

STEAM: Από το Σχολείο στην Κοινωνία

Ηλιάνα Γιαννούση¹, Καλλιόπη-Τσαμπίκα Κασταμούλα², Σεβαστή-Χριστίνα Πουλή¹
iliana.giannousi@gmail.com, kalliakasta25@gmail.com, poulisevi@gmail.com

¹Γυμνάσιο και Λυκειακές Τάξεις Γενναδίου Ρόδου

²2ο Δημοτικό Σχολείο Καλυθιών Ρόδου

Περίληψη

Το άρθρο αναδεικνύει τη σημασία της μεθοδολογίας STEAM ως μιας ολιστικής και διεπιστημονικής προσέγγισης που ενισχύει την ολοκληρωμένη εκπαιδευτική διαδικασία, τη δημιουργικότητα και τη σύνδεση της γνώσης με την πραγματική ζωή. Η παραδοσιακή διδασκαλία χαρακτηρίζεται από αποσπασματικότητα και έλλειψη εφαρμογής, γεγονός που περιορίζει την ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων. Η προσέγγιση STEAM προτείνεται ως εναλλακτικό μοντέλο που συνδυάζει θεωρία με πράξη, ενσωματώνοντας τις τέχνες, τις ανθρωπιστικές επιστήμες και τη μέθοδο Design Thinking στην πληροφορική, τις θετικές επιστήμες και το Νέο Πρόγραμμα Σπουδών της Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Στόχος η καλλιέργεια δημιουργικής και κριτικής σκέψης, συνεργασίας και αυτονομίας. Τονίζεται η ανάγκη εκπαιδευτικής μεταρρύθμισης, ειδικά στο ελληνικό πλαίσιο, όπου η διαθεματική προσέγγιση μπορεί να γεφυρώσει το χάσμα ανάμεσα στη σχολική γνώση και τις κοινωνικές ανάγκες. Επιχειρείται να αναδειχθεί αυτή η δυναμική μέσα από την παρουσίαση καινοτόμου διδακτικής πρότασης που υλοποιήθηκε κατά το σχολικό έτος 2024-2025. Η πρόταση αξιοποιεί σύγχρονες παιδαγωγικές πρακτικές εντός διαθεματικού πλαισίου, ενθαρρύνοντας τους μαθητές να αναλάβουν ενεργό ρόλο στην αναγνώριση και επίλυση προβλημάτων σχετικά με την προστασία των ωκεανών, με ιδιαίτερη έμφαση στις τοπικές κοινωνικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις τους.

Λέξεις κλειδιά: Design Thinking, STEAM, διαθεματικότητα, νέο ΠΣ

Εισαγωγή

Η παραδοσιακή εκπαίδευση, σύμφωνα με τους Brooks και Brooks (1993), συχνά περιορίζεται στην απομνημόνευση, στερώντας από τους μαθητές την ευκαιρία να κατανοήσουν ουσιαστικά τις γνώσεις. Η ουσιαστική μάθηση επιτυγχάνεται όταν οι μαθητές συνδέουν τις νέες πληροφορίες με τις εμπειρίες τους μέσα σε ρεαλιστικά πλαίσια (Hirst, 1974). Ωστόσο, η απομονωμένη διδασκαλία δυσκολεύει αυτή τη σύνδεση με την καθημερινότητα (Asghar et al., 2012). Η προσέγγιση STEAM, που ενσωματώνει επιστήμες, τεχνολογία, μηχανική, μαθηματικά και τέχνες, προτείνεται ως ένα ολοκληρωμένο εκπαιδευτικό μοντέλο που προάγει την ενεργή συμμετοχή και τη δημιουργική επίλυση προβλημάτων (Radloff & Guzey, 2016). Η εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες και τα μαθηματικά συχνά στερείται ενεργής εμπλοκής των μαθητών, οδηγώντας σε αποσπασματική γνώση και αδυναμία εφαρμογής της στην πραγματικότητα (Shernoff et al., 2017). Αυτό περιορίζει την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και την κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου (Rissanen, 2014). Στο πλαίσιο των παγκόσμιων προκλήσεων και των τεχνολογικών εξελίξεων, καθίσταται αναγκαία μια εκπαιδευτική μεταρρύθμιση (Moye et al., 2014). Η ενσωμάτωση του STEAM ενισχύει τις διεπιστημονικές δεξιότητες και προάγει την αυτονομία και τη συνεργασία των μαθητών (Roehrig et al., 2012).

Η σημασία της STEM εκπαίδευσης ενισχύεται από παγκόσμιες ανάγκες όπως η βιωσιμότητα, οι οικονομικές κρίσεις και τα περιβαλλοντικά προβλήματα (Shernoff et al., 2017). Μέσα από διεπιστημονική προσέγγιση και εφαρμογή της θεωρίας στην πράξη, οι μαθητές μαθαίνουν να σκέφτονται και να δρουν ως επιστήμονες, αναπτύσσοντας κρίση, δημιουργικότητα και δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων (Asghar et al., 2012· Brooks & Brooks, 1993· Rissanen, 2014).

Η εκπαίδευση STEM και STEAM: Από τη διεπιστημονικότητα στην ολιστική μάθηση

Η έννοια της εκπαίδευσης STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) παραμένει ανοιχτή σε πολλαπλές ερμηνείες, καθώς η επιστημονική κοινότητα δεν έχει καταλήξει σε έναν ενιαίο και απολύτως αποδεκτό ορισμό. Παρά τις διαφοροποιήσεις, κοινός τόπος αποτελεί η αντίληψη του STEM ως μιας διεπιστημονικής προσέγγισης που ενοποιεί τη θεωρία με την πράξη, με στόχο την επίλυση αυθεντικών καθημερινών προβλημάτων. Οι Johnson (2013), Kennedy και Odell (2014) και Shernoff et al. (2017) τόνισαν τη σημασία της διδακτικής διάστασης, της άρσης των διαχωριστικών γραμμών μεταξύ των επιστημονικών πεδίων και της καλλιέργειας δεξιοτήτων του 21ου αιώνα μέσω της μαθητοκεντρικής μάθησης.

Η ενσωμάτωση των ανθρωπιστικών και καλλιτεχνικών επιστημών στο αρχικό μοντέλο STEM έχει οδηγήσει στη διαμόρφωση του STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics), αναγνωρίζοντας την αναγκαιότητα μιας ολιστικότερης εκπαιδευτικής προσέγγισης. Η δημιουργικότητα, η αισθητική καλλιέργεια, η προσωπική έκφραση, αλλά και η ανάπτυξη κοινωνικών και συναισθηματικών δεξιοτήτων καθίστανται αναπόσπαστα στοιχεία της μαθησιακής διαδικασίας (Katz-Buonincontro, 2018· Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Η διεπιστημονικότητα, θεμέλιο τόσο του STEM όσο και του STEAM, ενισχύει τη σύνθεση γνώσεων από διαφορετικά πεδία, προωθώντας μια ενιαία, λειτουργική αντίληψη της γνώσης.

Ειδικά στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για την υιοθέτηση της προσέγγισης STEAM σε όλες τις βαθμίδες. Η σύνδεση Φυσικών Επιστημών και Τεχνών λειτουργεί ως καταλύτης για την ανάπτυξη δεξιοτήτων ζωής, όπως η δημιουργικότητα, η κριτική σκέψη και η συνεργατικότητα. Σύμφωνα με τους Kim & Kim (2016), τα οφέλη της STEAM εκπαίδευσης εκτείνονται σε γνωστικό, κοινωνικό, συναισθηματικό και προσωπικό επίπεδο, επιβεβαιώνοντας τη συμβολή της στην προετοιμασία των μαθητών για την πολύπλοκη και διασυνδεδεμένη κοινωνία του μέλλοντος.

Το STEM και STEAM έχουν κοινή βάση και εστιάζουν στην καινοτομία και τη δημιουργικότητα. Οι Gavrilas και Kotsis (2025) αναφέρουν πως η εξέλιξη του STEM σε STEAM αντικατοπτρίζει μια συνεχόμενη προσπάθεια για καλλιέργεια επιδέξιων, δημιουργικών, σκεπτόμενων και κοινωνικά συνειδητοποιημένων μαθητών. Η αρχική εστίαση του STEM στην επίλυση προβλημάτων με λογική σκέψη, επιστημονικές και μαθηματικές αρχές, εμπλουτίστηκε από την καλλιτεχνική προσέγγιση που παρέχει το STEAM, παρέχοντας μια πιο ολιστική προσέγγιση στη μάθηση. Η Lillis (2024) αναφέρει πως STEM και Τέχνη (ART) συνδέονται σε πολλά σημεία. Η ανάλυση, η σύνθεση, η προσεκτική παρατήρηση, η πρωτοτυπία και η καινοτομία είναι δομικά στοιχεία τόσο του STEM όσο και του STEAM. Η μαθησιακή διαδικασία, στο πλαίσιο αυτό, ενσωματώνει τη συμβολή όλων των επιστημονικών και καλλιτεχνικών πεδίων στη διαμόρφωση λειτουργικών, εφαρμόσιμων λύσεων, με άξονα την κατανόηση της ανθρώπινης εμπειρίας.

Η μηχανική κατέχει κεντρική θέση στο STEAM, τόσο ως γνωστικό αντικείμενο, αλλά και ως μεθοδολογική προσέγγιση. Η επίλυση αυθεντικών προβλημάτων μέσω του σχεδιασμού και της κατασκευής προσεγγίζει βιωματικά τη μάθηση και ενισχύει τη διασύνδεση θεωρίας και πράξης (Guzey, Harwell & Moore, 2014· Shernoff et al., 2017). Η εκπαίδευση στη μηχανική, σύμφωνα με το NRC (2012), συμβάλλει στην ανάπτυξη της μηχανικής σκέψης, της κριτικής ανάλυσης και των επικοινωνιακών δεξιοτήτων, καθιστώντας τους μαθητές ικανούς να ανταποκριθούν στις προκλήσεις του πραγματικού κόσμου (Asghar et al., 2012· Roehrig et al., 2012).

Στενά συνδεδεμένος με τη μηχανική είναι ο προγραμματισμός, ο οποίος ενισχύει τη λογική, την υπολογιστική σκέψη και τη συστηματική επίλυση προβλημάτων. Η συμβολή του προγραμματισμού στην εκπαίδευση, ήδη από τις θεωρίες του Papert (1980), αναγνωρίζεται ως θεμελιώδης για την κατανόηση μαθηματικών και επιστημονικών εννοιών, καθώς και για την ανάπτυξη της δημιουργικότητας μέσω δραστηριοτήτων όπως η κατασκευή ψηφιακών παιχνιδιών. Η υπολογιστική σκέψη, όπως ορίζεται από τη Wing (2011), περιλαμβάνει τη σχεδίαση και ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων, εντός πλαισίων, και συνδέεται με τη βαθύτερη κατανόηση της τεχνητής νοημοσύνης, της πληροφορικής και της ανθρώπινης συμπεριφοράς.

Η Τεχνολογία, τέλος, συνιστά έναν από τους βασικότερους άξονες του STEAM, καθώς αποτελεί το όχημα μέσω του οποίου οι μαθητές έρχονται σε επαφή με σύγχρονα εργαλεία, συσκευές και ψηφιακά περιβάλλοντα. Η εκπαιδευτική τεχνολογία ενισχύει όχι μόνο τη μαθησιακή εμπειρία, αλλά και τη δημιουργικότητα των εκπαιδευτικών, παρέχοντας πληθώρα ψηφιακών μέσων που διευκολύνουν τη διεπιστημονική σύνθεση (Miller & Knezek, 2013). Τα πρότυπα NGSS (2013) αναγνωρίζουν την τεχνολογία ως εφαρμογή της Φυσικής και της Μηχανικής, ενώ υπογραμμίζεται ο ρόλος της στην εμβάθυνση της κατανόησης όλων των επιμέρους πεδίων του STEAM (Kennedy & Odell, 2014· Bartholomew, 2015).

Συνοψίζοντας, η μετάβαση από το STEM στο STEAM αντανάκλα μια βαθύτερη μετατόπιση στο πώς αντιλαμβανόμαστε την εκπαίδευση: όχι απλώς ως μεταφορά επιστημονικής γνώσης, αλλά ως ενιαία εμπειρία ανάπτυξης δεξιοτήτων, καλλιέργειας του νου και κατανόησης του κόσμου μέσω της σύνδεσης επιστήμης, τεχνολογίας, τέχνης και ανθρώπινης δημιουργικότητας.

Design Thinking στο σχολείο

Σε ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο κοινωνικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο, η ανάγκη για εκπαιδευτικές μεθόδους που ενισχύουν την ενεργό πολιτειότητα, την κοινωνική ευθύνη και την περιβαλλοντική συνείδηση, καθίσταται επιτακτική. Το STEAM είναι μια διεπιστημονική προσέγγιση που επιτρέπει στους μαθητές να συνδέσουν τη σχολική γνώση με την καθημερινότητα και να επιχειρήσουν να επιλύσουν πραγματικά προβλήματα της τοπικής κοινωνίας. Παράλληλα, ενισχύει τη δημιουργικότητα, την ενσυναίσθηση και τη δυνατότητα έκφρασης κοινωνικών και ηθικών ζητημάτων.

Το STEAM καθίσταται ιδανικό εργαλείο για την προσέγγιση κοινωνικο-οικολογικών θεμάτων στην εκπαίδευση. Μέσα από την ομαδοσυνεργατική μάθηση, τη μεθοδολογία Design Thinking και την προβληματοκεντρική διδασκαλία, οι μαθητές ενθαρρύνονται να εντοπίσουν προβλήματα της περιοχής τους και να σχεδιάσουν βιώσιμες λύσεις όπως θα δούμε παρακάτω.

Η εφαρμογή τέτοιων προσεγγίσεων σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης, ενισχύει την καινοτομία στην πράξη και την προοδευτική οικοδόμηση δεξιοτήτων του 21ου αιώνα. Μέσω της μεθοδολογίας του Design Thinking, οι μαθητές εντοπίζουν προβλήματα, σχεδιάζουν λύσεις και τις υλοποιούν, αναπτύσσοντας δεξιότητες όπως κριτική σκέψη, δημιουργικότητα, συνεργασία και υπευθυνότητα (Razzouk & Shute, 2012), αφού μειώνουν τη μετάβαση από παθητικούς δέκτες γνώσης σε δημιουργικούς αλλά και κοινωνικά υπεύθυνους και ενεργούς πολίτες. Επιλύοντας πραγματικά προβλήματα της τοπικής κοινωνίας, οι μαθητές ενθαρρύνονται να αναπτύξουν ενσυναίσθηση, συνεργατικότητα και ενεργό συμμετοχή στα κοινά (Monkeviciene et al., 2020). Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της οικοπαιδαγωγικής, προάγοντας μια εκπαίδευση που συνδέει τον άνθρωπο με το περιβάλλον και την κοινωνία (Kahn, 2010).

Οι συνεισφορές του STEM/STEAM στην κοινωνία και η ενίσχυση της εκπαιδευτικής διαδικασίας μέσω συνεργατικών δράσεων

Η ενσωμάτωση της προσέγγισης STEM στην εκπαίδευση, αποτελεί βασικό μοχλό για την προώθηση της καινοτομίας, της βιώσιμης ανάπτυξης και της κοινωνικής προόδου. Οι τομείς αυτοί ενισχύουν την καλλιέργεια δεξιοτήτων υψηλής γνωστικής απαίτησης, όπως η επίλυση προβλημάτων, η αναλυτική και κριτική σκέψη, η συνεργασία και η δημιουργικότητα – ικανότητες απαραίτητες για τους ενεργούς πολίτες του 21ου αιώνα. Σε πλήρη ευθυγράμμιση με τις αρχές αυτές, το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών (ΑΠΣ) για τις ΤΠΕ έρχεται να ενισχύσει τη συστηματική καλλιέργεια των ψηφιακών και υπολογιστικών δεξιοτήτων των μαθητών μέσα από σενάρια μάθησης με έμφαση στην επίλυση αυθεντικών προβλημάτων, τη συνεργατική μάθηση, τον πειραματισμό και τη χρήση τεχνολογικών εργαλείων. Έτσι, η εφαρμογή του νέου ΑΠΣ λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ της θεωρίας του STEAM και της πρακτικής στην εκπαιδευτική καθημερινότητα, συμβάλλοντας ουσιαστικά στον μετασχηματισμό της μάθησης.

Εφαρμόζοντας τις μεταρρυθμίσεις στην εκπαιδευτική πολιτική, ήδη το νέο ΑΠΣ για τις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ), προωθεί τη διαθεματική και βιωματική μάθηση. Σε αυτό το πλαίσιο, υλοποιήθηκε μια καινοτόμος συνεργασία μεταξύ του 2ου Δημοτικού Σχολείου Καλυθίων και του Γυμνασίου Καλυθίων αλλά και του Γυμνασίου Γενναδίου, με στόχο την καλλιέργεια κοινής μαθησιακής κουλτούρας και τη διαβαθμισμένη εισαγωγή των μαθητών σε ψηφιακές δεξιότητες, ρομποτικής και προγραμματισμού.

Κεντρικό ρόλο είχαν οι Όμιλοι Εκπαιδευτικής Ρομποτικής που υλοποιήθηκαν κατά το σχολικό έτος 2024-2025, οι οποίοι προσέφεραν στους μαθητές περιβάλλον διερεύνησης, δημιουργίας και εφαρμογής της γνώσης μέσω του σχεδιασμού και του προγραμματισμού ρομποτικών κατασκευών. Οι μαθητές δούλεψαν σε ομάδες, συνεργάστηκαν, ανέλαβαν ρόλους, έκαναν δοκιμές και παρουσίασαν τα αποτελέσματά τους, εφαρμόζοντας στην πράξη αρχές των φυσικών επιστημών, της τεχνολογίας και της μηχανικής ακολουθώντας μια διαθεματική προσέγγιση που συνδύαζε Φυσική, Εικαστική και Πληροφορική.

Οι μαθητές εντόπιζαν τα προβλήματα στην επιλεγμένη θεματική, επέλεξαν αντικείμενα, σχεδίασαν ρομποτικά συστήματα και εφάρμοζαν λύσεις. Η δράση αυτή οδήγησε σε σημαντική αύξηση της συμμετοχής και της ακαδημαϊκής επίδοσης των μαθητών, επιβεβαιώνοντας την αξία της STEAM προσέγγισης ως μέσου ενδυνάμωσης της μάθησης.

Μεθοδολογία και υλοποίηση

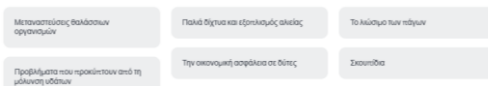
Αφορμή για την παρούσα εργασία υπήρξε η σύνδεση του STEAM με τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα του 21ου αιώνα. Οι μαθητές κλήθηκαν να εστιάσουν στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με τις υποβρύχιες περιοχές και τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι στην εξερεύνηση των βυθών, προτείνοντας καινοτόμες λύσεις. Οι ομάδες αποτελούνταν από μαθητές Ε' και Στ' Δημοτικού, Α' και Β' Γυμνασίου, αξιοποιώντας τον υπάρχοντα εξοπλισμό των σχολείων τους. Οι δράσεις εκπαιδευτικής ρομποτικής και STEAM που υλοποιήθηκαν στοχεύουν στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων σε ρεαλιστικά πλαίσια, μέσα από τη σχεδίαση και τον προγραμματισμό ρομποτικών συστημάτων για την υλοποίηση συγκεκριμένων αποστολών. Παράλληλα, δόθηκε έμφαση στην ενίσχυση της συνεργασίας και της ομαδικότητας, όπου κάθε μαθητής αναλαμβάνει ενεργό και ουσιαστικό ρόλο στην επιτυχία της ομάδας. Μέσω των βιωματικών αυτών δραστηριοτήτων, οι μαθητές εξοικειώθηκαν με βασικές έννοιες της μηχανικής, του προγραμματισμού και της τεχνολογίας, σε αρμονία με το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών των ΤΠΕ. Επιπλέον, εφαρμόστηκαν βασικές αξίες, όπως η ανακάλυψη, ο σεβασμός, η ενσυναίσθηση και η χαρά της μάθησης, ενώ προωθήθηκε η δημιουργικότητα μέσα από την παρουσίαση καινοτόμων ιδεών για την αντιμετώπιση πραγματικών προβλημάτων. Τέλος, οι δράσεις αυτές συνέβαλλαν στην ενίσχυση της αυτοπεποίθησης και των επικοινωνιακών δεξιοτήτων των μαθητών, και τη διασύνδεση του σχολείου με την ευρύτερη κοινότητα STEAM σε τοπικό, πανελλαδικό και διεθνές επίπεδο.

Έρευνα και εντοπισμός προβλημάτων

Για να εντοπιστούν αυτές οι προκλήσεις, διοργανώθηκε εκδήλωση στην οποία οι μαθητές παρουσίασαν το θέμα. Μέσα από ενδιαφέρουσα συζήτηση, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να μοιραστούν τις απόψεις τους σχετικά με τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι εξερευνητές των ωκεανών, ενώ στο τέλος, τους ζητήθηκε μέσω καταγραφικού ιδεών στο Mentimeter να αναφέρουν ποιο πρόβλημα θα ήθελαν να μελετηθεί.

Οι απαντήσεις που δόθηκαν (Σχήμα 1), μελετήθηκαν από τους μαθητές οι οποίοι δημιούργησαν μια λίστα από προβλήματα προς περαιτέρω έρευνα.

Εσείς ποιο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι άνθρωποι που εξερευνούν τους ωκεανούς θα εξερευνούσατε και γιατί;
15 responses



Σχήμα 1. Καταιγισμός ιδεών

Μετά τις πρώτες ιδέες επίλυσης προβλημάτων, υπήρξε επικοινωνία με δύτες και ειδικούς στη θαλάσσια ζωή από το ΕΛΚΕΘΕ (Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών) προς τους οποίους εκφράστηκαν οι σκέψεις των μαθητών. Ανέλυσαν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ανακάλυψη νέων θαλάσσιων περιοχών, την προστασία του θαλάσσιου οικοσυστήματος και τη βιωσιμότητα των θαλάσσιων πόρων.

Στη συνέχεια, εξήγησαν γιατί τα ζητήματα αυτά είναι κρίσιμα και χρειάζονται έρευνα, προκειμένου να προστατευτεί το μέλλον των ωκεανών και του πλανήτη. Παρουσίασαν μια σειρά από σημαντικά προβλήματα που απειλούν τη θαλάσσια ζωή και, μετά από προσεκτική σκέψη και συζήτηση, οι μαθητές επέλεξαν να επικεντρωθούν σε ορισμένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα που αφορούν το Αιγαίο και τη Μεσόγειο θάλασσα.

Κατά τη διάρκεια της έρευνας οι μαθητές επισκέφτηκαν το Ενυδρείο της Ρόδου, όπου μελέτησαν τα ξενικά είδη και συγκέντρωσαν πολύτιμες πληροφορίες προκειμένου να κατανοήσουν καλύτερα τη συμπεριφορά τους και τις επιπτώσεις τους στο οικοσύστημα. Είχαν την ευκαιρία να παρατηρήσουν και να μελετήσουν από κοντά διάφορα είδη ξενικών ψαριών και αχιών τα οποία απειλούν τα τοπικά είδη.

Στο τέλος της ξενάγησης, θαλάσσιοι βιολόγοι του Ενυδρείου μίλησαν στους μαθητές και παρείχαν επιπλέον γνώσεις, εμπλουτίζοντας την κατανόησή τους για το θέμα και δίνοντας πολύτιμες πληροφορίες για τις επιπτώσεις των ξενικών ειδών στο θαλάσσιο οικοσύστημα.

Όσο προχωρούσε η έρευνα των μαθητών τόσο πιο συγκεκριμένες και ξεκάθαρες ιδέες είχαν. Μάλιστα απέρριψαν αρκετές ενδιαφέρουσες ιδέες επειδή δε θα μπορούσαν να τις υλοποιήσουν ή γιατί η χρησιμότητά τους δε θα ήταν εν τέλει μεγάλη.

Επιπλέον, οι μαθητές επικοινωνήσαν με διάφορους επαγγελματίες, για να συζητήσουν σε βάθος λεπτομέρειες για τα επαγγέλματά τους. Για παράδειγμα, συνομιλήσαν με δύτες, επαγγελματίες αναλυτές δεδομένων, μηχανικούς και άλλους ειδικούς από διάφορους τομείς, για να αποκτήσουν πιο σφαιρική εικόνα για τις απαιτήσεις, τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προσφέρει κάθε επάγγελμα.

Στο τέλος της έρευνάς τους, οι μαθητές έλαβαν πολύτιμη βοήθεια από βιολόγους του Τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, ειδικούς στον τομέα της θαλάσσιας ζωής, οι οποίοι τους καθοδήγησαν σε σημαντικά ζητήματα. Συμπερασματικά, οι βιολόγοι ανέφεραν πως το πρώτο βήμα για την αντιμετώπιση ενός ξενικού είδους, είναι η έγκαιρη καταγραφή και ο έλεγχος των πληθυσμών του.

Επιλογή προβλημάτων από τις ομάδες

Στο σημείο αυτό κρίνεται αναγκαίο να διευκρινίσουμε πως οι μαθητές χωρίστηκαν σε τρεις υπο-ομάδες επιλέγοντας την ίδια θεματική αλλά εστίαση σε διαφορετικό πρόβλημα. Δύο ομάδες αποφάσισαν να μελετήσουν και να προτείνουν λύση στο πρόβλημα της εξάπλωσης των ξενικών ειδών τα οποία απειλούν τις θάλασσές μας. Τα ξενικά είδη ψαριών (ή λεσσεψιανοί μετανάστες) προέρχονται κυρίως από τον Ινδικό και Ειρηνικό ωκεανό, πέρασαν από την διώρυγα του Σουέζ, ήρθαν στη Μεσόγειο και έχουν πολλαπλασιαστεί επικίνδυνα τα τελευταία χρόνια. Πληθυσμοί αυτών των ψαριών υπάρχουν σε όλο το Αιγαίο, είναι, όμως, έντονα αισθητοί και στις θάλασσες της Ρόδου, προκαλώντας ανησυχία καθώς δεν έχουν φυσικούς εχθρούς. Η τρίτη ομάδα

επικεντρώθηκε στον αποχρωματισμό των κοραλλιών. Στο Αιγαίο υπάρχουν "κήποι" κοραλλιών οι οποίοι κινδυνεύουν λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας των υδάτων. Οι επιστήμονες μελετούν την "υγεία" των κοραλλιών μέσω του χρώματός τους.

Η πρώτη ομάδα αποτελούνταν από μαθητές Γυμνασίου και επέλεξε να ασχοληθεί με τρόπους καταγραφής των ξενικών ειδών. Αξιοποίησε της πληροφορίες από τους θαλάσσιους βιολόγους πως τα ψάρια παράγουν ήχους. Κάθε είδος παράγει το δικό του μοναδικό ήχο.

Θα βοηθούσε, λοιπόν, πάρα πολύ τους βιολόγους ένας μηχανισμός ο οποίος θα κατέγραφε τους θορύβους των ψαριών και μέσω αυτών θα μπορούσαν να μετρήσουν πόσα και ποια είδη υπάρχουν σε μια περιοχή. Στη συνέχεια, ανάλογα με τα αποτελέσματα θα μπορούν να προτείνουν τρόπους αντιμετώπισης των ξενικών ειδών.

Η δεύτερη ομάδα από μαθητές Δημοτικού και Α' Γυμνασίου και επικεντρώθηκε στα ξενικά είδη αχινών και κατασκεύασε έναν μηχανισμό ο οποίος θα τα αναγνωρίζει και θα τα συγκεντρώνει αφαιρώντας τα από το βυθό. Η μετανάστευση των αχινών έχει σοβαρές επιπτώσεις. Οι αχινοί, όταν δεν υπάρχουν φυσικοί θηρευτές για να περιορίσουν τον πληθυσμό τους, πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα, καταστρέφουν το βυθό και τα θαλάσσια οικοσυστήματα, προκαλώντας ανεπανόρθωτη ζημιά στη βιοποικιλότητα και την ισορροπία του θαλάσσιου περιβάλλοντος.

Η τρίτη ομάδα από μαθητές Δημοτικού και Γυμνασίου επικεντρώθηκε στην προστασία της θαλάσσιας βιοποικιλότητας, με βασικό στόχο την ανάπτυξη ενός καινοτόμου μηχανισμού αναγνώρισης και παρέμβασης σε περιπτώσεις αποχρωματισμένων, και συνεπώς ασθενών, κοραλλιών. Ο μηχανισμός αυτός είναι σχεδιασμένος ώστε να εντοπίζει έγκαιρα τα κοράλλια που παρουσιάζουν σημάδια λεύκανσης, να τα απομακρύνει με ασφάλεια από το θαλάσσιο περιβάλλον και να τοποθετεί τεχνητά υποκατάστατα στην ίδια περιοχή.

Η προτεινόμενη λύση βασίζεται σε δύο παράλληλους άξονες: στην επαναφύτευση κοραλλιών και στην χρήση 3D εκτυπωμένων κοραλλιών.

Σχεδιασμός κατασκευών

Οι μαθητές της πρώτης ομάδας σκέφτηκαν να προτείνουν έναν μηχανισμό (Σχήμα 2) ο οποίος, εάν κατασκευαστεί επιστημονικά, μπορεί να καταδυεται αυτόνομα σε μεγάλα βάθη. Οι επιστήμονες μπορούν να τον προγραμματίζουν με τις συντεταγμένες της περιοχής στην οποία θα κινηθεί και τον χρόνο κατάδυσης. Στο τέλος του χρόνου, ο μηχανισμός αναδύεται και στέλνει σήμα τους επιστήμονες για το σημείο στο οποίο βρίσκεται. Ο μηχανισμός κατασκευάστηκε με την χρήση κυρίως του εξοπλισμού S2 του STEM Polytech και κομμάτια από το Nezha Inventor's Kit. Κινείται με τη βοήθεια μιας προπέλας και έχει ρόδες για να κινείται στο βυθό εξοικονομώντας ενέργεια. Διαθέτει αισθητήρα απόστασης αποφυγής εμποδίων. Σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο εμπόδιο μπροστά του, στρίβει προς άλλη κατεύθυνση. Περιλαμβάνει ένα υδρόφωνο/αισθητήρα ήχου το οποίο καταγράφει τους θορύβους των ψαριών οι οποίοι αποθηκεύονται σε κάρτα μνήμης.

Όταν η συσκευή ανέβει στην επιφάνεια, συνδέεται σε υπολογιστή και μέσω ειδικού λογισμικού και μιας βάσης δεδομένων (ΒΔ) η οποία περιέχει τους ήχους όλων των ψαριών, εντοπίζει τα είδη των ψαριών και τον πληθυσμό τους. Εάν ένας ήχος δεν υπάρχει στη ΒΔ, αποθηκεύεται μέχρι να ταυτοποιηθεί σε ποιο ψάρι ανήκει. Στα πλαίσια του συγκεκριμένου έργου, οι μαθητές κατασκεύασαν ένα μοντέλο του μηχανισμού που ήδη περιγράφηκε με υλικά που υπήρχαν στο εργαστήριο πληροφορικής: Μικροελεγκτή ARD:icon, Αισθητήρα απόστασης υπερήχων DJS22, Αναλογικό αισθητήρα ήχου (μικρόφωνο) AJS02, Βηματικό κινητήρα με έλικα (ανεμιστήρας) DJX09, 2 DC Motors του Kit Nezha, LED (Κόκκινο & πράσινο).

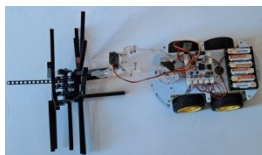


Σχήμα 2. Μηχανισμός καταγραφής

Η δεύτερη ομάδα κατασκεύασε έναν μηχανισμό (Σχήμα 3) ο οποίος εντοπίζει και απομακρύνει ξενικούς αχινούς (π.χ. *Diadema Setosum*). Η αρχική ιδέα ήταν ο μηχανισμός να κινείται αυτόνομα στο βυθό, να περιλαμβάνει περιστρεφόμενη κάμερα και δαγκάνα. Η ομάδα έκανε έρευνα παράλληλα με τις υπόλοιπες για να βρει πληροφορίες. Όμως, λόγω της μικρής ηλικίας και της έλλειψης κατάλληλου εξοπλισμού (κάμερα, λογισμικό αναγνώρισης αντικειμένων κλπ), οι μαθητές έπρεπε να περιορίσουν τις ιδέες τους και να αξιοποιήσουν τα υλικά που είχαν στο σχολείο.

Κατασκευάστηκε το ρομπότ του εξοπλισμού R4 του STEM Polytech το οποίο περιλαμβάνει: μικροελεγκτή Arduino, αισθητήρα υπερήχων για τον έλεγχο της απόστασης από κάποιο αντικείμενο, αισθητήρα παρακολούθησης γραμμής, servo κινητήρα για την ανύψωση και το κατέβασμα του βραχίονα, servo κινητήρα για τον χειρισμό της δαγκάνας, servo κινητήρα για την περιστροφή της βάσης του βραχίονα, κινητήρες 4.5V για την κίνηση του ρομπότ, πλακέτα οδήγησης κινητήρων, μονάδα bluetooth και δέκτη υπερύθρων.

Μετά την κατασκευή του, τα μέλη της ομάδας πειραματίστηκαν με το μηχανισμό και τον προσαρμοσαν στις ανάγκες της ιδέας τους. Να σημειωθεί πως η συναρμολόγηση του μηχανισμού R4 πραγματοποιήθηκε ακολουθώντας τις οδηγίες του σχετικού εγχειριδίου του STEM Polytech.



Σχήμα 3. Μηχανισμός συλλογής αχινών

Η τελευταία ομάδα, επικεντρώθηκε στην πρόληψη. Χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό S2 του STEM Polytech σε συνδυασμό με εξαρτήματα από το Nezhha Inventor's Kit, ανέλαβαν μια καινοτόμο δράση με στόχο την προστασία των κοραλλιογενών υφάλων.

Σχεδιάστηκε ένας ρομποτικός βραχίονας (Σχήμα 4) για την απομάκρυνση αποχρωματισμένων κοραλλιών και την αντικατάστασή τους με νέα, τεχνητά κοράλλια που είχαν εκτυπωθεί με 3D εκτυπωτή. Παράλληλα, οι μαθητές αξιοποίησαν αισθητήρες θερμοκρασίας, μέσω των οποίων συλλέγονται δεδομένα για τη θερμοκρασία του νερού. Τα δεδομένα προβάλλονται σε οθόνη και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων, με σκοπό να διερευνηθεί η συσχέτιση της αύξησης της θερμοκρασίας με το φαινόμενο του αποχρωματισμού των κοραλλιών.

Για τα πειράματα σε νερό, χρησιμοποιήθηκαν: Μικροελεγκτής ARD:icon, αισθητήρας θερμοκρασίας με ακροδέκτη AFX08 της Polytech. Στην Οθόνη LCD LCD AJX04 εμφανιζόταν η τιμή της θερμοκρασίας του νερού για άμεση ανατροφοδότηση και έλεγχο του κώδικα.

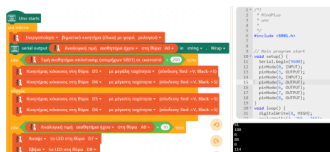
Τέλος, τα παιδιά προγραμματίσαν το ρομποτικό βραχίονα για την απομάκρυνση των κατεστραμμένων κοραλλιών, δίνοντας έτσι μια ολοκληρωμένη και τεχνολογικά τεκμηριωμένη πρόταση για την αποκατάσταση του θαλάσσιου οικοσυστήματος, χρησιμοποιώντας το Nezhha Expansion Board, πλακέτα Microbit και 3 DC Motors.



Σχήμα 4. Μηχανικός βραχίονας

Προγραμματισμός κατασκευών

Ο προγραμματισμός της πρώτης κατασκευής πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή Mind+ χρησιμοποιώντας το πρόθετο για Mind+ και ARD:icon με S1, S2, R2 (v 2.1.7) (Σχήμα 5). Όταν συνδεθεί ο μηχανισμός στο Mind+ και "τρέξει" η εφαρμογή του, οι τιμές του αισθητήρα εμφανίζονται στο Serial Output (την μαύρη οθόνη κάτω δεξιά) με τις διακυμάνσεις του ήχου όταν αλλάζει η συχνότητα ή η ένταση. Οι μαθητές πειραματίστηκαν με ήχους δελφινιών και φαλαινών για να δουν τις διαφορές στην καταγραφή. Για να γίνουν πιο αντιληπτές οι εναλλαγές των ήχων, τοποθετήθηκαν φώτα LED τα οποία αναβοσβήνουν ανάλογα με τις διακυμάνσεις του ήχου. Σαν επέκταση για εκπαιδευτική χρήση θα μπορούσε να δημιουργηθεί αρχείο .CSV το οποίο θα είναι επεξεργάσιμο με την χρήση λογισμικού λογιστικών φύλλων. Ο αρχικός προγραμματισμός της δεύτερης ομάδας και η αρχικοποίηση αισθητήρων και κινητήρων πραγματοποιήθηκαν με τους κώδικες Arduino του STEM Polytech για το R4 (Σχήμα 6). Εν συνέχεια, οι μαθητές προσαρμοσαν τον κώδικα στις ανάγκες του έργου τους. Οι μαθητές χειρίστηκαν το ρομπότ R4 μέσω της εφαρμογής του STEM Polytech.

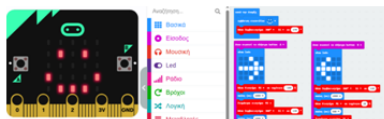


Σχήμα 5. Ενδεικτικός κώδικας μηχανισμού καταγραφής ξενικών ειδών



Σχήμα. 6. Ενδεικτικός προγραμματισμός του R4 και εφαρμογή χειρισμού του R4

Ο προγραμματισμός του ρομποτικού βραχίονα της τρίτης ομάδας πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του makecode.microbit.org χρησιμοποιώντας τις οδηγίες του εγχειριδίου "32 Δραστηριότητες Nezha" του STEM Education τις οποίες οι μαθητές προσαρμοσαν κατάλληλα (Σχήμα 7). Με το πλήκτρο A ο βραχίονας πνάνει το αντικείμενο και περιστρέφεται στο πλάι. Με το πλήκτρο B ο βραχίονας ανοίγει, απελευθερώνει το αντικείμενο και επιστρέφει στην αρχική θέση. Ο προγραμματισμός για την μέτρηση της θερμοκρασίας του νερού πραγματοποιήθηκε στην εφαρμογή Mind+ με την χρήση του πρόσθετου ARD:icon με S1, S2, R2 (v 2.1.7).



Σχήμα 7. Ενδεικτικός κώδικας ρομποτικού βραχίονα και μηχανισμού καταγραφής θερμοκρασίας νερού

Ανατροφοδότηση

Καθ' όλη τη διάρκεια υλοποίησης του έργου, οι ομάδες παρουσίαζαν τις σκέψεις και τις κατασκευές τους στους συμμαθητές τους. Αρκετές φορές πήραν νέες ιδέες ή άλλαξαν τρόπο δράσης μετά από ανατροφοδότηση που έλαβαν. Μετά την ολοκλήρωση των κατασκευών, οι μαθητές τις παρουσίασαν σε ειδικούς θαλάσσιους βιολόγους του ΕΛΚΕΘΕ και του Πανεπιστημίου Αιγαίου.

Η ανατροφοδότηση που δόθηκε από τους ειδικούς επικεντρώθηκε σε έξι βασικούς θεματικούς άξονες: την οικονομική βιωσιμότητα και δυνατότητα περαιτέρω βελτιώσεων, τη δυνατότητα πιλοτικών δοκιμών και απομακρυσμένου ελέγχου, την ανθεκτικότητα των κατασκευών και την επιχειρησιακή τους αυτονομία, την ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (ΤΝ), τη δυνατότητα συλλογής και αξιοποίησης δεδομένων πεδίου, καθώς και την τοπική συνάφεια των προτάσεων και την ενδεχόμενη εμπορική τους αξιοποίηση.

Αναγνωρίστηκε θετικά το γεγονός ότι οι προτεινόμενες λύσεις σχεδιάζονται με γνώμονα την απλότητα, το χαμηλό κόστος και την ευελιξία για μελλοντική αναβάθμιση. Η χρήση 3D εκτύπωσης για την αναπαραγωγή κοραλλιών χαρακτηρίστηκε ως πρακτική και οικονομικά αποδοτική στρατηγική. Εκτιμήθηκε ιδιαίτερα η πρόβλεψη για πιλοτικές εφαρμογές μέσω συστηματικών δοκιμών, και η δυνατότητα τηλεχειρισμού των κατασκευών με περιστρεφόμενη κάμερα, που ενισχύει την επιχειρησιακή λειτουργικότητα και την ακρίβεια στην παρατήρηση.

Η ανθεκτικότητα των κατασκευών σε συνθήκες υψηλής πίεσης, η ενσωμάτωση ενεργειακής αυτονομίας μέσω μπαταριών και η χρήση ειδικού σκάφανδρου αποτέλεσαν θετικά σημεία, τα οποία αποδεικνύουν σχεδιαστική πρόβλεψη για εφαρμογή στο υποθαλάσσιο περιβάλλον. Αξιοσημείωτη θεωρήθηκε η ανάγκη ένταξης της ΤΝ, η οποία προσδίδει υψηλή προστιθέμενη αξία στο σύστημα, με δυνατότητες όπως η αυτόματη ανίχνευση χρωματικών αλλοιώσεων και η ανάλυση φυσικοχημικών παραμέτρων του περιβάλλοντος. Παράλληλα, η πρόβλεψη για πολλαπλούς ενσωματωμένους αισθητήρες που καταγράφουν κρίσιμα περιβαλλοντικά δεδομένα παρέχει σημαντικές προοπτικές για επιστημονική έρευνα και λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων σχετικά με την υγεία των κοραλλιογενών οικοσυστημάτων.

Τέλος, η αναφορά στην παραλία Άντονι Κούν της Ρόδου και στα τοπικά είδη κοραλλιών και τα ξενικά είδη ψαριών τα οποία ιδιαίτερα πλήττουν τις γύρω θαλάσσιες περιοχές, προσδίδουν γεωγραφική στόχευση και περιβαλλοντική συνάφεια, ενώ η επιδίωξη εμπορικού ενδιαφέροντος ενισχύει τη βιωσιμότητα και την δυναμική αξιοποίηση της πρότασης σε ευρύτερη κλίμακα.

Διαμοιρασμός της λύσης

Για να ενισχυθεί η ενημέρωση και η ευαισθητοποίηση του κοινού, τα έργα δημοσιεύτηκαν σε εφημερίδες, τις ιστοσελίδες και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης των σχολείων (Σχήμα 8). Επίσης, οι ομάδες δημιούργησαν εικονικούς "τοιχούς" Padlet για να διαμοιραστούν τα προβλήματα τα οποία εξετάστηκαν και οι λύσεις που αναπτύχθηκαν.

Τέλος, σχεδίασαν ένα επιτραπέζιο παιχνίδι-φιδάκι. Κάθε φορά που κάποιος παίκτης πέφτει πάνω σε έναν αχινό πρέπει να πάει δύο τετράγωνα πίσω και να σηκώσει μια κάρτα γνώσεων με την οποία θα μαθαίνει πληροφορίες για το συγκεκριμένο είδος αχινού.



Σχήμα 8. Διαμοιρασμός της λύσης

Συμπεράσματα

Παρά τα σημαντικά οφέλη και τις ευκαιρίες που προσφέρει η ενσωμάτωση της STEAM εκπαίδευσης, δεν λείπουν οι προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την αποτελεσματική εφαρμογή της. Ένα βασικό εμπόδιο είναι οι περιορισμοί του παραδοσιακού αναλυτικού προγράμματος, που συχνά διαχωρίζει τα μαθήματα σε ξεχωριστές ενότητες, δυσχεραίνοντας την ολιστική και διεπιστημονική προσέγγιση που απαιτεί το STEAM. Επιπλέον, στο Δημοτικό σχολείο οι διαθέσιμες ώρες για μαθήματα STEAM είναι περιορισμένες, γεγονός που περιορίζει την εμβάθυνση και την πρακτική εφαρμογή των γνώσεων, ενώ η έλλειψη επαρκούς και σύγχρονου εξοπλισμού σε πολλές σχολικές μονάδες αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την υλοποίηση ποιοτικών δραστηριοτήτων. Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης εγχειριδίων για τους εκπαιδευτικούς, καθώς και εξασφάλισης ωρών πρακτικής εφαρμογής, ώστε οι θεωρητικές γνώσεις να γίνουν πράξη με αποτελεσματικότητα. Επίσης, η αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων σε έργα που συνδυάζουν πολλαπλά γνωστικά αντικείμενα είναι πιο σύνθετη και απαιτεί ειδικές μεθόδους. Τέλος, η επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς πολλοί από αυτούς χρειάζονται υποστήριξη και κατάρτιση για να υλοποιήσουν με επιτυχία τις STEAM δραστηριότητες, ενισχύοντας την αυτοπεποίθηση και την αποτελεσματικότητά τους στην τάξη.

Η εκπαίδευση μέσω STEAM προσφέρει ένα δυναμικό πλαίσιο για τον επαναπροσδιορισμό της διδασκαλίας και της μάθησης. Η ενσωμάτωσή του στην εκπαιδευτική διαδικασία, μετατρέπει τη μάθηση από παθητική απόκτηση γνώσεων σε βιωματική ανακάλυψη και δημιουργία. Προετοιμάζει τους μαθητές όχι μόνο σε σχολικό/ακαδημαϊκό επίπεδο αλλά και ως ενεργούς πολίτες που καλούνται να αντιμετωπίσουν νέες προκλήσεις. Οι μελλοντικές εκπαιδευτικές μέθοδοι θα πρέπει να επικεντρωθούν σε πρακτικές οι οποίες δομούν νέες γνώσεις πάνω σε υπάρχουσες ενσωματώνοντας το STEAM.

Αναφορές

- Asghar, A., Ellington, R., Rice, J., Johnson, F., & Prime, G. (2012). STEAM education: An overview of creating a model of integration of science, technology, engineering, the arts and mathematics. *Journal of STEM Education*, 13(2), 1-11.
- Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (1993). *The case for constructivist classrooms*. Association for Supervision and Curriculum Development.
- Gavrilas, L., & Kotsis, K. T. (2025). The evolution of STEM education and the transition to STEAM/STREAM. *Aquademia*, 9(1), ep25002. <https://doi.org/10.29333/aquademia/16313>
- Hirst, P. H. (1974). *Knowledge and the curriculum: A collection of philosophical papers*. Routledge & Kegan Paul.
- Kahn, R. (2010). *Critical pedagogy, ecoliteracy, & planetary crisis: The ecopedagogy movement*. Peter Lang Publishing.
- Lillis, M. (2024). From STEM to STE(A)M: STEM education through artistic pathways. *Hellenic Journal of STEM Education*, 3(2), 21-27. <https://doi.org/10.51724/hjstemed.v3i2.19>
- Monkeviciene, O., Autukeviciene, B., Kaminskiene, L., & Monkevicius, J. (2020). Impact of innovative STEAM education practices on teacher professional development and 3-6-year-old children's competence development. *Journal of Social Studies Education Research*, 11(4), 1-27
- Moye, J. J., Dugger, W. E., & Starkweather, K. N. (2014). STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research. *Journal of Engineering Education*, 103(1), 1-15.
- Radloff, J., & Guzey, S. S. (2016). The role of STEAM in supporting twenty-first century learning. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 14.
- Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, 82(3), 330-348. <https://doi.org/10.3102/0034654312457429>
- Rissanen, I. (2014). Science education and critical thinking: An interdisciplinary approach. *Science & Education*, 23(9), 1833-1846.
- Roehrig, G. H., Moore, T. J., Wang, H.-H., & Park, M. S. (2012). Is adding the arts to STEM a good idea? *STEM education*, 14(2), 1-7.
- Shernoff, D. J., Sannella, A. J., & Shusterman, A. (2017). The role of engagement in science learning and teaching: A review of empirical research. *Science Education*, 101(6), 1245-1276.