

Οι «ικανότητες» STEM και η Αξιολόγηση στην ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM

Σαράντος Ψυχάρης¹, Κωνσταντίνος Καλοβρέκτης²

¹ Ανωτάτη Σχολή Παιδαγωγικής και Τεχνολογικής Εκπαίδευσης (Α.Σ.ΠΑΙ.Τ.Ε.) και
Ελληνική Εκπαιδευτική Ένωση STEM, spsycharis@gmail.com

² Διδάσκων Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, kkalovr@gmail.com

Περίληψη

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) χαρακτηρίζεται από την ολοκλήρωση των Τεχνολογιών με τις Φυσικές Επιστήμες, τις Επιστήμες Υγείας, την Μηχανική (Engineering) και τα Μαθηματικά, με τις λεγόμενες «ικανότητες» STEM καθώς και τις λεγόμενες δεξιότητες του 21ου αιώνα. Οι δεξιότητες αυτές αναφέρονται σε γνώσεις, δεξιότητες και περιλαμβάνουν την δημιουργικότητα και καινοτομία, την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλήματος, την επικοινωνία και την συνεργατικότητα αλλά και τις «πρακτικές» των Επιστημόνων και των Μηχανικών, αλλά και των Καλλιτεχνών στις οποίες θα εμπλακούν οι εκπαιδευόμενοι στην μαθησιακή και διδακτική ακολουθία. Οι «ικανότητες STEM» συνδέονται με «παγκόσμια» προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στην σύγχρονη κοινωνία και είναι πολυδιάστατα ενώ επίσης απαιτούν για την λύση τους την «ολοκλήρωση» πολλών εννοιών από τις γνωστικές περιοχές του STEM. Για να αντιμετωπισθεί αυτό το θέμα χρειάζεται τα αναλυτικά προγράμματα (σε κάθε βαθμίδα εκπαίδευσης) να αναθεωρηθούν ώστε οι εκπαιδευόμενοι να αποκτήσουν αυτές τις ικανότητες. Συνέπεια αυτού είναι η ανάγκη για νέες διδακτικές στρατηγικές συμβατές με την «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM». Το πρόβλημα που προκύπτει συνδέεται αφενός με την ανάγκη εύρεσης και τεκμηρίωσης αυτών των διδακτικών στρατηγικών και –ως συνέπεια αυτών– την ανάγκη να ορισθεί η αξιολόγηση σε σχέση με τα μαθησιακά αποτελέσματα των επιμέρους γνωστικών περιοχών του ακρωνυμίου του STEM αλλά και με τα μαθησιακά αποτελέσματα όταν υλοποιείται η «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM». Το άρθρο είναι μια σύντομη βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με την «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM» και προτείνει το μοντέλο της «Υπολογιστικής ολοκληρωμένης εκπαίδευσης» θέτοντας και προβληματισμούς σχετικά με τους τύπους της αξιολόγησης που θα απαιτηθούν.

Λέξεις κλειδιά: STEM, Αξιολόγηση, Μαθησιακά αποτελέσματα, Υπολογιστική Παιδαγωγική

Abstract

The 4.0 industrial revolution suggests the integration of Science, Technology, Engineering and Mathematics in a holistic epistemological framework and relates this with the STEM Competencies and the competencies of the 21st century. These include the creativity, the innovation, the critical thinking and in addition the practices of Scientists and Engineers and Artists those learners should be engaged. STEM Competences are correlated with the problems that all the world faces, are multidimensional and their solutions demands the integration of concepts from many cognitive areas. To face this

problem, there is a consensus that curricula should be updated and reframed, so learners should be engaged in these skills and practices. To implement such innovative curricula, there is a need to discover new teaching and learning sequences and consequently to find new methods and indicators for evaluation. The article presents the current challenges in STEM integrated approach, with a focus of the role of Computational Science in STEM integration and raises awareness for the new types of evaluation related to multiple learning outcomes.

Key words: STEM, Evaluation, Learning outcomes, Computational Pedagogy.

Εισαγωγή

Είναι πλέον αποδεκτό ότι τα «παγκόσμια» προβλήματα που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα χρειάζονται μια ολιστική αντιμετώπιση και δεν μπορούν να επιλυθούν από «μεμονωμένες» γνωστικές περιοχές ή από στερεότυπες μεθοδολογικές προσεγγίσεις καθιερωμένων γνωστικών περιοχών (βλ. π.χ. NAE & NRC, 2014; Bryan & Guzey, 2020; Bryan et al., 2015; Psycharis, 2021; Psycharis & Kalovrektis, 2021).

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση (Industry 4.0) χαρακτηρίζεται από την ολοκλήρωση των Τεχνολογιών με τις Φυσικές Επιστήμες, τις Επιστήμες Υγείας, την Μηχανική (Engineering) και τα Μαθηματικά (Deloitte Access Economics, 2014) και με τις λεγόμενες «ικανότητες» STEM καθώς και τις λεγόμενες δεξιότητες του 21ου αιώνα. Οι δεξιότητες αυτές αναφέρονται σε γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις που είναι αναγκαίες για θέσεις εργασίας και περιλαμβάνουν την δημιουργικότητα και καινοτομία, την κριτική σκέψη, την επίλυση προβλήματος, την επικοινωνία και την συνεργατικότητα (Thibaut, 2018). Οι «ικανότητες STEM» συνδέονται με τα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στην σύγχρονη κοινωνία και είναι πολυδιάστατα ενώ επίσης απαιτούν για την λύση τους την «ολοκλήρωση» πολλών εννοιών από τις γνωστικές περιοχές του STEM (National Academy of Engineering, 2009). Για να αντιμετωπισθεί αυτό το θέμα, υπάρχουν απόψεις, όπως για παράδειγμα αυτή του Next Generation Science Standards (NGSS, 2013), που τονίζει την ανάγκη για μεταρρύθμιση στην Εκπαίδευση των Επιστημών η οποία θα πρέπει να προκύψει από την εισαγωγή του περιεχομένου της «Μηχανικής» (engineering) αλλά και των πρακτικών της «Μηχανικής» στο αναλυτικό πρόγραμμα στην Σχολική Εκπαίδευση μέσω ενός «δημόσιου διαλόγου» με την ανακαλυπτική/διερευνητική μάθησης. Η μελέτη αυτή θέτει επίσης και το πολύ σημαντικό ζήτημα της μετατόπισης-δυσάδικοις σχέσης μεταξύ της Εκπαίδευσης των Επιστημών και στην επιστημολογία της «Εκπαίδευσης της Μηχανικής», του «Σχεδιασμού της Μηχανικής» καθώς και στους εκπαιδευτικούς πόρους και τις αντίστοιχες προκλήσεις για την σχετική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών αλλά και για την εισαγωγή της Πανεπιστημιακής Παιδαγωγικής.

Ετσι υπάρχει γενική συναίνεση ότι ο σκοπός της εκπαίδευσης δεν είναι η διδασκαλία μεμονωμένων γνωστικών περιοχών, αλλά η εστίαση της διδασκαλίας θα πρέπει να είναι “to develop a reliable compass and the navigation tools to find their own way in a world that is increasingly complex, volatile and uncertain.” (Schleicher, 2019, The OECD Learning Compass 20https://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/30).

Εξαιτίας συνεπώς των βαθιών και εκτεταμένων αλλαγών που μετασχηματίζουν τον κόσμο που ζούμε και πού έχουν αντίστοιχες αλλαγές στην βιομηχανική δομή, έχει τεθεί το θέμα του επαναπροσδιορισμού των στόχων της εκπαίδευσης, των διδακτικών στρατηγικών και των δεξιοτήτων που χρειάζονται οι μαθητές και γενικότερα οι εκπαιδευόμενοι.

Θέματα «παγκόσμια», όπως η κλιματική αλλαγή, η βιο-οικονομία, η τεχνητή νοημοσύνη, οι ψηφιακές δεξιότητες κλπ, απαιτούν νέες αλλαγές στους σκοπούς και μεθόδους της εκπαίδευσης.

Τα παραπάνω θέματα αναδεικνύουν και το ζήτημα της αναθεώρησης των συνόρων μεταξύ των γνωστικών περιοχών του ακρωνυμίου του STEM, αλλά και των Ανθρωπιστικών Επιστημών, με τις δυσκολίες να εντοπίζονται:

α) στον ορισμό-οριοθέτηση της «ολοκληρωμένης/ολιστικής εκπαίδευσης STEM»,

β) στον προσδιορισμό των συνοριακών αντικειμένων που θα διασχίζουν τις γνωστικές περιοχές κατά την επίλυση ενός πραγματικού προβλήματος (π.χ. ενός προβλήματος βιοοικονομίας), γ) την ανεύρεση διδακτικών στρατηγικών που θα είναι σαφείς και πιθανώς να χρειάζεται να στηριχθούν θεωρητικά σε νέες θεωρίες μάθησης, και δ) τον τρόπο αξιολόγησης των μαθητών όταν εφαρμόζεται η «ολοκληρωμένη/ολιστική εκπαίδευση STEM»,

Συναφή ερωτήματα με τα παραπάνω είναι:

Α) Μπορούμε να οριοθετήσουμε νέου τύπου ικανότητες (γνώσεις, δεξιότητες αλλά και πρακτικές) που διασχίζουν γνωστικές περιοχές με σκοπό την ανάπτυξη νέων αναλυτικών προγραμμάτων που θα βοηθήσουν τους μαθητές και φοιτητές να αποκτήσουν τις δεξιότητες της τέταρτης βιομηχανικής επανάστασης και να έχουν στην φυσική τους ζωή τα εφόδια για να ζήσουν με επαρκείς πόρους;

Β) Μπορούμε να δομήσουμε αναλυτικά προγράμματα που θα βασίζονται σε νέου τύπου ικανότητες;

Γ) Μπορούμε να οριοθετήσουμε-και με βάσει ποια κριτήρια- τις λεγόμενες ικανότητες STEM (βλ. Boon Ng Soo, 2019, UNESCO, Exploring STEM competences for the 21st century, <https://learningportal.iiep.unesco.org/en/library/exploring-stem-competences-for-the-21st-century>, 2019)

Για να οριοθετήσουμε το πρόβλημα της αξιολόγησης στην «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM» θα παρουσιάσουμε συνοπτικά την επιστημολογία της «ολοκληρωμένης εκπαίδευση STEM», τις εγκάρσιες ιδέες, την Υπολογιστική Παιδαγωγική και τις διδακτικές στρατηγικές ώστε να καταλήγουμε(;) στην αξιολόγηση των «ικανοτήτων STEM».

2. Οι εγκάρσιες έννοιες

Για την πληρότητα ενός ορισμού για την «ολιστική/ολοκληρωμένη εκπαίδευση» STEM θα χρειασθεί να αναλύσουμε τις λεγόμενες εγκάρσιες-μεγάλες ιδέες.

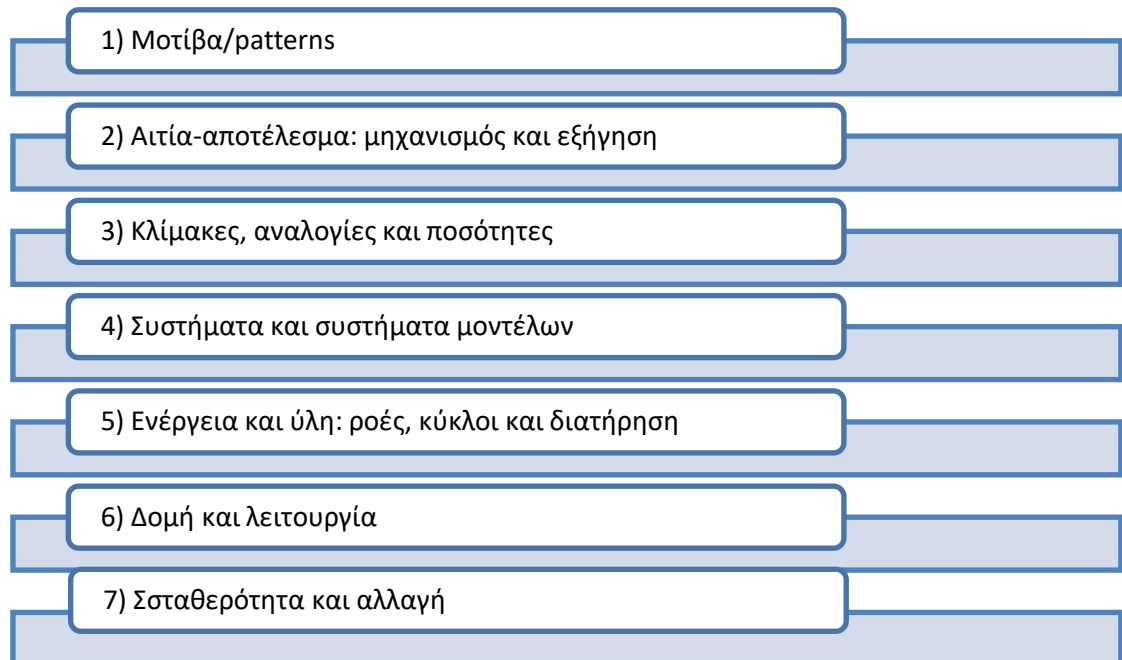
Σύμφωνα με την αναφορά (NGSS,2013), η έννοια της πρακτικής δεν περιορίζεται μόνο σε δεξιότητες (skills) αλλά επιπλέον δίνει έμφαση στην επιστημονική διερεύνηση, η οποία απαιτεί και την γνώση περιεχομένου των εννοιών της εκάστοτε γνωστικής περιοχής. Σύμφωνα με την αναφορά (NGSS, 2013) για την Σχολική Εκπαίδευση, χρειάζεται να εφαρμοσθεί ένα πλαίσιο με τρεις διαστάσεις, των οποίων η ολοκλήρωση θα βοηθήσει τους μαθητές να

γνωρίσουν το περιεχόμενο των Επιστημών και της Μηχανικής, θα τους εμπλέξει στον τρόπο που δουλεύουν οι Επιστήμονες, καθώς και στον τρόπο που συνδέονται οι διάφορες Επιστήμες και η Μηχανική μέσω εννοιών οι οποίες εμφανίζονται σε διάφορες γνωστικές περιοχές. Η μια διάσταση συνδέεται με την εμπλοκή των εκπαιδευόμενων στις πρακτικές των Επιστημών και των Μηχανικών(αυτό είναι ένα νέο ζήτημα πέραν των ήδη καθιερωμένων δεξιοτήτων) , η άλλη αναφέρεται στις εγκάρσιες/μεγάλες ιδέες και η Τρίτη στο ποιες θεμελιώδεις έννοιες –και με ποια κριτήρια- θα συμπεριλάβουμε στα αναλυτικά προγράμματα σπουδών.

Σύμφωνα με την NRC (2012a,b) οι επτά εγκάρσιες/διεπιστημονικές/επικαλυπτόμενες έννοιες για τις Επιστήμες και την Μηχανική, είναι οι :

Σχήμα 1

Οι εγκάρσιες/διεπιστημονικές έννοιες



3. Η Υπολογιστική Επιστήμη

Το ερώτημα «πώς αποκτάται η Γνώση» έχει απασχολήσει τους επιστήμονες που ασχολούνται με την «Φιλοσοφία της Επιστήμης» εδώ και 3000 χρόνια και ξεκίνησε από τους Πλάτωνα και Σωκράτη.

Θεωρείται ότι υπάρχουν δυο διαδρομές για την απόκτηση της Επιστημονικής Γνώσης: α) οι παρατηρήσεις, οι πειραματικές μετρήσεις και η πληροφορία από τις αισθήσεις και β) η θεωρία και οι επαγωγικές υποθέσεις -που συνδυάζονται με την Μαθηματική Γλώσσα. Έτσι οι παρατηρήσεις και η θεωρία αποτελούν τις δυο «κολώνες- θεμελιώσεις».

Ωστόσο έχει τεθεί και το εξής ερώτημα: Υπάρχει και τρίτη «κολώνα/πυλώνας-θεμελίωση»; Υπάρχει μια νέα διαδρομή για να αποκτήσουμε Επιστημονική Γνώση και να μας οδηγήσει στην «σχεδίαση της Μηχανικής»;

Η απάντηση των σύγχρονων Επιστημόνων και Μηχανικών είναι «ΝΑΙ», μέσω μιας νέας γνωστικής περιοχής, της Υπολογιστικής Επιστήμης». Η

Υπολογιστική Επιστήμη(Computational Science) είναι «η χρήση υπολογιστικών αλγορίθμων ώστε να «μεταφερθούν» τα μαθηματικά μοντέλα που αναπαριστούν την συμπεριφορά του Φυσικού Σύμπαντος, σε μοντέλα στον ηλεκτρονικό υπολογιστική τα οποία προβλέπουν το μέλλον και αναδομούν το παρελθόν, ενώ χρησιμοποιούνται για να προσομοιώσουν ένα μεγάλο φάσμα προϊόντων που κατασκευάζουν οι Μηχανικοί αλλά και διαδικασίες και συστήματα.

Εδώ και μερικές δεκαετίες, η γνωστική περιοχή της «Υπολογιστικής Επιστήμης» θεωρείται ως ο τρίτος πυλώνας της Επιστήμης και ένας «καλός» ορισμός για αυτό το νέο παράδειγμα θα ήταν ως : “ η χρήση υπολογιστικών αλγορίθμων ώστε να μετασχηματίσουμε/μεταφέρουμε τα μαθηματικά μοντέλα-τα οποία αντιπροσωπεύουν την συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων- σε μοντέλα στον ΗΥ ώστε να κάνουμε προγνώσεις για το μέλλον αλλά να μπορούμε να ανασκευάσουμε και το παρελθόν, ενώ χρησιμοποιούνται για ένα ευρύ φάσμα από προϊόντα της Μηχανικής, διαδικασιών και συστημάτων». (https://tamest.org/news/newscomputational-science-the-third-pillar-of-science/?tfa_next=%2Fresponses%2Flast_success%26sid%3D01c387cc23da8d99e7e79fad829792ee)

Σύμφωνα με τους (Taub et al.,2015) «η Υπολογιστική Επιστήμη»-Computational Science- είναι ένα αναπτυσσόμενο επιστημονικό πεδίο που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό υπολογιστικών μοντέλων επιστημονικών φαινομένων. Το πεδίο αυτό συνδυάζει την Επιστήμη, την Επιστήμη των Υπολογιστών(computer science) και τα εφαρμοσμένα Μαθηματικά σκοπό να λύσει πολύπλοκα επιστημονικά προβλήματα».

Οι (Taub et al.,2013) αναφέρουν ότι η Υπολογιστική Επιστήμη-ως επιστημονικό πεδίο- ασχολείται με την κατασκευή υπολογιστικών μοντέλων και επιστημολογικά χαρακτηρίζεται ως διεπιστημονικό πεδίο, ενώ διδάσκεται στα Πανεπιστήμια και πρόσφατα έχει εισαχθεί και στην σχολική Εκπαίδευση.

Στην Υπολογιστική Επιστήμη (Υ.Ε.), το μοντέλο, η προσομοίωση και το Υπολογιστικό Πείραμα παίρνουν τη θέση του «κλασικού» Πειράματος συνθέτοντας έτσι μια πλήρη και συμπαγή εικόνα της Επιστήμης (βλ. και Landau et al.,2008). Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με δυναμικά μοντέλα, δηλαδή μοντέλα που περιλαμβάνουν τη χρονική εξέλιξη και ουσιαστικά είναι οι μαθηματικές μέθοδοι (συμπεριλαμβανομένων και των αλγορίθμων), ώστε το φυσικό σύστημα να διακριτικοποιηθεί με μεθόδους της αριθμητικής ανάλυσης.(βλ. και Psycharis 2016a,bYasar et al.,2016). Η Υ.Ε. παίζει θεμελιώδη ρόλο στην «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM » γιατί: α) στηρίζεται στην μοντελοποίηση, η οποία -μέσω της προσομοίωσης – θα δώσει πραγματικά και όχι εικονικά δεδομένα(π.χ. αξιοποιώντας αναπτυξιακές πλατφόρμες όπως Arduino,micro:bit κλπ), β) εφαρμόζει την μεθοδολογία του Υπολογιστικού Πειράματος(βλ. Psycharis 2016a,b) συνδέοντάς την με την ανακαλυπτική-διερευνητική μάθηση. Αργότερα θα επεκταθεί αυτό το μοντέλο για να συμπεριλάβει και τις πρακτικές της Υπολογιστικής Σκέψης και τον σχεδιασμό της Μηχανικής.

Πίνακας 1

Η αντιστοίχιση των χώρων του Υπολογιστικού Πειράματος, των χαρακτηριστικών-σταδίων της διερευνητικής/ανακαλυπτικής μάθησης και των εργαλείων της διερευνητικής/ανακαλυπτικής μάθησης.

Οι χώροι του Υπολογιστικού Πειράματος	Τα στάδια –χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής/διερευνητικής Μάθησης (Asay & Orgill, 2010; Pathway Project, http://pathway.ea.gr/)	Εργαλεία ανακαλυπτικής/ διερευνητικής μάθησης (Bell κ α., 2010)
Ο χώρος των Υποθέσεων	Ερώτηση	Προσανατολισμός και Ανάπτυξη ερωτήσεων, Δημιουργία υποθέσεων
Ο χώρος του Πειράματος	Απόδειξη, Ανάλυση, Εξήγηση	Σχεδιασμός, Διερεύνηση, Ανάλυση, Ερμηνεία, Μοντελοποίηση
Ο χώρος των Προβλέψεων	Σύνδεση, Επικοινωνία, Αναστοχασμός	Συμπεράσματα, αξιολόγηση, πρόβλεψη

4. Η επιστημολογία της «ολοκληρωμένης/ολιστικής εκπαίδευσης STEM».

4.1 Οι γνωστικές περιοχές.

Για να αποσαφηνισθεί και οριοθετηθεί η «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM» θα χρειασθεί να αναφερθούμε στην έννοια της γνωστικής περιοχής.

Σύμφωνα με ερευνητές(π.χ Watson ,1983; Tytler,2019) οι γνωστικές περιοχές δεν είναι «χώροι» με οριοθετημένα κέντρα και περιφέρειες, αλλά είναι μέθοδοι και συστήματα που επιφέρουν «τάξη» και συνεκτικότητα σε «μη τακτοποιημένο υλικό».

Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, οι γνωστικές περιοχές είναι διερευνητικές φόρμες ενταγμένες στην κουλτούρα της εκάστοτε εποχής και «περιορίζονται» από τρόπους σκέψης, ιστορικά στοιχεία και πρακτικές ενώ εξελίσσονται και αναθεωρούνται εξαρτώμενες από την «φυσική επιλογή» (Cohen & Lloyd 2014).

Επίσης, σύμφωνα με τον Latour (1989), οι γνωστικές περιοχές δεν αναπαριστούν διαιρέσεις στην ανθρώπινη συνείδηση, αλλά περισσότερο υποστηρικτικές πρακτικές που προσφέρουν γνώσεις και διαδικασίες που αιτιολογούν την εξέλιξη της κάθε γνωστικής περιοχής.

4.2 Τα συνοριακά αντικείμενα

Για να οριοθετηθεί η «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM» θα χρειασθούμε τα συνοριακά αντικείμενα(boundary objects).

Το «σύνоро» μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαφοροποίηση στην θεώρηση πρακτικών και μεθοδολογιών ανάμεσα σε διαφορετικές γνωστικές περιοχές, και η πρόκληση είναι αυτή η «ασυνέχεια» να μετασχηματισθεί σε «συνέχεια» ανάμεσα στις γνωστικές περιοχές μέσω των καλούμενων «συνοριακών αντικειμένων»(Psycharis,2021).

Τα «συνοριακά αντικείμενα» διασχίζουν τα σύνορα ανάμεσα σε διαφορετικές γνωστικές περιοχές ώστε μέσω «διαπραγματεύσεων»,

συνδυασμών και μετασχηματισμών να οδηγηθούμε σε «υβριδικές» καταστάσεις(βλ. π.χ. Akkerman & Bakker,2011;).

4.3 Η «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM»-Μια πρώτη εικόνα

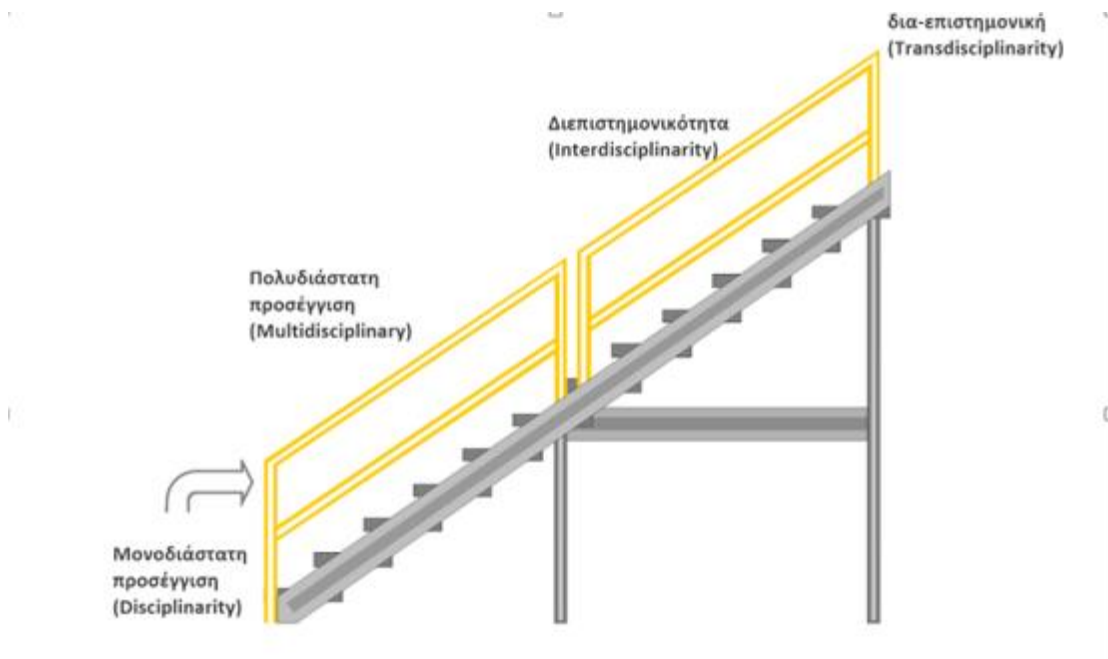
Οι σχεδιαστές της Εκπαιδευτικής Πολιτικής έχουν θέσει το θέμα της εισαγωγής του STEM στα αναλυτικά προγράμματα (βλ.πχ [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/542199/IPOL_STU\(2015\)542199_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/542199/IPOL_STU(2015)542199_EN.pdf)).

Asunda(2014): ήδη από το 2014 είχαν παρουσιασθεί 105 προγράμματα STEM αλλά με διαφορετικές απόψεις για το τι περιέχεται σε ένα αναλυτικό πρόγραμμα STEM.

Σύμφωνα με την (English,2016) υπάρχει πολύ μεγάλος αριθμός άρθρων όπου η «εκπαίδευση» και η «ολοκλήρωση» STEM ορίζονται με διάφορους τρόπους όπου το φάσμα των ορισμών αρχίζει από την μονοεπιστημονικότητα και προχωρά με συνεχή τρόπο έως την δια-επιστημονικότητα (π.χ. Moore et al. 2014a,b 2014; Vasquez et al., 2013) , όπου η διάκριση σχετίζεται με τους όρους «ολοκλήρωση» και «διάσχιση γνωστικών περιοχών» ενώ ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται και «δείκτες ολοκλήρωσης».

Σχήμα 2.

Τα επίπεδα ολοκλήρωσης και η αντίστοιχη επιστημολογία(Vasquez et al.,2013)



Οι (Roehrig et al. ,2012) προτείνουν μια διαφοροποίηση ως προς το περιεχόμενο και ως προς το πλαίσιο.

Η «ολοκλήρωση περιεχομένου» εστιάζει στην “ένωση/ολοκλήρωση” των γνωστικών περιοχών σε μια μοναδική δραστηριότητα του αναλυτικού προγράμματος η οποία θα δίνει έμφαση στις μεγάλες/εγκάρσιες ιδέες που θα προέρχονται από διάφορες γνωστικές περιοχές,

ενώ η «ολοκλήρωση πλαισίου» θα εστιάζει στο περιεχόμενο μιας γνωστικής περιοχής και θα αξιοποιεί πλαίσια από άλλες γνωστικές περιοχές για να κάνει συνδέσεις των γνωστικών περιοχών.

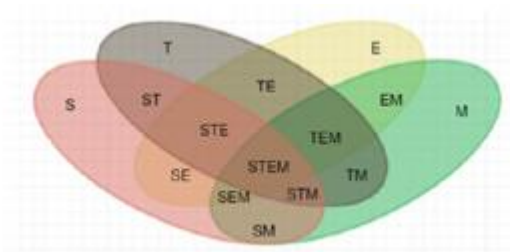
Μια άλλη άποψη για την διεπιστημονική προσέγγιση στην ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM είναι η εξής: (θεωρούμε ότι η άποψη αυτή είναι πιο κοντά στην ολοκλήρωση STEM»).

Στην διεπιστημονική προσέγγιση υπάρχει υψηλό επίπεδο ολοκλήρωσης των γνωστικών περιοχών μέσω της εστίασης σε μια «κοινή έννοια» σαν αυτές που αναφέραμε ως «εγκάρσιες» έννοιες (Boon Ng, Soo ,UNESCO, Exploring STEM competences for the 21st century, <https://learningportal.iiep.unesco.org/en/library/exploring-stem-competences-for-the-21st-century>, 2019).

Μια άλλη προσέγγιση για την ολοκλήρωση προέρχεται από την Mayes(2019) όπου η «εκπαίδευση STEM» προκύπτει ως τομές διαγραμμάτων Venn από την θεωρία συνόλων

Σχήμα 3.

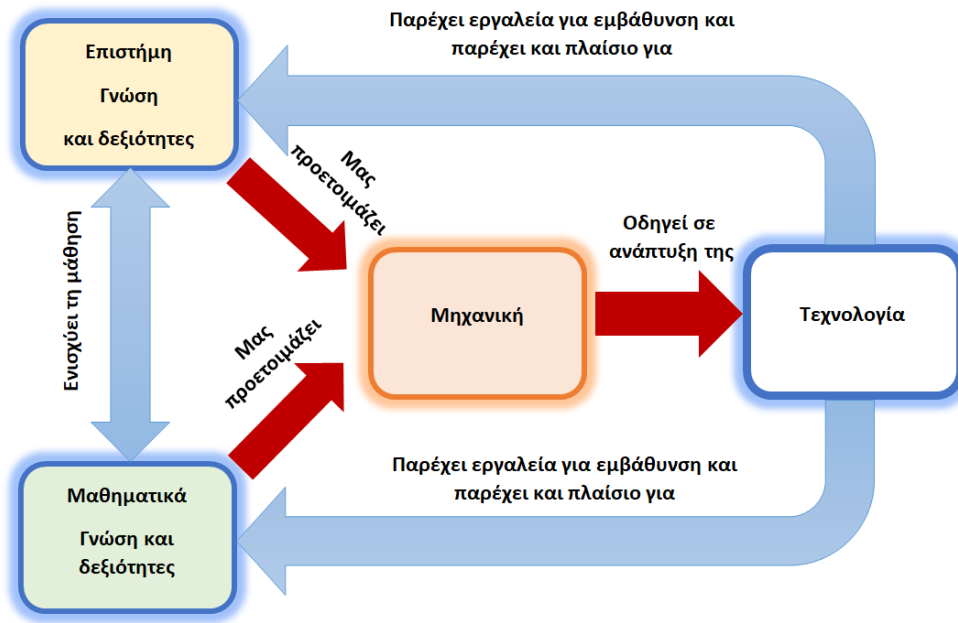
Η «εκπαίδευση STEM» όπως προκύπτει απο τομές διαγραμμάτων Venn



Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει έναν δυναμικό τρόπο αλληλεπίδρασης των γνωστικών περιοχών του ακρωνύμιου και θα μπορούσε να αποτελέσει έναν οδηγό για τον εκπαιδευτικό, χωρίς όμως να κάνει εκπεφρασμένη αναφορά στην διεπιστημονική ή δια-επιστημονική προσέγγιση(Watson & Watson,2013).

Σχήμα 4.

Ένας δυναμικός τρόπος αλληλεπίδρασης των γνωστικών περιοχών του (Watson & Watson,2013).



5. Η Υπολογιστική Παιδαγωγική –Η «Υπολογιστική ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM»

Για να ολοκληρωθεί το επιστημολογικό περιεχόμενο της «εκπαίδευσης STEM» θα χρειασθεί να αναφερθούμε στην εντάξουμε σε αυτήν την Υπολογιστική Επιστήμη(Υ.Ε.) και την Υπολογιστική Σκέψη.

Έχουμε αναφερθεί στην Υπολογιστική Επιστήμη(Υ.Ε.) η οποία εστιάζει στην χρήση των προηγμένων υπολογιστικών δυνατοτήτων μέσω της προσομοίωσης μοντέλων για την κατανόηση και την λύση περίπλοκων προβλημάτων και την παραγωγή πραγματικών και όχι εικονικών δεδομένων, ενώ έχει τις δικές της μεθόδους για να «υποχρεώσει» τα προβλήματα να λυθούν με τη χρήση των Μαθηματικών, της Επιστήμης των Υπολογιστών και τις διάφορες γνωστικές περιοχές.

Στην Υ.Ε. περιέχονται:

- το μοντέλο (που συνδέεται με την αφαιρετική διάσταση της Υ.Σ.),
- οι μαθηματικές μέθοδοι (αλγοριθμικές συχνά διαδικασίες, μέθοδοι αριθμητικής ανάλυσης κλπ),
- οι αναπαραστάσεις (μέσω της ανάπτυξης συγκεκριμένων μοντέλων),
- ο προγραμματισμός (μέσω της χρήσης κειμενικών ή οπτικών γλωσσών προγραμματισμού, οι οπτικοποιήσεις (για αναγνώριση προτύπων/μοτίβο κλπ).
- η παραγωγή πραγματικών δεδομένων

Συνθέτοντας όλες τις προηγούμενες ενότητες προτείνουμε ένα «καθιερωμένο πρότυπο»(standard model) , την «Υπολογιστική Παιδαγωγική STEM» για την «ολοκλήρωση STEM».

Το μοντέλο αυτό υλοποιεί το υπολογιστικό πείραμα στην εκπαίδευση με πραγματικά δεδομένα τα οποία ο εκπαιδευόμενος θα αναλύει (αφού πρώτα τα παράγει!) ακολουθώντας την επιστημονική ανακαλυπτική/διερευνητική/επαγωγική παιδαγωγική στρατηγική και τον σχεδιασμό της Μηχανικής, με την προσέγγιση περιεχομένου ή πλαισίου(Moore et al.,2014a,b) όπου θα δημιουργεί «υπολογιστικά τεχνουργήματα».

Η «Υπολογιστική Παιδαγωγική STEM» έχει ως θεμελιώδες στοιχείο την δόμηση του μοντέλου κατά την επαγωγική διαδικασία ώστε να ενσωματώνει την αφαιρετική σκέψη καθώς ο εκπαιδευόμενος «συλλέγει» δεδομένα για να προχωρήσει στην ανακάλυψη (Yasar et al.,2016). Το μοντέλο που προτείνουμε έχει πολλά κοινά με το μοντέλο Computational Pedagogical Content Knowledge (CPACK) των (Yasar et al.,2016) και το οποίο επεκτείνει το μοντέλο TPACK-Technological Pedagogical Content Knowledge-εισάγοντας την Υ.Ε και ολοκληρώνοντας το CPACK με την επιστημολογία (δια-επιστημονική ή διεπιστημονική θεωρηση.Psycharis, 2016a;Psycharis,2016b,Psycharis,2018,Ψυχάρης & Καλοβρέκτης,2017; Καλοβρέκτης, Ξανάκης, Ψυχάρης & Σταμούλης,2020)).

Συνθέτοντας τα παραπάνω προτείνουμε ένα μοντέλο στο οποίο οι πρακτικές της Υπολογιστικής Σκέψης(Υ.Σ.) θεωρούνται ως οι «αγωγοί» που μεταφέρουν τα συννοριακά αντικείμενα ανάμεσα στις γνωστικές περιοχές. Η Υπολογιστική Επιστήμη προσφέρει την μεθοδολογία του Υπολογιστικού Πειράματος ώστε οι εκπαιδευόμενοι να εμπλακούν στην διαδικασία της μέτρησης πραγματικών μεγεθών τα οποία προκύπτουν από π.χ. αισθητήρες μέσω της αξιοποίησης Arduino, Raspberry κλπ.

Πίνακας 2

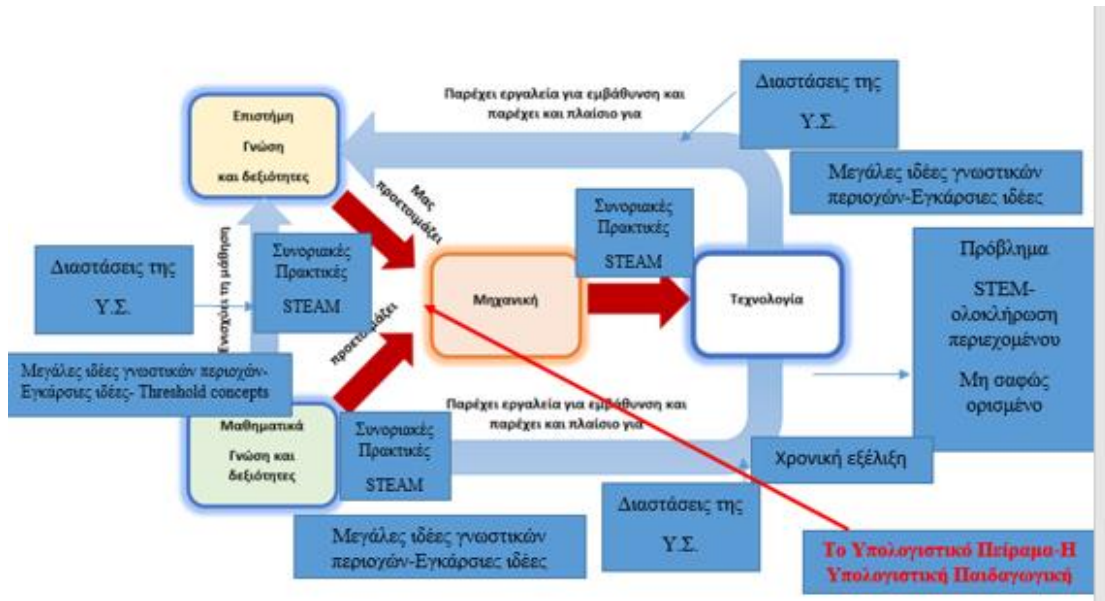
Η Υπολογιστική Παιδαγωγική

Οι χώροι του Υπολογιστικού Πειράματος	Τα στάδια – χαρακτηριστικά της ανακαλυπτικής/διερευνητικής Μάθησης (Asay & Orgill, 2010)	Διαστάσεις της Υ.Σ.- Παιδαγωγική των Μηχανικών
Ο χώρος των Υποθέσεων	Ερώτηση (αναφερόμαστε σε μια εγκάρσια ή περισσότερες εγκάρσιες ιδέες και στις θεμελιώδεις έννοιες)	Διαστάσεις Υ.Σ.: Παραγωγική μορφή του μοντέλου του φαινομένου Παιδαγωγική των Μηχανικών: Επίδειξη τεχνουργήματος μηχανικής σχεδίασης
Ο χώρος του Πειράματος	Διεπιστημονική ή δια-επιστημονική προσέγγιση σχετικά με ένα πραγματικό πρόβλημα-Εμπλοκή στις μεγάλες/εγκάρσιες ιδέες, Συλλογή δεδομένων (απόδειξη), Ανάλυση, Εξήγηση/ερμηνεία - Αξιοποίηση του Physical Computing. Πρακτικές των Επιστημόνων και των Μηχανικών	Διαστάσεις Υ.Σ.: Έλεγχος –επαγωγικά - του μοντέλου. Αλγοριθμική διαδικασία, τμηματοποίηση του προβλήματος, αποσφαλμάτωση ανάλογα με το αν τα δεδομένα είναι συμβατά με την βιβλιογραφία-Εμπλοκή σε

	«Ολοκλήρωση STEM περιεχομένου» Αξιοποίηση της Υπολογιστικής Επιστήμης	προγραμματιστικές δομές που στηρίζονται σε μοντέλα που θα προσομοιωθούν Παιδαγωγική των Μηχανικών: Στον χώρο του πειράματος πραγματοποιείται και ο σχεδιασμός και η κατασκευή, γίνεται ο έλεγχος των υλικών κλπ. Δημιουργία τεχνουργήματος. Η Παιδαγωγική της Μηχανικής πλαισιωμένη με τις Επιστήμες(Ενότητα 4.4)
Ο χώρος των Προβλέψεων	Σύνδεση, Επικοινωνία, Αναστοχασμός, Πιθανή αναθεώρηση του μοντέλου (μεταβλητών, σχέσεων μεταβλητών κλπ.) Αξιοποίηση του κύκλου σχεδιασμού των Μηχανικών	Διαστάσεις Υ.Σ.: Αναγνώριση προτύπων Παιδαγωγική των Μηχανικών: Τμήματα της σχεδίασης ελέγχονται για χρήση σε άλλες κατασκευές.

Σχήμα 5

η «ολοκληρωμένη Υπολογιστική Παιδαγωγική STEM»



6. Οι διδακτικές στρατηγικές της «Υπολογιστικής ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM»

Έχοντας αναφερθεί στις διάφορες επιστημολογικές απόψεις ολοκλήρωσης του STEM, θα παρουσιάσουμε τις διδακτικές στρατηγικές που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε συνάρτηση με τα όσα αναφέρθηκαν για τις προσεγγίσεις ολοκλήρωσης αλλά και λαμβάνοντας υπόψη της «δεξιότητες STEM». Οι διαφορετικές στρατηγικές προκύπτουν από διαφορετικές θεωρήσεις της σχέσης των γνωστικών περιοχών του STEM όταν γίνεται αναφορά ότι υλοποιούνται η διεπιστημονικότητα και /η δια-επιστημονικότητα.

Οι διαφορετικές στρατηγικές προκύπτουν από διαφορετικές θεωρήσεις της σχέσης των γνωστικών περιοχών του STEM όταν γίνεται αναφορά ότι υλοποιούνται η διεπιστημονικότητα και /η δια-επιστημονικότητα.

Οι (Thibaut et al., 2018) διεξήγαγαν μια συστηματική βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με δυο ερευνητικά ερωτήματα:

A) Ποια από τις θεωρίες μάθησης (συμπεριφοριστικές, γνωστικές, κοινωνικές εποικοδομητικές) είναι η βάση για να εφαρμοσθεί η «ολοκλήρωση STEM»;

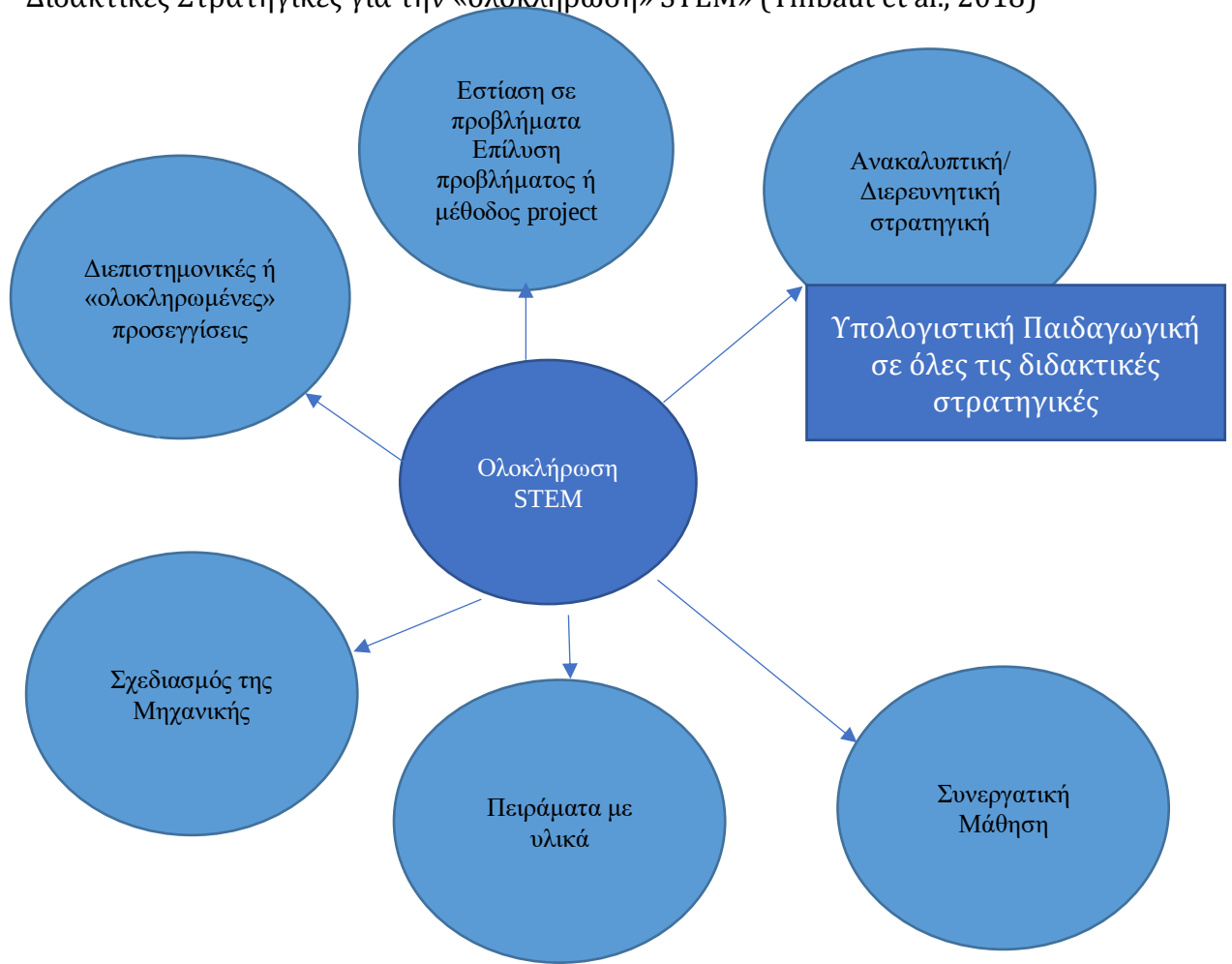
B) Ποιες διδακτικές στρατηγικές χρησιμοποιούνται στην «ολοκλήρωση STEM»

Από την βιβλιογραφική επισκόπηση προέκυψαν οι παρακάτω διδακτικές στρατηγικές.

Από την βιβλιογραφική επισκόπηση προέκυψαν οι παρακάτω διδακτικές στρατηγικές.

Σχήμα 6

Διδακτικές Στρατηγικές για την «ολοκλήρωση» STEM» (Thibaut et al., 2018)



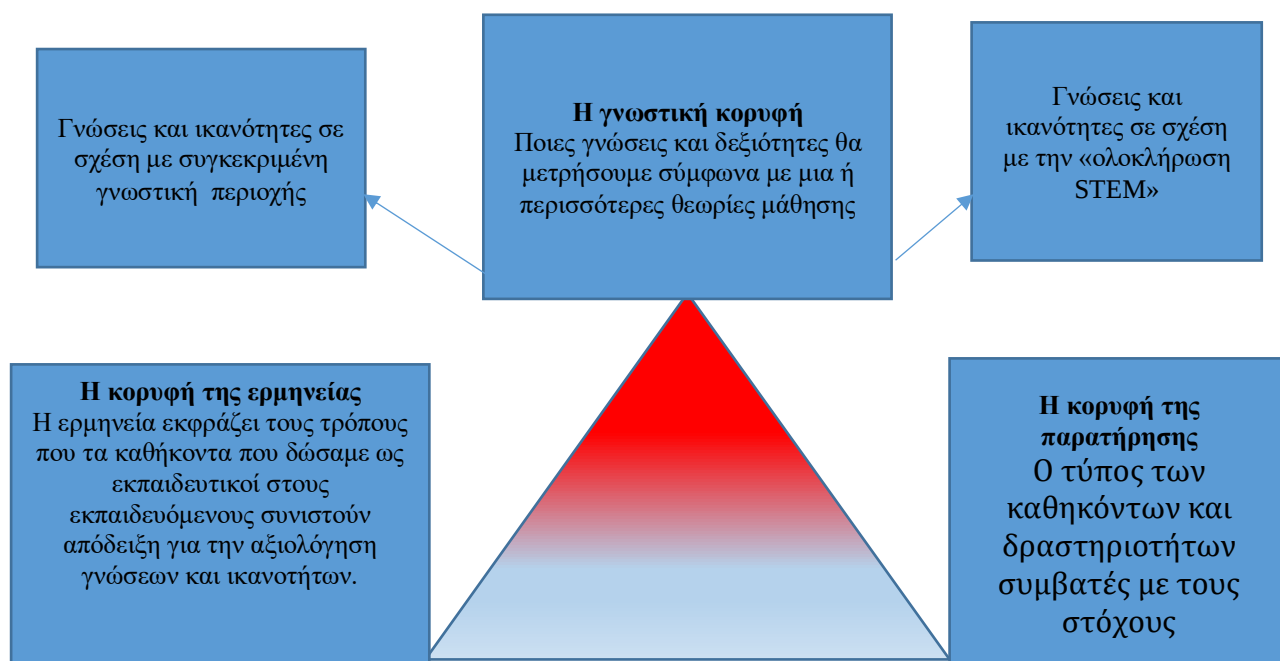
7. Η αξιολόγηση στην «Υπολογιστική ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM»

7.1 Το θεωρητικό πλαίσιο της αξιολόγησης στην «ολοκλήρωση STEM».

Η αξιολόγηση αναφέρεται στις «σκόπιμες» ενέργειες ώστε να παρατηρηθεί η μάθηση μέσω διαφορετικών μέσων ώστε και να αξιολογηθεί που βρίσκονται οι εκπαιδευόμενοι σε σχέση με συγκεκριμένους μαθησιακούς στόχους. Το «τρίγωνο της αξιολόγησης» περιλαμβάνει τρεις κορυφές. Την γνωστική κορυφή, την κορυφή της παρατήρησης και την κορυφή της ερμηνείας. (NRC, 2001; Pellegrino, 2014).

Σχήμα 7.

Το τρίγωνο της αξιολόγησης (NRC, 2001) με την πρόσθεση της αξιολόγησης στην «ολοκλήρωση STEM».



Σχήμα 8.

Η «γνωστική» αξιολόγηση στην προσέγγιση περιεχομένου και στην προσέγγιση πλαισίου

Τύπος ολοκλήρωσης	Τύπος αξιολόγησης στο γνωστικό πεδίο
Ολοκλήρωση περιεχομένου Στην ολοκλήρωση περιεχομένου σχεδιάζουμε μια μαθησιακή δραστηριότητα που έχει ως σκοπό την διδασκαλία εννοιών από όλες τις γνωστικές περιοχές του STEM-μια δραστηριότητα στο αναλυτικό πρόγραμμα	Η επιδίωξη είναι να βοηθηθούν οι εκπαιδευόμενοι να αναπτύξουν δεξιότητες που είναι πέρα από αυτές μιας γνωστικής περιοχής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μαθησιακών δραστηριοτήτων οι οποίες πρέπει να βρίσκονται μέσα σε ένα αυθεντικό πλαίσιο επίλυσης προβλήματος (Moore et al., 2014a,b). Στην προσέγγιση αυτή όλες οι γνωστικές περιοχές είναι σε ομότιμο επίπεδο και η γνώση σε μια γνωστική περιοχή εξαρτάται από την φύση της ολοκλήρωσης της γνωστικής περιοχής στο πρόβλημα.
Ολοκλήρωση πλαισίου Στην ολοκλήρωση πλαισίου θέτουμε στο κέντρο το περιεχόμενο μια από τις γνωστικές περιοχές του STEM και διδάσκουμε αυτό σε πλαίσια από άλλες γνωστικές περιοχές του STEM..	Ένα βασικό μαθησιακό αποτέλεσμα είναι να βοηθηθούν οι εκπαιδευόμενοι να αναπτύξουν γνωστικές δεξιότητες για περισσότερες από μια γνωστικές περιοχές. Για παράδειγμα στην «ολοκλήρωση STEM» αξιοποιούμε την

Για παράδειγμα σχεδιάζουμε μια ενότητα στα Μαθηματικά μέσω πλαισίων από τις Επιστήμες, την Μηχανική και την Τεχνολογία.	διδασκτική στρατηγική της σχεδίασης της Μηχανικής για να αναπτύξουν οι εκπαιδευόμενοι γνώσεις στα Μαθηματικά και τις Επιστήμες
---	--

Η όποια αξιολόγηση σχετικά με την «ολοκλήρωση STEM» θα έχει επομένως δυο διαστάσεις.

Η μία διάσταση θα αφορά την φύση της ολοκλήρωσης»(μονοεπιστημονική, πολυεπιστημονική, διεπιστημονική, δια-επιστημονική), και β) τα μαθησιακά αποτελέσματα(γνωστικά, συναισθηματικά, ψυχοκινητικά/δεξιότητες) αλλά και τις πρακτικές, ενώ στις δεξιότητες πρέπει να συμπεριλάβουμε και δεξιότητες σε σχέση με τις συγκεκριμένες πρακτικές των Επιστημών, των Μηχανικών και των Μαθηματικών.

Η αξιολόγηση στην «ολοκληρωμένη εκπαίδευση STEM» θεωρείται ότι εξαρτάται και από τον τύπο της επιστημολογικής προσέγγισης(μονοεπιστημονική, διεπιστημονική κλπ), όπως περιγράφεται από τους (Gao et al.,2020).

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι διαστάσεις της αξιολόγησης σε συνάρτηση με την εφαρμογή της αντίστοιχης επιστημολογικής προσέγγισης.

Σχήμα 9.

Οι διαστάσεις της Αξιολόγησης στην «ολοκλήρωση STEM»(Gao et al.,2020)

Learning Objectives Nature of Disciplines	Knowledge (K)	Skill (S)	Practice (P)	Affective Domain (A)
Transdisciplinary (TD)	TDK	TDS	TDP	TDA
Interdisciplinary (ID)	IDK	IDS	IDP	IDA
Monodisciplinary (MD)	MDK	MDS	MDP	MDA

Παρά την εξαιρετική ανάλυση που περιέχεται στο άρθρο των (Gao et al.,2020), ωστόσο δεν συζητάτε εκτενώς το θέμα των εγκάρσιων εννοιών, που θεωρούμε απαραίτητες για την ολοκλήρωση.

7.2 Οι ικανότητες που αξιολογούνται στην «ολοκλήρωση STEM».

Έχουμε αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα για τις «ικανότητες STEM». Στην ενότητα αυτή θα εστιάσουμε σε δείκτες «αιτιολόγησης με βάση την επιχειρηματολογία» που θεωρούμε ότι συνδέονται με την αναλυτική και κριτική σκέψη και τις διαστάσεις της Υπολογιστικής Σκέψης και θα μπορούσαν να ενταχθούν στην προηγούμενη ανάλυση στους γνωστικούς στόχους.

Ένα θέμα που είδαμε ότι τίθεται στην αξιολόγηση στην βιβλιογραφία αφορά την δυσκολία να τεθούν συγκεκριμένοι στόχοι για τις επιμέρους γνωστικές περιοχές όταν υλοποιείται η «ολοκλήρωση STEM»(Mayes,2019) αλλά

σε κάθε περίπτωση τα μαθησιακά αποτελέσματα θα πρέπει να περιλαμβάνουν την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης, της ικανότητα επίλυσης προβλήματος και της ικανότητας για αιτιολόγηση. Οι παρακάτω δείκτες θεωρούνται ότι πρέπει να περιλαμβάνονται στην αξιολόγηση όταν υλοποιείται η «ολοκλήρωση STEM» (Mayes, 2019). Όλοι οι δείκτες θεωρείται ότι ανήκουν στην «αιτιολόγηση με βάση τα επιχειρήματα» καθώς στην διεπιστημονική προσέγγιση -όπου το πρόβλημα δεν περιορίζεται από τα σύνορα γνωστικών περιοχών- η αιτιολόγηση με επιχειρήματα είναι ένας γενικός δείκτης που έχει τις παρακάτω συνιστώσες: την ικανότητα ανάλυσης πολύπλοκων συστημάτων, την ικανότητα αιτιολόγησης με βάση την επιστημονική μοντελοποίηση, την «υπολογιστική» αιτιολόγηση με βάση τις διαστάσεις της Υπολογιστικής Σκέψης, τον σχεδιασμό της Μηχανικής και την μαθηματικοποίηση των σχέσεων που απαιτούνται.

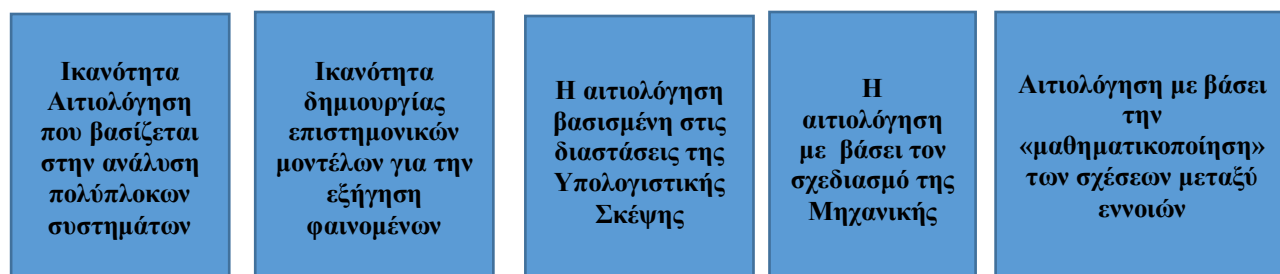
Ο λόγος που η εστίαση γίνεται στην επιχειρηματολογία είναι ο εξής (Mayes, 2019):

η ποσοτική αιτιολόγηση/επιχειρηματολογία παίζει σημαντικό ρόλο στα αυθεντικά-διεπιστημονικά προβλήματα γιατί οι εκπαιδευόμενοι επιχειρηματολογούν βασιζόμενοι στα δεδομένα (π.χ. από μετρήσεις πραγματικών δεδομένων μέσω physical computing) ώστε αυτά τα επιχειρήματα να στηρίζονται σε κατασκευή μοντέλων και να ελέγχονται σε σχέση με τα δεδομένα που θα έδινε ένα φυσικό εργαστήριο.

Παραθέτουμε συνοπτικά τους δείκτες αξιολόγησης στην «ολοκληρωμένη Υπολογιστική Παιδαγωγική STEM».

Σχήμα 10.

Διαστάσεις αξιολόγησης στην «ολοκλήρωση STEM».



Στο άρθρο επιχειρήθηκε μια συνεκτική μετάβαση από την επιστημολογία του «ολοκληρωμένου STEM» με την ολοκλήρωση της Υπολογιστικής Επιστήμης, στην ανάγκη νέων διδακτικών στρατηγικών που θα προκύπτουν όταν -σε οποιαδήποτε από αυτές- ο εκπαιδευόμενος λαμβάνει πραγματικά δεδομένα.

Η αξιολόγηση είναι ένα δύσκολο πρόβλημα γιατί τα μαθησιακά αποτελέσματα δεν αναφέρονται σε μια γνωστική περιοχή αλλά σε τομές και συνοριακά αντικείμενα.

Οι συγγραφείς εργάζονται προς την κατεύθυνση αυτή.

Βιβλιογραφία

Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of Educational Research*, 81(2), 132-169

- Asay, L.D., & Orgill, M.K. (2010). Analysis of essential features of inquiry found in articles published in *The Science Teacher*, 1998-2007. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 57- 79.
- Asunda, P. (2014), 'A conceptual framework for STEM integration into curriculum through career and technical education', *Journal of STEM Teacher Education*, 49 (1), 3-15. Retrieved from: <https://doi.org/10.30707/JSTE49.1Asunda>
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative inquiry learning: Models, tools and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349-377.
- Bryan, L., & Guzey, S.S. (2020). K-12 STEM Education: An Overview of Perspectives and Considerations. *Hellenic Journal of STEM Education*, 1(1), 5-15
- Bryan, L. A., Moore, T. J., Johnson, C. C., & Roehrig, G. H. (2015). Integrated STEM education. In C. C. Johnson, E. E. Peters-Burton, & T. J. Moore (Eds.), *STEM road map: A framework for integrated STEM education* (pp. 23-37). New York, NY: Routledge.
- Cohen, E., & Lloyd, S. (2014). Disciplinary evolution and the rise of the transdiscipline. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*, 17, 189-215.
- Deloitte Access Economics. (2014). *Australia's STEM workforce: A survey of employers*. Office of the Chief Scientist, Australian Government..
- English, L. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3), 1-8
- Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020), "Reviewing Assessment of Student Learning in Interdisciplinary STEM Education," *Int. J. STEM Educ.*, 7(1), 1-14
- Landau RH, Paez J, Bordeianu C. (2008). *A survey of computational physics introductory computational science*. Princeton University Press, New Jersey
- Latour, B. (1989). Visualization and cognition: drawing things together. In E. Long, & H. Kuklick (Eds.), *Knowledge and Society: Studies in the Sociology of Culture Past and Present*. (Vol. 6, pp. 1-40). Greenwich, CT: Jai Press
- Mayes, R. (2019). *Quantitative Reasoning and Its Role in Interdisciplinarity*. In Doig, B., Williams, J., Swanson, D., Borromeo Ferri, R., & Drake, P. (2019). *Interdisciplinary Mathematics Education*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11066-6>
- Moore, T. J., Tank, K. M., Glancy, A. W., Siverling, E. A., & Mathis, C. A. (2014a). *Engineering to enhance STEM integration efforts*, American Society for Engineering Education Annual Conference.
- Moore, T. J., Stohlmann, M. S., Wang, H.-H., Tank, K. M., Glancy, A.W., & Roehrig, G. H. (2014b). *Implementation and integration of engineering* in K-12 STEM education. In J. Strobel, S. Purzer, & M. Cardella (Eds.), *Engineering in precollege settings: Research into practice*. Rotterdam, the Netherlands: Sense Publishers.
- NRC (2001). *Knowing what students know: The science and design of education assessment*. Committee on the Foundations of Assessment.
- National Research Council. (2012a). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press, Washington, DC.
- National Research Council. (2012b). *Discipline-based education research: understanding and improving learning in undergraduate science and engineering*. National Academies Press, Washington, DC

- National Academy of Engineering, Katehi, L., Pearson, G., & Feder, M. (Eds.). (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Academy of Engineering (NAE) and National Research Council (NRC). (2014). *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18612>.
- NGSS Lead States (2013). *Next generation science standards: for states, by states*. The National Academies Press, Washington, DC
- Pellegrino, J. W. (2014). *A learning sciences perspective on the design and use of assessment in education*. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 233–252). New York: Cambridge University Press.
- Psycharis, S. (2021). Editorial: A New Era with STEM Education? *Hellenic Journal of STEM Education*, 1(2), 43-44. <https://doi.org/10.51724/hjstemed.v1i2.14>
- Psycharis, S. (2016a). The Impact of Computational Experiment and Formative Assessment in Inquiry Based Teaching and Learning Approach in STEM Education. *Journal of Science Education, and Technology* 25(2), 316-326 (JOST) DOI 10.1007/s10956-015-9595-z
- Psycharis, S., (2016b). Inquiry Based- Computational Experiment, Acquisition of Threshold Concepts and Argumentation in Science and Mathematics Education. *Educational Technology & Society*, 19(3), 282-293.
- Psycharis, S. (2018). Computational Thinking, Engineering Epistemology and STEM Epistemology: *A primary approach to Computational Pedagogy* (ICL, 2018 Accepted for publication
- Psycharis, S. & Kalovrektis, K. (2021). A Conceptual Framework for Computational STEAM Integration. Crosscutting Concepts, Threshold Concepts, Border Objects and their propagation in STEM integrational fusion. *Hellenic and International Conference. STE(A)M Educators and Education*. Patras 7-9 May 2021
- 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, 31-44
- Taub, R., Armoni, M., & Ben-Ari, M. (2013). *The Contribution of Computer Science to Learning Computational Physics*. In I. Diethelm & R. Mittermeir (Eds.), *Informatics in Schools. Sustainable Informatics Education for Pupils of all Ages* (Vol. 7780, pp. 127-137): Springer Berlin Heidelberg.
- Taub, R., Armoni, M., Bagno, E., & Ben-Ari, M. (2015). The effect of computer science on physics understanding in a computational science environment. *Computers & Education* 87, 10-23.
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P. and Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>

- Tytler, R., Prain, V. & Hobbs, L. Rethinking Disciplinary Links in Interdisciplinary STEM Learning: a Temporal Model. *Res Sci Educ* 51, 269–287 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09872-2>
- Watson, F. G. (1983). Science education: a discipline. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 263–264.
- Yasar, O., Veronesi, P., Maliekal, J., Little, L., Vattana, S., & Yeter, I. (2016). Computational Pedagogy: Fostering A New Method of Teaching. *Comp. in Education*, 7(3), 51-72. Presented at: ASEE Annual Conference and Exposition. New Orleans, June 2016.
- Ψυχάρης, Σ.& Καλοβρέκτης, Κ. (2017). *Διδακτική και Σχεδιασμός Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων STEM και ΤΠΕ*. Κωδικός Εύδοξος 68374254 ISBN: 978-960-418-706-5. Εκδόσεις Τζιόλα
- Καλοβρέκτης, Κ., Ξενάκης, Α., Ψυχάρης, Σ.,& Σταμούλης, Γ.(2020). *Εκπαιδευτική Τεχνολογία, Αναπτυξιακές Πλατφόρμες Ρομποτικής και IoT* ISBN: 978-960-418-828-4. Εκδόσεις Τζιόλα