαιτείται περαιτέρω επιμόρφωση εκπαιδευτικών στο αντικείμενο αυτό.

## 5.5) Περιορισμοί

Τα ερευνητικά αποτελέσματα που απορρέουν από την παρούσα διδακτορική έρευνα εμπεριέχουν τους κάτωθι περιορισμούς:

Πρώτον, παρά το γεγονός ότι η έρευνα εξέτασε τις τέσσερις ΜΚ ως ανεξάρτητες μελέτες περίπτωσης, το μικρό πλήθος συμμετεχόντων αλλά και η ποιοτική φύση της ερευνητικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε δεν επιτρέπουν γενίκευση των πορισμάτων. Επομένως, μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα προσωπικά χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών επηρέασαν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα. Επιπλέον, το δείγμα της έρευνας εργαζόταν σε αστικά και επαρχιακά σχολεία των τεσσάρων νομών της Κρήτης (με εξαίρεση 1 εκπαιδευτικό), επομένως ήταν γεωγραφικά εντοπισμένο σε ένα γεωγραφικό διαμέρισμα μιας χώρας.

Δεύτερον, το γεγονός ότι οι εκπαιδευτικοί συμμετείχαν εθελοντικά στη δράση δεν καθιστά το δείγμα αυτό αντιπροσωπευτικό, καθότι μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι εκπαιδευτικοί αυτοί ήταν σε γενικές γραμμές πιο θετικά προσκείμενοι στην Εκπαίδευση STEM και πιο δεκτικοί σε εκπαιδευτικές αλλαγές και σε αλλαγές/εξέλιξη στη διδακτική πρακτική τους.

Τρίτον, η έρευνα μελέτησε τον σχεδιασμό και ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού στα πλαίσια της εκπαιδευτικής δράσης. Παρά το γεγονός ότι 2 εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι δοκίμασαν μέρος του διδακτικού υλικού παράλληλα με τη δράση, και 7 εκπαιδευτικοί ανέφεραν ότι έκαναν χρήση του διδακτικού υλικού κατά το/τα επόμενο/α σχολικά έτη, εντούτοις η ανάλυση δεν εστίασε στην εφαρμογή του διδακτικού υλικού. Συνεπώς, ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη του διδακτικού υλικού, καθώς και οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών αναφέρονται μόνο κατά την 7μηνη διάρκεια της εκπαιδευτικής δράσης.

Τέλος, μέρος της εμπειρικής έρευνας λειτούργησε υπό τις συνθήκες περιορισμών κατά της πανδημίας Covid-19, συγκεκριμένα αρχής γενομένης τον Μάρτιο 2020 όταν στο πρόγραμμα εκτελούνταν η 8<sup>η</sup>-9<sup>η</sup> συνάντηση των ΜΚ ομάδων. Αν και εξ αρχής ο σχεδιασμός του προγράμματος εμπεριείχε κατά κύριο λόγο εξ αποστάσεως συναντήσεις, αναμφισβήτητα όμως επηρεάστηκε η διεξαγωγή της εκπαιδευτικής δράσης από την πανδημία. Η επιρροή αυτή αφορά ενδεικτικά: τη μη δυνατότητα διεξαγωγής δια ζώσης συναντήσεων, τις αυξημένες υποχρεώσεις των εκπαιδευτικών λόγω ψηφιοποίησης και προσαρμογής της εκπαιδευτικής διαδικασίας σε εξ αποστάσεως μορφή, την ενδεχόμενη επιφύλαξη που είχαν οι εκπαιδευτικοί στην ανταλλαγή φυσικών αντικειμένων λόγω των περιορισμών, κ.ο.κ. Σε κάθε περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ότι υπήρχε μια διαφοροποίηση σε σχέση με τη συνήθη καθημερινότητα της σχολικής τάξης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6) ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

#### 6.1) Θεωρητική

Η παρούσα έρευνα συνεισφέρει στη βιβλιογραφία σχετική με την Εκπαίδευση STEM και τη διεπιστημονικότητα υπό το πρίσμα των παρακάτω:

Πρώτον, η έρευνα χρησιμοποίησε το θεωρητικό πλαίσιο Εκπαίδευσης STEM των Roehrig κ.ά. (2021) προκειμένου αφενός να αντλήσει κατηγορίες ανάλυσης των σχεδίων STEM διδασκαλίας των εκπαιδευτικών, αλλά και περαιτέρω για να αναδείξει το πώς εφαρμόζουν το καθένα STEM χαρακτηριστικό του πλαισίου αυτού. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους οι εκπαιδευτικοί επέλεξαν να ενσωματώσουν το καθένα από τα 7 χαρακτηριστικά-κλειδί κατά τον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ανάλυση ως προς την ειδικότητα των εκπαιδευτικών. Επιπλέον, αναγνωρίστηκαν οι δυσκολίες που συναντούν οι εκπαιδευτικοί σε καθένα χαρακτηριστικό καθώς και ποια χαρακτηριστικά έτειναν να περιθωριοποιούν. Συνεπώς, τα πορίσματα της έρευνας συνεισφέρουν ως προς την εμπειρική εφαρμοσιμότητα και την πολυπρισματικότητα του θεωρητικού αυτού πλαισίου από τους εκπαιδευτικούς της εκάστοτε ειδικότητας. Απ' όσο γνωρίζουμε, μια τέτοιου τύπου εφαρμογή και συνεισφορά του θεωρητικού αυτού πλαισίου δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία.

Δεύτερον, η έρευνα χρησιμοποίησε το θεωρητικό κατασκεύασμα των διασυνοριακών αντικειμένων για την διεπιστημονική ανάλυση των διδακτικών ενοτήτων από τους εκπαιδευτικούς. Προς αυτή την κατεύθυνση, η διατριβή παρουσιάζει ενδεικτικά παραδείγματα διασυνοριακών αντικειμένων, όπως αυτά αναγνωρίστηκαν και συζητήθηκαν στις ΜΚ. Παράλληλα, συνεισφέρει σε παραδείγματα διασυνοριακών αντικειμένων στο σύγχρονο αντικείμενο της NET για τη Βθμια Εκπαίδευση. Ακόμα, κάνοντας χρήση των κατηγοριών για τη φύση των διασυνοριακών αντικειμένων, όπως προέκυψε από την διεπιστημονική ερευνητική ομάδα του προγράμματος IDENTITIES ([www.identitiesproject.eu](http://www.identitiesproject.eu)), η έρευνα ανέδειξε τάσεις αξιοποίησης διασυνοριακών αντικειμένων της κάθε φύσης από τους εκπαιδευτικούς της εκάστοτε ειδικότητας.

Τρίτον, η έρευνα επεξεργάστηκε και εφάρμοσε μια προσαρμογή του συστημικού μοντέλου του Bronfenbrenner για τη Εκπαίδευση STEM (Hackman κ.ά., 2021). Συγκεκριμένα, πρόσθεσε την

αλληλεπίδραση S-T-E-M εκπαιδευτικών στο μεσοσύστημα, ενώ επικαιροποίησε στο εξωσύστημα υπό το πρίσμα των πρόσφατων περιοριστικών εκπαιδευτικών μέτρων λόγω πανδημίας. Συνεπώς, το συστημικό μοντέλο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενδεικτικά σε STEM πλαίσια όπου συμπεριλαμβάνεται συνεργασία S-T-E-M εκπαιδευτικών.

## 6.2) Μεθοδολογική

Το μεθοδολογικό πλαίσιο της έρευνας ακολούθησε τις θεωρητικές αρχές σχεδιασμού και υλοποίησης εμπειρικής έρευνας σύμφωνα με το ΜΔΑΕΕ (Van Dijk & Kattmann, 2007), όπως αυτό προσαρμόστηκε για της ανάγκες Εκπαίδευσης STEM. Συγκεκριμένα, στο πεδίο των εμπειρικών ερευνών, εκτός από την ΠΓΠ η παρούσα έρευνα έλαβε υπόψιν της α) έρευνες για τη STEM διασύνδεση που επιτελούν οι εκπαιδευτικοί ως ένα δομικό στοιχείο του STEM σύμφωνα με τις αρχικές παραδοχές (βλ. Κεφ. 2.1), β) τη Συνεργατική Μάθηση, καθότι θεωρήθηκε ότι η συνεργασία είναι ένα επίσης δομικό στοιχείο στην Εκπαίδευση STEM. Επιπλέον, η έρευνα σχολίασε την ανάγκη περαιτέρω έρευνας προς την κατεύθυνση της STEM ΠΓΠ, κάτι που χρήζει περαιτέρω έρευνας. Παράλληλα, σύμφωνα με το ΜΔΑΕΕ, παρουσιάστηκαν ενδεικτικά αποτελέσματα από τον διδακτικό μετασχηματισμό που έκαναν οι ομάδες εκπαιδευτικών κατά τον σχεδιασμό και ανάπτυξη διδακτικού υλικού. Αυτός ο διδακτικός μετασχηματισμός δεν αφορούσε μόνο το επιστημονικό περιεχόμενο αλλά και τις δεξιότητες που καλούνται να διδαχθούν οι μαθητές στα πλαίσια του STEM. Συνεπώς, η έρευνα ανέδειξε την ανάγκη επιπλέον αναθεώρησης του ΜΔΑΕΕ στο πεδίο αυτό.

Η έρευνα εισηγήθηκε τη χρήση *χαρτών σχεδιασμού* για την οπτικοποίηση και ανάλυση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό CMapTools για να απεικονίσει χρονολογικά τις σχεδιαστικές δράσεις των εκπαιδευτικών κατά τη διάρκεια της σύγχρονης και ασύγχρονης διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης STEM ενοτήτων και STEM τεχνουργημάτων από τις ΜΚ. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν οι *χάρτες σχεδιασμού* για καταμέτρηση συχνοτήτων και ανάλυση της δραστηριότητας των μελών αλλά και την εισαγωγή και διαπραγμάτευση ιδεών και θεμάτων.

Αναφορικά με τα σχέδια διδασκαλίας, έγινε προσαρμογή ενός πρότυπου (template) για τον σχεδιασμό STEM ενοτήτων όπως αυτό προέκυψε από τη διεπιστημονική ερευνητική ομάδα στα πλαίσια του προγράμματος IDENTITIES και κατόπιν χρησιμοποιήθηκε από τους εκπαιδευτικούς για σχεδιασμό των διδακτικών τους ενοτήτων. Το πρότυπο αυτό (βλ. Παράρτημα Π2)

περιλάμβανε: α) γενικά στοιχεία, β) περιγραφή της διδασκαλίας, των διδακτικών μεθόδων και εργαλείων, γ) επιστημονική ανάλυση, και δ) διεπιστημονική ανάλυση της ενότητας. Το πρότυπο αυτό προτείνεται για περαιτέρω χρήση από σχεδιαστές STEM επιμορφώσεων εκπαιδευτικών.

### 6.3) Επιστημολογική

Η παρούσα έρευνα συνεισφέρει στο ερευνητικό πεδίο της Φύσης του STEM (Nature of STEM), συγκεκριμένα μέσω της αντίληψης STEM μοντέλων υπό την οπτική των εκπαιδευτικών. Αναλυτικότερα, η παρούσα έρευνα χρησιμοποίησε τις οπτικοποιήσεις μοντέλων από την έρευνα των Ring κ.ά. (2017) προκειμένου να ενεργοποιήσει μια επιστημολογικού τύπου συζήτηση για το πώς αντιλαμβάνονται τη Εκπαίδευση STEM οι εκπαιδευτικοί. Παράλληλα, εξερεύνησε τα λεκτικά επιχειρήματα και αντεπιχειρήματα που διατύπωσαν για τα STEM μοντέλα από τις αιτιολογήσεις των εκπαιδευτικών.

Στα πλαίσια των παραπάνω, μία από τις σημαντικότερες συνεισφορές της παρούσας έρευνας, θεωρούμε, είναι η ανάλυση των αντιλήψεων αλλά και των πρακτικών σχεδιασμού των εκπαιδευτικών σε σχέση με το επιστημονικό τους υπόβαθρο, κάτι που απ' όσο γνωρίζουμε δεν έχει μελετηθεί στη βιβλιογραφία. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το επιστημονικό υπόβαθρο των εκπαιδευτικών επηρεάζει και τις αντιλήψεις και τις πρακτικές των εκπαιδευτικών, ενώ μια σημαντική διαφοροποίηση βρέθηκε μεταξύ των εκπαιδευτικών θεωρητικών/αφαιρετικών και εφαρμοσμένων επιστημών (Nathan et al., 2013).

Παράλληλα, η ανάλυση των επιστημονικών στοιχείων στα σχέδια διδασκαλίας των εκπαιδευτικών ανέδειξε ότι στο πεδίο των ΦΕ αναγνωρίζονται περισσότερο έννοιες ενώ τα πεδία της Τεχνολογίας και Μηχανικής δεξιότητες. Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα της έρευνας εκτός από τη Φύση του STEM συνεισφέρουν επίσης και στον τρόπο που οι εκπαιδευτικοί αντιλαμβάνονται τα επιμέρους πεδία στις διδακτικές τους ενότητες.

Ακόμα, τα αποτελέσματα της έρευνας ανέδειξαν ότι υπάρχει ανάμεσα στους εκπαιδευτικούς μια ασάφεια αντιλήψεων για το τι συνιστά το πεδίο της Μηχανικής, ενώ προτείνει αφενός την αλλαγή στη χρήση του όρου Μηχανική σε *Μηχανευτική* ως πιο δόκιμος όρος και για την αποφυγή σύγχυσης (Σιδηρόπουλος, 2015), και αφετέρου την καλλιέργεια και εκπαίδευση εκπαιδευτικών στη Φύση της Μηχανικής.

#### **6.4) STEM Διδακτικό Υλικό**

Η έρευνα συνεισφέρει μέσω διαμοιρασμού ενδεικτικού STEM διδακτικού υλικού, αποτελούμενου από STEM διδακτικές ενότητες και STEM τεχνουργήματα, όπως αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μέσα από τη συνεργασία S-T-E-M εκπαιδευτικών. Αναλυτικότερα, παρουσιάστηκαν και το τελικό διδακτικό υλικό, αλλά και οι έννοιες και θέματα που συζητήθηκαν κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής δράσης. Παράλληλα, παρουσιάζεται το πώς το σύγχρονο αντικείμενο της NET μετασχηματίστηκε στα πλαίσια Εκπαίδευσης STEM για το επίπεδο της Βθμιας σχολικής εκπαίδευσης, μέσα από μια συνεργασία εκπαιδευτικών-ερευνητών σε πλαίσιο ΜΚ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7) ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ

Από τα πορίσματα της έρευνας προκύπτουν συστάσεις και κατευθυντήριες γραμμές για την STEM επαγγελματική ανάπτυξη εκπαιδευτικών και την Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών γενικότερα. Αυτές είναι οι εξής:

#### 7.1) Εκπαίδευση Εκπαιδευτικών: Προγράμματα Επαγγελματικής Ανάπτυξης

- Βασιζόμενοι στις διαφοροποιήσεις που βρέθηκαν τόσο όσο αφορά τις αντιλήψεις των εκπαιδευτικών όσο και τις πρακτικές STEM σχεδιασμού, προτείνουμε τη δημιουργία εξατομικευμένων προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης εκπαιδευτικών, όπου θα γίνεται προσαρμοσμένη επιμόρφωση εκπαιδευτικών με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και ανάγκες που υπάρχουν από τους εκπαιδευτικούς και σε επίπεδο ειδικότητας, αλλά και σε προσωπικό επίπεδο των εκπαιδευτικών μέσω εξατομικευμένης υποστήριξης από εκπαιδευτές και μέντορες. Ενδεικτικά, προτείνεται σε εκπαιδευτικούς S-M περισσότερη εμπλοκή σε δραστηριότητες μηχανικού σχεδιασμού, καθώς και δραστηριότητες για τη χρήση και τη φύση της Τεχνολογίας, ενώ αντίστοιχα προτείνεται για τους εκπαιδευτικούς T-E η επιμόρφωση στην πραγματοποίηση συνδέσεων της κατασκευής με το εννοιολογικό περιεχόμενο που συχνά παραβλέπεται/περιθωριοποιείται, καθώς και στη σύνδεση με τον πραγματικό κόσμο. Έτσι, επιδιώκεται η καλλιέργεια στοιχειώδης ‘επιστημονικής επάρκειας’ και σε άλλα πεδία και μια σφαιρική γνώση στα S-T-E-M πεδία.
- Η επιμόρφωση εκπαιδευτικών, όπως περιγράφηκε παραπάνω, προτείνουμε αφενός να τονίζει τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη μοναδικότητα κάθε πεδίου, αλλά ταυτόχρονα και τις ομοιότητες και διασυνοριακές περιοχές μεταξύ 2 ή παραπάνω πεδίων. Παράλληλα, προτείνουμε την αποφυγή στερεοτυπικών αντιλήψεων για τη φύση των επιμέρους πεδίων, αλλά τη συγκροτημένη θεώρηση των επιστημονικών πεδίων ως ένα οργανωμένο σώμα από εννοιολογικό περιεχόμενο, δεξιότητες, μεθόδους, επιστημολογία και ιδιαίτερη γλώσσα/ορολογία.
- Προτείνουμε τη συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών ως ένα ζωτικά ωφέλιμο στοιχείο για την Εκπαίδευση STEM. Συγκεκριμένα, προτείνουμε ένα πλαίσιο συνεργασίας όπου θα δίνει

έμφαση στις προσωπικές ανάγκες και προτιμήσεις των εκπαιδευτικών. Μια τυπική μορφοποίηση ομάδας προτείνουμε να βασίζεται στη συμπληρωματικότητα γνώσεων και δεξιοτήτων εκπαιδευτικών, δηλαδή να στοχεύει σκόπιμα να συμπεριλαμβάνει εκπαιδευτικούς από διαφορετικές επιστήμες.

- Ως συνέχεια της παραπάνω σύστασης, προτείνουμε τη γενικότερη συνεργασία ερευνητών Εκπαίδευσης STEM, STEM ειδικών και εκπαιδευτικών κατά τον σχεδιασμό, ανάπτυξη και εφαρμογή διδακτικού υλικού. Το πλαίσιο ΜΚ μέσω του κριτικού αναστοχασμού και διαμοιρασμού ιδεών, γνώσεων, μεθόδων και υλικών, μπορεί να παρέχει το απαιτούμενο συνεργατικό περιβάλλον.
- Προτείνουμε την ενσωμάτωση δραστηριοτήτων STEM σχεδιασμού για τους εκπαιδευτικούς κατά τη διάρκεια των STEM προγραμμάτων επαγγελματικής ανάπτυξης. Μέσω των δραστηριοτήτων STEM σχεδιασμού δίνεται η δυνατότητα στους εκπαιδευτικούς να ενεργοποιήσουν την ανάπτυξη/αναθεώρηση της ΠΓΠ τους μέσα από την καλλιέργεια καινοτόμων μεθόδων και πρακτικών σε συνεργατικά πλαίσια επίλυσης ανοιχτών και ρεαλιστικών περιβαλλόντων μάθησης.
- Αναφορικά με το περιεχόμενο των επιμορφώσεων, προτείνουμε τη συμπερίληψη σύγχρονων αντικειμένων, όπως το αντικείμενο της NET στην περίπτωση μας. Το επιχείρημα είναι ότι μέσω σύγχρονων αντικειμένων διευκολύνεται το να διαμορφώσουν νέες διδακτικές μεθόδους, δραστηριότητες και κατ' επέκταση ΠΓΠ σε σύγκριση με παραδοσιακά αντικείμενα όπου οι εκπαιδευτικοί έχουν παγιώσει την ΠΓΠ σε συγκεκριμένα μοτίβα που θα αλλάξουν πιο δύσκολα. Επιπλέον, συστήνονται τα σύγχρονα αντικείμενα ως αντικείμενα που συνδέονται άμεσα με ρεαλιστικά προβλήματα της καθημερινότητας.

## 7.2) STEM Διασύνδεση

- Συνιστούμε την καθοδήγηση των εκπαιδευτικών στην πραγματοποίηση ρητών διασυνδέσεων μεταξύ των πεδίων. Οι διασυνδέσεις αυτές συνιστάται να γίνονται εμφανείς και μέσω δραστηριοτήτων στους μαθητές, ανάλογα με το επίπεδο και την ηλικία των μαθητών.
- Ως συνέχεια της παραπάνω σύστασης, προτείνεται η αξιοποίηση του θεωρητικού κατασκευάσματος των 'διασυννοριακών αντικειμένων' (Akkerman & Bakker, 2011), τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν σαν εργαλεία με τα οποία θα αναδειχθεί η διεπιστημονικότητα στο υπό εξέταση φαινόμενο. Ταυτόχρονα προτείνουμε την κλήση των ίδιων των εκπαιδευομένων



στην αναγνώριση διασυνοριακών αντικειμένων στην ενότητα, ως ένα μηχανισμό καλλιέργειας διεπιστημονικής σκέψης.

- Προτείνεται γενικότερα ένα *διεπιστημονικό* μοντέλο διασύνδεσης, όπου θα γίνεται αξιοποίηση των θεωρητικών κατασκευασμάτων των επιστημονικών πεδίων ως οργανωμένα σώματα γνώσεων, δεξιοτήτων, μεθόδων, επιστημολογιών, και ορολογίας/γλώσσας τα οποία οδηγούν στην καλλιέργεια επιστημικών πρακτικών (π.χ. μοντελοποίηση, επιχειρηματολογία, κτλ.), και τα οποία παίρνουν διαφορετική μορφή σε διαφορετικά πεδία (Barelli κ.ά., 2021).
- Συστήνουμε στους ερευνητές και εκπαιδευτές στη Εκπαίδευση STEM ότι θα πρέπει να αναμένεται οι εκπαιδευτικοί να έχουν εν γένει διαφορές στα μοντέλα STEM διασύνδεσης που αντιλαμβάνονται και εφαρμόζουν. Αυτό εν μέρει είναι φυσικό επακόλουθο του επιστημονικού και επιστημολογικού υποβάθρου και των εμπειριών τους. Τα STEM προγράμματα επαγγελματικής ανάπτυξης προτείνουμε να αφήνουν ένα βαθμό κυριότητας (ownership) της καινοτομίας του STEM στους εκπαιδευτικούς, καθώς και ένα βαθμό ευελιξίας στον εκπαιδευτικό. Σε κάθε περίπτωση όμως, θεωρούμε ότι πρέπει να τηρούνται οι βασικές STEM παραδοχές, όπως το να καθοδηγούνται οι εκπαιδευτικοί να κάνουν ρητές διασυνδέσεις μεταξύ των πεδίων.
- Προτείνουμε τον σχεδιασμό και κατασκευή τεχνουργημάτων (φυσικών ή/και ψηφιακών) ως ένα μέσο το οποίο προωθεί τη STEM διασύνδεση. Συγκεκριμένα, σε μια ομαδική εργασία, το STEM τεχνούργημα μπορεί να λειτουργήσει ως ένα διασυνοριακό αντικείμενο μέσα από το οποίο αφενός επικοινωνούνται κοινά νοήματα και αφετέρου ερμηνεύεται με εν γένει διαφοροποιημένο τρόπο από τον καθένα συμμετέχοντα (εκπαιδευτικό/μαθητή).

### **7.3) Μεθοδολογικές πρακτικές για την έρευνα για το STEM**

- Η παρούσα έρευνα συνιστά τη συμπερίληψη των οπτικών και των ερμηνειών των εν-ενεργεία εκπαιδευτικών για το τι είναι STEM και πώς αυτό μπορεί να καρποφορήσει στην τάξη. Με αυτό τον τρόπο θα επιχειρηθεί μια γεφύρωση έρευνας-πράξης προκειμένου να προκύψουν πιο ενημερωμένα και εφαρμόσιμα μοντέλα εφαρμογής Εκπαίδευσης STEM.
- Προτείνουμε την ενσωμάτωση συστημικών μοντέλων για την μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν την εφαρμογή STEM διδασκαλιών, τα οποία λαμβάνουν υπόψιν την επίδραση του πλαισίου, του υπάρχοντος εκπαιδευτικού συστήματος, της γενικότερης κουλτούρας, κ.ά. Μια

τέτοια ολιστική προσέγγιση μπορεί να αποδώσει καλύτερα το πλήθος και την πολυπλοκότητα των παραγόντων που επιδρούν στην εφαρμογή Εκπαίδευσης STEM.

- Προτείνουμε η ερευνητική μελέτη να μην εστιάζει μόνο στο τελικό παραχθέν προϊόν, δηλαδή το αποτέλεσμα (π.χ. τελική κατασκευή, τελικό σχέδιο διδασκαλίας), αλλά τουναντίον να διερευνά παράλληλα και τη διαδικασία κατά τη διάρκεια σχεδιασμού και ανάπτυξης του προϊόντος αυτού.

#### **7.4) Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα**

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας τροφοδοτούν τη γένεση επιπλέον ερευνητικών ερωτημάτων και τη διεξαγωγή επιπλέον διερευνήσεων. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά μερικά από αυτά:

- *Ποια η επιρροή της MK κατά την εφαρμογή του υλικού από τη μεγάλη μάζα των εκπαιδευτικών; Πόσο βιώσιμα μπορούν να θεωρούνται τα αποτελέσματα της εκπαιδευτικής δράσης στους εκπαιδευτικούς σε βάθος χρόνου;*
- *Η παρούσα έρευνα μελέτησε τον σχεδιασμό STEM διδακτικού υλικού. Εντούτοις είναι ενδιαφέρον να διερευνηθεί το ποιες είναι οι (εσωτερικές/εξωτερικές) διαδικασίες που καθορίζουν τη λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων για STEM διδακτικό υλικό σε μια MK; Με ποια κριτήρια γίνεται αυτή; Μια τέτοια μελέτη θα αναδείξει τους βαθύτερους παράγοντες που λαμβάνουν υπόψιν οι εκπαιδευτικοί όταν κάνουν τις επιλογές STEM σχεδιασμού και ανάπτυξης διδακτικού υλικού, κάτι που θα αναδείξει περαιτέρω στοιχεία για το πώς αυτοί αναπτύσσουν STEM διδακτικό υλικό.*
- *Αν και η παρούσα έρευνα ανέδειξε διαφορές με βάση την ειδικότητα, εντούτοις παραμένει άγνωστο το ποια συστήνεται να είναι η κατάλληλη δομή μιας ομάδας εκπαιδευτικών διαφορετικών ειδικοτήτων σε μία STEM επιμόρφωση; Υπάρχει κάποια ειδικότητα που θα πρέπει να υποστηρίζεται ενδεχομένως και με δεύτερο εκπαιδευτικό; Τα αποτελέσματα μπορούν να συνεισφέρουν στην ανάδειξη μιας συνεργατικής δομής επιμόρφωσης εκπαιδευτικών βασισμένη στις επιμέρους ανάγκες των εκπαιδευτικών σε συγκεκριμένα πεδία.*
- *Παρομοίως με την προηγούμενη διερεύνηση, ποιος ο βέλτιστος αριθμός ‘κεντρικών’ μελών σε μια ομάδα MK; Πώς θα λειτουργούσε μια MK χωρίς μέλη που αρχικά θα περιμέναμε να είναι κεντρικά; Θα προκαλούσε αυτό την κινητοποίηση μελών που θα ήταν υπό άλλες συνθήκες ανενεργά;*

- Τα αποτελέσματα ανέδειξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ εκπαιδευτικών S-M και εκπαιδευτικών T-E. Όμως, με ποιον τρόπο ή με τι συγκεκριμένου είδους επιμορφώσεις μπορούν αυτές να ξεπεραστούν/εξομαλυνθούν;
- Οι εκπαιδευτικοί Μαθηματικών συνήθως είχαν συγκριτικά ένα πιο περιθωριοποιημένο ρόλο στις MK, καθότι οι εκπαιδευτικοί συχνά δήλωναν ότι το απαιτούμενο επίπεδο γνώσεων Μαθηματικών το κατείχαν κι οι ίδιοι. Ποιο όμως θα ήταν το αντίστοιχο αποτέλεσμα εάν η επιμόρφωση αφορούσε αντικείμενα όπου απαιτούνταν ανώτερης δυσκολίας Μαθηματικά;
- Το μεγαλύτερο μέρος της εκπαιδευτικής δράσης εξαιτίας περιορισμών Covid-19 αλλά και διαθεσιμότητας εκπαιδευτικών πραγματοποιήθηκε εξ αποστάσεως. Τι διαφορές θα παρατηρούνταν στα αποτελέσματα αν όλες οι συναντήσεις ήταν δια ζώσης;

Αυτά είναι μερικά μόνο από τα ερωτήματα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση.

## ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Η υλοποίηση της διδακτορικής διατριβής συγχρηματοδοτήθηκε από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», 2014-2020, στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας Υποδράση 2: Πρόγραμμα χορήγησης υποτροφιών ΙΚΥ σε υποψηφίους διδάκτορες των ΑΕΙ της Ελλάδας».



- Ευχαριστούμε τους συντονιστές εκπαιδευτικού έργου του Περιφερειακού Κέντρου Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού (ΠΕΚΕΣ) Κρήτης, και ειδικότερα την κα. Γκινούδη Αθηνά και τον κ. Πανσεληνά Γεώργιο για την πολύτιμη συνεργασία τους στην εύρεση δείγματος εκπαιδευτικών Βθμιας Εκπαίδευσης.
- Ευχαριστούμε το Εργαστήριο του κ. Κυμάκη από το Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο (ΕΛΜΕΠΑ), καθώς και το Εργαστήριο των κ. Μπίνα & κ. Κυριακίδη από το Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΤΕ) για τη διάθεση νανοϋλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα τεχνουργήματα.
- Ευχαριστούμε τους: Δρ.: Ταμιωλάκη Γεώργιο, Δρ. Σωχωράκη Νικόλαο, Δ(δ)ρα Καλλέργη Εμμανουέλα, Δρ. Αναγνωστάκη Συμεών, MSc Τσίγκρη Μιλτιάδη για την πολύτιμη βοήθειά τους σε θέματα περιεχομένου και μεθόδων.
- Ευχαριστούμε τον MSc Καπελώνη Νικόλαο για την πολύτιμη τεχνική υποστήριξη στην online εκπαιδευτική πλατφόρμα κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής δράσης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Affouneh, S., Salha, S., Burgos, D., Khlaif, Z. N., Saifi, A. G., Mater, N., & Odeh, A. (2020). Factors that foster and deter STEM professional development among teachers. *Science Education*, 104(5), 857-872. <https://doi.org/10.1002/sce.21591>
- Akerson, V. L., Burgess, A., Gerber, A., Guo, M., Khan, T. A., & Newman, S. (2018). Disentangling the meaning of STEM: Implications for science education and science teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2018.1435063>
- 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>
- Al Salami, M. K., Makela, C. J., & De Miranda, M. A. (2017). Assessing changes in teachers' attitudes toward interdisciplinary STEM teaching. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 63-88. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9341-0>
- Allen, M., Webb, A. W., & Matthews, C. E. (2016). Adaptive teaching in STEM: Characteristics for effectiveness. *Theory into Practice*, 55(3), 217-224. <https://doi.org/10.1080/00405841.2016.1173994>
- Aranda, M. L., Lie, R., Selcen Guzey, S., Makarsu, M., Johnston, A., & Moore, T. J. (2020). Examining teacher talk in an engineering design-based science curricular unit. *Research in Science Education*, 50(2), 469-487. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9697-8>
- Asghar, A., Ellington, R., Rice, E., Johnson, F., & Prime, G. M. (2012). Supporting STEM education in secondary science contexts. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6(2), 4. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1349>
- Avraamidou, L. (2022). Identities in/out of physics and the politics of recognition. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(1), 58-94. <https://doi.org/10.1002/tea.21721>
- Bannan-Ritland, B. (2014). Teacher design research: An emerging paradigm for teachers' professional development. In *Handbook of design research methods in education* (pp. 264-280). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315759593-24>
- Barelli, E., Barquero, B., Romero, O., Aguada, M.R., Giménez, J., Pipitone, C., Sala-Sebastià, G., Nipyrakis, A., Kokolaki, A., Metaxas, I., Michailidi, E., Stavrou, D., Bartzia, E., Lodi, M., Sbaraglia, M., Modeste, S., Martini, S., Durand-Guerrier, V., Satanassi, S., Fantini, P., Bagaglini, V., Kapon, S., Branchetti, L., & Levrini, O. (2022, August 30-September 3). Disciplinary identities in interdisciplinary topics: challenges and opportunities for teacher education. Submitted to *European Science Education Research Association (ESERA) 2021 Electronic Proceedings*.
- Barquero, B., Pipitone, C., Aguada-Berteà, M. R., Bosch, M., Romero, O., Sala-Sebastià, G., Giménez, J., Barelli, E., Levrini, O., Miani, L., Satanassi, S., Branchetti, L., Metaxas, I.,

- Bitsaki, C., Nipyrakis, A., Kokolaki, A., Michailidi, E., Stavrou, D., Durand-Guerrier, V. (2023) *Guidelines to design and implement modules on curricular interdisciplinarity and STEM emerging interdisciplinarity in pre-service teacher education* <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO4.pdf>
- Bartels, S. L., Rupe, K. M., & Lederman, J. S. (2019). Shaping preservice teachers' understandings of STEM: A collaborative math and science methods approach. *Journal of Science Teacher Education*, 30(6), 666-680. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2019.1602803>
- Baxter, J. A., Ruzicka, A., Beghetto, R. A., & Livelybrooks, D. (2014). Professional development strategically connecting mathematics and science: The impact on teachers' confidence and practice. *School Science and Mathematics*, 114(3), 102-113. <https://doi.org/10.1111/ssm.12060>
- Becher, T., & Trowler, P. (2001). *Academic tribes and territories*. McGraw-Hill Education (UK). <https://doi.org/10.48059/uod.v15i3.838>
- Beier, M. E., Kim, M. H., Saterbak, A., Leautaud, V., Bishnoi, S., & Gilberto, J. M. (2019). The effect of authentic project-based learning on attitudes and career aspirations in STEM. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(1), 3-23. <https://doi.org/10.1002/tea.21465>
- Berland, L., Steingut, R., & Ko, P. (2014). High school student perceptions of the utility of the engineering design process: Creating opportunities to engage in engineering practices and apply math and science content. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 705-720. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9498-4>
- Billiar, K., Hubelbank, J., Oliva, T., & Camesano, T. (2014). Teaching STEM by Design. *Advances in Engineering Education*, 4(1), n1. <https://doi.org/10.18260/p.25856>
- Blonder, R., & Vescio, V. (2022). Professional Learning Communities Across Science Teachers' Careers: The Importance of Differentiating Learning. *Handbook of Research on Science Teacher Education*, 300-312. <https://doi.org/10.4324/9781003098478-26>
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Johnson, J. C. (2018). *Analyzing social networks*. Sage. <https://doi.org/10.4000/lectures.27033>
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3-11. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Bronfenbrenner, U. (1986). Ecology of the family as a context for human development: Research perspectives. *Developmental psychology*, 22(6), 723. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.22.6.723>
- Bronfenbrenner, U., & Ceci, S. J. (1994). Nature-nurture reconceptualized in developmental perspective: A bioecological model. *Psychological review*, 101(4), 568. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.101.4.568>

- Bruning, R. H., Schraw, J. G., Norby, M. M., & Ronning, R. R. (2004). *Cognitive psychology and instruction*. Pearson
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press. <https://doi.org/10.2505/9781936959259>
- Chan, K. K. H., Yeh, Y. F., & Hsu, Y. S. (2019). A framework for examining teachers' practical knowledge for STEM teaching. In H. S. Hsu & Y. F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM teaching practices: From theoretical frameworks to practices*, 39-50. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7_3)
- Chen, S., Chang, W. H., Lai, C. H., & Tsai, C. Y. (2014). A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. *Science Education*, 98(5), 905-935. <https://doi.org/10.1002/sce.21126>
- Chen, C. M., & Kuo, C. H. (2019). An optimized group formation scheme to promote collaborative problem-based learning. *Computers & Education*, 133, 94-115. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.011>
- Chiu, A., Price, C. A., & Ovrahim, E. (2015, April). *Supporting elementary and middle school STEM education at the whole school level: A review of the literature*. National Association for Research in Science Teaching (NARST), Chicago.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2009). *Research methods in education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203224342>
- Couso, D. (2016). Participatory Approaches to Curriculum Design From a Design Research Perspective. In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 47-71). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_4)
- Crujeiras-P., B. & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2019). Interdisciplinarity and argumentation in chemistry education. In S. Erduran (Ed.), *Argumentation in Chemistry Education: Research, Policy and Practice*, (pp. 32-61). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781788012645-00032>
- Dare, E. A., Ellis, J. A., & Roehrig, G. H. (2014). Driven by beliefs: Understanding challenges physical science teachers face when integrating engineering and physics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(2), 5. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1098>
- Dare, E. A., Keratithamkul, K., Hiwatig, B. M., & Li, F. (2021). Beyond Content: The Role of STEM Disciplines, Real-World Problems, 21st Century Skills, and STEM Careers within Science Teachers' Conceptions of Integrated STEM Education. *Education Sciences*, 11(11), 737. <https://doi.org/10.3390/educsci11110737>
- Dare, E. A., Ring-Whalen, E. A., & Roehrig, G. H. (2019). Creating a continuum of STEM models: Exploring how K-12 science teachers conceptualize STEM education. *International Journal of Science Education*, 41(12), 1701-1720. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1638531>

- Davis, E. A., Janssen, F. J., & Van Driel, J. H. (2016). Teachers and science curriculum materials: Where we are and where we need to go. *Studies in science education*, 52(2), 127-160. <https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1161701>
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Develaki, M. (2020). Comparing Crosscutting Practices in STEM Disciplines. *Science & Education*, 29(4), 949-979. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00147-1>
- DiGironimo, N. (2011). What is technology? Investigating student conceptions about the nature of technology. *International Journal of Science Education*, 33(10), 1337-1352. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.495400>
- Dohn, N. B. (2013). Situational interest in engineering design activities. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2057-2078. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.757670>
- Dong, Y., Wang, J., Yang, Y., & Kurup, P. M. (2020). Understanding intrinsic challenges to STEM instructional practices for Chinese teachers based on their beliefs and knowledge base. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00245-0>
- Dooner, A. M., Mandzuk, D., & Clifton, R. A. (2008). Stages of collaboration and the realities of professional learning communities. *Teaching and teacher education*, 24(3), 564-574. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2007.09.009>
- Drymiotou, I., Constantinou, C. P., & Avraamidou, L. (2021). Enhancing students' interest in science and understandings of STEM careers: the role of career-based scenarios. *International Journal of Science Education*, 43(5), 717-736. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1880664>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction—A framework for improving teaching and learning science. In *Science education research and practice in Europe* (pp. 13-37). Sense Publishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2)
- Durand-Guerrier, V., Barelli, E., Bagagnoli, V., Fantini, P., Levrini, O., Lodi, M., Martini, S., Satanassi, S., Sbaraglia, M., Tasquier, G., Bartzia, E. I., Modeste, S., Branchetti, L., Pollani, L., Barquero, B., Pipitone, C. (2023). *Teaching modules on curricular interdisciplinary topics*. <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO3.pdf>
- Ejiwale, J. A. (2013). Barriers to successful implementation of STEM education. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 7(2), 63-74. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v7i2.220>
- Ellis, J., Wieselmann, J., Sivaraj, R., Roehrig, G., Dare, E., & Ring-Whalen, E. (2020). Toward a productive definition of technology in science and STEM education. *Contemporary issues in technology and teacher education*, 20(3).



- Elster, D. (2010). Learning Communities in Teacher Education: The impact of e-competence. *International Journal of Science Education*, 32(16), 2185-2216. <https://doi.org/10.1080/09500690903418550>
- Enderson, M. C., Reed, P. A., & Grant, M. R. (2020). Secondary STEM teacher education. In C. Johnson, M. Mohr-Schroeder, T. Moore & L. English (Eds.), *Handbook of research on STEM education* (pp. 349-360). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-33>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Erduran, S. (2020). Nature of “STEM”? Epistemic underpinnings of integrated science, technology, engineering, and mathematics in education. *Science & education*, 29, 781-784. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00150-6>
- European Commission (2015). Quests for interdisciplinarity: A challenge for the ERA and HORIZON 2020. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0309a87c-7276-11e5-9317-01aa75ed71a1/language-en>
- Garibay, J. C. (2015). STEM students’ social agency and views on working for social change: Are STEM disciplines developing socially and civically responsible students?. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(5), 610-632. <https://doi.org/10.1002/tea.21203>
- Geelan, D. (2012). Teacher explanations. *Second international handbook of science education*, 987-999. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_65](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_65)
- Geng, J., Jong, M. S. Y., & Chai, C. S. (2019). Hong Kong teachers’ self-efficacy and concerns about STEM education. In H. S. Hsu & Y. F. Yeh (Eds.), *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28, 35-45. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0414-1>
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*, 41(7), 28-42. <https://doi.org/10.4324/9781315735665-8>
- Giannakoudaki, K., & Stavrou, D. (2022). Guided school visits to a research center: Perspectives from teachers and staff. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 14(1), 11-20. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v14i1.241>
- Grossman, P., Wineburg, S., & Woolworth, S. (2000). What makes teacher community different from a gathering of teachers. *Center for the Study of Teaching and Policy*, 5-56. <https://doi.org/10.1177/016146810110300603>
- Hackman, S. T., Zhang, D., & He, J. (2021). Secondary school science teachers’ attitudes towards STEM education in Liberia. *International Journal of Science Education*, 43(2), 223-246. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1864837>
- Hanneman, R. A., & Riddle, M. (2005). Introduction to social network methods. [https://wiki.gonzaga.edu/dpls707/images/6/6e/Introduction\\_to\\_Social\\_Network\\_Methods.pdf](https://wiki.gonzaga.edu/dpls707/images/6/6e/Introduction_to_Social_Network_Methods.pdf)

- Hernández-Sellés, N., Muñoz-Carril, P. C., & González-Sanmamed, M. (2019). Computer-supported collaborative learning: An analysis of the relationship between interaction, emotional support and online collaborative tools. *Computers & Education*, 138, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.012>
- Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>
- Hoffmann, M. H., Hampe, M., Müller, G., Bargstädt, H. J., Heiß, H. U., & Schmitt, H. (2010, April 14-16). Knowledge, skills, and competences: Descriptors for engineering education. In *IEEE EDUCON 2010 Conference* (pp. 639-645). IEEE. <https://doi.org/10.1109/educon.2010.5492519>
- Hsu, Y. S., & Fang, S. C. (2019). Opportunities and challenges of STEM education. In H. S. Hsu & Y. F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM teaching practices: From theoretical frameworks to practices*, 1-16. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7_1)
- Hussy, W., Schreier, M., & Echterhoff, G. (2010). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-95936-6>
- Jiang, S., Shen, J., & Smith, B. E. (2019). Designing discipline-specific roles for interdisciplinary learning: two comparative cases in an afterschool STEM+ L programme. *International Journal of Science Education*, 41(6), 803-826. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1581958>
- Johnson, E.S. (2008). Ecological Systems and Complexity Theory: Toward an Alternative Model of Accountability in Education. *Complicity: An International Journal of Complexity and Education*, 5(1), 1- 10. <https://doi.org/10.29173/cmplct8777>
- Jones, M. G., Gardner, G. E., Robertson, L., & Robert, S. (2013). Science professional learning communities: Beyond a singular view of teacher professional development. *International Journal of Science Education*, 35(10), 1756-1774. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.791957>
- Kaczmarczyk, D., & Dopplick, R. (2014). Rebooting the pathway to success: Preparing students for computing workforce needs in the United States. *Renee, Rebooting the Pathway to Success: Preparing Students for Computing Workforce Needs in the United States*.
- Kähkönen, A. L., Laherto, A., Lindell, A., & Tala, S. (2016). Interdisciplinary Nature of Nanoscience: Implications for Education. In K. Winkelmann & B. Bhushan (Eds.), *Global Perspectives of Nanoscience and Engineering Education* (pp. 35-81). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31833-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31833-2_2)
- Kaya, E., & Erduran, S. (2016). From FRA to RFN, or how the family resemblance approach can be transformed for science curriculum analysis on nature of science. *Science & Education*, 25(9), 1115-1133. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9861-3>

- Keevy, J., & Chakroun, B. (2015). Level-setting and recognition of learning outcomes: The use of level descriptors in the twenty-first century. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*.
- Kelley, T., & Sung, E. (2017). Examining Elementary School Students' Transfer of Learning through Engineering Design Using Think-Aloud Protocol Analysis. *Journal of Technology Education*, 28(2), 83-108. <https://doi.org/10.21061/jte.v28i2.a.5>
- Kennedy, T. J., & Odell, M. R. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 25(3), 246-258.
- King, D., & English, L. D. (2016). Engineering design in the primary school: Applying STEM concepts to build an optical instrument. *International Journal of Science Education*, 38(18), 2762-2794. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1262567>
- Klein, J. T. (2017). Typologies of interdisciplinarity. In Frodeman, R. (Ed.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity*, 2, 21-34. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198733522.013.3>
- Kokolaki, A., & Stavrou, D. (2022). Pre-Service Primary Teachers Develop Teaching Artifacts on Contemporary Socioscientific Issues. *Journal of Science Teacher Education*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2022.2078546>
- Krishnan, A. (2009). *What are academic disciplines? Some observations on the disciplinarity vs. interdisciplinarity debate* [Working paper]. <https://eprints.ncrm.ac.uk/id/eprint/783/>
- Kurt, K., & Pehlivan, M. (2013). Integrated Programs for Science and Mathematics: Review of Related Literature. *Online Submission*, 1(2), 116-121.
- Kurup, P. M., Li, X., Powell, G., & Brown, M. (2019). Building future primary teachers' capacity in STEM: based on a platform of beliefs, understandings and intentions. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0164-5>
- LaPorte, J., & Sanders, M. (1993). Integrating technology, science, and mathematics in the middle school. *The Technology Teacher*, 52(6), 17-21.
- Laudan, L. (1977). *Progress and its problems*. University of California Press.
- Lesh, R., & Sriraman, B. (2005). Mathematics education as a design science. *ZDM*, 37(6), 490-505. <https://doi.org/10.1007/bf02655858>
- Levrini, O., Barelli, E., Barquero, B., Pipitone, C., Romero, O., Aguada Berteá, M. R., Sala Sebastià, G., Giménez, J., Miani, L., Tasquier, G., Nipyrakis, A., Metaxas, I., Bitsaki, C., Kokolaki, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2023). *Teaching modules on emergent interdisciplinarity in advanced STEM topics*. <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO2.pdf>
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). Design and design thinking in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 2(2), 93-104. <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>

- Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- Luft, J. A., Diamond, J. M., Zhang, C., & White, D. Y. (2020). Research on K-12 STEM professional development programs: An examination of program design and teacher knowledge and practice. In *Handbook of research on STEM education* (pp. 361-374). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-34>
- Lundgren, J. (2021). The Grand Concepts of Environmental Studies Boundary objects between disciplines and policymakers. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 11(1), 93-100. <https://doi.org/10.1007/s13412-020-00585-x>
- Lynch, S. J., Burton, E. P., Behrend, T., House, A., Ford, M., Spillane, N., ... & Means, B. (2018). Understanding inclusive STEM high schools as opportunity structures for underrepresented students: Critical components. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(5), 712-748. <https://doi.org/10.1002/tea.21437>
- Manou, L., Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E., & Kariotoglou, P. (2022). What does “Nanoscience–Nanotechnology” mean to primary school teachers?. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(6), 1269-1290. <https://doi.org/10.1007/s10763-021-10199-6>
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers’ perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- 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/sci.21522>
- Mathabathe, K. C., & Potgieter, M. (2017). Manifestations of metacognitive activity during the collaborative planning of chemistry practical investigations. *International Journal of Science Education*, 39(11), 1465-1484. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1336808>
- Mayring, P. (2014). Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution. Klagenfurt. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- Mayring, P. (2015). Qualitative Content Analysis: Theoretical Background and Procedures. In A. Bikner-Ahsbals, C. Knipping, N. Presmeg (Eds.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education*, (pp. 365–380). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6_13)
- McComas, W. F., & Burgin, S. R. (2020). A critique of “STEM” education. *Science & Education*, 29(4), 805-829. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00138-2>
- Means, B., Wang, H., Young, V., Peters, V. L., & Lynch, S. J. (2016). STEM-focused high schools as a strategy for enhancing readiness for postsecondary STEM programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 709-736. <https://doi.org/10.1002/tea.21313>

- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>
- Metaxas, I., Michailidi, E., Stavrou, D., & Pavlidis, I. V. (2021). Educational reconstruction of size-depended-properties in nanotechnology for teaching in tertiary education. *Chemistry Teacher International*, 3(4), 413-422. <https://doi.org/10.1515/cti-2021-0011>
- Miani, L. (2022). The interdisciplinarity of Special Relativity: A historical analysis. *Il nuovo cimento C*, 45(4), 1-10.
- Michailidi, E., & Stavrou, D. (2022). Supporting the implementation of a nanotechnology teaching-learning sequence through post-induction science teacher mentoring. *International Journal of Science Education*, 44(2), 297-323. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.2024914>
- Millar, V. (2020). Trends, issues and possibilities for an interdisciplinary STEM curriculum. *Science & Education*, 29(4), 929-948. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00144-4>
- Mishra, P. (2019). Considering Contextual Knowledge: The TPACK Diagram Gets an Upgrade. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 35(2), 76-78. <https://doi.org/10.1080/21532974.2019.1588611>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, 108(6), 1017. <https://doi.org/10.1177/016146810610800610>
- Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., & Stohlmann, M. S. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- Moore, T. J., & Smith, K. A. (2014). Advancing the state of the art of STEM integration. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 15(1), 5. <https://doi.org/10.4324/9780429021381-2>
- Moore, T. J., Tank, K. M., Glancy, A. W., & Gajdzik, E. (2017, June 24-28). *Board # 102 : PECASE: Implementing K-12 Engineering Standards through STEM Integration - An Executive Summary of the Products and Research*. Paper presented at 2017 ASEE Annual Conference & Exposition. Columbus, Ohio. <https://doi.org/10.18260/1-2--27670>
- Munfaridah, N., Avraamidou, L., & Goedhart, M. (2021). Preservice physics teachers' development of physics identities: The role of multiple representations. *Research in Science Education*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10019-5>
- Murphy, M., Chance, S., & Conlon, E. (2015). Designing the identities of engineers. In *Engineering identities, epistemologies and values* (pp. 41-64). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16172-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16172-3_3)



- Nadelson, L. S., Callahan, J., Pyke, P., Hay, A., Dance, M., & Pfiester, J. (2013). Teacher STEM perception and preparation: Inquiry-based STEM professional development for elementary teachers. *The Journal of Educational Research*, 106(2), 157-168. <https://doi.org/10.1080/00220671.2012.667014>
- 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>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- National Research Council. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>
- Next Generation Science Standards (2014). *Topic Arrangements of the Next Generation Science Standards*. <http://www.nextgenscience.org/>
- Nipyrakis, A. & Stavrou, D. (2019, August 26-30) *Collaborating Primary Student Teachers in Designing Experiments with the Use of ICT* [Paper presentation]. European Science Education Research Association (ESERA) Conference, Bologna.
- Nipyrakis, A., Stavrou, D. (2022). Integration of ICT in Science Education Laboratories by Primary Student Teachers. In S. Papadakis & M. Kalogiannakis (Eds), *STEM, Robotics, Mobile Apps in Early Childhood and Primary Education. Lecture Notes in Educational Technology*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0568-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0568-1_4)
- Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2022, March 27-30) *In-Service Teachers' Views about STEM Integration: A case study*. [Poster presentation]. National Association for Research in Science Teaching (NARST), Vancouver.
- Ortiz-Revilla, J., Adúriz-Bravo, A., & Greca, I. M. (2020). A framework for epistemological discussion on integrated STEM education. *Science & Education*, 29(4), 857-880. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00131-9>
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. M., & Arriasecq, I. (2022). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31(2), 383-404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>
- Park, W., Wu, J. Y., & Erduran, S. (2020). The nature of STEM disciplines in the science education standards documents from the USA, Korea and Taiwan. *Science & Education*, 29(4), 899-927. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00139-1>
- Peikos, G., Spyrtou, A., Pnevmatikos, D., & Papadopoulou, P. (2022). A teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology content at primary school level: evaluation of students' learning. *International Journal of Science Education*, 44(12), 1932-1957. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2105976>

- Peters-Burton, E. E., & Knight, K. L. (2022). Integrated STEM Teacher Education: An Opportunity for Promoting Equity. In J. A. Luft & M. G. Jones (Eds.), *Handbook of Research on Science Teacher Education* (pp. 465-476). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003098478-41>
- Phenix, P. H. (1964). *Realms of meaning: a philosophy of the curriculum for general education*. Ventura: Irving S. Sato [10.2307/3442408](https://doi.org/10.2307/3442408)
- Pleasant, J., Clough, M. P., Olson, J. K., & Miller, G. (2019). Fundamental issues regarding the nature of technology: implications for STEM education. *Science & Education*, 28, 561-597. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00056-y>
- Pleasant, J., & Olson, J. K. (2019). What is engineering? Elaborating the nature of engineering for K-12 education. *Science Education*, 103(1), 145-166. <https://doi.org/10.1002/sce.21483>
- Polverini, G. (2022). *Exploring interdisciplinarity between physics and mathematics: the design of a linguistic and an epistemological tool for analysing texts about the parabolic motion*. [Master thesis in Physics, Alma Mater Studiorum – University of Bologna].
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical issues related to designing and developing teaching-learning sequences. In D. Psillos, & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative design of teaching-learning sequences* (pp. 11-34). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_2)
- Quinn, C. M., Reid, J. W., & Gardner, G. E. (2020). S+ T+ M= E as a convergent model for the nature of STEM. *Science & Education*, 29(4), 881-898. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w>
- Ravaioli, G. (2020). *Epistemological activators and students' epistemologies in learning modern STEM topics*. [Ph.D. theses. Alma Mater Studiorum - Università di Bologna].
- Ring, E. A., Dare, E. A., Crotty, E. A., & Roehrig, G. H. (2017). The evolution of teacher conceptions of STEM education throughout an intensive professional development experience. *Journal of Science Teacher Education*, 28(5), 444-467. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2017.1356671>
- Ring-Whalen, E., Dare, E., Roehrig, G., Titu, P., & Crotty, E. (2018). From Conception to Curricula: The Role of Science, Technology, Engineering, and Mathematics in Integrated STEM Units. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 6(1), 343-362. <https://doi.org/10.18404/ijemst.440338>
- Rinke, C. R., Gladstone-Brown, W., Kinlaw, C. R., & Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher education: Affordances and constraints of explicit STEM preparation for elementary teachers. *School Science and Mathematics*, 116(6), 300-309. <https://doi.org/10.1111/ssm.12185>
- Rockland, R., Bloom, D. S., Carpinelli, J., Burr-Alexander, L., Hirsch, L. S., & Kimmel, H. (2010). Advancing the “E” in K-12 STEM Education. *Journal of Technology Studies*, 36(1), 53-64. <https://doi.org/10.21061/jots.v36i1.a.7>

- Roco, M. C. (2001). From vision to the implementation of the US National Nanotechnology Initiative. *Journal of Nanoparticle Research*, 3, 5-11. <https://doi.org/10.1023/b:nano.0000023243.25838.73>
- 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>
- Roehrig, G. H., Dare, E. A., Ellis, J. A., & Ring-Whalen, E. (2021). Beyond the basics: a detailed conceptual framework of integrated STEM. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 3(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00041-y>
- Rothmund, P. W. (2006). Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns. *Nature*, 440(7082), 297-302. <https://doi.org/10.1038/nature04586>
- Ryu, M., Mentzer, N., & Knobloch, N. (2019). Preservice teachers' experiences of STEM integration: Challenges and implications for integrated STEM teacher preparation. *International journal of technology and design education*, 29, 493-512. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9440-9>
- 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>
- Sanders, M. (2009). Integrative STEM education: primer. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Šapkova, A. (2014). System of mathematics teachers' beliefs about effective teaching/learning and practice as a complex adaptive system. *Journal of Studies in Education*, 4(3), 15-31. <https://doi.org/10.5296/jse.v4i3.5119>
- Saxton, E., Burns, R., Holveck, S., Kelley, S., Prince, D., Rigelman, N., & Skinner, E. A. (2014). A common measurement system for K-12 STEM education: Adopting an educational evaluation methodology that elevates theoretical foundations and systems thinking. *Studies in Educational Evaluation*, 40, 18-35. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2013.11.005>
- Sgouros, G., & Stavrou, D. (2019). Teachers' professional development in Nanoscience and nanotechnology in the context of a Community of Learners. *International Journal of Science Education*, 41(15), 2070-2093. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1659521>
- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23. <https://doi.org/10.1039/c3rp00111c>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189x015002004>
- Stammes, H., Henze, I., Barendsen, E., & de Vries, M. (2020). Bringing design practices to chemistry classrooms: studying teachers' pedagogical ideas in the context of a professional



- learning community. *International Journal of Science Education*, 42(4), 526-546. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1717015>
- Star, S. L. (1989). The structure of ill-structured solutions: Boundary objects and heterogeneous distributed problem solving. In L. Gasser & M. N. Huhns (Eds.), *Distributed artificial intelligence* (pp. 37-54). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/b978-1-55860-092-8.50006-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.
- Stavrou, D., Michailidi, E., & Sgouros, G. (2018). Development and dissemination of a teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology in a context of communities of learners. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(4), 1065-1080. <https://doi.org/10.1039/c8rp00088c>
- Stevens, S., Sutherland, L., Schank, P., & Krajcik, J. (2009). The big ideas of nanoscience: a guidebook for secondary teachers. <https://doi.org/10.2505/9781935155072>
- Stohlmann, M., Moore, T. J., & Roehrig, G. H. (2012). Considerations for teaching integrated STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 2(1), 4. <https://doi.org/10.5703/1288284314653>
- Suchman, L. (1994). Working relations of technology production and use. *Computer Supported Cooperative Work*, 2, 21-39. <https://doi.org/10.1007/bf01305839>
- Tal, R. T., Dori, Y. J., & Keiny, S. (2001). Assessing conceptual change of teachers involved in STES education and curriculum development-the STEMS project approach. *International Journal of Science Education*, 23(3), 247-262. <https://doi.org/10.1080/095006901750066501>
- Thompson, J. J., Hagenah, S., McDonald, S., & Barchenger, C. (2019). Toward a practice-based theory for how professional learning communities engage in the improvement of tools and practices for scientific modeling. *Science Education*, 103(6), 1423-1455. <https://doi.org/10.1002/sce.21547>
- Toma, R. B., & Greca, I. M. (2018). The effect of integrative STEM instruction on elementary students' attitudes toward science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1383-1395. <https://doi.org/10.29333/ejmste/83676>
- Torres-Olave, B., & Bravo González, P. (2021). Facing neoliberalism through dialogic spaces as sites of hope in science education: experiences of two self-organised communities. *Cultural Studies of Science Education*, 16(4), 1047-1067. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10042-y>

- Tzanakis, C., & Thomaidis, Y. (2000). Integrating the Close Historical Development of Mathematics and Physics in Mathematics Education: Some Methodological and Epistemological Remarks. *For the Learning of Mathematics*, 20(1), 44–55. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01370-6>
- Tzanakis, C. (2016, July). Mathematics & physics: an innermost relationship. Didactical implications for their teaching & learning. Retrieved from: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01349231/document>
- United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO) (2017). *Cracking the code: Girls' and women's education in science, technology, engineering and mathematics (STEM)*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000253479>
- Vasquez, J. A., Sneider, C. I., & Comer, M. W. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics* (pp. 58-76). Heinemann.
- Van Dijk, E. M., & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23(6), 885-897. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.05.002>
- Vossen, T. E., Henze, I., Rippe, R. C. A., Van Driel, J. H., & De Vries, M. J. (2018). Attitudes of secondary school students towards doing research and design activities. *International Journal of Science Education*, 40(13), 1629-1652. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1494395>
- Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2007). The impact of technology on the enactment of “inquiry” in a technology enthusiast's sixth grade science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 154-182. <https://doi.org/10.1002/tea.20158>
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2011). From scientific practice to high school science classrooms: Transfer of scientific technologies and realizations of authentic inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1), 37-70. <https://doi.org/10.1002/tea.20393>
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of technology: Implications for design, development, and enactment of technological tools in school science classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(18), 2875-2905. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.698763>
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2018). Technology, Culture, and Values: Implications for Enactment of Technological Tools in Precollege Science Classrooms. In *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education* (pp. 139-165). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_7)
- Wang, C., Fang, T., & Gu, Y. (2020). Learning performance and behavioral patterns of online collaborative learning: Impact of cognitive load and affordances of different

- multimedia. *Computers & Education*, 143, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103683>
- Wang, H. H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 1(2), 2. <https://doi.org/10.5703/1288284314636>
- Warr, M., Mishra, P., & Scragg, B. (2019, March 18). Beyond TPACK: Expanding technology and teacher education to systems and culture. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 2558-2562). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511803932>
- Williams, J. (2011). STEM education: Proceed with caution. *Design and Technology Education: An International Journal*, 16(1).
- Wing, J. M. (2017, October). Computational thinking: What and why. In *Presentation slides from Trippel Helix Conference on Computational Thinking and Digital Competencies in Primary and Secondary Education Stockholm, Sweden*. <https://pdfs.semanticscholar.org/presentation/d20a/a49744877f2bb98d6ad303742be7bd025fcd.pdf> (pp. 1378800312-1580695435).
- Wittmann, E. C. (1995). Mathematics education as a 'design science'. *Educational studies in Mathematics*, 29(4), 355-374. <https://doi.org/10.1007/bf01273911>
- Wong, V., Dillon, J., & King, H. (2016). STEM in England: meanings and motivations in the policy arena. *International Journal of Science Education*, 38(15), 2346-2366. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1242818>
- Wong, M., Quast, G., & Braig, D. (2020). Implementing a Raspberry Pi based Digital Measurement System in Undergraduate Physics Education. *European Journal of Physics Education*, 11(3), 1-16. <https://doi.org/10.20308/ejpe.v11i3.297>
- Wong, W. K., Chen, K. P., & Chang, H. M. (2020). A Comparison of a Virtual Lab and a Microcomputer-Based Lab for Scientific Modelling by College Students. *Journal of Baltic Science Education*, 19(1), 157-173. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.157>
- Yeh, Y. F., Chan, K. K. H., & Hsu, Y. S. (2021). Toward a framework that connects individual TPACK and collective TPACK: A systematic review of TPACK studies investigating teacher collaborative discourse in the learning by design process. *Computers & Education*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104238>
- Yeh, Y. F., & Hsu, Y. S. (2019). Instructional knowledge of STEM: The voices of STEM teachers in Taiwan. In H. S. Hsu & Y. F. Yeh (Eds.), *Asia-Pacific STEM Teaching Practices: From Theoretical Frameworks to Practices*, 51-66. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0768-7_4)

Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6<sup>th</sup> ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.3138/cjpe.30.1.108>

Σιδηρόπουλος, Ε. (2015). *Η απόδοση στα ελληνικά του όρου Engineering*, 10ο Συνέδριο ΕΛΕΤΟ «Ελληνική Γλώσσα και Ορολογία», Αθήνα, 12-14 Νοεμβρίου 2015. Ανακτήθηκε από: [http://www.eleto.gr/download/Conferences/10th%20Conference/Papers-and-speakers/10th\\_11-06-17\\_SidiropoulosErameinondas\\_Paper\\_V02.pdf](http://www.eleto.gr/download/Conferences/10th%20Conference/Papers-and-speakers/10th_11-06-17_SidiropoulosErameinondas_Paper_V02.pdf) (21 Αυγούστου 2018)

Σκουμπορδή, Χ. & Σκουμιός, Μ. (2016, Οκτώβρης 14-16). *Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις*; Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες, Ρόδος.

Τσιώλης, Γ. (2015). *Ανάλυση ποιοτικών δεδομένων: διλήμματα, δυνατότητες, διαδικασίες. Ερευνητική Μεθοδολογία στις Κοινωνικές Επιστήμες και στην Εκπαίδευση. Συμβολή στην επιστημολογική θεωρία και την ερευνητική πράξη*, 473-498.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π1

### Αρχικό ερωτηματολόγιο



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



Εκπαιδευτική δράση  
«Σύγχρονα Ζητήματα Επιστήμης και Τεχνολογίας»  
Ομάδα Β/θμιας Εκπαίδευσης  
ακαδ. έτος 2019/20

#### 1<sup>η</sup> εξ αποστάσεως Συνάντηση: Ερωτήματα

Όνοματεπώνυμο:.....

Παρακαλώ απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις και αποστείλατε στο [edthe@edc.uoc.gr](mailto:edthe@edc.uoc.gr) το παρόν έγγραφο έως την Παρασκευή 17/1/2020. Ευχαριστούμε!

Με βάση τις εννιά μεγάλες ιδέες της ΝανοΕπιστήμης/ΝανοΤεχνολογίας (NET), ποιες έννοιες/φαινόμενα ή/και εφαρμογές της NET θα επιλέγατε να υλοποιήσετε σε μια STEM διδασκαλία; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

.....  
.....  
.....  
.....

Περιγράψτε σε γενικές γραμμές με ποιον τρόπο θα δομούσατε μια διδασκαλία STEM με βάση την παραπάνω επιλογή σας σε σχέση με τις έννοιες/φαινόμενα ή/και εφαρμογές που θα επιλέγατε. Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π2

### Σχέδιο Διδασκαλίας

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



Εκπαιδευτική δράση  
«Σύγχρονα Ζητήματα Επιστήμης και Τεχνολογίας»  
Ομάδα Β/θμιας Εκπαίδευσης  
ακαδ. έτος 2019/20

### Σχέδιο STEM Διδασκαλίας

Όνομα εκπαιδευτικού:

Τίτλος της διδακτικής ενότητας:	
Σε ποιο/α μάθημα/τα & τάξη/εις (ηλικία) μαθητών θεωρείτε ότι θα ταίριαζε να διδαχθεί αυτή η ενότητα;	
Τι προαπαιτούμενες γνώσεις θεωρείτε ότι χρειάζονται από τον εκπαιδευτικό για να διδάξει την ενότητα;	
Παρακαλώ περιγράψτε αναλυτικά τη διδασκαλία STEM που θα κάνατε.	

Παρακαλώ περιγράψτε τις διδακτικές μεθόδους & τα μέσα που σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε.	
<b>Επιστημονική ανάλυση της ενότητας</b>	
Τι γνώσεις & δεξιότητες Φυσικών Επιστημών θεωρείτε ότι εμπλέκονται στην ενότητα;	
Τι γνώσεις & δεξιότητες Τεχνολογίας θεωρείτε ότι εμπλέκονται στην ενότητα;	
Τι γνώσεις & δεξιότητες Μηχανικής(Engineering) θεωρείτε ότι εμπλέκονται στην ενότητα;	
Τι γνώσεις & δεξιότητες Μαθηματικών θεωρείτε ότι εμπλέκονται στην ενότητα;	
<b>Ανάλυση της STEM Ενοποίησης/Διασύνδεσης της ενότητας</b>	
Υπάρχουν διασυνδέσεις/ενοποίηση μεταξύ των πεδίων στη διδακτική ενότητα; Αν ναι, περιγράψτε ποιες είναι αυτές.	
Υπάρχουν έννοιες/φαινόμενα/εφαρμογές της ενότητας που δεν θα μπορούσαν να διδαχθούν σε μια μονοεπιστημονική προσέγγιση; Ποια είναι αυτά;	

Τι διδακτικές στρατηγικές θα χρησιμοποιούσατε προκειμένου να αναδειχθεί η ενοποίηση/διασύνδεση των πεδίων; (πχ συγκεκριμένες δραστηριότητες, έννοιες-κλειδιά, θέματα κτλ)	
Ποια η διδακτική αξία της ενότητας σε σχέση με κοινωνικές/εκπαιδευτικές/πολιτικές διαστάσεις της καθημερινότητας των μαθητών;	

Παρακαλώ όπως αποστείλετε εμπρόθεσμα μέσω mail στο [edthe@edc.uoc.gr](mailto:edthe@edc.uoc.gr) το συμπληρωμένο σχέδιό σας. Ευχαριστούμε.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π3

### Συνέντευξη Αναστοχασμού



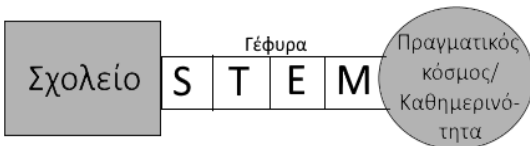
Εργαστήριο Διδακτικής Θετικών Επιστημών,  
Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Εκπαιδευτική Δράση: Σύγχρονα Ζητήματα Επιστήμης και  
Τεχνολογίας  
Ομάδα: Βθμια  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ STEM



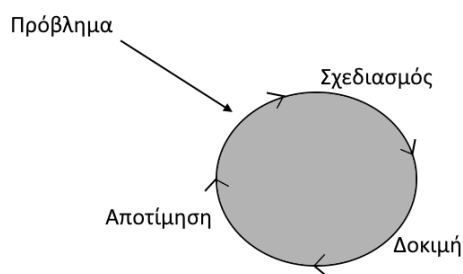
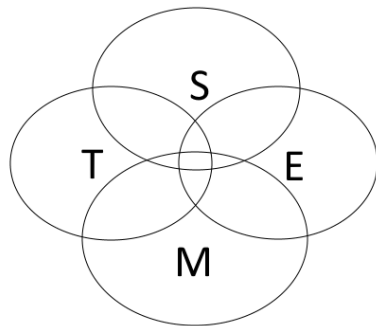
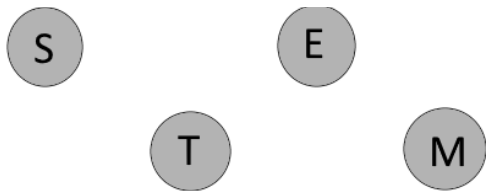
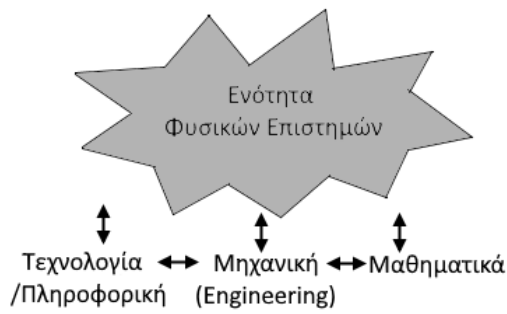
- ❖ Πόσα χρόνια προϋπηρεσίας έχετε στην εκπαίδευση;  
.....
- ❖ Ποιες δυνατότητες αναγνωρίζετε στην STEM διδακτική προσέγγιση;  
.....
- ❖ Ποιες δυσκολίες συναντήσατε κατά τα στάδια υλοποίησης της STEM διδακτικής προσέγγισης;  
(δηλ. α) σχεδιασμός τεχνουργήματος β) κατασκευή τεχνουργήματος, γ) διαμόρφωση σχεδίου STEM διδασκαλίας);  
.....
- ❖ Ποια από τα παρακάτω μοντέλα εκπαιδευτικών Φυσικών Επιστημών για την Εκπαίδευση STEM (Ring κ.ά. 2017) θεωρείτε ότι περιγράφει με τον καλύτερο τρόπο την αντίληψή σας για την Εκπαίδευση STEM;

# STEM

παιδαγωγικών πρακτικών Μηχανικής(Engineering)



1. Παραδοσιακά μοντέλα στα οποία οι Φυσικές Επιστήμες και/ή τα Μαθηματικά διδάσκονται σε ξεχωριστά μαθήματα με μικρή έμφαση στον ρόλο της Τεχνολογίας/Πληροφορικής και των παιδαγωγικών πρακτικών Μηχανικής(Engineering)
2. Μοντέλα που αναπαριστούν την Εκπαίδευση STEM να εστιάζει στη διασύνδεση μεταξύ σχολείου και του πραγματικού κόσμου, με το να παρέχει πλαίσια που κάνουν το STEM περιεχόμενο σχετικό με την καθημερινότητα των παιδιών.



3. Μοντέλα που αναπαριστούν την Εκπαίδευση STEM ως τη διδασκαλία επιστημονικών εννοιών (Φυσικών Επιστημών) ενώ ανακαλούνται η Τεχνολογία/Πληροφορική, η Μηχανική (Engineering) και τα Μαθηματικά, όταν απαιτείται.

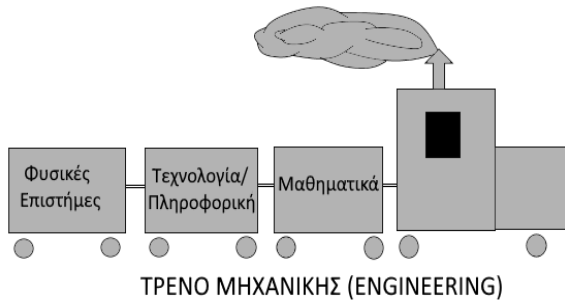
4. Μοντέλα που απεικονίζουν μεμονωμένα πεδία, τα οποία περιλαμβάνουν άλλα πεδία έχοντας υποστηρικτικό ρόλο, αλλά δεν διασυνδέουν μεταξύ τους τα πεδία νοηματικά/με ουσιώδη τρόπο.

5. Μοντέλα που έχουν στοιχεία στα οποία αναπαριστούν τη συμβολή των διδασκαλιών Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας/Πληροφορικής, Μηχανικής, Μαθηματικών.

6. Μοντέλα που εστιάζουν στην αναδρομική διαδικασία/έλικα του Μηχανικού (Engineering) σχεδιασμού ως τη διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές μαθαίνουν έννοιες Φυσικών Επιστημών και Μαθηματικών με τη χρήση Τεχνολογίας/Πληροφορικής.



7. Μοντέλα που τοποθετούν ίση έμφαση στη διδασκαλία εννοιών Φυσικών Επιστημών και διαδικασίας/έλικας Μηχανικού (Engineering) σχεδιασμού, με το να χρησιμοποιούν την Τεχνολογία/Πληροφορική ή Μαθηματικές έννοιες όπου χρειάζεται.



8. Μοντέλα που αναπαριστούν μια έμφαση στη Μηχανική (Engineering), όπου ανακαλούνται οι Φυσικές Επιστήμες, Τεχνολογία/Πληροφορική, Μαθηματικά όπως χρειάζεται.

Αν δεν σας εκφράζει ιδιαίτερα κάποιο από τα παραπάνω, παρακαλούμε σχεδιάστε μια δική σας οπτική αναπαράσταση ενός μοντέλου σχετικά με το πώς αντιλαμβάνεστε εσείς την Εκπαίδευση STEM.

A large, empty rounded rectangle with a black border, intended for the student to draw their own STEM education model.

Εξηγήστε (λεκτικώς) πώς αντιλαμβάνεστε την Εκπαίδευση STEM.

.....

Τι εμπειρίες/προσλαμβάνουσες (πχ από τη συμμετοχή σας στην παρούσα εκπαιδευτική δράση ή αλλού) επηρέασαν το μοντέλο που περιγράψατε/σχεδιάσατε;

.....

❖ Ιεραρχήστε (με φθίνουσα σειρά) το τι ειδικότητας εκπαιδευτικό (ΦΕ-Τ-Μηχ-Μαθ) θα επιλέγατε για συνεργασία σε μια διδασκαλία STEM. Αιτιολογήστε τις επιλογές σας.

.....

❖ Ποια η γνώμη σας για την ενσωμάτωση σύγχρονων αντικειμένων, όπως η ΝανοΕπιστήμη-ΝανοΤεχνολογία στην σχολική Εκπαίδευση STEM;

.....

❖ Είχατε εφαρμόσει STEM διδακτικές προσεγγίσεις στο παρελθόν;

.....

❖ Θα επιλέγατε γενικότερα να εφαρμόσετε STEM διδακτικές προσεγγίσεις στο μέλλον;

.....

❖ Λοιπά σχόλια;

.....

Ευχαριστούμε πολύ για τη συνεργασία

## ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

### Άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά

Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (resubmitted after completing minor revisions). Designing technology-enhanced science experiments in elementary teacher preparation: The role of learning communities. *Research in Science and Technological Education*.

### Κεφάλαια σε βιβλία

Nipyrakis, A., Stavrou, D. (2022). Integration of ICT in Science Education Laboratories by Primary Student Teachers. In: S. Papadakis, M. Kalogiannakis (Eds) *STEM, Robotics, Mobile Apps in Early Childhood and Primary Education*. Lecture Notes in Educational Technology. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-0568-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0568-1_4)

### Παρουσιάσεις σε συνέδρια – Προφορικές ανακοινώσεις

Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2023, August 28-September 1, submitted). *In-service Teachers' Collaborative STEM Design Practices*. European Science Education Research Association (ESERA) Conference, Cappadocia.

Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2023, April 18-21, accepted). *Integrated STEM Design and Implementation: A case with In-service Teachers*. National Association for Research in Science Teaching (NARST), Chicago.

Νιπυράκης, Α., & Σταύρου, Δ. (2021, Μάιος 14-16): *Η ενσωμάτωση Μικροϋπολογιστικών Συστημάτων στην Εργαστηριακή Εκπαίδευση από μελλοντικούς εκπαιδευτικούς Α/θμιας Εκπαίδευσης*. Πρακτικά 12<sup>ο</sup> Πανελληνίου & Διεθνούς Συνεδρίου ΤΠΕ στην Εκπαίδευση, Φλώρινα (διαδικτυακά).

Nipyraakis, A., Kokolaki, A., Stavrou, D. (2020, July 10-12) “*IDENTITIES*” project: *Novel Teaching Approaches to Interdisciplinarity for STEM Challenges*. 6<sup>th</sup> International Scientific Conference of the Institute of Humanities and Social Sciences, Heraklion.

Nipyraakis, A., & Stavrou, D. (2019, August 26-30) *Collaborating Primary Student Teachers in Designing Experiments with the Use of ICT*. European Science Education Research Association (ESERA) Conference, Bologna.

Νιπυράκης, Α., & Σταύρου, Δ. (2019, Απρίλιος 19-21): *Παραγωγή Διδακτικού Υλικού σε Εργαστήρια με Μικροϋπολογιστικά Συστήματα από Μελλοντικούς Εκπαιδευτικούς Α/θμιας Εκπαίδευσης*. Πρακτικά 11ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Φλώρινα.

### **Παρουσιάσεις σε συνέδρια – Συμπόσια**

Nipyraakis, A., & Branchetti, L. (2023, August 28-September 1, submitted). Epistemological Issues in Interdisciplinary Teacher Education: Curricular Topics and Emerging Fields. In Barelli, E. (Chairs). *Balancing Disciplinary and Interdisciplinary Competences: Theoretical and Empirical Results of the Design of Modules for Teacher Education* [Symposium]. ESERA Conference, Cappadocia.

Νιπυράκης, Α. & Σταύρου, Δ. (2021, Νοέμβρης 19-21): *Σχεδιασμός & ανάπτυξη STEM διδακτικού υλικού από εν ενεργεία εκπαιδευτικούς Βθμιας Εκπαίδευσης*. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα.

Barelli, E., Barquero, B., Romero, O., Aguada, M.R., Giménez, J., Pipitone, C., Sala-Sebastià, G., Nipyraakis, A., Kokolaki, A., Metaxas, I., Michailidi, E., Stavrou, D., Bartzia, E., Lodi, M., Sbaraglia, M., Modeste, S., Martini, S., Durand-Guerrier, V., Satanassi, S., Fantini, P., Bagagliani, V., Kapon, S., Branchetti, L., & Levrini, O. (2022, August 30-September 3). Disciplinary identities

in interdisciplinary topics: challenges and opportunities for teacher education. Submitted to *European Science Education Research Association (ESERA) 2021 Electronic Proceedings*.

### **Παρουσιάσεις σε συνέδρια – Workshops**

Michailidi, E., McLoughlin, E., Nipyrakis, A., Kokolaki, A., Friege, G., Reiska, P., & Stavrou, D. (2023, August 28-September 1, submitted). *Digital Teaching Scenarios on Advanced STEM Topics for Higher Education*. ESERA Conference, Cappadocia.

### **Παρουσιάσεις σε συνέδρια – Αναρτημένες ανακοινώσεις**

Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2023, April 18-21, accepted). *Interdisciplinary Pre-service Teacher Training*. [Poster presentation]. National Association for Research in Science Teaching (NARST), Chicago.

Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2022, March 27-30) *In-Service Teachers' Views about STEM Integration: A case study*. [Poster presentation]. National Association for Research in Science Teaching (NARST), Vancouver.

Νιπυράκης, Α., Κοκολάκη, Α., Μιχαϊλίδη, Ε., Γιαννακουδάκη, Κ., Μεταξάς, Γ., Καπελώνης, Ν., Δημητριάδη, Κ., Σταύρου, Δ. (2021, Νοέμβριος 19-21) *Η διεπιστημονική STEM προσέγγιση στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση: Το πρόγραμμα IDENTITIES*. [Poster presentation]. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα.

### **Παρουσιάσεις σε συνέδρια – Εργασίες εφαρμογής**

Νιπυράκης, Α. & Σταύρου, Δ. (2021, November 19-21): *Σχεδιασμός και ανάπτυξη STEM διδασκαλιών στο αντικείμενο της Νανοεπιστήμης-Νανοτεχνολογίας*. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα.

### **Παρουσιάσεις σε θερινά σχολεία**

Νιπυράκης, Α. & Σταύρου, Δ. (2020, Αύγουστος 27-29) *Προσεγγίσεις Εν Ενεργεία Εκπαιδευτικών Β/θμιας Εκπαίδευσης κατά τον Σχεδιασμό & Ανάπτυξη STEM Διδασκαλιών σε Πλαίσιο Κοινότητας Μάθησης*. Πρακτικά 3ου Συνεδρίου Νέων Ερευνητών για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Θεσσαλονίκη (διαδικτυακά).

Nipyrakis, A. & Stavrou, D. (2020, June 28-July 4) *S-T-E-M Secondary In-Service Teacher Collaboration in Developing Integrated STEM Teaching*. ESERA Virtual Doctoral Network, Oxford.

### **Άλλα**

Levrini, O., Barelli, E., Barquero, B., Pipitone, C., Romero, O., Aguada Berteà, M. R., Sala Sebastià, G., Giménez, J., Miani, L., Tasquier, G. Nipyrakis, A., Metaxas, I., Bitsaki, C., Kokolaki, A., Michailidi, E., & Stavrou, D. (2023). *Teaching modules on emergent interdisciplinarity in advanced STEM topics*. <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO2.pdf>

Barquero, B., Pipitone, C., Aguada-Berteà, M. R., Bosch, M., Romero, O., Sala-Sebastià, G., Giménez, J., Barelli, E., Levrini, O., Miani, L., Satanassi, S., Branchetti, L., Metaxas, I., Bitsaki, C., Nipyrakis, A., Kokolaki, A., Michailidi, E., Stavrou, D., & Durand-Guerrier, V. (2023) *Guidelines to design and implement modules on curricular interdisciplinarity and STEM emerging interdisciplinarity in pre-service teacher education*. <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO4.pdf>



Nipyrakis, A., Kokolaki, A., Michailidi, E., Levrini, O., Branchetti, L., Barquero, B., Durand-Guerrier, V., & Stavrou, D. (2023). *Recommendations for policymakers to promote interdisciplinarity and innovate prospective teacher education for STEM challenges*. <https://identitiesproject.eu/wp-content/uploads/2022/12/IDENTITIESO6.pdf>

McLoughlin, E., Friege, G., Nipyrakis, A., Reiska, P., Stavrou, D. (2022, July 4-8) *STEM Digitalis project: STEM Digital Distance Learning in University Teaching* [Poster presentation]. Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique (GIREP). Ljubljana.

Καπελώνης, Ν., Νιτυράκης, Α., Σταύρου, Δ. (2022, Σεπτέμβριος 22-24) *STEM Εκπαίδευση στο Πλαίσιο των Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων “IDENTITIES”, “STEM-DIGITALIS” & “DIGITAL STEM LABS”*. 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Scientix για την Εκπαίδευση STEM, Αθήνα.

Κοκολάκη, Α., Νιτυράκης, Α., Μιχαηλίδη, Ε., Μποτζάκη, Ε., Κενδριστάκη, Μ., Δρακουλάκη, Ε., Καπελώνης, Ν., Σταύρου, Δ. (2021, Νοέμβριος 19-21). *Ανάπτυξη ψηφιακών περιβαλλόντων μάθησης για την εκπαίδευση φοιτητών σε σύγχρονα επιστημονικά αντικείμενα: Το πρόγραμμα STEM – DIGITALIS*. Πρακτικά 12ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής αυτής, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω, μεταξύ άλλων, τους παρακάτω:

Αρχικά να αποδώσω τις θερμές μου ευχαριστίες στους/ις συμμετέχοντες/ουσες 26 εκπαιδευτικούς που συνέβαλλαν στην διεξαγωγή αυτής της έρευνας, μοιράστηκαν τις γνώσεις και ικανότητες, τις αντιλήψεις και τις απόψεις τους. Είσαι σαφές ότι όχι μόνο δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η παρούσα έρευνα χωρίς αυτούς/ές, αλλά και ότι ως ερευνητές μάθαμε και συνεχίζουμε να μαθαίνουμε –ως άλλοι μαθητές– από εκπαιδευτικούς-πρότυπα αλλά και ανθρώπους σαν και αυτούς/ές. Ιδιαίτερος ευχαριστώ στο ΠΕΚΕΣ Κρήτης και στους συντονιστές Δ(δ)ρα Γκινούδη Αθηνά και Δρ. Πανσεληνά Γεώργιο για την βοήθειά τους στη διοργάνωση της δράσης.

Ευχαριστώ πολύ την τοπική κοινωνία του Ρεθύμνου, τους ανθρώπους, φίλους και τις πολιτιστικές της ομάδες που με καλωσόρισαν και περάσαμε όμορφα χρόνια μαζί. Στο πλαίσιο αυτό ευχαριστώ τις θεατρικές ομάδες ‘Σβούρα’ του Γιάννη Πανταγιά, ‘Από-δραση’ του Απόστολου Κουγιτάκη και την θεατρική ομάδα Μητροπόλεως του Γιώργη Καλογεράκη. Χωρίς να ήταν αρχικός σκοπός αλλά και ούτε αυτοσκοπός, αλλά εν τέλει συνετέλεσαν σημαντικά στην ερευνητική μου πορεία.

Ευχαριστώ πολύ την ερευνητική ομάδα συναδέλφων του Εργαστηρίου Διδακτικής Θετικών Επιστημών που μοιραστήκαμε όχι μόνο τις εργασίες, αλλά και τις ωραίες και άσχημες στιγμές, την υπευθυνότητα, αλλά και ‘εμπορευτήκαμε’ ιδέες και θεωρίες στον ‘κόσμο των ιδεών’. Ευχαριστώ την Αθανασία, Δημήτρη, Έμιλυ, Κέλλυ, Γιάννη Σ., Νίκο, Βασίλη, Μιχάλη, Μανώλη, Γεωργία, Μαρία Μ., Πέτρο, Γιάννη Μ., Μαρία Κ., Ελένη, Ελευθερία, Ιωάννα Τσ., Χρυσούλα, Χαρά, Ιωάννα Β., Έλλη, Μάρκο, Lorenzo, Sara, κ.ά. Ιδιαίτερος, βέβαια, ευχαριστώ θερμά την Αθανασία και την Έμιλυ που ήμαστε μαζί όλα αυτά τα 7,5 χρόνια. Επίσης, ευχαριστώ τους ερευνητές/τριες, συναδέλφους και φίλους/ες που γνωριστήκαμε σε άλλες επιστημονικές δραστηριότητες, όπως ευρωπαϊκά προγράμματα, συνέδρια, κοινότητες, κτλ.

Παράλληλα να ευχαριστήσω το Παιδαγωγικό Τμήμα, το διδακτικό αλλά και το διδασκόμενο προσωπικό, καθότι υπήρξε ένα ευχάριστο και δημιουργικό περιβάλλον ‘διασυνοριακής μετάβασης’ στην επαγγελματική μου σταδιοδρομία. Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της 7μελούς επιτροπής για την αποδοχή του να συμμετάσχουν στην διαδικασία υποστήριξης της διατριβής μου. Ειδικότερα ευχαριστώ τα συνεπιβλέποντα μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, καθότι δεν υπήρξαν

απλοί παρατηρητές ή παθητικοί συνεργάτες στα χρόνια μου ως διδακτορικός φοιτητής. Συγκεκριμένα, είμαι ιδιαίτερα τυχερός που τόσο ο κ. Τζανάκης με τη σημαντικότερη συνεισφορά του στα πλαίσια του προγράμματος Identities, όσο και ο κ. Καλογιαννάκης με την πρόσκλησή του να υποβάλλουμε και να δημοσιεύσουμε ένα κεφάλαιο στο πρόσφατα δημοσιευμένο βιβλίο τους, συνέβαλλαν ουσιαστικά στην επαγγελματική μου εξέλιξη, πέρα από την προηγούμενη συνεπίβλεψη της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Για την συν-επιβλέπουσά μου στο Πανεπιστήμιο του Groningen, κα. Lucy Αβρααμίδου, –χάριν συμμετρίας με την αντίστοιχη διατριβή μου στο Ολλανδικό πανεπιστήμιο– θα πω λακωνικά ένα μεγάλο ευχαριστώ και ότι αισθάνομαι πολύ τυχερός που βίωσα την καθοδήγησή της και το παράδειγμά της ως μια συνομήλικη πετυχημένη ερευνήτρια και άνθρωπος.

Ο κ. Σταύρου υπήρξε καταλυτικός παράγοντας που επέδρασε θετικά και σημαντικά σε σημαντικές αλλαγές όχι μόνο στον επαγγελματική μου πορεία αλλά και στη ζωή μου γενικότερα. Οι γνώσεις, η καθοδήγηση, αλλά και οι ερευνητικές & εκπαιδευτικές εμπειρίες που μας παρείχε με βοήθησαν να αναπτύξω την ιδιότητα του ερευνητή, κάτι που δεν περίμενα αλλά και δεν γνώριζα προηγουμένως. Και αυτό δεν έγινε καθόλου διεκπεραιωτικά, αλλά μέσα από πολυδιάστατες εμπειρίες, ενώ παράλληλα κληρονομήσαμε θεωρίες και ερευνητικές πρακτικές προερχόμενες από μιας εκ των άλλοτε καλύτερων ερευνητικών ομάδων της Ευρώπης, του R. Duit, όπου συμμετείχε. Τον ευχαριστώ θερμά για τη σημαντική και συνεχή βοήθειά του, καθότι η πόρτα του ήταν πάντοτε συνεχώς ανοιχτή για εμένα αλλά και για όλους μας, ενώ ταυτόχρονα μου άνοιξε την πόρτα σε διεθνείς ερευνητικές κοινότητες και δράσεις. Ευχαριστώ που όλα αυτά έγιναν μέσα από μια καθημερινή και ατέρμονη αλληλεπίδραση όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους γονείς μου για όλα. Δοξάζω τῷ Θεῷ, όλα πήγαν καλά.

