

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ανάπτυξη Υπολογιστικής και Επιστημονικής Σκέψης μέσα από τον
Προγραμματισμό Ενσώματων Αλληλεπιδράσεων με ένα
Τηλεχειριζόμενο Εκπαιδευτικό Ρομπότ**

Διδακτορική Διατριβή

Αλέξανδρος Μερκούρης

Κέρκυρα, Δεκέμβριος 2019

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Ανάπτυξη Υπολογιστικής και Επιστημονικής Σκέψης μέσα από τον
Προγραμματισμό Ενσώματων Αλληλεπιδράσεων με ένα
Τηλεχειριζόμενο Εκπαιδευτικό Ρομπότ**

Διδακτορική Διατριβή
Αλέξανδρος Μερκούρης

Κέρκυρα, Δεκέμβριος 2019

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Αχιλλέας Καμέας, Καθηγητής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Βασίλειος Χρυσικόπουλος, Καθηγητής-Πρύτανης Ιονίου Πανεπιστημίου

Κωνσταντίνος Χωριανόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Κωνσταντίνος Αγγελάκος, Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Χαρούλα Αγγελή, Καθηγήτρια, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Αχιλλέας Καμέας, Καθηγητής, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Βασίλειος Χρυσικόπουλος, Καθηγητής-Πρύτανης Ιονίου Πανεπιστημίου

Κάτια Κερμανίδου, Επίκουρη Καθηγήτρια, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Γιώργος Παλαιγεωργίου, Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Δυτικής

Μακεδονίας

Κωνσταντίνος Χωριανόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Abstract

In recent years, researchers and educators have considered robotics as an inspiring educational tool to promote the comprehension of science, technology, engineering, and mathematics concepts as well as to foster computational thinking and creativity. Contemporary research has explored educational robotics, but it has not examined the development of computational and scientific thinking in the context of programming embodied interactions. In a typical educational robotics activity, children are asked to enliven the robots by creating the appropriate computer programs. The programmer has to think mainly about the goal of the robot and how the robot will interact with the environment. However, there is another important aspect that should also be taken into consideration, and this is if and how the user will physically interact with the robot.

Additionally, with the rapid development of digital technologies, such as mobile devices, touchscreens and computer vision, a wide gamut of interfaces is provided to users. Children can interact with digital information more naturally and physically, using personal devices that are appealing to them. Putting forth the notion of “embodied interaction” we are moving away from the conventional keyboard and mouse input devices to touch, speech, hand and full-body interfaces. Recently, there has been a strong push to exploit these interfaces in science and computing education triggered by the views of embodied cognition researchers that physical interactions with the environment through sensorimotor modalities (touch, movement, speech, smell and vision) are essential factors in the construction of knowledge.

In this work, we explored the synergy between embodied learning and educational robotics through a series of programming activities. Thus, the main purpose of this dissertation is to investigate whether programming human-robot interfaces and students’ embodied interactions with educational robots can affect the development of their computational and scientific thinking.

Two studies were conducted within formal classroom environments. In the first study, we recruited thirty-six middle school students to participate in a six-session robotics curriculum in an attempt to expand their learning in computational thinking. Participants were asked to develop interfaces for the remote control of a robot using diverse interaction styles from low-level to high-level embodiment, such as touch, speech, hand and full-body gestures. We measured students’ perception of computing, examined their computational practices, and assessed the development of their computational thinking skills by analyzing the sophistication of the projects they created during a problem-solving task. We found that students who programmed

combinations of low embodiment interfaces or interfaces with no embodiment produced more sophisticated projects and adopted more sophisticated computational practices compared to those who programmed full-body interfaces. These findings suggest that there might be a trade-off between the appeal and the cognitive benefit of rich embodied interaction with a remotely controlled robot.

In the second study, we explored the effects of touch and gestural interaction with a tablet and a robot, in the context of a primary education physics course about the notion of friction. For this purpose, fifty-six students participated in a between-groups study that involved four computationally enhanced interventions which correspond to different input and output modalities, respectively: 1) touch-virtual, 2) touch-physical, 3) hand gesture-virtual, and 4) hand gesture-physical. We measured students' friction knowledge and examined their views. We found that the physical conditions had greater learning impact concerning friction knowledge compared to the virtual way. Additionally, physical manipulation benefited those learners who had misconceptions or limited initial knowledge about friction. We also found that students who used the more familiar touchscreen interface demonstrated similar learning gains and reported higher usability compared to those using the hand-tilt interface. These findings suggest that user interface familiarity should be carefully balanced with user interface congruency, in order to establish accessibility to a scientific concept in a primary education context.

Overall, the results of this dissertation suggest that embodiment within robotics can serve as an innovative approach to expand students' learning in computational and scientific thinking. In this way, the established curriculum of programming an autonomous robot might be complemented with user interactions, as well as with hybrid modes that reflect the variety of human-robot interactions in research and practice. The findings of this dissertation might benefit teachers, assisting them in creating effective robotic interventions with an embodied learning perspective that blends the traditional autonomous robot movement with student enactment.

Εκτεταμένη Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι να διερευνήσει αν ο προγραμματισμός διεπαφών ανθρώπου-ρομπότ και οι μετέπειτα ενσώματες εξ αποστάσεως αλληλεπιδράσεις των μαθητών με εκπαιδευτικά ρομπότ μπορούν να καλλιεργήσουν την ανάπτυξη της υπολογιστικής και επιστημονικής τους σκέψης.

Προηγούμενες έρευνες έχουν αναδείξει την εκπαιδευτική ρομποτική ως ένα καινοτόμο εργαλείο για τη διδασκαλία και εκμάθηση επιστημονικών, τεχνολογικών, μαθηματικών και υπολογιστικών εννοιών. Μέσα από διάφορες δραστηριότητες ρομποτικής, οι μαθητές καλούνται αρχικά να δώσουν, μέσω του προγραμματισμού, ζωή στα ρομπότ και στη συνέχεια παρατηρώντας τα να διερευνήσουν αφηρημένες έννοιες, οι οποίες χωρίς τη χρήση των ρομπότ θα ήταν δύσκολο να κατανοηθούν. Ωστόσο, πέρα από το στόχο του ρομπότ και της αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον, μια επιπλέον διάσταση, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν, είναι πώς θα αλληλεπιδράσει ο μαθητής με το ρομπότ. Αυτή την προοπτική έρχονται να ενισχύσουν οι ιδέες της ενσώματης μάθησης, κατά την οποία οι ενσώματες αλληλεπιδράσεις με απτικά διαδραστικά αντικείμενα μάθησης, με τη χρήση διαφόρων αισθητηριοκινητικών τρόπων, όπως αφής, κίνησης, ομιλίας, όσφρησης και όρασης, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στην κατανόηση αφηρημένων εννοιών και την οικοδόμηση της γνώσης. Σε αυτή την εργασία επιδιώχθηκε μια συνέργεια ανάμεσα στην ενσώματη μάθηση και την εκπαιδευτική ρομποτική μέσα από μια σειρά από δραστηριότητες προγραμματισμού.

Για τις ανάγκες της διατριβής πραγματοποιήθηκαν δύο έρευνες σε τυπικά σχολικά περιβάλλοντα δευτεροβάθμιας και πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Στην πρώτη έρευνα ζητήθηκε από τριάντα έξι μαθητές και μαθήτριες ενός Γυμνασίου να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, στις οποίες ο χρήστης αλληλεπιδρά από απόσταση με το ρομπότ, με διαφορετικούς τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, όπως μέσω αφής, ομιλίας, χειρονομιών, ή καταδεικτικών κινήσεων ολόκληρου του σώματος. Εξετάσαμε τις υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών, μελετήσαμε τις υπολογιστικές τους πρακτικές και αξιολογήσαμε την ανάπτυξη της υπολογιστικής τους σκέψης αναλύοντας τα έργα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας επίλυσης προβλήματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές που προγραμμάτισαν πολυτροπικές διεπαφές χαμηλής «σωματοποίησης» (“embodiment”) ή διεπαφές με καθόλου σωματοποίηση δημιούργησαν πιο προχωρημένα έργα και υιοθέτησαν πιο εξελιγμένες υπολογιστικές πρακτικές συγκριτικά με εκείνους που προγραμμάτισαν διεπαφές ολόκληρου σώματος. Τα συγκεκριμένα ευρήματα δείχνουν ότι πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της ελκυστικότητας και του γνωσιακού οφέλους που

αποκομίζουν οι μαθητές από τις πλούσιες αισθητηριοκινητικές αλληλεπιδράσεις με ένα τηλεχειριζόμενο εκπαιδευτικό ρομπότ.

Στη δεύτερη έρευνα, στο πλαίσιο μιας διδακτικής παρέμβασης στο μάθημα της Φυσικής, ζητήθηκε από πενήντα έξι μαθητές και μαθήτριες δύο Δημοτικών σχολείων να τροποποιήσουν μέσω προγραμματισμού διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, όπου ο χρήστης αλληλεπιδρά με ένα εικονικό ή με ένα φυσικό ρομπότ με δύο διαφορετικούς τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιώντας είτε την αφή του είτε μέσω χειρονομιών. Δημιουργήσαμε τέσσερις συνθήκες ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης και την υλική υπόσταση του ρομπότ: 1) αφή-εικονική, 2) αφή-φυσική, 3) χειρονομία-εικονική και 4) χειρονομία-φυσική. Στην προκειμένη περίπτωση, αξιολογήσαμε τις επιστημονικές γνώσεις των μαθητών στην έννοια της τριβής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συνθήκες με τα φυσικά ρομπότ είχαν μεγαλύτερο μαθησιακό αντίκτυπο όσον αφορά στις αποκτηθείσες γνώσεις τριβής από ό,τι οι συνθήκες με τα εικονικά ρομπότ. Επιπλέον, οι συνθήκες με τα φυσικά ρομπότ ωφέλησαν περισσότερο τους μαθητές με παρανοήσεις ή περιορισμένες αρχικές γνώσεις στο αντικείμενο της τριβής. Τέλος, οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την πιο οικεία απτική “touchscreen” διεπαφή για να κινήσουν τα ρομπότ αποκόμισαν παρόμοια μαθησιακά οφέλη και ανέφεραν μεγαλύτερη «ευχρηστία» (“usability”) από αυτούς που χρησιμοποίησαν τη διεπαφή που βασιζόταν στον αισθητήρα επιτάχυνσης. Τα συγκεκριμένα ευρήματα δείχνουν ότι πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της οικειότητας του μαθητή με τη χρησιμοποιούμενη διεπαφή και της συνάφειας της χειρονομίας με τις νοητικές λειτουργίες και αναπαραστάσεις της προς μάθηση επιστημονικής έννοιας.

Συμπερασματικά, τα παραπάνω ευρήματα δείχνουν ότι η σωματοποίηση με τη χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ μπορεί να χρησιμεύσει ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την ανάπτυξη της υπολογιστικής και επιστημονικής σκέψης των μαθητών. Συνεπώς, η παρούσα διδακτορική διατριβή μπορεί να βοηθήσει στο να αναδειχθούν και να καθοριστούν τα είδη των αισθητηριοκινητικών εμπειριών και οι τρόποι ενσώματης αλληλεπίδρασης με υπολογιστικά αντικείμενα μάθησης που μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη της υπολογιστικής και επιστημονικής σκέψης των μαθητών. Παράλληλα, προσφέρει κατευθύνσεις ώστε τα καθιερωμένα προγράμματα σπουδών τα οποία αφορούν τον προγραμματισμό αυτόνομων ρομπότ να εμπλουτιστούν με τις αλληλεπιδράσεις του χρήστη, καθώς και με υβριδικούς τρόπους έτσι ώστε να αντικατοπτρίζουν την ποικιλία των αλληλεπιδράσεων ανθρώπου-ρομπότ στην έρευνα και στην πράξη. Άρα, σε σχέση με τον τρόπο που υλοποιούνται οι διάφορες παραδοσιακές δραστηριότητες και διαγωνισμοί εκπαιδευτικής ρομποτικής μπορεί να

προσφέρει μια διαφορετική υβριδική εκπαιδευτική προσέγγιση, όπου η αυτόνομη κίνηση του ρομπότ συνδυάζεται με την ενσώματη διάδραση του μαθητή.

Συγγραφικό Έργο

Διεθνή Περιοδικά

Merkouris, A., & Chorianopoulos, K. (2019). Programming Embodied Interactions with a Remotely Controlled Educational Robot. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 19(4), 40.

Merkouris, A., Chorianopoulou, B., Chorianopoulos, K., & Chrissikopoulos, V. (2019). Understanding the Notion of Friction Through Gestural Interaction with a Remotely Controlled Robot. *Journal of Science Education and Technology*, 28(3), 209-221.

Merkouris, A., Chorianopoulos, K., & Kameas, A. (2017). Teaching programming in secondary education through embodied computing platforms: Robotics and wearables. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 17(2), 9.

Πρακτικά Διεθνών Συνεδρίων με Κριτές

Merkouris, A., & Chorianopoulos, K. (2018, November). Programming touch and full-body interaction with a remotely controlled robot in a secondary education STEM course. In *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 225-229). ACM.

Merkouris, A., & Chorianopoulos, K. (2017, November). Programming Human-Robot Interactions in Middle School: The Role of Mobile Input Modalities in Embodied Learning. In *Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning* (pp. 457-464). Springer, Cham.

Merkouris, A., & Chorianopoulos, K. (2015, November). Introducing computer programming to children through robotic and wearable devices. In *Proceedings of the Workshop in Primary and Secondary Computing Education* (pp. 69-72). ACM.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Αντικείμενο διατριβής.....	7
Εικόνα 2: Εννοιολογικό πλαίσιο εκπαιδευτικής σωματοποίησης της Fadjo [2012]. ..	26
Εικόνα 3: Εξ αποστάσεως έλεγχος του ρομπότ με την αφή και φωνητικές οδηγίες (αριστερά), και καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου σώματος (δεξιά)	52
Εικόνα 4: Οι τρόποι αλληλεπίδρασης, οι συσκευές εξόδου, τα εργαλεία ανάπτυξης και οι πλατφόρμες εξόδου.....	55
Εικόνα 5: Παραδείγματα εντολών, δομικών στοιχείων, μοτίβων και μηχανικών στοιχείων στο App Inventor	57
Εικόνα 6: Μέσοι όροι των χρησιμοποιηθέντων προγραμματιστικών δομικών στοιχείων και μοτίβων, ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης που επιλέχθηκαν για τον έλεγχο της κατεύθυνσης του ρομπότ.	59
Εικόνα 7: Τα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκαν ως έξοδος: 1) τα φυσικά (αριστερά) και 2) τα εικονικά (δεξιά).	68
Εικόνα 8: Οι τρόποι αλληλεπίδρασης (είσοδος): 1) αφή (αριστερά), 2) χειρονομίες (δεξιά)	69
Εικόνα 9: Οι τρόποι αλληλεπίδραση, οι συνθήκες του πειράματος και το mapping..	70
Εικόνα 10: Βελτίωση γνώσεων τριβής σε σχέση με τις πρότερες γνώσεις.	74

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Σύνοψη των δραστηριοτήτων και των υπολογιστικών εννοιών που διδάχτηκαν οι μαθητές ανά μάθημα.....	51
Πίνακας 2: Σύνοψη του τρόπου αλληλεπίδρασης, του επιπέδου σωματοποίησης και του εργαλείου ανάπτυξης εφαρμογών ανά δραστηριότητα.	54
Πίνακας 3: Συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα σε συνολικές εντολές, δομικά στοιχεία και μοτίβα.....	59
Πίνακας 4: Ποσοστό χρόνου που αφιερώθηκε σε κάθε μια από τις υπολογιστικές πρακτικές ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης.....	61
Πίνακας 5: Υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.....	63
Πίνακας 6: Οι τέσσερις ανεξάρτητες συνθήκες της μελέτης και οι αντίστοιχες ομάδες ανάλογα με την τροπικότητα της εισόδου και της εξόδου.....	67
Πίνακας 7: Περιγραφικά στατιστικά του δημογραφικού ερωτηματολογίου.....	72
Πίνακας 8: Περιγραφικά στατιστικά γνώσεων τριβής.....	72
Πίνακας 9: Βελτίωση γνώσεων μαθητών ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης.....	73
Πίνακας 10: Βελτίωση γνώσεων μαθητών ανάλογα με την υλική φύση της εξόδου..	74
Πίνακας 11: Περιγραφικά στατιστικά με τις απόψεις των μαθητών ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης.....	75

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	3
1.1	Ενσώματη Αλληλεπίδραση & Μάθηση.....	3
1.2	Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης.....	7
1.3	Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης.....	9
1.4	Συμβολή της Διατριβής.....	11
1.5	Δομή της Διατριβής.....	12
2	Σχετική Εργασία.....	14
2.1	Ενσώματη Νόηση.....	16
2.1.1	Φιλοσοφικές Προεκτάσεις.....	17
2.1.2	Ορίζοντας τη Σωματοποίηση.....	18
2.2	Από την Ενσώματη Νόηση στην Ενσώματη Μάθηση.....	23
2.2.1	Ενσώματη Αλληλεπίδραση & Θεωρίες Γνωστικής Ανάπτυξης.....	23
2.2.2	Ταξινομίες της Ενσώματης Μάθησης.....	25
2.2.3	Ενσώματη Μάθηση με χρήση Απτικών Αντικειμένων – Manipulatives.....	29
2.2.4	Εγγύς vs Εξ Αποστάσεως Ενσώματη Αλληλεπίδραση.....	32
2.3	Ο Προγραμματισμός ως Παιδαγωγική & Επιστημολογική Βάση.....	33
2.3.1	Οι Μαθητές ως «Παραγωγοί» της Γνώσης.....	34
2.3.2	Διερευνώντας «Δυναμικές Ιδέες».....	35
2.3.3	Προγραμματιστικά Εργαλεία Διερεύνησης «Δυναμικών Ιδεών».....	35
2.4	Υπολογιστική Σκέψη.....	37
2.4.1	Ορίζοντας την Υπολογιστική Σκέψη.....	37
2.4.2	Ενσώματη Υπολογιστική Σκέψη.....	38
2.4.3	Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης με χρήση Ρομπότ.....	40
2.5	Επιστημονική Σκέψη.....	41
2.5.1	Ορίζοντας την Επιστημονική Σκέψη.....	41
2.5.2	Ενσώματη Επιστημονική Σκέψη.....	42
2.5.3	Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης με χρήση Ρομπότ.....	46
2.6	Σύνοψη.....	47

3	Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης μέσα από τον Προγραμματισμό Διεπαφών Ανθρώπου – Ρομπότ	48
3.1	Επισκόπηση.....	48
3.2	Ερευνητικές Ερωτήσεις	48
3.3	Ερευνητικές Υποθέσεις	49
3.4	Συμμετέχοντες.....	49
3.5	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	50
3.6	Υλικά.....	53
3.7	Εργαλεία Μέτρησης και Διαδικασία	55
3.8	Αποτελέσματα.....	58
3.8.1	Υπολογιστικές Έννοιες.....	58
3.8.2	Υπολογιστικές Πρακτικές.....	60
3.8.3	Υπολογιστικές Αντιλήψεις.....	63
4	Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης μέσα από τον Προγραμματισμό Διεπαφών Ανθρώπου – Ρομπότ	65
4.1	Επισκόπηση.....	65
4.2	Ερευνητικές Ερωτήσεις	65
4.3	Ερευνητικές Υποθέσεις	65
4.4	Συμμετέχοντες.....	66
4.5	Εκπαιδευτική Παρέμβαση	67
4.6	Υλικά.....	68
4.7	Εργαλεία Μέτρησης και Διαδικασία	71
4.8	Αποτελέσματα.....	71
4.8.1	Γνώσεις Μαθητών για την Τριβή	72
4.8.2	Απόψεις Μαθητών για Τρόπους Αλληλεπίδρασης.....	74
5	Συζήτηση.....	76
5.1	Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης & Διάδραση με Εκπαιδευτικό Ρομπότ... ..	76
5.1.1	Συμβολή της Σωματοποίησης στη Μάθηση.....	76
5.2	Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης & Διάδραση με Εκπαιδευτικό Ρομπότ ..	78

5.2.1	Ισορροπώντας Συνάφεια με Οικειότητα.....	79
5.2.2	Συμβολή της Υλικότητας στη Μάθηση.....	80
5.3	Περιορισμοί.....	81
5.4	Θεωρητικές & Εκπαιδευτικές Προεκτάσεις.....	83
6	Συμπεράσματα.....	87
6.1	Σύνοψη της Διατριβής.....	87
6.2	Κατευθύνσεις για Μελλοντική Έρευνα.....	89
6.2.1	Εκπαίδευση στην Επιστήμη των Υπολογιστών.....	90
6.2.2	Εκπαίδευση STEM.....	91
6.2.3	Πρακτική Εφαρμογή στην Τάξη.....	92
6.3	Τελικό Συμπέρασμα.....	93
	Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	95

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους, οι οποίοι με στήριξαν και με καθοδήγησαν κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής και περαίωσης της διδακτορικής μου διατριβής.

Αρχικά, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Χωριανόπουλο για την επιστημονική, πνευματική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής έρευνας. Χωρίς τη συμβολή του δε θα ήταν δυνατή η υλοποίησή της.

Ευχαριστώ, επίσης, τα υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, τον καθηγητή κ. Αχιλλέα Καμέα για τη συνεισφορά του, καθώς και τον πρύτανη του Ιονίου Πανεπιστημίου κ. Βασίλειο Χρυσικόπουλο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να αποτελέσω ερευνητικό μέλος του Ιονίου Πανεπιστημίου.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στη συνάδελφο Βαρβάρα Γαρνέλη για την πολύπλευρη στήριξη που μου πρόσφερε, σε προσωπικό και ακαδημαϊκό επίπεδο.

Παράλληλα, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους μαθητές και εκπαιδευτικούς για τη συμμετοχή και συνεργασία τους στα διάφορα στάδια της έρευνας μου, καθώς και στους ανώνυμους αξιολογητές από τα συνέδρια και τα περιοδικά για τα πολύτιμα σχόλιά τους.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω στους φίλους μου και συναδέλφους που στάθηκαν δίπλα μου στη διάρκεια αυτή της επίπονης προσπάθειας όλα αυτά τα χρόνια.

Μα πάνω από όλα ευχαριστώ την οικογένεια μου, τον πατέρα μου Νίκο που δε βρίσκεται πλέον στη ζωή, την μητέρα μου Ανδριάνα και την αδερφή μου Ευδοκία, για τη συνεχή υποστήριξη και συμπαράσταση τους σε κάθε στιγμή της ζωής μου.

- Ναι, καταλαβαίνεις με το μυαλό. Λες: σωστό, στραβό- έτσι είναι, έτσι δεν είναι- έχεις δίκιο, δεν έχεις δίκιο. Μα τι βγαίνει μ' αυτό; Εγώ κοιτάζω τα μπράτσα σου, τα πόδια σου, το στήθος σου την ώρα που μιλάς. Κι αυτά όλα 'πομένουν βουβά. Δεν λένε τίποτα. Σα να μην έχουν αίμα. Από πού λοιπόν μπορείς να καταλάβεις; Από το κεφάλι; Πφφ!

Νίκος Καζαντζάκης, Βίος και πολιτεία του Αλέξη Ζορμπά

1 Εισαγωγή

1.1 Ενσώματη Αλληλεπίδραση & Μάθηση

Πώς θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα εκπαιδευτικά ρομπότ για τη διδασκαλία και εκμάθηση αφηρημένων επιστημονικών και υπολογιστικών εννοιών; Τα τελευταία χρόνια, ερευνητές και εκπαιδευτικοί θεωρούν την εκπαιδευτική ρομποτική ένα καινοτόμο εργαλείο για τη μετάδοση επιστημονικών, τεχνολογικών, μαθηματικών [Benitti & Baretto 2012; Eguchi 2014] και υπολογιστικών εννοιών [Bers et al. 2014]. Μέσα από διάφορες δραστηριότητες ρομποτικής, οι μαθητές καλούνται αρχικά να δώσουν, μέσω του προγραμματισμού, ζωή στα ρομπότ [Bers 2010] και στη συνέχεια παρατηρώντας τα να διερευνήσουν αφηρημένες έννοιες, που χωρίς τη χρήση των ρομπότ θα ήταν δύσκολο να κατανοηθούν. Ωστόσο, πέρα από το στόχο του ρομπότ και το πώς αυτό θα αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον, μια επιπλέον διάσταση, που θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι πώς θα αλληλεπιδράσει ο μαθητής με το ρομπότ. Μήπως η αλληλεπίδραση μαθητή-ρομπότ θα μπορούσε να εμπλουτίσει την εκπαιδευτική διαδικασία; Ο μαθητής κάνοντας χρήση του σώματός του, είτε για να ενεργήσει πάνω στο ρομπότ-περιβάλλον, είτε για να αντιληφθεί το αποτέλεσμα των ενεργειών του, θα μπορούσε να υποβοηθήσει τις νοητικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στον εγκέφαλο του; Τι έχουν να μας πουν οι έρευνες στους αναδυόμενους τομείς της ενσώματης νόησης και μάθησης για τη λεπτή αλληλεπίδραση μεταξύ εγκεφάλου, σώματος και περιβάλλοντος [Fadjo 2012]; Μήπως οι αρχές της ενσώματης νόησης και μάθησης θα μπορούσαν να εφαρμοστούν και στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής;

Σίγουρα, οι αφηρημένες επιστημονικές και υπολογιστικές έννοιες είναι δύσκολο να κατανοηθούν από τα παιδιά [Resnick et al. 1998; Zuckerman et al. 2005]. Σε αντίθεση με τα φυσικά αντικείμενα, που μπορούν να τα ακουμπήσουν, να τα δουν, να τα μυρίσουν, ή να τα ακούσουν, οι αφηρημένες έννοιες δεν έχουν φυσική υπόσταση στον πραγματικό κόσμο [de Koning & Tabbers 2011]. Ωστόσο, πολλοί γνωσιακοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι οι νοητικές αναπαραστάσεις των αφηρημένων εννοιών έχουν τις ρίζες τους σε αισθητηριοκινητικές εμπειρίες και οι αφηρημένες έννοιες τυπικά γίνονται κατανοητές με μεταφορική χρήση απτών-σαφών εννοιών [Lakoff & Johnson 2008; Lakoff & Nuñez 2000]. Συγκεκριμένα, ο Barsalou [1999] επισημαίνει ότι «οι αφηρημένες έννοιες έχουν τη βάση τους σε σύνθετες προσομοιώσεις συνδυασμένων φυσικών και νοητικών γεγονότων.» Συνεπώς, οι ερευνητές της ενσώματης νόησης θεωρούν ότι οι ενσώματες αλληλεπιδράσεις με το περιβάλλον μέσα από διάφορους αισθητηριοκινητικούς τρόπους, όπως αφή, κίνηση, ομιλία, όσφρηση και όραση,

αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στην κατανόηση των αφηρημένων εννοιών και την οικοδόμηση της γνώσης [Barsalou 2008; Gallese & Lakoff 2005; Wilson 2002].

Τα τελευταία χρόνια, η ενσώματη προσέγγιση [Barsalou 2008; Gallese & Lakoff 2005; Rouw et al. 2014; Wilson 2002] έχει αξιοποιηθεί αποτελεσματικά για τη διδασκαλία και την εκμάθηση αφηρημένων εννοιών σ' ένα ευρύ φάσμα θεμάτων που σχετίζονται με την ανάγνωση [Glenberg et al. 2004], τα μαθηματικά [Abrahamson 2014; Alibali & Nathan 2012; Nemirovsky et al. 2012; Ramani & Siegler 2008; Tran et al. 2017], τις φυσικές επιστήμες [Han & Black 2011; Johnson-Glenberg et al. 2016; Kontra et al. 2015; Lindgren et al. 2016], την τεχνολογία, τη μηχανική και την υπολογιστική σκέψη [Fadjo 2012; Parmar et al. 2016]. Σε κάθε μια από αυτές τις μελέτες, οι εκπαιδευόμενοι καλούνταν μέσα από αισθητηριοκινητικές εμπειρίες να αναπαραστήσουν τις αφηρημένες έννοιες με στόχο την ευκολότερη και βαθύτερη κατανόησή τους.

Στην προώθηση των αρχών της ενσώματης νόησης στον τομέα της μάθησης έχει συμβάλλει αποφασιστικά η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών, όπως οι κινητές συσκευές, οι οθόνες αφής και η «μηχανική όραση» (“computer vision”). Πλέον μια ευρεία γκάμα διεπαφών διατίθεται στους χρήστες που μπορούν πλέον να αλληλεπιδράσουν με τους υπολογιστές με σωματικό και φυσικό τρόπο [Jacob et al. 2008]. Η έννοια της «ενσώματης αλληλεπίδρασης» [Dourish 2004] έρχεται στο προσκήνιο, καθώς απομακρυνόμαστε από τις συμβατικές μονάδες εισόδου, όπως το ποντίκι και το πληκτρολόγιο, σε φυσικές διεπαφές ανθρώπου-υπολογιστή: απτικές, ομιλίας και ολόκληρου του σώματος [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013]. Ο χρήστης, πλέον, μπορεί να ενεργήσει άμεσα στο φυσικό κόσμο, καθώς το ανθρώπινο σώμα αποτελεί την κύρια είσοδο στη διάδραση με τον υπολογιστή.

Οι επιστήμονες της μάθησης μόλις τώρα αρχίζουν να εκτιμούν τη δυνητική συνέργεια ανάμεσα στη θεωρία της ενσώματης νόησης και στις τεχνολογίες ενσώματης αλληλεπίδρασης [Trninic & Abrahamson 2012]. Πρόσφατα, καταγράφεται μια έντονη προσπάθεια αξιοποίησης των διεπαφών που διευκολύνουν την ενσώματη αλληλεπίδραση στα μαθήματα της Πληροφορικής, της Τεχνολογίας και των Φυσικών επιστημών (STEM) κυρίως μέσα από περιβάλλοντα εικονικής, επαυξημένης και μεικτής πραγματικότητας [Lindgren et al. 2016]. Ωστόσο, ένας αυξανόμενος αριθμός εκπαιδευτών και ερευνητών θεωρούν την εκπαιδευτική ρομποτική ως ένα πολλά υποσχόμενο πεδίο για την εφαρμογή των αρχών της ενσώματης μάθησης. Ειδικότερα, ο Alimisis [2013] επισημαίνει ότι μέσω της ενσώματης προσέγγισης οι ρομποτικές δραστηριότητες μπορούν να καταστούν περισσότερο προσίτες και να αποκτήσουν περισσότερο νόημα για τους μαθητές. Η ανάπτυξη των ρομπότ και η χρήση τους στην εκπαίδευση έχει δώσει τη δυνατότητα στους μαθητές να έρθουν σε επαφή με μια

ευρεία γκάμα αφηρημένων εννοιών [Zuckerman et al. 2005], αλληλεπιδρώντας με «υπολογιστικά ή ψηφιακά απτικά αντικείμενα» (“computational or digital manipulatives”) [Resnick et al. 1998] που έχουν υπόσταση στον πραγματικό κόσμο. Υιοθετώντας τις αρχές της ενσώματης νόησης στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής οι εκπαιδευόμενοι συνήθως αρχικά καλούνται, είτε ενεργώντας με το σώμα τους (άμεση σωματοποίηση), είτε ελέγχοντας και παρατηρώντας κάποιο εξωτερικό αντιπρόσωπο (καθηγητή ή μαθητή) που να ενεργεί (σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου), να αναπαραστήσουν τις κινήσεις του ρομπότ και στη συνέχεια να το προγραμματίσουν με απώτερο σκοπό την κατανόηση επιστημονικών και υπολογιστικών εννοιών [Lu et al. 2011; Sung et al. 2017b].

Σίγουρα οι μέχρι τώρα έρευνες παρέχουν ενδιαφέρουσες κατευθύνσεις για την εφαρμογή της ενσώματης μάθησης στην εκπαίδευση. Ωστόσο, ο τρόπος που τελικά αξιοποιείται παιδαγωγικά η συγκεκριμένη προσέγγιση στο τυπικό σχολικό περιβάλλον είναι αφενός εξαιρετικά ποικιλόμορφη [Fadjo 2012] και αφετέρου ελλιπής, ιδιαίτερα όσον αφορά στην εκπαιδευτική ρομποτική. Ορμώμενοι από τα ευρήματα στον τομέα της ενσώματης μάθησης, καθώς και από την ανάγκη να διευρύνουμε τον τρόπο που αξιοποιούνται τα εκπαιδευτικά ρομπότ στην τάξη, στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε την εν δυνάμει συνέργεια ανάμεσα στην ενσώματη αλληλεπίδραση και την εκπαιδευτική ρομποτική, με απώτερο στόχο τη διδασκαλία και κατανόηση επιστημονικών και υπολογιστικών εννοιών. Για το σκοπό αυτό, διεξήγαμε δύο έρευνες σε τυπικά σχολικά περιβάλλοντα, πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, όπου οι μαθητές αντί να αναπαραστήσουν με το σώμα τους τις κινήσεις του ρομπότ, πριν το προγραμματίσουν, καλούνταν αρχικά να αναπτύξουν, μέσω προγραμματισμού, τις κατάλληλες διεπαφές αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ. Στη συνέχεια, καλούνταν, μέσω ενσώματης εξ αποστάσεως αλληλεπίδρασης με τα ρομπότ, να διερευνήσουν υπολογιστικές και επιστημονικές έννοιες σχετικές με την κίνηση.

Οι απόψεις των Seymour Papert [1987] και Alan Kay [Allen-Conn & Rose 2003] για τη διερεύνηση και κατανόηση «δυναμικών ιδεών» (“powerful ideas”), μέσω του προγραμματισμού, αποτέλεσαν την κύρια πηγή έμπνευσης της παρούσας διδακτικής παρέμβασης. Πρωτοπόροι, όπως ο Papert και ο Kay, οραματίστηκαν και πρότειναν τη χρήση του υπολογιστή ως εργαλείο εποικοδομητικής μάθησης και όχι απλά ως μέσο για την ανάπτυξη δεξιοτήτων πληροφορικού αλφαριθμητισμού, προσέγγιση που αποτελεί συχνά το βασικό κίνητρο για τη χρήση και ένταξη των υπολογιστών στα σχολεία. Σύμφωνα με τις αρχές της «κατασκευαστικής» (“constructionist”) θεωρίας μάθησης, τα παιδιά μαθαίνουν καλύτερα όταν οικοδομούν τη γνώση οικιοθελώς, καθώς

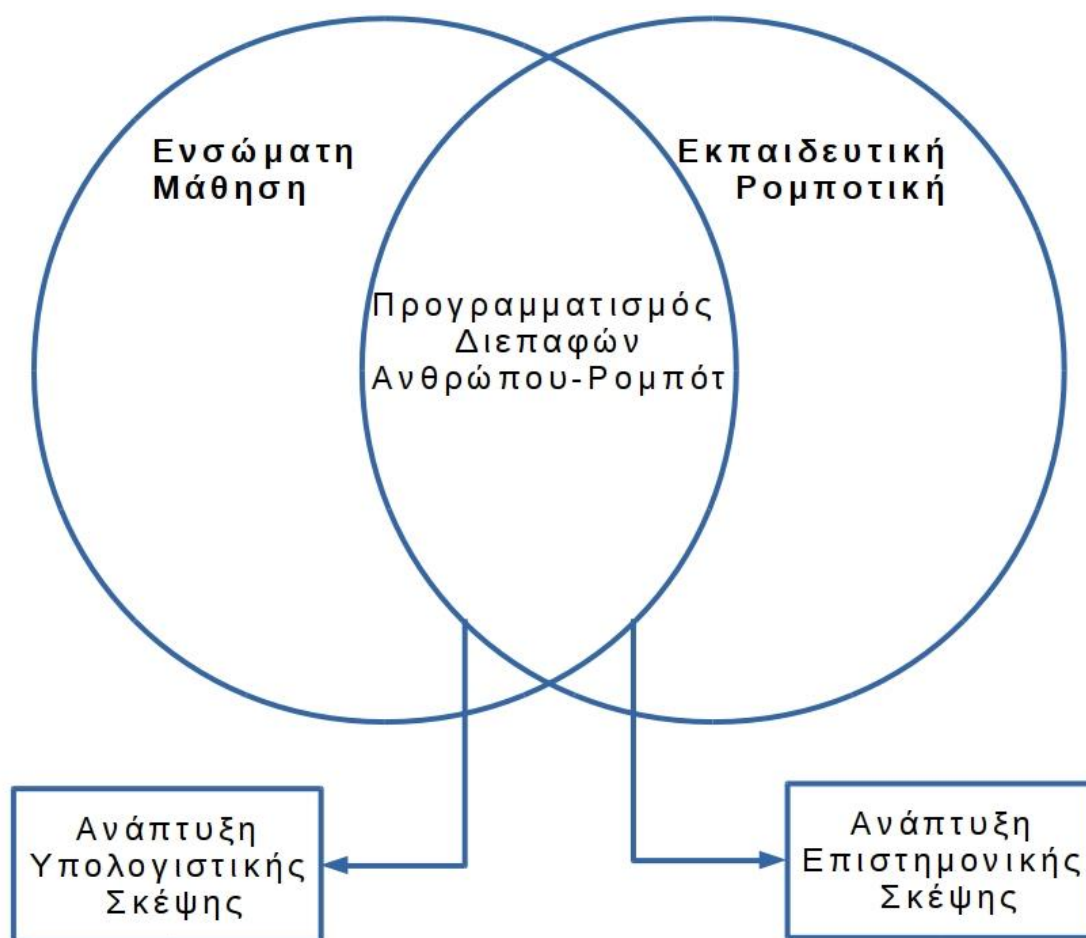
εμπλέκονται σε δραστηριότητες σχεδιασμού και δημιουργίας προγραμμάτων, ρομπότ και e-textiles [Papert 1980; Resnick et al. 1996]. Με τον ίδιο τρόπο που τα παιδιά, καθώς παίζουν με απτά παιχνίδια κατασκευών, έχουν τη δυνατότητα να διερευνήσουν μηχανικές έννοιες, έτσι και μέσα από την οικοδόμηση ενεργών αναπαραστάσεων, όπως τα προγράμματα, μπορούν να διερευνήσουν αφηρημένες έννοιες και μαθηματικές σχέσεις. Στο επίκεντρο του οράματός τους βρίσκεται ο υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο, ο «υπολογισμός» (“computing”) παρά ο «υπολογιστής» [Dourish 2004].

Οι Allen-Conn & Rose [2003] στο βιβλίο τους περιγράφουν πώς θα μπορούσαμε στην πράξη να μεταδώσουμε επιστημονικές και μαθηματικές έννοιες στους μαθητές μέσα από διάφορες δραστηριότητες προγραμματισμού. Οι μαθητές καλούνται αρχικά να σχεδιάσουν και στη συνέχεια να κινήσουν ένα «εικονικό αυτοκινητάκι» δημιουργώντας το κατάλληλο πρόγραμμα στην οπτική γλώσσα προγραμματισμού Squeak. Καθώς προγραμματίζουν, οι μαθητευόμενοι έρχονται σε επαφή και διερευνούν «δυναμικές ιδέες», όπως την έννοια του μηδέν, τους θετικούς και αρνητικούς αριθμούς, τις συντεταγμένες στο καρτεσιανό επίπεδο, τα ανάλογα ποσά, την ανάδραση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση, τη βαρύτητα κτλ. Μια πτυχή της παρούσας διατριβής αφορά την επέκταση των παραπάνω απόψεων «πέρα από την οθόνη» του υπολογιστή στον πραγματικό κόσμο αντικαθιστώντας το εικονικό αντικείμενο με ένα φυσικό αντικείμενο, όπως είναι ένα εκπαιδευτικό ρομπότ. Έτσι οι μαθητές θα έχουν τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσουν με ένα υπολογιστικό αντικείμενο που έχει υλική υπόσταση και κινείται στον τρισδιάστατο πραγματικό κόσμο. Μια επιπλέον πτυχή σχετίζεται με τη διάσταση της ενσώματης αλληλεπίδρασης με το ρομπότ και την πιθανή συμβολή της στην ευκολότερη και βαθύτερη κατανόηση «δυναμικών ιδεών» στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών και των Φυσικών επιστημών.

Εν κατακλείδι, τα ερευνητικά ερωτήματα που διαπραγματεύεται η παρούσα διατριβή είναι τα ακόλουθα:

1. Πώς ο προγραμματισμός ενσώματων αλληλεπιδράσεων με ένα εκπαιδευτικό ρομπότ μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της υπολογιστικής σκέψης των μαθητών;
2. Πώς ο προγραμματισμός ενσώματων αλληλεπιδράσεων με ένα εκπαιδευτικό ρομπότ μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης των μαθητών;

Για να μπορέσουμε να απαντήσουμε στα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα διεξήγαμε δύο έρευνες σε τυπικά σχολικά περιβάλλοντα της δευτεροβάθμιας και πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης αντίστοιχα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Αντικείμενο διατριβής

1.2 Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης

Στην πρώτη μελέτη το επίκεντρο του ενδιαφέροντος ήταν η ανάπτυξη υπολογιστικής σκέψης (ΥΣ) των μαθητών μέσα από δραστηριότητες προγραμματισμού ρομπότ υιοθετώντας τις αρχές της ενσώματης μάθησης. Άλλωστε, η ΥΣ αποτελεί μια σημαντική δεξιότητα του 21^{ου} αιώνα που οι μαθητές τόσο της πρωτοβάθμιας, όσο και της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, είναι θεμιτό να διδάχτούν και να αναπτύξουν μαζί με τις βασικές δεξιότητες της γραφής, της ανάγνωσης και της αριθμητικής. Ωστόσο, η βιβλιογραφία στο πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών δίνει έμφαση κυρίως στην αφηρημένη φύση της ΥΣ [Papert 1980; Wing 2006]. Συγκεκριμένα, η Wing [2008] περιγράφει την ΥΣ ως «τις νοητικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά τη διατύπωση και λύση ενός προβλήματος, ώστε η λύση η οποία θα προκύψει να μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια τέτοια μορφή που να είναι εφικτή η αποτελεσματική εκτέλεση

της από ένα σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών.» Παρόλο που υπάρχει μια πληθώρα ορισμών της συγκριμένης έννοιας, η ουσία της ΥΣ είναι αφενός στο να σκέφτεσαι ως επιστήμονας υπολογιστών όταν έρχεσαι αντιμέτωπος με ένα πρόβλημα [Grover & Pea 2013b] και αφετέρου να επιλύεις το πρόβλημα με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορεί κάλλιστα να λυθεί από έναν υπολογιστή [Witherspoon et al. 2017].

Μήπως, όμως, πρέπει να κινηθούμε πέρα από την αμιγώς νοητική διάσταση της ΥΣ, η οποία υποτίθεται ότι λαμβάνει χώρα αποκλειστικά στο εγκέφαλό μας; Η σκέψη άλλωστε δεν είναι μια νοητική διαδικασία, που συμβαίνει ξεχωριστά από το να υπάρχουν και να δρας στο περιβάλλον [Dourish 2004]. Άρα, μήπως και η ΥΣ θα μπορούσε να υποβοηθηθεί από τις ενσώματες αλληλεπιδράσεις μας με το περιβάλλον; Πράγματι, τα τελευταία χρόνια, αρκετοί ερευνητές και εκπαιδευτικοί στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών [Daily et al. 2014; Fadjjo et al. 2009a; Fadjjo 2012; Parmar et al. 2016 Sung et al. 2017a], ενστερνιζόμενοι τις αρχές της ενσώματης μάθησης, πιστεύουν ότι η ΥΣ θα μπορούσε να καλλιεργηθεί αποτελεσματικότερα, εάν προσφέρουμε στους εκπαιδευόμενους εμπειρίες πλούσιες σε αισθητηριοκινητικές διαδράσεις.

Η χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ για την ανάπτυξη δεξιοτήτων ΥΣ [Bers et al. 2014] είναι αρκετά διαδεδομένη. Από την άλλη μεριά, η υιοθέτηση πρακτικών της ενσώματης νόησης για την καλλιέργεια της ΥΣ δεν είναι ακόμα τόσο δημοφιλής στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής, παρά το γεγονός ότι έχουν προκύψει ενθαρρυντικά μαθησιακά και παιδαγωγικά αποτελέσματα [Lu et al. 2011; Sung et al. 2017b]. Ωστόσο, αυτό το περιορισμένο δείγμα ερευνών αναδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση της συμβολής της ενσώματης μάθησης στην ανάπτυξη της ΥΣ μέσα από τη χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ. Γι' αυτό ακριβώς το λόγο, προσπαθήσαμε να εξετάσουμε αν διάφορες δραστηριότητες προγραμματισμού για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη των δεξιοτήτων ΥΣ των μαθητών. Ειδικότερα, αντί να ζητήσουμε από τους μαθητές να αναπαραστήσουν με το σώμα τους τις κινήσεις του ρομπότ, πριν το προγραμματίσουν, τους ζητήσαμε να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, στις οποίες ο χρήστης θα αλληλεπιδρά, εξ αποστάσεως, με το ρομπότ με διαφορετικούς τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, όπως με την αφή, την ομιλία, χειρονομίες, ή καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου του σώματος. Οι τρόποι ενσώματης αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιήθηκαν για τον απομακρυσμένο έλεγχο του ρομπότ διέφεραν κυρίως ως προς το «επίπεδο σωματοποίησης τους» ("level of embodiment") [Johnson-Glenberg et al. 2016]. Ένας από τους παράγοντες που καθορίζει το επίπεδο σωματοποίησης, σύμφωνα με τους Johnson-Glenberg et al. [2016] και Lindgren et al. [2016], είναι ο βαθμός της

αισθητηριοκινητικής διέγερσης. Για παράδειγμα, οι καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου σώματος εμπεριέχουν μεγαλύτερο επίπεδο σωματοποίησης συγκριτικά με τις μικροκινήσεις του χεριού [Lindgren et al. 2016; Johnson-Glenberg et al. 2016] καθώς χειριζόμαστε το ποντίκι ενός υπολογιστή.

Συνεπώς, ο κύριος στόχος της πρώτης μελέτης ήταν να αναδείξουμε τη σχέση ανάμεσα στα επίπεδα της σωματοποίησης και την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης και της εκπαιδευτικής ρομποτικής.

1.3 Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης

Στη δεύτερη μελέτη επικεντρωθήκαμε στην ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης (ΕΣ) των μαθητών μέσα από δραστηριότητες προγραμματισμού ρομπότ υιοθετώντας τις αρχές της ενσώματης μάθησης. Ο τομέας των Φυσικών επιστημών και ιδιαίτερα της Φυσικής είναι μια προφανής επιλογή για την εφαρμογή της ενσώματης προσέγγισης, εφόσον από τη στιγμή που ο εγκέφαλος και το σώμα μας αρχίζουν να αντιλαμβάνονται τον κόσμο [Johnson-Glenberg et al. 2013], αναπτύσσουμε μια «αίσθηση» για βασικές έννοιες της Φυσικής, όπως οι δυνάμεις και η κίνηση [Black 2010; Kontra et al. 2015]. Ουσιαστικά, η αφηρημένη γνώση που σχετίζεται με την κίνηση των αντικειμένων και τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτά έχει τα θεμέλια της στις προσωπικές μας αισθητηριοκινητικές εμπειρίες και τις φυσικές μας αλληλεπιδράσεις με αντικείμενα που υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο.

Φυσικά αντικείμενα, όπως τα υπολογιστικά (ή ψηφιακά) απτικά αντικείμενα, που προτείνει ο Resnick et al. [1996], μπορούν να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τις επιστημονικές αναζητήσεις των μαθητών. Ειδικότερα, τα υπολογιστικά απτικά αντικείμενα είναι τεχνουργήματα με ενσωματωμένες υπολογιστικές δυνατότητες, όπως τα ρομπότ Lego Mindstorms, τα Programmable Beads, και βελτιωμένες εκδόσεις παιχνιδιών όπως το BitBall [Resnick et al. 1998], τα οποία επιτρέπουν στα παιδιά να διερευνήσουν μαθηματικές, τεχνολογικές και επιστημονικές έννοιες, οι οποίες διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να κατανοηθούν. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα από τη χρήση τους είναι ότι οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τους υπολογιστές και να μάθουν με έναν πιο φυσικό, οικείο και άμεσο τρόπο, χρησιμοποιώντας πολλαπλές αισθήσεις, όπως η αφή, η όραση και η ακοή [Zuckerman et al. 2005]. Τα υπολογιστικά απτικά αντικείμενα μπορούν να επικοινωνούν και να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, αλλά το σημαντικότερο είναι ότι έχουν τη δυνατότητα προγραμματισμού, με αποτέλεσμα οι μαθητές να μπορούν να καθορίσουν τη συμπεριφορά τους. Ειδικότερα, μέσω του Lego Mindstorms kit, οι μαθητές μπορούν να κατασκευάσουν και να προγραμματίσουν ρομπότ Lego ώστε αυτό να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον.

Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους κινητήρες και αισθητήρες, οι μαθητές μπορούν να προγραμματίσουν τη ρομποτική συσκευή ώστε να μετράει μια μεταβλητή του περιβάλλοντος, η οποία μπορεί να προκαλέσει μια αντίδραση από το ρομπότ [Sullivan & Heffernan 2016]. Επιπλέον, οι μαθητές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με υπολογιστικά απτικά αντικείμενα, μέσω των κατάλληλων διεπαφών ανθρώπου-ρομπότ. Αυτή η δυνατότητα αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ, άλλωστε, μας επιτρέπει να εισάγουμε τη διάσταση της ενσώματης μάθησης στην προσπάθεια να αξιοποιήσουμε εκπαιδευτικά απτικά αντικείμενα με ενσωματωμένες υπολογιστικές δυνατότητες.

Προηγούμενες προσπάθειες για τη διδασκαλία αφηρημένων επιστημονικών εννοιών, εντός του πλαισίου της ενσώματης μάθησης, έκαναν εκτεταμένη χρήση είτε προσομοιώσεων υπολογιστών, κατά τις οποίες οι μαθητές μέσα από χειρονομίες και την αφή τους είχαν τη δυνατότητα να διερευνήσουν και να κατανοήσουν φυσικά φαινόμενα [Chan & Black 2006; Han & Black 2011; Minogue & Borland 2016], είτε περιβαλλόντων μεικτής και επαυξημένης πραγματικότητας, όπου οι μαθητές καλούνταν να αναπαραστήσουν, μέσα από την κίνηση ολόκληρου του σώματός τους, το προς μελέτη φυσικό φαινόμενο και πραγματικά να «αισθανθούν» τις δυνάμεις που εμπλέκονταν σε αυτό [Enyedy et al. 2012; Johnson-Glenberg et al. 2016; Lindgren et al. 2016].

Στην παρούσα έρευνα προσπαθήσαμε να διδάξουμε επιστημονικές έννοιες ακολουθώντας μια διαφορετική παιδαγωγική προσέγγιση. Οι μαθητές καλούνταν αρχικά να προγραμματίσουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ και στη συνέχεια να διερευνήσουν και να κατανοήσουν το φυσικό φαινόμενο χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους αλληλεπίδρασης, όπως χειρονομίες και την αφή τους, για να ελέγξουν από απόσταση το ρομπότ, που δρα ουσιαστικά ως αντιπρόσωπος. Οι Kolb & Fry [1975] υποστηρίζουν ότι η διαδικασία μάθησης συχνά ξεκινάει με ένα άτομο να φέρνει εις πέρας μια ενέργεια και μετά να παρατηρεί το αποτέλεσμα αυτής της ενέργειας σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Το δεύτερο βήμα είναι να κατανοήσει επαρκώς το αποτέλεσμα της ενέργειάς του στη συγκεκριμένη κατάσταση, έτσι ώστε, αν επαναλάβανε την ενέργεια υπό τις ίδιες συνθήκες, θα μπορούσε να προβλέψει το τι θα επακολουθούσε από τη συγκεκριμένη δράση. Το τρίτο βήμα είναι να κατανοήσει τη γενική αρχή που διέπει τη συγκεκριμένη κατάσταση [Kirschner et al. 2006].

Στην προκειμένη περίπτωση, ο στόχος μας ήταν οι μαθητές να εκτελέσουν ενέργειες σε μια κινητή συσκευή, μέσω αφής ή χειρονομιών και στη συνέχεια παρατηρώντας τα αποτελέσματα των ενεργειών τους στην κίνηση του ρομπότ να κατανοήσουν τη γενική αρχή που διέπει την αφηρημένη έννοια της τριβής. Οι τρόποι ενσώματης

αλληλεπίδρασης που χρησιμοποιήθηκαν για τον απομακρυσμένο έλεγχο του ρομπότ διέφεραν κυρίως ως προς το βαθμό «συνάφειας της χειρονομίας» (“gestural congruency”) [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013] με τις νοητικές λειτουργίες και αναπαραστάσεις της προς μάθηση έννοιας. Για παράδειγμα, η χρήση χειρονομιών για να θέσουμε σε κίνηση ένα αντικείμενο έχει μεγαλύτερο βαθμό συνάφειας από τη χρήση της αφής, αφού αυτός ο τρόπος αλληλεπίδρασης συμπίπτει με τις προηγούμενες εμπειρίες των μαθητών. Άλλωστε, στην πραγματική ζωή, όταν κάποιος θέλει να θέσει σε κίνηση ένα αντικείμενο, συνήθως χρησιμοποιεί κάποια χειρονομία. Συνεπώς, αυτός ο τρόπος ενσώματης αλληλεπίδρασης είναι πιο συμβατός στο να καθορίσει κάποιος την αρχική ταχύτητα ενός αντικείμενου, ώστε αυτό να κινηθεί πάνω σε μια επιφάνεια. Παράλληλα, η χρήση χειρονομιών εμπεριέχει μεγαλύτερο βαθμό αισθητηριοκινητικής διέγερσης. Πέρα από το βαθμό αισθητηριοκινητικής διέγερσης, ένας ακόμα παράγοντας που καθορίζει το επίπεδο σωματοποίησης σύμφωνα με τους Johnson-Glenberg et al. [2016] και Lindgren et al. [2016] είναι ο βαθμός συνάφειας της χειρονομίας.

Επομένως, ο κύριος στόχος της δεύτερης μελέτης ήταν να διερευνήσουμε κατά πόσο ποικίλοι τρόποι ενσώματης διάδρασης με διαφορετικό βαθμό συνάφειας της χειρονομίας για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ΕΣ των μαθητών στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης και της εκπαιδευτικής ρομποτικής.

1.4 Συμβολή της Διατριβής

Η παρούσα διδακτορική διατριβή μπορεί να συμβάλει στη διεύρυνση του επιστημονικού ενδιαφέροντος αναφορικά με τον τρόπο που αξιοποιούνται τα ρομπότ στην εκπαίδευση και ειδικότερα στα μαθήματα της Πληροφορικής και των Φυσικών επιστημών μέσα από την υλοποίηση διαφόρων διαστάσεων ενσώματων δραστηριοτήτων. Αυτή η διατριβή είναι σημαντική, γιατί διερευνά και προτείνει νέες παιδαγωγικές μεθόδους για τη διδασκαλία αφηρημένων υπολογιστικών και επιστημονικών εννοιών πέρα από το να μελετήσει απλά την αποτελεσματικότητα της χρήσης εκπαιδευτικών ρομπότ στο τυπικό σχολικό περιβάλλον. Επίσης, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στην απάντηση του ερωτήματος «ποιά» μπορεί να είναι η κατάλληλη παιδαγωγική προσέγγιση για την ανάπτυξη της ΥΣ και ΕΣ των μαθητών πέρα από του «πώς» μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά τα ρομπότ στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Η ενσώματη μάθηση, η ρομποτική, η ανάπτυξη της ΥΣ και της ΕΣ μέσω του προγραμματισμού, τα τελευταία χρόνια, αποτελούν, εν γένει, ερευνητικά αντικείμενα

με έντονο ενδιαφέρον στους τομείς της εκπαίδευσης STEM και της βελτίωσης των υφιστάμενων προγραμμάτων σπουδών. Μέσω αυτής της διατριβής επιδιώχθηκε και κατέστη εφικτή η σύνδεση ανάμεσα στα παραπάνω αντικείμενα συνδυάζοντας τις δραστηριότητες ρομποτικής που βασίζονται στην ενσώματη αλληλεπίδραση με την ανάπτυξη της ΥΣ και της ΕΣ. Παρόλο που προηγούμενες έρευνες έχουν εξετάσει τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη της ΥΣ και της ΕΣ στο πλαίσιο της ενσώματης αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά ρομπότ, στην παρούσα διατριβή υιοθετήθηκε μια διαφορετική προσέγγιση ενσώματης μάθησης. Αντί να οι μαθητές να εναδράσουν τις κινήσεις του ρομπότ, πριν προχωρήσουν στον προγραμματισμό, τους ζητήθηκε να προγραμματίσουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ με διαφορετικό επίπεδο σωματοποίησης. Συνεπώς, μέσω της παρούσας διατριβής επιχειρήσαμε να υλοποιήσουμε ελαφρώς παραλλαγμένο και να αξιολογήσουμε σε συνθήκες τάξης το όραμα του Papert [1980], όσον αφορά στον «σωματικό συντονισμό» για τη μάθηση μέσω του προγραμματισμού ρομπότ. Αντί οι μαθητές να υποκρίνονται το ρόλο της ρομποτικής χελώνας στη Logo, μεταφορικά θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι συμμετέχουν σ' ένα «κουκλοθέατρο» όπου χειρίζονται, μέσω σωματικών κινήσεων, εξ αποστάσεως μαριονέτες-ρομπότ.

Σε αυτή τη βάση, η παρούσα διατριβή επιχειρεί να ελέγξει την υπόθεση ότι οι πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες με εκπαιδευτικά ρομπότ διαδραματίζουν ουσιώδη και δραστικό ρόλο στη μάθηση. Συνεπώς, μπορεί να συμβάλλει στο να αναδειχθούν και να καθοριστούν τα είδη των αισθητηριοκινητικών εμπειριών και οι τρόποι ενσώματης εξ αποστάσεως αλληλεπίδρασης με υπολογιστικά αντικείμενα μάθησης που μπορούν να οδηγήσουν στην ανάπτυξη της ΥΣ και της ΕΣ των μαθητών.

1.5 Δομή της Διατριβής

Η διατριβή είναι οργανωμένη σε πέντε κεφάλαια. Στο 2^ο κεφάλαιο ακολουθεί η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την ενσώματη νόηση και μάθηση, την ΥΣ και την ΕΣ και την εκπαιδευτική ρομποτική. Εξετάζεται το εννοιολογικό πλαίσιο της ενσώματης παιδαγωγικής προσέγγισης και πώς αυτό μπορεί να οδηγήσει στην κατανόηση και εκμάθηση αφηρημένων υπολογιστικών και επιστημονικών εννοιών στο τυπικό σχολικό περιβάλλον. Παρουσιάζονται προηγούμενες έρευνες, που έχουν υιοθετήσει τις αρχές της ενσώματης μάθησης, καθώς και έρευνες κατά τις οποίες επιδιώχθηκε συνέργεια ανάμεσα στην ενσώματη μάθηση, τον προγραμματισμό και την εκπαιδευτική ρομποτική.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται η πρώτη από τις δύο έρευνες. Συγκεκριμένα, στην πρώτη έρευνα μελετάται πώς ο προγραμματισμός διεπαφών ανθρώπου-ρομπότ

διαφορετικού επίπεδου σωματοποίησης επηρεάζει την ανάπτυξη της ΥΣ. Αρχικά, δίνεται μια αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας της έρευνας και στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματά της.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δεύτερη έρευνα. Ειδικότερα, διερευνάται πώς οι διαφορετικοί τρόποι αλληλεπίδρασης, με ένα ρομπότ μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ΕΣ. Αρχικά, δίνεται μια περιγραφή των διαδικασιών και των διαφορετικών συνθηκών του πειράματος ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματά της.

Στο 5^ο κεφάλαιο ακολουθεί μια εκτεταμένη συζήτηση επί των ευρημάτων των δυο ερευνών, παρουσιάζονται οι περιορισμοί της διατριβής και προτείνονται θεωρητικές και πρακτικές προεκτάσεις των ευρημάτων στον τομέα της εκπαίδευσης.

Τέλος στο 6^ο κεφάλαιο επιχειρείται μια σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν από τις δύο έρευνες και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

2 Σχετική Εργασία

...παρακολουθώντας ένα παιδί είναι προφανές ότι η ανάπτυξη του μυαλού του έρχεται από τις κινήσεις του... μυαλό και κίνηση αποτελούν μέρη της ίδιας οντότητας...

...Maria Montessori (1966)

Πώς μαθαίνουν οι μαθητές στα τυπικά σχολικά περιβάλλοντα; Ενδεχομένως, μια απάντηση σε αυτό το πολυδιάστατο ερώτημα θα μπορούσε να είναι ότι μαθαίνουν με τρόπους που είναι αποσυνδεδεμένοι από τις προσωπικές τους εμπειρίες στον κόσμο, λαμβάνοντας γνώση για διάφορα γνωστικά αντικείμενα αντί να αποκτούν μια «αίσθηση» για αυτά. Συνεπώς, ό,τι μαθαίνουν στο σχολείο αποθηκεύεται στη μνήμη τους ως αφηρημένη γνώση, που δεν έχει άμεση σχέση με τα βιώματά τους, με αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερο για αυτούς αργότερα να αξιοποιήσουν επαρκώς την αποκτημένη γνώση στην καθημερινή τους ζωή ή σε διάφορα γνωστικά πεδία. Για παράδειγμα, σ' ένα τυπικό μάθημα Μαθηματικών ή Φυσικής οι μαθητές καλούνται, συνήθως, να κατανοήσουν διάφορες αφηρημένες έννοιες, τύπους και κανόνες, να λύσουν προβλήματα, να ερμηνεύσουν φαινόμενα, δίχως να αντιλαμβάνονται πλήρως τον αντίκτυπο που μπορεί να έχει αυτή η αφηρημένη γνώση στον πραγματικό κόσμο. Όπως τονίζει ο Black [2010], συνήθως, στο σχολείο οι μαθητές στερούνται πλούσιων αισθητηριοκινητικών εμπειριών στις οποίες θα μπορούσαν κάλλιστα να καταφύγουν και να βρουν στήριγμα στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν ένα γνωστικό αντικείμενο.

Ωστόσο, η γνώση δεν είναι απλά η λεκτική ή η τυπική περιγραφή μιας κατάστασης. Οι κινητικές αλληλεπιδράσεις και οι παρατηρήσεις μέσω των αισθήσεων είναι αυτές που οδηγούν τον μαθητευόμενο να αντιληφθεί και στη συνέχεια να ερμηνεύσει μια κατάσταση [Goldstone et al. 2008]. Η μάθηση βασίζεται στο τι αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις, σε συνδυασμό με το πώς αλληλεπιδρούμε με τα αντικείμενα και τις διάφορες καταστάσεις γύρω μας [Johnson-Glenberg et al. 2016]. Το τι αντιλαμβανόμαστε άλλωστε έχει να κάνει πρωτίστως με το τι βιώνουμε, παρά με το τι αναμένουμε να βιώσουμε στο κόσμο. Άρα, πρωταρχική σημασία έχει το μοντέλο του «να βλέπεις και να καταλαβαίνεις» παρά «να καταλαβαίνεις και να βλέπεις.» Με άλλα λόγια, η σκέψη δε λειτουργεί ξεχωριστά από το να υπάρχουν και να πράττεις [Dourish 2004].

Με την ευρεία έννοια θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι η εκπαίδευση περιλαμβάνει τη διάσταση της *μάθησης*, αφορά κάποιους *μαθητευόμενους*, σχετίζεται με τη σκόπιμη διαδικασία της *διδασκαλίας* και λαμβάνει χώρα σε σαφώς οριοθετημένα

εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, όπως σχολεία και πανεπιστήμια. Δεδομένου ότι ο κύριος σκοπός της τυπικής εκπαίδευσης είναι να προωθήσει τη μάθηση μέσω της διδασκαλίας των μαθητευόμενων και το γεγονός ότι η μάθηση αποτελεί ένα ψυχολογικό φαινόμενο, εύκολα κάποιος καταλήγει στη διαπίστωση ότι η εκπαίδευση και η ψυχολογία είναι τομείς αλληλένδετοι. Ο τομέας της ψυχολογίας έχει συνεισφέρει και συνεχίζει να συνεισφέρει, σημαντικά στον τομέα της εκπαίδευσης [Shapiro & Stolz 2018]. Από την άλλη μεριά, η εκπαίδευση έχει στραφεί στην ψυχολογία με στόχο αφενός την κατανόηση της ανθρώπινης μάθησης και αφετέρου την ανάδειξη καινοτόμων παιδαγωγικών πρακτικών που θα καταστήσουν τη διδασκαλία των μαθητών πιο αποτελεσματική. Ειδικότερα, ο τομέας της «γνωσιακής ψυχολογίας» (“cognitive psychology”) στοχεύει στη μελέτη των εσωτερικών νοητικών διεργασιών όπως είναι η χρήση της γλώσσας, η μνήμη, η προσοχή, η αντίληψη, η αναπαράσταση της γνώσης, η σκέψη, η δημιουργικότητα και η ικανότητα επίλυσης προβλημάτων. Το βασικό ερώτημα που προσπαθεί, λοιπόν, να απαντήσει η γνωσιακή ψυχολογία είναι πώς ένα άτομο αποκτά γνώση. Ευρήματα από το πεδίο της γνωσιακής ψυχολογίας έχουν ενσωματωθεί τόσο στο πεδίο της «γνωσιακής επιστήμης» (“cognitive science”), όσο και της «φιλοσοφίας», ενώ διεπιστημονικά πλαίσια, όπως για παράδειγμα ο «συμπεριφορισμός» (“behaviorism”), ο «γνωστικισμός» (“cognitivism”) και ο «οικοδομισμός» (“constructivism”) έχουν αναμφισβήτητα επηρεάσει και διαμορφώσει τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης. Προφανώς, καθεμιά από τις παραπάνω θεωρίες σκέψης έχει τα προτερήματα και τα μειονεκτήματα της, τα οποία δεν είναι σκόπιμο να εξεταστούν αναλυτικά στην παρούσα διατριβή. Πρόθεση μας είναι, ωστόσο, να καταδείξουμε την αδυναμία των συγκεκριμένων προσεγγίσεων να αναγνωρίσουν τον πρωταγωνιστικό ρόλο που διαδραματίζει το σώμα στη νόηση και στη μάθηση, δηλαδή να αντιληφθούν τη σημασία της διάστασης της «σωματοποίησης» (“embodiment”) [Shapiro & Stolz 2018].

Πράγματι, μέχρι τη δεκαετία του 80', η έρευνα είχε επικεντρωθεί στην ανάπτυξη γνωσιακών μοντέλων νόησης τα οποία σε μεγάλο βαθμό αγνοούσαν τις ιδιαιτερότητες της ανθρώπινης φυσιολογίας και της σημασίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ατόμου και του υλικού-κοινωνικού κόσμου μέσα στον οποίο, άλλωστε, το άτομο σκέφτεται και ενεργεί. Οι περισσότεροι ψυχολόγοι και γνωσιακοί επιστήμονες έβλεπαν το νου ως ένα αφηρημένο σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών [Amin et al. 2015; Δημητριάδης 2014]. Ταυτιζόμενες με Καρτεσιανές φιλοσοφικές παραδοχές (βλέπε δυισμός νου-σώματος), οι παραδοσιακές θεωρίες νόησης, όπως η «υπολογιστική» (“computational theory of mind”) και η «αναπαραστατική θεωρία του νου» (“representational theory of mind”), ισχυρίζονταν ότι η γνώση είναι ένα σύμπλεγμα από

αφηρημένες προτάσεις αποθηκευμένη στη «μακρόχρονη μνήμη» (“long-term memory”) σε μια σημασιολογική μορφή διαχωρισμένη από την αντίληψη, τις σωματικές ενέργειες και τις νοητικές καταστάσεις ενός ατόμου [Han & Black 2011]. Σύμφωνα με αυτή την κυρίαρχη άποψη, τα αισθητηριοκινητικά μας συστήματα θεωρήθηκαν ότι εξυπηρετούν απλά έναν περιφερειακό δευτερεύοντα ρόλο εισόδου-εξόδου, μεταφέροντας πληροφορίες από ή προς ένα κεντρικό γνωσιακό επεξεργαστή, όπου λάμβανε χώρα η υψηλότερου επιπέδου αφηρημένη σκέψη [Manches et al. 2019].

Ωστόσο, πρόσφατα ευρήματα αναφορικά με τη νόηση και τη μάθηση από διάφορους τομείς, όπως η φιλοσοφία του νου [Merleau-Ponty 1964], η γνωσιακή ψυχολογία [Barsalou 2010], η γνωσιακή ανάπτυξη [Marshall 2016; Thelen & Smith 1996] η γλωσσολογία [Lakoff & Johnson 2008], η νευροεπιστήμη [Damasio 1994; Garbarini, & Adenzato 2004], η αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή [Dourish 2004], η τεχνητή νοημοσύνη και η ρομποτική [Clark 1999], συνέβαλαν αφενός στην αμφισβήτηση αυτών των παραδοσιακών αντιλήψεων και αφετέρου στην ανάδειξη της στενής σχέσης ανάμεσα στο νου, το σώμα και το περιβάλλον, που είναι βαθύτερη από ότι είχε αρχικά προβλεφθεί. Κύριος εκφραστής αυτού του κινήματος αμφισβήτησης αποτελεί ο διεπιστημονικός τομέας ευρύτερα γνωστός στη βιβλιογραφία ως «ενσώματη νόηση» (“embodied cognition”).

2.1 Ενσώματη Νόηση

Ένα από τα βιβλία, που θεωρείται από πολλούς διανοητές ότι έχει επιδράσει καταλυτικά στη διαμόρφωση των αντιλήψεων, οι οποίες διέπουν την ενσώματη νόηση, είναι το “*The Embodied Mind*” [Varela et al. 2017]. Οι συγγραφείς του βιβλίου υποστηρίζουν ότι, όπως τα μονοπάτια υπάρχουν μόνο και μόνο επειδή κάποιος περπατάει σε αυτά, έτσι και η νόηση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις ιστορίες τις οποίες βιώνουμε. Το μονοπάτι (ή αλλιώς η κατανόησή μας) δεν είναι προκαθορισμένο, το χαράσσουμε κατά την πορεία μας μέσω σωματικών διαδικασιών, όπως το περπάτημα, η κίνηση, οι χειρονομίες και η αλληλεπίδραση με τους άλλους. Μια τέτοια προσέγγιση υποδεικνύει ότι η νόηση είναι εδρασμένη στη σωματοποίηση, δηλαδή στην ενσώματη δράση και στις ιστορίες τις οποίες βιώνουμε, δηλαδή στις εμπειρίες μας στον κόσμο. Οι απόψεις των Maturana & Varela [1987] είναι αντιπροσωπευτικές της προσπάθειας να κατανοηθούν οι διαδικασίες που διέπουν τη νόηση και τη μάθηση από μια διαφορετική οπτική γωνία και να αναπτυχθούν νέες θεωρητικές προσεγγίσεις οι οποίες είναι λιγότερο γραμμικές, ιεραρχικές και αφηρημένες από τις προηγούμενες [Shapiro & Stolz 2018]. Συμπερασματικά, οι απόψεις τους μπορούν να συνοψιστούν στην εξής πρόταση: «Το να πράττεις σημαίνει να μαθαίνεις, το να μαθαίνεις σημαίνει

να πράττεις» (“All doing is knowing, and all knowing is doing”) [Maturana & Varela 1987].

Η ενσώματη νόηση έχει ευρείες προεκτάσεις που οι ρίζες τους μπορούν να αναζητηθούν σε φαινομενολογικές φιλοσοφικές προσεγγίσεις (phenomenology), όπως αυτές του Edmund Husserl [1970], του Martin Heidegger [1927] και του Merleau-Ponty [1945; 1964; 2004]. Επίσης, ιδέες της μπορούν να εντοπιστούν σε θεωρίες γνωστικής ανάπτυξης, όπως του Piaget [1929; 2003; 2013] που δίνει έμφαση στο αισθητηριοκινητικό σύστημα ως βάση για την ανάπτυξη αφηρημένων ιδεών ή του Vygotsky [1978] ο οποίος αναγνωρίζει το σημαντικό ρόλο της αλληλεπίδρασης με φυσικά και συμβολικά αντικείμενα [Amin et al. 2015].

2.1.1 Φιλοσοφικές Προεκτάσεις

«Σκέφτομαι άρα υπάρχω» - Rene Descartes

Παραδοσιακά, οι Δυτικοί φιλόσοφοι από τον Πλάτωνα μέχρι τον Descartes υπέθεταν ότι τα νοητικά φαινόμενα είναι, υπό ορισμένες συνθήκες, μη φυσικά και ότι νους και σώμα είναι οντότητες διακριτές και διαχωρίσιμες. Το παραπάνω περίφημο ρητό του Descartes αντικατοπτρίζει ξεκάθαρα το Καρτεσιανό δόγμα, ότι δηλαδή κατοικούμε σε δύο διαφορετικούς και ξεχωριστούς κόσμους, τον κόσμο της φυσικής πραγματικότητας και τον κόσμο των νοητικών εμπειριών [Dourish 2004]. Το συγκεκριμένο δόγμα είχε ως αποτέλεσμα να αναπτυχθούν σχολές σκέψης, όπως του «δουισμού νου-σώματος» (“mind-body dualism”) ή «Καρτεσιανού δουισμού», που προωθούσαν την άποψη ότι η σκέψη και η ύπαρξη είναι δύο διαφορετικά φαινόμενα [Dourish 2004] και ότι η «αντίληψη» (“perception”) και η «κατανόηση» (“conception”) είναι τελείως ανεξάρτητες η μία από την άλλη. Η αντίληψη εθεωρείτο κάτι φυσικό ως προς την προέλευση της, ενώ η κατανόηση μια καθαρά γνωσιακή διαδικασία και άρα ανεξάρτητη από τις ικανότητες μας να αντιλαμβανόμαστε τα φυσικά αντικείμενα.

«Υπάρχω άρα σκέφτομαι» - Paul Sartre

Στον αντίποδα αυτών των φιλοσοφικών προσεγγίσεων, που ψάχνουν την αλήθεια ανεξάρτητα από τις προσωπικές μας εμπειρίες, βρίσκονται οι φιλοσοφικές θέσεις της Φαινομενολογίας. Μέσα από τις Φαινομενολογικές φιλοσοφικές αναζητήσεις αναδείχθηκε ο θεμελιώδης ρόλος της σωματοποίησης στην αντίληψη, στη νόηση και κατ' επέκταση στη μάθηση. Πρώτος ο Husserl [1970] έστρεψε την προσοχή στη σημασία της καθημερινής ενσώματης εμπειρίας πέρα από τους αφηρημένους συλλογισμούς. Για τον Heidegger [1927], η ενσώματη δράση είναι απαραίτητη για την ύπαρξη μας και για το πώς ανακαλύπτουμε τον κόσμο. Αντί να αναρωτιόμαστε «πώς μπορούμε να κατανοήσουμε τον κόσμο;» ο Heidegger αναρωτιόταν «πώς ο κόσμος

αποκαλύπτει τον εαυτό του σε εμάς μέσω της αλληλεπίδρασής μας με αυτόν;» [Dourish 2004]. Τέλος, ο Merleau-Ponty ήταν ένας από τους πρώτους Φαινομενολόγους στοχαστές που ανέδειξε το θεμελιώδη ρόλο του σώματος και κατ' επέκταση της σωματοποίησης στις φιλοσοφικές αναζητήσεις που έχουν να κάνουν με τη μελέτη της ύπαρξης και της γνώσης. Γι' αυτόν, το σώμα είναι το βασικό μέσο για να γνωρίσουμε τον κόσμο και ν' αλληλεπιδράσουμε με αυτόν, σε αντιδιαστολή με τις παραδοσιακές φιλοσοφικές απόψεις που έβλεπαν τη συνείδηση ως την κύρια πηγή της γνώσης. Ο ίδιος ο Merleau-Ponty [2004] τόνιζε: «...αντί για ένα μυαλό και ένα σώμα, ο άνθρωπος είναι ένα μυαλό με σώμα, ένα όν που μπορεί να οδηγηθεί στην αλήθεια των πραγμάτων, επειδή το σώμα του είναι ενσωματωμένο σε αυτά τα πράγματα...» Οι εκπαιδευτικές προεκτάσεις της Φαινομενολογικής προσέγγισης του Merleau-Ponty συνδέονται έντονα με την ιδέα ότι η μάθηση είναι μια συνεχής διαδικασία που περιλαμβάνει την κατανόηση ενός αντικειμένου από την προοπτική του πρώτου προσώπου ως αποτέλεσμα των εμπειριών μας με αυτό. Η έννοια της εμπειρίας αποτέλεσε κεντρικό άξονα της φιλοσοφίας του, που υποδηλώνει ότι οι άνθρωποι ως ενσώματα υποκείμενα δε συλλογίζονται για τον κόσμο από κάποια θέση πέρα από το σώμα τους ή έξω απ' αυτό [Stolz 2015].

Σε όλες αυτές τις φιλοσοφικές προσεγγίσεις κεντρική σημασία έχει η ιδέα ενός κόσμου με τον οποίο αλληλεπιδρούμε άμεσα και όχι αφηρημένα [Dourish 2004]. Έτσι, η Φαινομενολογική προσέγγιση παρέχει ένα σημείο εκκίνησης, από φιλοσοφικής πλευράς, στην προσπάθεια να κατανοήσουμε την ενσώματη νόηση και μάθηση.

2.1.2 Ορίζοντας τη Σωματοποίηση

Πώς θα μπορούσαμε να ορίσουμε την έννοια της «σωματοποίησης»; Ένας γενικός χαρακτηρισμός της ενσώματης νόησης που μπορεί να αποτελέσει τη βάση για να οριστεί το πλαίσιο της σωματοποίησης βρίσκεται στο “*Stanford Encyclopedia of Philosophy*” [Wilson & Foglia 2011]:

«Πολλές πτυχές της νόησης είναι ενσώματες, γιατί εξαρτώνται βαθιά από τα σωματικά χαρακτηριστικά μια οντότητας, σε βαθμό που το σώμα της οντότητας, πέρα από τον εγκέφαλο, διαδραματίζει ένα θεμελιώδη και αιτιώδη ρόλο, ή έναν σωματικώς ουσιώδη ρόλο, στη γνωσιακή επεξεργασία της οντότητας.»

Ο Dourish [2004] από το πεδίο της επικοινωνίας ανθρώπου-υπολογιστή παρέχει ένα διαφορετικό ορισμό της σωματοποίησης. Συγκεκριμένα, ορίζει τη σωματοποίηση ως «τη διαδικασία της άμεσης εμπλοκής μας με τον κόσμο, ώστε αυτός να αποκτήσει νόημα για μας.» Για τον Dourish [2004] «ενσώματα φαινόμενα» είναι εκείνα που από τη φύση τους συμβαίνουν σε πραγματικό χρόνο και πραγματικό χώρο, ενώ η

«ενσώματη αλληλεπίδραση» (“embodied interaction”) έχει να κάνει με την οικοδόμηση, μεταβολή και μετάδοση νοήματος μέσω της αλληλεπίδρασης μας με τα αντικείμενα. Ωστόσο, η σωματοποίηση ως έννοια είναι πολυδιάστατη, με πολλαπλές συνιστώσες να τη χαρακτηρίζουν, για αυτό υπάρχει μια εγγενής δυσκολία στο να δοθεί ένας μοναδικός ορισμός. Για να μπορέσουμε να ορίσουμε την έννοια της σωματοποίησης είναι απαραίτητο να οριστούν οι πολλαπλές συνιστώσες που τη χαρακτηρίζουν. Αντλώντας στοιχεία από τη βιβλιογραφία [Fadjo 2012; Rowlands 2010; Wilson 2002] εντοπίσαμε έξι κύριες συνιστώσες και θα προσπαθήσουμε στις επόμενες παραγράφους να ορίσουμε την έννοια της σωματοποίησης μέσα από την περιγραφή των διαφορετικών, αλλά σε μεγάλο βαθμό σχετικών, πτυχών που την περιβάλλουν: της «πλαισιωμένης» (“situated”), της «ενσώματης» (“embodied”), της «θεμελιωμένης» (“grounded”), της «πραξιακής» (“enacted”), της «ενσωματωμένης» (“embedded”) και της «εκτεταμένης» (“extended”).

2.1.2.1 Πλαισιωμένη Νόηση – Situated Cognition

Η συγκεκριμένη προσέγγιση αμφισβητεί επικρατούσες θεωρίες, όπως για παράδειγμα την υπολογιστική θεωρία του νου, που βλέπουν τη νόηση ως μια διαδικασία επεξεργασίας αφηρημένων πληροφοριών και αυθαίρετων συμβόλων, θεωρώντας ότι, για να οικοδομηθεί η γνώση και η μάθηση, είναι απαραίτητο τα διάφορα σύμβολα να συνδεθούν με τις αναφορές τους στο περιβάλλον, εκεί όπου αυτά υφίστανται [Fadjo 2012]. Συνεπώς, η μάθηση εμπεριέχει και προϋποθέτει δράση, ενώ όλη η γνώση ενυπάρχει σε κοινωνικά, πολιτιστικά και φυσικά «πλαίσια», εκεί όπου άλλωστε συντελείται η δραστηριότητα. Ο Clark [1998] φέρνει ως παράδειγμα την αποτυχημένη προσπάθεια του ερευνητικού έργου CYC, για να τονίσει τη σημασία της πλαισιωμένης νόησης, καταδεικνύοντας ότι η νοημοσύνη και η κατανόηση δεν απορρέουν από την ύπαρξη και διαχείριση ενός συνόλου σαφώς καθορισμένων δομών δεδομένων. Αντιθέτως, έχουν τις ρίζες τους σε κάτι πιο γήινο που έχει να κάνει με το πως ένας ενσώματος οργανισμός αισθάνεται, ενεργεί και επιβιώνει σ’ έναν πραγματικό κόσμο συντονίζοντας διαρκώς τις ενέργειες και τις αντιδράσεις του.

2.1.2.2 Ενσώματη Νόηση – Embodied Cognition

Οι υπέρμαχοι της ενσώματης νόησης υποστηρίζουν ότι ο τρόπος με τον οποίο οι άνθρωποι σκέφτονται και μαθαίνουν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αισθητηριοκινητικό τους σύστημα [Han & Black 2011] και από τις δυναμικές αλληλεπιδράσεις του σώματος τους με το φυσικό κόσμο [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013]. Η νόηση είναι ενσώματη, γιατί διαμορφώνεται από τα χαρακτηριστικά του φυσικού σώματος μιας οντότητας, δηλαδή οι εκφράσεις του σώματος της

οντότητας, πέρα από τον εγκέφαλο, διαδραματίζουν σημαντικό αιτιώδη και στοιχειώδη ρόλο στη γνωστική επεξεργασία. Χωρίς τη συμμετοχή του σώματος οι σκέψεις θα ήταν κενές ουσίας και οι νοητικές διεργασίες δε θα εμφάνιζαν τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που εμφανίζουν [Wilson & Foglia 2011]. Υπάρχουν όμως κάποια στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι η νόηση είναι ενσώματη; Πράγματι, τα τελευταία είκοσι χρόνια ένα σημαντικό πλήθος ερευνών από το πεδίο της νοητικής νευροεπιστήμης [Andres et al. 2007; Barros-Loscertales et al. 2011; Boulenger et al. 2008; Chao & Martin 2000; DeSutter & Stieff 2017; González et al. 2006; Hauk et al. 2004; Roux et al. 2003; Zago et al. 2001] και της σημασιολογίας [Casasanto 2009; Glenberg et al. 2008a; Glenberg et al. 2008b; Glenberg & Kaschak 2002] έχει καταδείξει ότι η νόηση είναι άρρηκτα συνυφασμένη με το αισθητηριοκινητικό σύστημα. Εν κατακλείδι, το αισθητηριοκινητικό σύστημα επηρεάζει τις νοητικές διεργασίες, οι οποίες σχετίζονται με την ανάγνωση, την αριθμητική, την επίλυση προβλημάτων και αντιστρόφως το νοητικό σύστημα αντλεί και αξιοποιεί αισθητηριοκινητικές πληροφορίες που αναδύονται κατά την ενσώματη αλληλεπίδραση με το περιβάλλον [Pouw et al. 2014].

2.1.2.3 Θεμελιωμένη Νόηση – *Grounded Cognition*

Ο Barsalou [2008; 2010] αμφισβητεί ότι η νόηση είναι απλά ενσώματη, θεωρώντας ότι συχνά εξελίσσεται ανεξάρτητα από το σώμα. Υποστηρίζει ότι μια θεμελιωμένη προσέγγιση, που συνδυάζει το νου, το σώμα και το περιβάλλον, αποτελεί μια πιο διευρυμένη θεώρηση της νόησης. Χρησιμοποιώντας τον όρο «θεμελιωμένη νόηση» αντί για «ενσώματη νόηση» θέλει να δώσει έμφαση στο γεγονός ότι η νόηση δεν καθορίζεται μόνο από σωματικές καταστάσεις αλλά μπορεί να εδράζεται σε επιπλέον πηγές, όπως αντιληπτικές προσομοιώσεις, πλαισιωμένες ενέργειες, συναισθηματικές καταστάσεις και το περιβάλλον [Barsalou 2008]. Για να μπορέσουν τα αφηρημένα σύμβολα, όπως για παράδειγμα τα σύμβολα της γλώσσας (λέξεις και συντακτικό) και των μαθηματικών, να αποκτήσουν νόημα για μια μηχανή [Searle 1980] και κατ' επέκταση για έναν εκπαιδευόμενο θα πρέπει να θεμελιωθούν στον εξωτερικό κόσμο και οι σωματικές εμπειρίες που βασίζονται στη δράση και την αντίληψη παρέχουν τον κατάλληλο μηχανισμό για αυτή τη θεμελίωση [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013].

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να δοθεί μια διευκρίνιση σχετικά με τον όρο «αφηρημένη» (“abstract”). Τι εννοείται με τον όρο «αφηρημένη έννοια» και ποια η διαφορά με την «απτή» (“concrete”) έννοια; Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [Hayes & Kraemer 2017], αφηρημένη θεωρείται μια έννοια που στερείται κάποιας απτής αναφοράς στον πραγματικό κόσμο όπως, η αγάπη, η δικαιοσύνη, η αλήθεια, η ειρήνη. Αντίθετα, μια έννοια θεωρείται απτή όταν αναφέρεται σ' ένα υπαρκτό αντικείμενο, το οποίο μπορούμε να το αντιληφθούμε άμεσα στον κόσμο, όπως το αμάξι, ο σκύλος.

Παρόλο που τα σώματα μας δε δύνανται να έχουν άμεσες φυσικές εμπειρίες με αφηρημένες οντότητες, πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι οι νοητικές αναπαραστάσεις των αφηρημένων εννοιών είναι θεμελιωμένες έμμεσα σε αισθητηριοκινητικές καταστάσεις [de Koning & Tabbers 2011]. Ειδικότερα, για να μπορέσουν οι άνθρωποι να κατανοήσουν τις αφηρημένες έννοιες πρέπει να τις συσχετίσουν με απτά αντικείμενα ή αισθητηριοκινητικές καταστάσεις, οι οποίες μπορούν να γίνουν άμεσα αντιληπτές με τις αισθήσεις ή να βιωθούν [Hayes & Kraemer 2017]. Η «θεωρία της εννοιολογικής μεταφοράς» (“conceptual metaphor theory”) προσφέρει μια εξήγηση για την ικανότητά μας να σκεφτόμαστε λογικά αναφορικά με τις αφηρημένες έννοιες και παρά τις επικρίσεις, αποτελεί ένα πολύτιμο θεωρητικό υπόβαθρο για την εξέταση των εννοιολογικών θεμελίων αφηρημένων εννοιών σε τομείς, πέρα από αυτούς της γνωστικής γλωσσολογίας [Lakoff & Johnson 2008], όπως των Μαθηματικών [Lakoff & Nuñez 2000] και των Φυσικών επιστημών [de Koning & Tabbers 2011].

2.1.2.4 Πραξιακή Νόηση – *Enactive Cognition*

Σύμφωνα με την πραξιακή προσέγγιση, η νόηση προκύπτει μέσω της δυναμικής αλληλεπίδρασης ενός δρώντος οργανισμού και του περιβάλλοντός του. Οι Varela, Thompson, & Rosch, [2017] εισήγαγαν το όρο «ενάδραση» (“enaction”) για να δώσουν έμφαση στην αυξανόμενη πεποίθηση ότι η νόηση δεν έχει να κάνει με την αναπαράσταση ενός «προκαθορισμένου» (“pre-given”) κόσμου από ένα προκαθορισμένο νου. Αντίθετα, ήθελαν να εστιάσουν στην ιδέα ότι ο βιωμένος κόσμος όχι μόνο απεικονίζεται αλλά και καθορίζεται από τις αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αισθητηριοκινητικών ικανοτήτων ενός οργανισμού και του περιβάλλοντός του.

Επηρασμένοι τόσο από τον τομέα της «γνωσιακής σημασιολογίας» (“cognitive semantics”), όσο και από την πραξιακή προσέγγιση της νόησης, οι Gallagher & Lindgren [2015] όρισαν την έννοια της «πραξιακής μεταφοράς» (“enactive metaphor”) και προσπάθησαν να αποτυπώσουν τη συμβολή που μπορεί να έχει η χρήση τους στη μάθηση. Ειδικότερα, μια πραξιακή μεταφορά είναι μια μεταφορά, την οποία «διαπράττουμε» (“enact”), δηλαδή την ενεργοποιούμε ή τη δημιουργούμε μέσω των ενεργειών μας. Το γεγονός ότι διαπράττουμε μια μεταφορά σημαίνει ότι οι ενέργειες μας αφορούν κάποιο είδος σωματικής αναπαράστασης, δηλαδή το είδος της δράσης που συναντάμε στο θέατρο από έναν ηθοποιό ή στο προσποιητό παιχνίδι ενός παιδιού. Το να διαπράττεις μια μεταφορά σημαίνει να εκτελείς με το σώμα σου κάποιον ρόλο. Όπως και στο θέατρο, αυτό είναι μια ενσώματη διαδικασία. Σχετικές έρευνες [Engelkamp & Zimmer 2001] έχουν επιβεβαιώσει την άμεση συμβολή της σωματικής αναπαράστασης στις νοητικές διαδικασίες ενώ οι Gallagher & Lindgren [2015]

υποστηρίζουν ότι η εμπλοκή ολόκληρου του σώματος που απαιτείται κατά τη χρήση των πραξιακών μεταφορών μπορεί να βελτιώσει τα μαθησιακά αποτελέσματα στην Επιστήμη, στα Μαθηματικά και σε άλλους τομείς. Ιδιαίτερα, αν το πλαίσιο των πραξιακών μεταφορών συνδυαστεί με περιβάλλοντα εικονικής και μεικτής πραγματικότητας.

2.1.2.5 Ενσωματωμένη Νόηση – Embedded Cognition

Η ενσωματωμένη προσέγγιση νόησης εμπεριέχει ένα συνεχές «πάρε-δώσε» ανάμεσα στις τρέχουσες καταστάσεις του νου, του σώματος και του περιβάλλοντος, καθώς επικεντρώνεται στις στρατηγικές, τις οποίες υιοθετούν οι διάφοροι οργανισμοί, για να εναποθέσουν (“off-load”) μέρος της γνωσιακής τους επεξεργασίας στο περιβάλλον [Rouw et al. 2014]. Τα παραδείγματα της ενσωματωμένης νόησης είναι άμεσα εμφανή στην καθημερινή μας ζωή, όπως το να χρησιμοποιούμε ένα σημειωματάριο για να σχεδιάσουμε [Bredo 1994] ή για να κρατήσουμε σημειώσεις κατά τη διάρκεια μιας συζήτησης, ώστε να μειώσουμε το «γνωσιακό φορτίο» (“cognitive load”), το να ζητάμε από κάποιο άλλο άτομο να μας θυμίσει κάτι, το να χρησιμοποιούμε τα δάχτυλα μας καθώς μετράμε (“embodied numerosity” [Moeller et al. 2012]).

Ο Rouw et al. [2014] υποστηρίζει ότι η μάθηση με τη χρήση «απτικών αντικειμένων» (“manipulatives”) αποτελεί μια αμιγώς ενσωματωμένη γνωσιακή διαδικασία, αφού εμπεριέχει μια στενή σύνδεση των εξωτερικών τεχνουργημάτων με τις αντιληπτικές και γνωσιακές διαδικασίες του μαθητή, σε βαθμό που τα τεχνουργήματα θεμελιώνουν τις γνωσιακές καταστάσεις του μαθητή. Ως εκ τούτου, η μάθηση με τη χρήση απτικών αντικειμένων δε διαφέρει με τα προαναφερθέντα παραδείγματα ενσωματωμένης νόησης, όπως η αρίθμηση με τη χρήση των δακτύλων [Rouw et al. 2014].

2.1.2.6 Εκτεταμένη Νόηση – Extended Cognition

Η θεωρία της εκτεταμένης νόησης [Clark 2008; Clark, & Chalmers 1998] προτάσσει τον ισχυρισμό ότι οι νοητικές διεργασίες, οι οποίες συνιστούν τον ανθρώπινο νου, επεκτείνονται πέρα από τα όρια του μεμονωμένου οργανισμού, ώστε να περιλαμβάνουν πτυχές του περιβάλλοντος στον οποίο είναι ενσωματωμένος και δρα ο οργανισμός. Με άλλα λόγια, η συγκεκριμένη ριζοσπαστική θεωρία προωθεί την άποψη ότι οι τεχνολογικοί πόροι έχουν εμπλακεί σε τέτοιο επίπεδο με τα εσωτερικά γνωσιακά μας συστήματα που πλέον μπορούν να θεωρηθούν μέρος του μηχανισμού της ίδιας της σκέψης [Kiverstein et al. 2013].

Στην προσπάθειά μας να ορίσουμε την έννοια της σωματοποίησης προχωρήσαμε στην περιγραφή των έξι βασικών συνιστωσών που τη διέπουν. Μέσα απ’ αυτή την πολυεπίπεδη ανάλυση αναδεικνύεται η τεράστια ποικιλία θεμάτων στα οποία μπορεί

να βρει εφαρμογή η σωματοποιημένη προσέγγιση της νόησης. Ένας από τους τομείς που μπορούν να εφαρμοστούν οι αρχές της είναι προφανώς ο τομέας της εκπαίδευσης.

2.2 Από την Ενσώματη Νόηση στην Ενσώματη Μάθηση

Πράγματι, η στροφή των γνωσιακών επιστημών προς τη σωματοποίηση έχει προξενήσει το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών επιστημόνων, όπως καταδεικνύεται και από το μεγάλο όγκο των σχετικών ερευνών που προσπαθούν να διερευνήσουν τις προεκτάσεις που έχει αυτή η φιλοσοφική μεταστροφή στην παιδαγωγική θεωρία και πρακτική [Abrahamson & Bakker 2016]. Το ερώτημα το οποίο προκύπτει δεν είναι εάν οι αρχές της ενσώματης νόησης μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση των εκπαιδευτικών πρακτικών αλλά κυρίως το πώς [Shapiro & Stolz 2018]. Η εκπαιδευτική έρευνα που έχει υιοθετήσει ευρήματα από το πεδίο της ενσώματης νόησης συχνά αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως «ενσώματη μάθηση» (“embodied learning”).

Όσον αφορά στις παιδαγωγικές στρατηγικές [Manches et al. 2019], η ενσώματη προσέγγιση προωθεί τη χρήση συγκεκριμένων χειρονομιών για τη στήριξη της μάθησης [Goldin-Meadow 2015], τη χρήση «εκπαιδευτικών απτικών αντικειμένων» (“educational manipulatives”) [Pouw et al. 2014] και την αξιοποίηση αναδυόμενων τεχνολογιών (π.χ. τεχνολογιών μηχανικής όρασης και αναγνώρισης χειρονομιών, απτικών διεπαφών) που ανιχνεύουν και συνδέουν δυναμικά τις σωματικές ενέργειες με ψηφιακές ή απτικές αναπαραστάσεις [Abrahamson 2009; Lindgren et al. 2016].

Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε ορισμένα παραδείγματα από το χώρο της εκπαίδευσης, στα οποία εκπαιδευτικοί έχουν προσπαθήσει να εισάγουν την ενσώματη προσέγγιση στην εκπαιδευτική διαδικασία. Πριν απ’ αυτό όμως είναι απαραίτητο να υπογραμμιστεί ότι βασικές αρχές της σωματοποιημένης διάστασης της νόησης συμπίπτουν με ιδέες που προέρχονται από παραδοσιακές θεωρίες μάθησης και γνωστικής ανάπτυξης.

2.2.1 Ενσώματη Αλληλεπίδραση & Θεωρίες Γνωστικής Ανάπτυξης

Όπως έχει γίνει ήδη κατανοητό, η θεωρία της σωματοποίησης εστιάζει στο θεμελιώδη ρόλο των αισθητηριοκινητικών δραστηριοτήτων και εμπειριών στην ανθρώπινη νόηση και μάθηση. Η ιδέα αυτή έχει βρει πρόσφορο έδαφος και στο χώρο της εκπαίδευσης, όπου παρόμοιες ιδέες από τη θεωρία του εποικοδομισμού (constructivism) του Piaget [1929; 2003; 2013] μέχρι την πολιτισμική-ιστορική θεωρία του Vygotsky [1978; 1997] έχουν ξεκάθαρα αναγνωρίσει τη σημασία της ενσώματης αλληλεπίδρασης στη γνωσιακή ανάπτυξη και στην οικοδόμηση της γνώσης [Abrahamson & Bakker 2016; de Koning & Tabbers 2011].

Για παράδειγμα, η Maria Montessori [1966] πίστευε ότι μέσω της κίνησης οι μαθητευόμενοι αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και μέσω αυτών των αλληλεπιδράσεων καταφέρνουν να κατανοήσουν ακόμα και τις πιο αφηρημένες έννοιες. Ειδικότερα, η Montessori γράφει: «...η κίνηση, ή η φυσική δραστηριότητα, αποτελούν βασικό παράγοντα της διανοητικής ανάπτυξης... μέσω της κίνησης ερχόμαστε σε επαφή με την εξωτερική πραγματικότητα και μέσω αυτών των επαφών καταφέρνουμε τελικά να κατανοήσουμε ακόμα και τις αφηρημένες έννοιες...» Από θεωρητική άποψη, η ενσώματη μάθηση σχετίζεται άμεσα με θεωρίες μάθησης που προτάσσουν βιωματικές “hands-on” δραστηριότητες και ενσώματη αλληλεπίδραση.

Ο Piaget θεωρούσε ότι οι πράξεις των ανθρώπων αποτελούν τη βάση για όλη τη μάθηση. Επικεντρώθηκε στο άμεσο περιβάλλον του παιδιού, υποστηρίζοντας ότι οι γνωστικές δομές, όπως η χωρική αντίληψη, αναδύονται ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του παιδιού με τον κόσμο. Τα παιδιά οικοδομούν τις γνώσεις, χρησιμοποιώντας αυτά που ήδη γνωρίζουν με νέους τρόπους και κάνοντας δοκιμές, ενώ το περιβάλλον είναι εκεί, για να τους παρέχει ανατροφοδότηση για το πόσο επαρκές είναι το οικοδόμημα των γνώσεων τους. Επιπλέον, θεωρούσε ότι τα παιδιά αρχικά δρουν και κατανοούν το περιβάλλον μέσω των αισθητηριοκινητικών τους ενεργειών, στη συνέχεια καταφέρνουν να κατανοήσουν συμβολικές αναπαραστάσεις και στο τέλος είναι σε θέση να επεξεργαστούν αφηρημένες πληροφορίες. Σύμφωνα με τον Piaget, για να μπορέσει κάποιος να σχηματίσει μια νοητική αναπαράσταση μιας έννοιας είναι απαραίτητο να μιμηθεί με το ίδιο του το σώμα αυτή την έννοια. Συνεπώς, η ενεργή αλληλεπίδραση με τον κόσμο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη θεωρία του Piaget, ιδιαίτερα κατά τα αρχικά και ενδιάμεσα στάδια της γνωστικής ανάπτυξης ενός παιδιού. Αντίστοιχα και για τον Papert, μαθητή του Piaget, θεμελιώδης αρχή της μάθησης αποτελούν οι ενέργειες των ανθρώπων, καθώς οικοδομούν τη γνώση και δίνουν νόημα στον κόσμο μέσω της ενεργής αλληλεπίδρασης με απτά αντικείμενα που προάγουν την γνώση. Στο ίδιο μήκος κύματος, ο Vygotsky τόνιζε πόσο σημαντικός είναι ο ρόλος της κοινωνικής αλληλεπίδρασης στη μάθηση πέρα από την αλληλεπίδραση με φυσικά και συμβολικά αντικείμενα. Γι' αυτόν η μάθηση δε λαμβάνει χώρα με το παιδί απομονωμένο αλλά εντός ενός πολιτισμικού-ιστορικού πλαισίου.

Τέλος, ο Bruner [1966] υπογράμμισε τη σημασία της δράσης στη μάθηση, μέσω της προσέγγισης “learning by doing.” Μια προσέγγιση άμεσα συνδεδεμένη με την έννοια της «ανάδρασης» (“enaction”), που αποτελεί, όπως είδαμε και προηγουμένως, δομικό στοιχείο της πραξιακής νόησης. Ο Bruner, μέσα από την έρευνα του για τη γνωστική ανάπτυξη των παιδιών, υποστηρίζει ότι η γνώση μπορεί να αναπαρασταθεί με τρεις τρόπους: πρώτον μέσω ενός συνόλου πράξεων κατάλληλων για την επίτευξη ενός

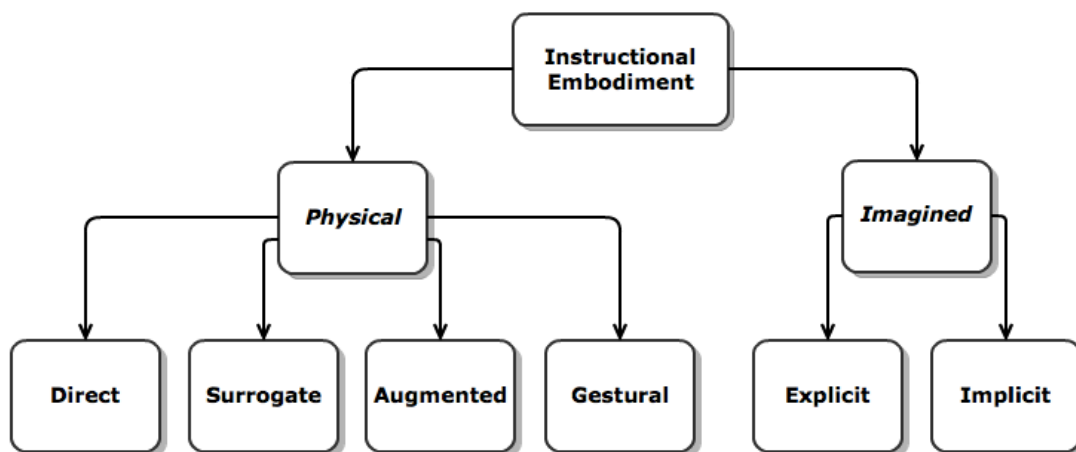
στόχου («πραξιακή αναπαράσταση»), δεύτερον μέσω ενός συνόλου συνοπτικών εικόνων ή γραφικών που αντιπροσωπεύουν μια έννοια χωρίς να την ορίζουν πλήρως («εικονική αναπαράσταση») και τρίτον μέσω ενός συνόλου συμβολικών ή λογικών προτάσεων οι οποίες προέρχονται από ένα συμβολικό σύστημα, που διέπεται από κανόνες ή νόμους για τη διαμόρφωση και το μετασχηματισμό των προτάσεων («συμβολική αναπαράσταση»). Με απλά λόγια, η πραξιακή αναπαράσταση περιλαμβάνει την κωδικοποίηση και την αποθήκευση στη μνήμη πληροφοριών που βασίζονται στη δράση. Το πώς ένα μωρό καλείται να θυμηθεί την πράξη του κουνήματος μιας κουδουνίστρας αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της πραξιακής αναπαράστασης. Αντίθετα, στην εικονική αναπαράσταση η πληροφορία αποθηκεύεται οπτικά με τη μορφή εικόνων, ενώ στη συμβολική αναπαράσταση η πληροφορία αποθηκεύεται με τη μορφή ενός κώδικα ή ενός συμβόλου, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τη χρήση της γλώσσας. Τα παιδιά, σύμφωνα με τον Bruner ξεκινάνε από την πραξιακή, στη συνέχεια μεταβαίνουν στην εικονική και τέλος στη συμβολική αναπαράσταση [McLeod 2018].

2.2.2 Ταξινομίες της Ενσώματης Μάθησης

Από τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας διαπιστώνεται μια ευρεία γκάμα ερευνητικών ερωτήσεων και υλοποιήσεων της ενσώματης προοπτικής σε διάφορα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα. Επίσης, μια σειρά από ταξινομίες [Skulmowski & Rey 2018] που αφορούν παρεμβάσεις της ενσώματης προσέγγισης στο πεδίο της εκπαίδευσης έχουν προταθεί πρόσφατα, τις σημαντικότερες από τις οποίες θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε παρακάτω.

2.2.2.1 Εκπαιδευτική Σωματοποίηση: Σωματική & Φαντασιακή

Η Fadjo [2012] στη διδακτορική της διατριβή πρότεινε ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τη σωματική δράση εντός του τυπικού σχολικού περιβάλλοντος. Το προτεινόμενο πλαίσιο ονομάζεται «Εκπαιδευτική Σωματοποίηση» (“Instructional Embodiment”) και αποτελείται από δύο βασικές κατηγορίες: τη «Σωματική» (“Physical”) και τη «Φαντασιακή» (“Imagined”). Η σωματική διάσταση περιλαμβάνει τέσσερις υποκατηγορίες: την «Άμεση» (“Direct”) σωματοποίηση, τη σωματοποίηση μέσω «Αντιπροσώπου» (“Surrogate”), την «Επασυζημένη» (“Augmented”) και τη σωματοποίηση μέσω «Χειρονομιών» (“Gestural”). Η φαντασιακή διάσταση περιλαμβάνει 2 υποκατηγορίες: τη «Σαφή» (“Explicit”) και την «Έμμεση» (“Implicit”) (Εικόνα 2) σωματοποίηση. Οι έξι μορφές σωματοποίησης αποτελούν, σύμφωνα με την Fadjo [2012], τους κύριους τρόπους που οι αρχές της ενσώματης νόησης μπορούν να εισαχθούν στο παραδοσιακό σχολικό περιβάλλον.



Εικόνα 2: Εννοιολογικό πλαίσιο εκπαιδευτικής σωματοποίησης της Fadjo [2012].

Ειδικότερα, στην άμεση σωματοποίηση οι εκπαιδευόμενοι καλούνταν να διαπράξουν φυσικά το διδακτικό σενάριο χρησιμοποιώντας το ίδιο τους το σώμα [Fadjo 2008, et al. 2009a]. Η σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου, είναι σύμφωνα με την Fadjo [2012], μια μορφή σωματοποίησης, κατά την οποία ο μαθητευόμενος χειρίζεται έναν εξωτερικό «αντιπρόσωπο» (“surrogate”) για να αναπαραστήσει το διδακτικό σενάριο [Fadjo et al. 2009b; Khan & Black 2014; Li et al. 2009; Lu et al. 2011]. Στη συνθήκη της επαυξημένης σωματοποίησης, γίνεται χρήση ενός συστήματος αναπαραστάσης, όπως για παράδειγμα μιας κάμερας Kinect και ενός συστήματος προβολής, ώστε να επαυξηθεί η ενσώματη εμπειρία του μαθητευόμενου [Enyedy et al. 2012; Lindgren et al. 2016]. Η τέταρτη μορφή σωματικής είναι η σωματοποίηση μέσω χειρονομιών, η οποία χαρακτηρίζεται ως η στοχευμένη κίνηση των χεριών σε σχέση με μια συγκεκριμένη σωματική ενάδραση, η οποία λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια μια σαφώς καθορισμένης μαθησιακής δραστηριότητας. Η συγκεκριμένη μορφή σωματοποίησης έχει μελετηθεί εκτεταμένα σε προηγούμενες μελέτες που αφορούν τη χρήση χειρονομιών για τη βελτίωση της ικανότητας ανάγνωσης [Glenberg et al. 2004; Glenberg et al. 2009] και της μαθηματικής σκέψης [Segal et al. 2011] των μαθητών. Σε κάθε μια από τις παραπάνω μορφές σωματοποίησης ο εκπαιδευόμενος εμπλέκεται σε ενσώματες αλληλεπιδράσεις μέσα στον τρισδιάστατο κόσμο, όπου οι συμβολικές πληροφορίες κωδικοποιούνται και γίνονται μέρος του αντιληπτικού συστήματος συμβόλων [Barsalou, 1999].

Ωστόσο, όπως τονίζει η Fadjo [2012], η σωματική διάσταση δεν είναι από μόνη της αρκετή για να υπάρξει μαθησιακό όφελος αλλά είναι απαραίτητο να εξασκηθεί και η φαντασία του μαθητή κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας. Συνεπώς, εκτός από τις τέσσερις μορφές σωματικής στο εννοιολογικό πλαίσιο της Fadjo υπάρχουν και

δύο μορφές «Φαντασιακής σωματοποίησης» (“Imagined Embodiment”), οι οποίες ορίζονται ως η νοητική προσομοίωση σωματικά θεμελιωμένων ενσώματων ενεργειών που είτε είναι «Σαφής» (“Explicit”) [Glenberg et al. 2004] είτε είναι «Έμμεση» (“Implicit”). Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής δεν ασχοληθήκαμε με τη φαντασιακή αλλά επικεντρωθήκαμε, κυρίως, στην πρώτη διάσταση της ταξινομίας της Fadjo, τη σωματική.

2.2.2.2 Πλαίσιο Κατηγοριοποίησης Περιβαλλόντων Ενσώματης Μάθησης

Άξιο αναφοράς είναι, επίσης, το πλαίσιο που ανέπτυξαν οι Melcer & Isbister [2016], το οποίο περιλαμβάνει επτά κατηγορίες, επιτρέπει την απευθείας σύγκριση ανάμεσα σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα ενσώματης μάθησης. Το σύστημα κατηγοριοποίησής τους είναι κυρίως τεχνικής φύσης και αναπτύχθηκε ως μέσο για τον προσδιορισμό νέων συνδυασμών χαρακτηριστικών ενσώματης μάθησης για ψηφιακά μέσα εκμάθησης. Οι κύριες κατηγορίες του προτεινόμενου πλαισίου είναι: η «υλικότητα» (“physicality”), ο «μετασχηματισμός» (“transforms”), η «χωρική θέση» της εισόδου σε σχέση με την έξοδο (“mapping”), η «ανταπόκριση» (“correspondence”), ο «τρόπος λειτουργίας» (“mode of play”), ο «συντονισμός» (“coordination”) και το «περιβάλλον» (“environment”). Κάθε μια από παραπάνω διαστάσεις μπορεί να λάβει διαφορετικές τιμές, ώστε να κατηγοριοποιηθεί μια υλοποίηση ενσώματης μάθησης. Για παράδειγμα, η διάσταση του περιβάλλοντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να χαρακτηρίσει μια υλοποίηση ενσώματης μάθησης ως εφαρμογή εικονικής πραγματικότητας, ως μεικτής πραγματικότητας, ή ότι λαμβάνει χώρα αποκλειστικά στο μη εικονικό κόσμο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η διάσταση του “mapping” που μπορεί να λάβει τις τιμές: “discrete”, όταν η χωρική θέση της εισόδου είναι μακριά από την έξοδο, “collocated”, όταν η χωρική θέση της εισόδου είναι κοντά στην έξοδο και “embedded”, όταν η είσοδος είναι ενσωματωμένη στην έξοδο.

2.2.2.3 Επίπεδο Σωματοποίησης: Αισθητηριοκινητική Διέγερση, Συνάφεια Χειρονομίας & Αντιληπτή Βύθιση

Μια από τις σημαντικότερες ταξινομίες της ενσώματης μάθησης είναι αυτή η οποία προτείνεται από τους Johnson-Glenberg et al. [2016]. Η ταξινομία τους περιλαμβάνει τρεις παράγοντες: την «αισθητηριοκινητική διέγερση» (“sensorimotor engagement”), τη «συνάφεια της χειρονομίας» (“gestural congruency”) με το μαθησιακό αντικείμενο και την «αντιληπτή βύθιση» (“perceived immersion”). Συνδυάζοντας τους τρεις παράγοντες οι Johnson-Glenberg et al. [2016] καθόρισαν τέσσερα «επίπεδα σωματοποίησης» (“levels of embodiment”). Στο πρώτο επίπεδο όλοι οι παράγοντες είναι σε χαμηλό επίπεδο. Έτσι ο μαθητευόμενος συνήθως παρατηρεί το υλικό μάθησης

από ένα επιτραπέζιο υπολογιστή με μικρή αισθητηριακή και κινητική διέγερση (κάνοντας κλικ με το ποντίκι ή πατώντας κουμπιά στο πληκτρολόγιο). Το δεύτερο επίπεδο απαιτεί μεγαλύτερη κινητική ενεργοποίηση, όπως κίνηση του χεριού ή των δακτύλων. Στο τρίτο επίπεδο, ολόκληρο το σώμα δρα ως είσοδος στην αλληλεπίδραση, αλλά ο χρήστης παραμένει σταθερός σ' ένα σημείο. Το τέταρτο και μεγαλύτερο επίπεδο περιλαμβάνει ολόσωμη αλληλεπίδραση με κίνηση στο χώρο καθώς και μεγάλο βαθμό συνάφειας και βύθισης. Η συγκεκριμένη ταξινόμια αποτελεί ένα βήμα πέρα από τον απλοϊκό ισχυρισμό ότι το εκπαιδευτικό περιεχόμενο είτε είναι ενσώματο είτε δεν είναι.

Σύμφωνα με τους Johnson-Glenberg et al. [2016], μεγαλύτερη μυϊκή κίνηση (για παράδειγμα κίνηση όλου του χεριού αντί του δακτύλου) θα ενεργοποιήσει μεγαλύτερες περιοχές του αισθητηριοκινητικού φλοιού με αποτέλεσμα να παραχθούν ισχυρότερα σήματα μάθησης. Όσον αφορά στη διάσταση της συνάφειας της χειρονομίας [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013] αποτελεί ένα σημείο που διακρίνει την ενσώματη μάθηση από τις υπόλοιπες "hands-on" θεωρίες μάθησης. Με άλλα λόγια, για να μπορέσει μια αισθητηριοκινητική μαθησιακή εμπειρία να είναι αποτελεσματική πρέπει οι ενέργειες του σώματος να είναι συμβατές με τις νοητικές διεργασίες και αναπαραστάσεις των προς μάθηση εννοιών [Oviatt et al. 2012; Segal 2011; Johnson-Glenberg et al. 2016]. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που καταδεικνύει τη σημασία της συνάφειας της χειρονομίας αποτελεί μια έρευνα των Johnson-Glenberg's et al. [2016] που αφορούσε την κατανόηση της κεντρομόλου δυνάμεως. Συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αιωρήσουν ένα ανιχνεύσιμο αντικείμενο πάνω από το κεφάλι τους, αντί να χρησιμοποιήσουν μια διεπαφή ποντικιού. Αυτή είναι μια κίνηση που είναι συμβατή με το γνωστικό αντικείμενο [Lindgren et al. 2016], αλλά παράλληλα συμβαδίζει με τις προηγούμενες πραγματικές εμπειρίες των συμμετεχόντων [Johnson-Glenberg et al. 2016]. Αντίστοιχα, ο Segal et al. [2011] έδειξε ότι οι μαθητές που αλληλεπιδρούσαν με πιο συμβατό τρόπο, με ένα tablet, παίζοντας ένα εκπαιδευτικό μαθηματικό παιχνίδι, είχαν μεγαλύτερα μαθησιακά οφέλη, συγκριτικά με τους μαθητές που αλληλεπιδρούσαν με ένα τρόπο μη συμβατό με το μαθησιακό αντικείμενο. Συνεπώς, όχι μόνο είναι απαραίτητο να υιοθετούνται εκπαιδευτικές πρακτικές οι οποίες ενθαρρύνουν τις φυσικές αλληλεπιδράσεις αλλά έχει σημασία το πόσο νόημα έχουν οι αλληλεπιδράσεις ως προς το εκπαιδευτικό υλικό. Τέλος, όσον αφορά στην παράμετρο της αντιληπτής βύθισης, οι Coomans & Timmermans [1997] υποστηρίζουν ότι έχει να κάνει με το συναίσθημα της βαθιάς ενασχόλησης μ' ένα αντικείμενο (ψηφιακό) που μας ωθεί να πιστέψουμε ότι ο κόσμος είναι πραγματικός. Όπως τονίζουν οι Johnson-Glenberg et al. [2016] η βύθιση είναι υποκειμενική, δύσκολη να μετρηθεί ποσοτικά, με

ανάμεικτα μαθησιακά αποτελέσματα. Η άποψη ότι ένα εικονικό ή μεικτό περιβάλλον μάθησης με μεγάλη αντιληπτή βύθιση θα ενισχύσει αδιακρίτως τη μάθηση δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί πλήρως. Η συμβολή της αντιληπτής βύθισης στη μάθηση είναι πέρα από τους σκοπούς της παρούσας διατριβής, η οποία επικεντρώθηκε στη μελέτη της συμβολής στη μάθηση των άλλων δύο παραμέτρων της ταξινομίας των Johnson-Glenberg et al. [2016].

2.2.2.4 Σωματική Εμπλοκή & Ενσωμάτωση στο Έργο

Τέλος, οι Skulmowski & Rey [2018] πρότειναν μια ταξινομία που βασίζεται σε δύο παραμέτρους: τη «σωματική εμπλοκή» (“bodily engagement”) και την «ενσωμάτωση στο έργο» (“task integration”). Η παράμετρος της σωματικής εμπλοκής αφορά το βαθμό σωματικής δραστηριότητας που εμπλέκεται στη διδακτική παρέμβαση και μπορεί να λάβει δύο τιμές: «χαμηλή» (“low”) ή «υψηλή» (“high”). Οι Skulmowski & Rey [2018] προτιμούν τη χρήση του γενικότερου όρου της σωματικής εμπλοκής αντί του όρου της αισθητηριοκινητικής διέγερσης, τον οποίο εισήγαγαν οι Johnson-Glenberg et al. [2016], γιατί θεωρούν ότι περιλαμβάνει πτυχές της σωματοποίησης πέρα από το νευρικό σύστημα. Η παράμετρος της ενσωμάτωσης στο έργο συνδέεται με το αν οι σωματικές δραστηριότητες σχετίζονται με το εκπαιδευτικό αντικείμενο με τρόπο που έχει νόημα ή όχι και αντίστοιχα μπορεί να πάρει τις τιμές: «ενσωματωμένη» (“integrated”) ή «συμπωματική» (“incidental”). Συνεπώς, η παράμετρος της ενσωμάτωσης στο έργο σχετίζεται με την παράμετρο της συνάφειας της χειρονομίας των Johnson-Glenberg et al. [2016]. Συμπερασματικά, οι δύο διαστάσεις της ταξινομίας των Skulmowski & Rey [2018] μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το χαρακτηρισμό, σε θεωρητικό επίπεδο, σωματοποιημένων διδακτικών παρεμβάσεων, ενώ παράλληλα παρέχουν κατευθύνσεις σε σχεδιαστές εκπαιδευτικού υλικού για την εφαρμογή στην πράξη των αρχών της ενσώματης νόησης.

2.2.3 Ενσώματα Μάθηση με χρήση Απτικών Αντικειμένων – Manipulatives

Τα «φυσικά απτικά αντικείμενα» (“physical manipulatives”), τα υπολογιστικά (ή ψηφιακά) απτικά αντικείμενα, τα εκπαιδευτικά ρομπότ, οι «φορετές» τεχνολογίες (“wearables”), οι κινητές συσκευές (πχ smartphones, tablets), καθώς και άλλες τεχνολογίες που φέρουν αισθητήρες προσφέρουν μια σειρά από αντιληπτικές δυνατότητες αλληλεπίδρασης, οι οποίες διευκολύνουν τις ενσώματες πολυαισθητηριακές μορφές μάθησης. Η μάθηση με χρήση απτικών αντικειμένων είναι πάντα αισθητηριοκινητική στη φύση της, αφού περιλαμβάνει απαραίτητως κάποιο είδος σωματικής αλληλεπίδρασης του μαθητευόμενου με το περιβάλλον, αλλιώς θα

έπαυε να υφίσταται ως απτικό αντικείμενο μάθησης [Rouw et al. 2014]. Επίσης, η μάθηση με απτικά αντικείμενα περιλαμβάνει μια στενή σύζευξη των εξωτερικών τεχνουργημάτων με τις αντιληπτικές και νοητικές διεργασίες του εκπαιδευόμενου, σε βαθμό που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα τεχνουργήματα οικοδομούν τις γνωσιακές καταστάσεις του. Μια επιπλέον προέκταση που πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας είναι το ότι τα απτικά αντικείμενα έχουν συγκεκριμένες αντιληπτικές και διαδραστικές δυνατότητες [Gibson 2014] και συνεπώς η διαδικασία της ενσώματης μάθησης μέσω της χρήσης τους, έχει άμεση σχέση με το είδος των σωματικών ενεργειών που μπορεί ο εκπαιδευόμενος να επιτελέσει σε αυτά [Rouw et al. 2014].

Σύμφωνα με τον Rouw et al. [2014] θα πρέπει να αντιμετωπίζουμε τη χρήση των απτικών αντικειμένων ως αυτό που ο Andy Clark αποκαλεί «Καταστάσεις Αντιπροσώπου» (“Surrogate Situations”). Στις Καταστάσεις Αντιπροσώπου η νόηση είναι σε κάποιο βαθμό «αποσυγκειμενοποιημένη» (“decontextualized”) από το περιβάλλον, καθώς υπερβαίνει το άμεσο περιβάλλον, παρόλο που αυτό παρέχει μια απτή επιφάνεια, η οποία επιτρέπει την ανάπτυξη αισθητηριοκινητικών διαδικασιών. Σε σχέση με το εννοιολογικό πλαίσιο εκπαιδευτικής σωματοποίησης της Fadjo [2012] (Εικόνα 2) θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι η χρήση απτικών αντικειμένων κατατάσσεται στην κατηγορία της σωματοποίησης μέσω αντιπροσώπου. Ο εξωτερικός αντιπρόσωπος μπορεί να είναι ένα φυσικό αντικείμενο, όπως για παράδειγμα ένα παιχνίδι [Glenberg et al. 2004], ή ένα υπολογιστικό απτικό αντικείμενο. Συγκεκριμένα, ο Glenberg et al. [2004] διαπίστωσε ότι οι μαθητές που προσομοίωναν τις ιστορίες (σχετικά με φάρμες) που διάβαζαν χρησιμοποιώντας ένα σετ από παιχνίδια (αγρότες, ζώα) επέδειξαν μεγαλύτερες ικανότητες κατανόησης κειμένου. Οι ιστορίες που περιγράφονταν σ’ ένα κείμενο έβγαζαν περισσότερο νόημα στους μαθητές όταν χειρίζονταν ενεργά τα απτικά αντικείμενα αναπαράστασης και κατά συνέπεια αυτό αύξησε το βαθμό κατανόησης και απομνημόνευσης του κειμένου.

2.2.3.1 Υπολογιστικά Απτικά Αντικείμενα – *Computational Manipulatives*

Πέρα από τα φυσικά απτικά αντικείμενα ως αντιπρόσωποι για επιστημονικές εξερευνήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υπολογιστικά (ή ψηφιακά) απτικά αντικείμενα [Resnick et al. 1998]. Τα υπολογιστικά αποτελούν μια ειδική περίπτωση απτικών αντικειμένων τα οποία είναι επαυξημένα με υπολογιστικές δυνατότητες. Με τη χρήση τους η ενσώματη δράση τοποθετείται στα αντικείμενα, καθώς η σωματική κίνηση και οι χειρονομίες εκτελούνται ελεύθερα στο φυσικό χώρο. Η επαύξηση των αντικειμένων και της δράσης μπορεί να συντελεστεί συνδέοντας ευέλικτα την αλληλεπίδραση με τη ψηφιακή πληροφορία μέσω διαφόρων αισθητηριοκινητικών τρόπων, όπως οπτικών, ακουστικών και απτικών. Αυτή η σύνδεση προσφέρει νέες

ευκαιρίες μάθησης αφού κάνει το αόρατο ορατό, το αθόρυβο ηχηρό, το έμμεσο σαφές, αναδεικνύοντας σημαντικές πτυχές μιας έννοιας που μπορεί να μην είναι άμεσα εμφανείς [Price et al. 2017].

Ο Resnick [2001] υποστηρίζει ότι τα υπολογιστικά απτικά αντικείμενα προσφέρουν στα παιδιά «εννοιολογική μόχλευση» (“conceptual leverage”). Για παράδειγμα το BitBall [Resnick et al. 1998] αποτελεί μια υπολογιστικά επαυξημένη έκδοση ενός παραδοσιακού παιχνιδιού μπάλας, το οποίο επιτρέπει στους μαθητές να εξερευνήσουν επιστημονικές έννοιες στο πεδίο της Κινητικής, όπως για παράδειγμα την έννοια της επιτάχυνσης. Ομοίως, το Curlybot [Frei et al. 2000] είναι ένα ρομπότ με κινητική μνήμη και ενσωματωμένο πάνω του ένα μολύβι. Το Curlybot μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διδασκαλία μαθηματικών και υπολογιστικών εννοιών καθώς μπορεί να καταγράψει και να επαναλάβει κινήσεις που πραγματοποιούνται κατά το σχεδιασμό γεωμετρικών σχημάτων. Το Torobo [Raffle et al. 2004] ακολουθεί την ίδια λογική, καθώς είναι μια εργαλειοθήκη υλικών κατασκευής (construction toolkit), η οποία επιτρέπει την κατασκευή ρομποτικών πλασμάτων από εξαρτήματα που έχουν κινητική μνήμη. Το Torobo μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξωτερικός φυσικός αντιπρόσωπος, για να υποστηρίξει τους μαθητές στην εξερεύνηση εννοιών που αφορούν την κίνηση, την ισορροπία και τη βαρύτητα. Φαίνεται, λοιπόν, ότι ο προγραμματισμός και η χρήση ψηφιακών απτικών αντικειμένων και ειδικά εκπαιδευτικών ρομπότ, αποτελεί ένα καινοτόμο τρόπο για την υποστήριξη επιστημονικών και υπολογιστικών εξερευνήσεων.

Η εγγύς αλληλεπίδραση με υπολογιστικά απτικά αντικείμενα διευκολύνει την πραγματοποίηση μιας σειράς σημαντικών μαθησιακών δραστηριοτήτων [Sullivan & Heffernan 2016]. Πρώτον, δίνεται η δυνατότητα στους μαθητές να φανταστούν τους εαυτούς τους στη θέση του υπολογιστικού απτικού αντικειμένου. Οι σωματικές κινήσεις τους αποτελούν τη βάση για να εξαχθούν συμπεράσματα στο πώς θα πρέπει τελικά να προγραμματίσουν την κίνηση του υπολογιστικού τεχνουργήματος. Ουσιαστικά, το σώμα τους καθίσταται ένα απτικό αντικείμενο το οποίο ενεργεί με ανάλογο τρόπο με την υπολογιστική συσκευή [Papert 1980]. Δεύτερον, η χρήση υπολογιστικών απτικών αντικειμένων ενθαρρύνει το συνεργατικό διάλογο ανάμεσα στους μαθητευόμενους, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη κατανόηση του αντικειμένου μάθησης. Τρίτον, όταν οι μαθητές γράφουν και εκτελούν ένα πρόγραμμα για ένα υπολογιστικό αντικείμενο, λαμβάνουν άμεση ανατροφοδότηση για την αποτελεσματικότητα του προγράμματός τους από την ίδια τη συσκευή. Αυτή η άμεση ανατροφοδότηση ενεργοποιεί ένα κύκλο αντιμετώπισης προβλήματος, ο οποίος περιλαμβάνει διάφορα στάδια όπως η διάγνωση του προβλήματος, η ανάλυση της

τρέχουσας κατάστασης του προγράμματος, ο σχεδιασμό λύσεων του προβλήματος [Sullivan & Heffernan 2016].

2.2.3.2 Εκπαιδευτικά Ρομπότ ως Υπολογιστικά Απτικά Αντικείμενα

Σύμφωνα με τους Sullivan & Heffernan [2016], τα εκπαιδευτικά ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπολογιστικά απτικά αντικείμενα με δύο τρόπους: πρώτον, ως απτικά αντικείμενα για την εκμάθηση εννοιών οι οποίες αφορούν άμεσα τη ρομποτική (χρήσεις πρώτης τάξης) και δεύτερον, ως απτικά αντικείμενα για την κατανόηση εννοιών σε ένα μαθησιακό πεδίο στόχο από μια υπολογιστική προοπτική (χρήσεις δεύτερης τάξης). Ειδικότερα, ερευνητικές μελέτες οι οποίες σχετίζονται με χρήσεις των εκπαιδευτικών ρομπότ ως πρώτης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων επικεντρώνονται σε πρακτικές που αφορούν την ενασχόληση με την ΥΣ και την εκμάθηση εννοιών στο πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών και της μηχανικής. Ερευνητικές μελέτες που σχετίζονται με χρήσεις των εκπαιδευτικών ρομπότ ως δεύτερης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων περιλαμβάνουν έρευνες οι οποίες χρησιμοποιούν τα εκπαιδευτικά ρομπότ για μοντελοποίηση επιστημονικών φαινομένων σε πεδία διαφορετικά από τη ρομποτική, όπως της Φυσικής, των Μαθηματικών και της Βιολογίας [Sullivan & Heffernan 2016].

Με βάση τα παραπάνω, στην παρούσα διατριβή ο στόχος ήταν να χρησιμοποιήσουμε τα εκπαιδευτικά ρομπότ τόσο ως πρώτης τάξης υπολογιστικά απτικά αντικείμενα για την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών (πρώτη μελέτη) όσο και ως δεύτερης τάξης για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση του φαινομένου της τριβής (δεύτερη μελέτη).

2.2.4 Εγγύς vs Εξ Αποστάσεως Ενσώματη Αλληλεπίδραση

Ποια είναι όμως η διαφορά ανάμεσα στην άμεση εγγύς αλληλεπίδραση, η οποία απαιτείται συνήθως κατά τη διαδικασία μάθησης με ένα απτικό αντικείμενο και την εξ αποστάσεως; Οι Abrahamson & Bakker [2016] προτείνουν το διαχωρισμό της ενσώματης αλληλεπίδρασης σε εγγύς και εξ αποστάσεως. Στο άρθρο τους εξηγούν πώς η τεχνολογία μπορεί να δράσει ως διαμεσολαβητής των επιτόπιων και απομακρυσμένων κινήσεων καθώς και πώς ο διαμεσολαβητικός ρόλος της τεχνολογίας μπορεί να αξιοποιηθεί για το σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων στο πεδίο των Μαθηματικών και κατ' επέκταση της STEM εκπαίδευσης. Ειδικότερα, πολύ συχνά οι φυσικές ενέργειες μας είναι σε άμεση επαφή με τα αντικείμενα που καλούμαστε να χειριστούμε, όπως, όταν πιάνουμε μια μπάλα και την πετάμε. Ορισμένες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις προσπαθούν να αξιοποιήσουν αυτές τις φυσικές, δίχως διαμεσολάβηση, διαδικασίες άμεσου χειρισμού ενός αντικειμένου, θεωρώντας τες ως τις κύριες πηγές μάθησης. Για παράδειγμα, οι μαθητές θα

μπορούσαν να κατανοήσουν τις φυσικές αρχές της Κινητικής βιώνοντας στην πράξη τη μεγαλύτερη σωματική προσπάθεια που απαιτείται, για να πετάξουν μια μπάλα σε μεγαλύτερη χωρική απόσταση. Τέτοιου είδους παρεμβάσεις, προφανώς, διέπονται και περιορίζονται από τους καθολικούς νόμους της φύσης [Abrahamson & Bakker 2016].

Ωστόσο, όπως τονίζουν οι Abrahamson & Bakker [2016], η επαφή μας με τα αντικείμενα που καλούμαστε να χειριστούμε μπορεί να εμπλουτιστεί μέσω της χρήσης ενδιάμεσων εργαλείων, όπως, όταν χρησιμοποιούμε φυσικά σκεύη (π.χ. ένα πιρούνι) ή ηλεκτρονικές συσκευές (π.χ. ένα τηλεχειριστήριο), για να επεκτείνουμε, επαυξήσουμε, διαμοιράσουμε και μετασχηματίσουμε τις φυσικές μας ενέργειες στο χώρο, στο χρόνο, στα μέσα, στις κοινωνικές και πολιτισμικές μορφές. Έτσι, η τεχνολογία δημιουργεί μια έμπρακτη απόσταση μεταξύ της πρόθεσης και του αποτελέσματος. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πώς ένα άτομο με προβλήματα όρασης μαθαίνει να κινείται στο χώρο με τη χρήση ενός μπαστουνιού, ώσπου το μπαστούνι καθίσταται, μέσω εξάσκησης, αισθητηριοκινητική επέκταση του σώματός του. Το μπαστούνι, σύμφωνα και με τον Heidegger, είναι «έτοιμο-προς-χρήση» (“ready-to-hand”). Ένα αντίστοιχο παράδειγμα από το πεδίο της επικοινωνίας ανθρώπου υπολογιστή δίνει ο Dourish [2004]. Ειδικότερα, καθώς ο χρήστης χρησιμοποιεί το ποντίκι του υπολογιστή και ενεργεί μέσω αυτού, το ποντίκι καθίσταται μια επέκταση του χεριού του, καθώς χειρίζεται αντικείμενα και μενού στο γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας. Άρα, το ποντίκι είναι «έτοιμο-προς-χρήση.» Με άλλα λόγια, καθώς ενεργούμε μέσω της τεχνολογίας που έχει καταστεί «έτοιμη-προς-χρήση», η τεχνολογία παύει να βρίσκεται στο προσκήνιο και στις άμεσες ανησυχίες μας. Είμαστε τόσο απορροφημένοι με την εκτέλεση της εργασίας ώστε ο εξοπλισμός που χρησιμοποιούμε εξαφανίζεται στο παρασκήνιο [Dourish 2004].

Ας υποθέσουμε τώρα ότι ένας μαθητής χρησιμοποιήσει μια κινητή συσκευή (πχ ένα smartphone ή ένα tablet) για να ελέγξει εξ αποστάσεως, μέσω τηλεχειρισμού, ένα υπολογιστικό απτικό αντικείμενο, πχ ένα εκπαιδευτικό ρομπότ. Με βάση τα παραπάνω, η κινητή συσκευή είναι «έτοιμη-προς-χρήση.» Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της εργασίας τηλεχειρισμού, η κινητή συσκευή εξαφανίζεται στο παρασκήνιο και καθίσταται επέκταση του σώματος του μαθητή, όπως μια μαριονέτα αποτελεί επέκταση των χεριών ενός ηθοποιού σ’ ένα «κουκλοθέατρο».

2.3 Ο Προγραμματισμός ως Παιδαγωγική & Επιστημολογική Βάση

Τη δεκαετία του 1970 ο Seymour Papert, σημαίνων εκπαιδευτικός, μαθηματικός και επιστήμονας της Πληροφορικής και της τεχνητής νοημοσύνης στο MIT, μαζί με μια ομάδα ερευνητών άρχισε να αμφισβητεί και να διερευνά τη διδακτική του

προγραμματισμού στους μαθητές. Έχοντας μαθητεύσει δίπλα στον Jean Piaget προσέγγισε τη διδακτική του προγραμματισμού μ' ένα νέο και καινοτόμο τρόπο. Το όραμα του Papert αφορούσε ένα μοντέλο μαθητών που «οικοδομούν» τις δικές τους πνευματικές δομές.

2.3.1 Οι Μαθητές ως «Παραγωγοί» της Γνώσης

Οι ιδέες του Papert οδήγησαν στην επιστημολογική προσέγγιση που ονομάζεται «κατασκευαστική» (“constructionism”) θεωρία της μάθησης. Η θεωρία του Papert [1980] βασίζεται σε δύο βασικές έννοιες δημιουργίας της γνώσης. Πρωτίστως, τα παιδιά μαθαίνουν συμμετέχοντας ενεργητικά στην παραγωγή της νέας γνώσης και όχι λαμβάνοντας απλώς παθητικά τις πληροφορίες που τους παρέχονται. Δευτερευόντως, η αποτελεσματική μάθηση λαμβάνει χώρα, όταν οι μαθητές ασχολούνται με την κατασκευή προσωπικών αντικειμένων, τα οποία έχουν νόημα για τους ίδιους, όπως ρομπότ, ψηφιακά βιντεοπαιχνίδια, φυσικά και ψηφιακά απτικά αντικείμενα και animation υπολογιστή. Αυτή η προσέγγιση, κατά την οποία ο μαθητευόμενος «κατασκευάζει» ενεργά τη γνώση και μαθαίνει δημιουργώντας τεχνουργήματα (ψηφιακά ή φυσικά) που έχουν γι' αυτόν νόημα, προωθήθηκε ως ένας τρόπος, για να μπορέσουν οι μαθητές να «μιλήσουν μέσω του προγραμματισμού τη γλώσσα των Μαθηματικών.» Άλλωστε, ο ίδιος ο Papert [1987] θεωρούσε ότι η μεγαλύτερη αξία του υπολογιστή ως αναπτυξιακού παράγοντα έγκειται στη δυνατότητά του να προσφέρει ένα ισχυρό μαθησιακό περιβάλλον, στο οποίο οι νέοι προγραμματιστές «είναι σε θέση να παίξουν, με ένα συμπαγή τρόπο, με τη λογική, εξερευνώντας τους νόμους της Φυσικής-κίνησης και πολλά άλλα γνωστικά αντικείμενα που παλιότερα θα μπορούσαν να κατανοηθούν μόνο μέσω αφηρημένων εννοιών.» Ο Papert εφάρμοσε τη συγκεκριμένη θεωρία τόσο για να αναπτύξει τη γλώσσα προγραμματισμού Logo [41], κατά την οποία οι μαθητές με απλές εντολές μπορούσαν να ελέγξουν την κίνηση ενός ρομπότ που είχε την μορφή χελώνας, όσο και αργότερα στην ανάπτυξη της πλατφόρμας ρομποτικής Lego Mindstorms.

Μέσω της κατασκευαστικής παιδαγωγικής προσέγγισης και μάθησης ο δάσκαλος δρα κυρίως ως υποστηρικτής-καθοδηγητής των μαθητών, οι οποίοι πρέπει να αναλάβουν ενεργό ρόλο στη μάθηση, καθώς σχεδιάζουν και δημιουργούν τα ψηφιακά ή φυσικά τεχνουργήματά τους [Fadjo 2012]. Αντίστοιχα, η τεχνολογία αποτελεί ένα μέσο έκφρασης της οποίας ο προορισμός είναι να ενθαρρύνει την ατομική και συνεργατική εργασία μεταξύ των μαθητών, ώστε να μπορούν να σκέφτονται και να διερευνούν μέσω του υπολογιστή [Harel & Papert 1990]. Μέσω του προγραμματισμού οι μαθητές λειτουργούν ως «παραγωγοί» παρά ως «καταναλωτές» του εκπαιδευτικού περιεχομένου [Fadjo 2012].

2.3.2 Διερευνώντας «Δυναμικές Ιδέες»

Επίσης, ο Papert ήταν ο πρώτος που μίλησε για τις «δυναμικές ιδέες» (“powerful ideas”) στο βιβλίο του “*Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*” [1980]. Ο ίδιος όρισε τις «δυναμικές ιδέες» ως ένα «νοητικό εργαλείο.» Πίστευε ότι η διερεύνηση και η κατανόηση «δυναμικών ιδεών» (όπως μαθηματικών γεωμετρικών εννοιών) με τη χρήση του υπολογιστή (για παράδειγμα μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Logo), καθώς και σε δραστηριότητες δίχως την παρουσία υπολογιστή, μπορεί να δώσει τη δυνατότητα στα παιδιά να έρθουν αντιμέτωπα με τις διαισθήσεις τους. Συγκεκριμένα, θεωρούσε ότι οι υπολογιστές μπορούν να βοηθήσουν τα παιδιά να εξωτερικεύσουν τις διαισθήσεις τους και κάνοντας χρήση υπολογιστικών υλικών, όπως για παράδειγμα προσομοιώσεων, θα είναι σε θέση να επανεξετάσουν ή να αναδιαμορφώσουν τις ενστικτώδεις γνώσεις τους [Allen-Conn & Rose 2003].

Ο Alan Kay βαθιά επηρεασμένος από τις ιδέες του Papert, ηγήθηκε μιας προσπάθειας δημιουργίας δυναμικών εργαλείων μάθησης που οδήγησε στην ανάπτυξη της γλώσσας προγραμματισμού Squeak. Η Squeak, που αποτελεί εξέλιξη της γλώσσας Smalltalk, είναι σύμφωνα με τους Allen-Conn & Rose [2003] ένας «επεξεργαστής ιδεών.» Είναι μια γλώσσα προγραμματισμού, ένα εργαλείο, ένα περιβάλλον παραγωγής πολυμέσων, μέσω της οποίας οι μαθητές μπορούν, προγραμματίζοντας, να διερευνήσουν και να κατανοήσουν «δυναμικές ιδέες» από το πεδίο της Πληροφορικής, των Μαθηματικών και της Επιστήμης, όπως για παράδειγμα η έννοια των μεταβλητών, του μηδενός, των θετικών και αρνητικών αριθμών, των συντεταγμένων x και y στο καρτεσιανό σύστημα, των ανάλογων ποσών, της ανάδρασης, της επιτάχυνσης και της βαρύτητας.

2.3.3 Προγραμματιστικά Εργαλεία Διερεύνησης «Δυναμικών Ιδεών»

Πέρα από την Logo και τη Squeak, μια πληθώρα γλωσσών προγραμματισμού έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία τόσο για τη διδασκαλία του προγραμματισμού σε αρχάριους μαθητές, όσο και για τη εξερεύνηση «δυναμικών ιδεών» με τη χρήση του επιτραπέζιου υπολογιστή, κινητών συσκευών, φορετών συσκευών, ψηφιακών απτικών αντικειμένων και εκπαιδευτικών ρομπότ. Με βάση τον τρόπο συγγραφής του κώδικα μπορούμε να τις κατατάξουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες: στις γλώσσες προγραμματισμού που βασίζονται στη συγγραφή κειμένου (text-based programming languages), στις οπτικές γλώσσες προγραμματισμού, οι οποίες βασίζονται στη χρήση πλακιδίων (blocks-based visual programming languages) και σε εκείνες που βασίζονται στη συγγραφή κώδικα με χρήση απτικών αντικειμένων (tangible programming languages).

Η χρήση μιας γλώσσας προγραμματισμού που βασίζεται στη συγγραφή κώδικα παρέχει στον εκπαιδευόμενο μια αυθεντική εμπειρία προγραμματισμού, ενώ παράλληλα του δίνει τη δυνατότητα να αναπτύξει προγράμματα μεγάλης πολυπλοκότητας. Από την άλλη μεριά, οι γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου αυτού του είδους δεν ενδείκνυνται για την εκμάθηση προγραμματισμού σε αρχάριους μαθητές, γιατί είναι απαραίτητη η εκμάθηση του αυστηρού συντακτικού τους.

Νέες γλώσσες προγραμματισμού υπολογιστή για μαθητές που βασίζονται στη χρήση πλακιδίων, όπως η Alice [Cooper et al. 2000], η Scratch [Maloney et al. 2010] και το App Inventor [Grover & Pea 2013a] με το γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών, ήρθαν να πάρουν τη θέση παλαιότερων γλωσσών, όπως η Logo. Τα πολύχρωμα γραφικά τους και ο εύκολος “*drag and drop*” τρόπος σύνθεσης προγραμμάτων έκαναν τον προγραμματισμό ελκυστικότερο και ευκολότερο για τα παιδιά, αφού πλέον για τη δημιουργία ενός προγράμματος δεν είναι απαραίτητη η εκμάθηση του αυστηρού συντακτικού μιας γλώσσας υψηλού επιπέδου. Η λογική στη συγγραφή κώδικα είναι εμπνευσμένη από τα Legos και στηρίζεται στη συνένωση «πλακιδίων» (“blocks”) που αντιστοιχούν στις εντολές της γλώσσας. Οι μαθητές δεν είναι δυνατόν να υποπέσουν σε συντακτικά λάθη, καθώς το σχήμα των πλακιδίων καθορίζει τους τρόπους συνένωσής τους, ενώ η διεπαφή «σύρε και άφησε» (“*drag and drop*”) αρνείται εσφαλμένες συνδέσεις που δεν έχουν νόημα. Επιπρόσθετα, τα πλακίδια-εντολές έχουν κατηγοριοποιηθεί με βάση το χρώμα διευκολύνοντας τους μαθητές στο να τις εντοπίζουν ευκολότερα. Έτσι, οι οπτικές γλώσσες προγραμματισμού, οι οποίες βασίζονται στη χρήση πλακιδίων, σε αντίθεση με τις γλώσσες προγραμματισμού, που βασίζονται στη συγγραφή κειμένου, επιτρέπουν στους νέους προγραμματιστές να επικεντρωθούν αποκλειστικά στη σημασιολογία του κώδικα, με αποτέλεσμα να μειώνεται το γνωστικό φορτίο το οποίο επιβάλλεται στο μαθητή κατά τη συγγραφή του προγράμματος [Kelleher & Pausch 2005; Witherspoon et al. 2018]. Σύμφωνα με τον Resnick et al. [2009], οι οπτικές γλώσσες προγραμματισμού, όπως η Scratch, προσφέρουν ένα περιβάλλον εργασίας με «χαμηλό πάτωμα» (“*low floor*”) και «ψηλό ταβάνι» (“*high ceiling*”). Ένα τέτοιο περιβάλλον αφενός βοηθάει τους αρχάριους χρήστες να εμπλακούν με τον προγραμματισμό καταβάλλοντας μικρή προσπάθεια και αφετέρου δε δρα περιοριστικά, επιτρέποντας στους πιο έμπειρους χρήστες να δημιουργήσουν όλο και πιο εξελιγμένα έργα.

Ακόμα «χαμηλότερο πάτωμα», όσον αφορά στο περιβάλλον εργασίας, προσφέρουν οι γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες βασίζονται στη συγγραφή κώδικα με χρήση απτικών αντικειμένων. Εδώ τα εικονικά πλακίδια, τα οποία αντιστοιχούν στις εντολές

τις γλώσσας, έχουν αντικατασταθεί από φυσικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Tern [Horn et al. 2007], μια γλώσσα προγραμματισμού για μαθητές που υλοποιεί μια TUI διεπαφή χρήστη [Ishii 2008]. Οι εντολές της γλώσσας αποτελούνται από μια συλλογή από ξύλινα πλακίδια τα οποία έχουν το σχήμα κομματιών πάζλ. Οι μαθητές συνδέοντας κατάλληλα τα πλακίδια δημιουργούν προγράμματα υπολογιστή, τα οποία έχουν υλική υπόσταση στον πραγματικό κόσμο, με στόχο να ελέγξουν την κίνηση ενός ρομπότ. Άλλα παραδείγματα tangible γλωσσών προγραμματισμού αποτελούν τα Tangible Programming Bricks [McNerney 2004] και το Proteas Kit [Sapounidis et al. 2015]. Οι γλώσσες προγραμματισμού αυτού του είδους ενδείκνυνται για την εκμάθηση προγραμματισμού σε μαθητές μικρότερης κυρίως ηλικίας (κάτω από 12 έτη). Ωστόσο, είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη περισσότερο εκτεταμένων και εξελιγμένων προγραμμάτων. Συνεπώς, θα μπορούσαμε να πούμε ότι δεν προσφέρουν ένα περιβάλλον εργασίας με «ψηλό ταβάνι», όπως οι blocks-based οπτικές γλώσσες προγραμματισμού.

Φυσικά, έχουν αναπτυχθεί και υβριδικές γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες έχουν κληρονομήσει χαρακτηριστικά από διαφορετικές κατηγορίες, όπως για παράδειγμα η γλώσσα προγραμματισμού Greenfoot [Kölling 2010], η οποία έχει κληρονομήσει χαρακτηριστικά τόσο από γλώσσες υψηλού επιπέδου, όπως η Java, όσο και από οπτικές γλώσσες προγραμματισμού.

Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι οι διδακτικές παρεμβάσεις της διατριβής αφορούσαν μαθητές Γυμνασίου και Δημοτικού (μεγάλων τάξεων) επιλέξαμε τη χρήση blocks-based οπτικών γλωσσών προγραμματισμού οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό ρομπότ, όπως η Scratch, το App Inventor και η Tynker.

2.4 Υπολογιστική Σκέψη

2.4.1 Ορίζοντας την Υπολογιστική Σκέψη

Από τη στιγμή που ο Papert [1980] εισήγαγε την έννοια της ΥΣ και μέχρι πρόσφατα, η ΥΣ [Wing 2006] θεωρείτο ως μια αμιγώς νοητική δραστηριότητα. Συγκεκριμένα, η Wing [2008] ορίζει την ΥΣ ως «τις νοητικές διαδικασίες οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά τη διατύπωση και λύση ενός προβλήματος, ώστε η λύση που θα προκύψει να μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια τέτοια μορφή που να είναι εφικτή η αποτελεσματική εκτέλεση της από ένα σύστημα επεξεργασίας πληροφοριών.» Πλήθος ερευνητών, επηρεασμένοι από το επιδραστικό άρθρο της Wing, έχουν αναπτύξει διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις και εννοιολογικές παραλλαγές στην προσπάθεια τους να ορίσουν

την ΥΣ. Συνεπώς, πολυάριθμοι χαρακτηρισμοί έχουν χρησιμοποιηθεί με στόχο να αναδειχτούν οι πολλαπλές πτυχές της ΥΣ [Fadjo 2012].

Ένας από τους σημαντικότερους χαρακτηρισμούς προέρχεται από το MIT Media Lab, στο οποίο οι Brennan & Resnick [2011] προσπάθησαν να διευρύνουν την έννοια της ΥΣ προτείνοντας ένα εννοιολογικό πλαίσιο που περιλαμβάνει τρεις βασικές διαστάσεις: τις «υπολογιστικές έννοιες» (“computational concepts”), τις «υπολογιστικές πρακτικές» (“computational practices”) και τις «υπολογιστικές αντιλήψεις» (“computational perspectives”). Οι υπολογιστικές έννοιες αποτελούν τα θεμελιώδη δομικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα συνήθως σ’ ένα περιβάλλον προγραμματισμού, όπως οι «δομές ακολουθίας» (“sequences”), οι «δομές επανάληψης» (“loops”), ο «παραλληλισμός» (“parallelism”), τα «συμβάντα» (“events”), οι «συνθήκες» (“conditionals”), οι «τελεστές» (“operators”) και τα «δεδομένα» (“data”). Οι υπολογιστικές πρακτικές είναι δραστηριότητες που μπορεί να συμβούν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης ενός προγράμματος και έχουν να κάνουν με τη διαδικασία της σκέψης και της μάθησης, δηλαδή στο πώς μαθαίνεις πέρα από το τι μαθαίνεις. Οι Brennan & Resnick [2011] έχουν καθορίσει τέσσερις πρακτικές: «αυξητική & επαναληπτική» (“being incremental & iterative”) ανάπτυξη, «δοκιμές & αποσφαλμάτωση» (“testing & debugging”) του κώδικα, «επαναχρησιμοποίηση & ανάμειξη» (“reusing & remixing”) του κώδικα και «αφαίρεση & μοντελοποίηση» (“abstracting & modularizing”). Οι υπολογιστικές αντιλήψεις αποτελούν την τρίτη βασική συνιστώσα του πλαισίου ανάπτυξης ΥΣ των Brennan & Resnick [2012]. Πρωτίστως, οι υπολογιστικές αντιλήψεις σχετίζονται με την καταγραφή των μεταβαλλόμενων απόψεων των μαθητών για τους εαυτούς τους (“expressing”), για τις σχέσεις με τους άλλους (“connecting”) και για τον κόσμο (“questioning”), καθώς συμμετέχουν σε δραστηριότητες ΥΣ. Για τους σκοπούς της παρούσας διατριβής επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε το πλαίσιο των Brennan & Resnick [2012] για να αξιολογήσουμε την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών.

2.4.2 Ενσώματη Υπολογιστική Σκέψη

Παρόλο που η έρευνα στην ενσώματη μάθηση έχει επικεντρωθεί στο πεδίο της STEM εκπαίδευσης, κυρίως στα Μαθηματικά και τις επιστήμες, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια προσπάθεια εφαρμογής των αρχών της ενσώματης νόησης και στην επιστήμη των υπολογιστών, κυρίως στο πεδίο του υπολογισμού. Όπως υποστηρίζουν οι Grover & Pea [2013b], η κοινωνικοοικονομική ώθηση συνέβαλε στην επιτάχυνση της εκπαίδευσης στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών δημιουργώντας παράλληλα ένα αναγκαίο κενό στη θεωρητική κατανόηση του πεδίου. Ένα κενό το

οποίο μπορεί να καλυφθεί από την έρευνα στις επιστήμες της μάθησης, συμπεριλαμβανομένου του τομέα της ενσώματης νόησης [Manches et al. 2019].

Μερικοί εκπαιδευτικοί και ερευνητές, οι οποίοι έχουν ενστερνιστεί την προοπτική της ενσώματης μάθησης, πιστεύουν ότι η διαδικασία ανάπτυξης της ΥΣ μπορεί να εμπλουτιστεί, αν συντελεστεί μέσα σε κανάλια πλούσια σε αισθητηριοκινητικές εμπειρίες. Μια πρακτική μέθοδος μάθησης είναι η άμεση σωματοποίηση, κατά την οποία οι μαθητές διαπράττουν με το σώμα τους τις υπολογιστικές έννοιες πριν προχωρήσουν στον προγραμματισμό μέσω υπολογιστή. Υπάρχουν διάφορες σωματικές δραστηριότητες που έχουν αναπτυχθεί με στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν υπολογιστικές έννοιες, όπως για παράδειγμα οι δραστηριότητες *Computer Science Unplugged* [Bell et al. 2012], μέσω των οποίων οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να ερευνήσουν έννοιες, όπως η ταξινόμηση δίχως την παρουσία υπολογιστή. Σύμφωνα με τον Cortina [2015], τέτοιου είδους δραστηριότητες είναι αποτελεσματικές, γιατί «το να είναι σωματικά μέρος της λύσης ενός προβλήματος, τα παιδιά μαθαίνουν τόσο από τις παρατηρήσεις, όσο και από τις εμπειρίες τους.» Η σωματοποίηση προσφέρει μια διαφορετική προοπτική στην υπολογιστική νόηση, γιατί όχι μόνο κάνει τις αφηρημένες έννοιες πιο απτές αλλά είναι σημαντική και ως προς τον τρόπο που μας επιτρέπει να συλλάβουμε συγκεκριμένες υπολογιστικές έννοιες [Manches et al. 2019]. Αντίστοιχα, η Fadjo [2012] διαπίστωσε ότι το να βάλεις τους μαθητές να διαπράξουν με το σώμα τους προκαθορισμένες δομές κώδικα μπορεί να επηρεάσει θετικά την ανάπτυξη της υπολογιστικής τους σκέψης κατά τη διάρκεια της δημιουργίας ενός εκπαιδευτικού βιντεοπαιχνιδιού στην Scratch. Η Fadjo [2012] ανέφερε ότι η θετική επίδραση της σωματοποίησης στην ανάπτυξη της ΥΣ γινόταν λιγότερο έντονη, όσο οι δομές του κώδικα γίνονταν περισσότερο πολύπλοκες. Η σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου, κατά την οποία οι μαθητευόμενοι χειρίζονται και παρατηρούν έναν εξωτερικό αντιπρόσωπο είναι μια εναλλακτική μέθοδος για την ανάπτυξη της ΥΣ [Fadjo et al. 2009b]. Για παράδειγμα η Sung et al. [2017a] μελέτησε πώς δραστηριότητες άμεσης σωματοποίησης και μέσω αντιπροσώπου, με διαφορετικό επίπεδο σωματοποίησης (χαμηλής και υψηλής σωματοποίησης), μπορούν να επηρεάσουν τις μαθηματικές και υπολογιστικές δεξιότητες των μαθητών. Η Sung et al. [2017a] διαπίστωσε ότι οι συνθήκες σωματοποίησης μέσω αντιπροσώπου με υψηλή σωματοποίηση είχαν το μεγαλύτερο μαθησιακό αντίκτυπο. Άλλοι ερευνητές [Daily et al. 2014; Parmar et al. 2016] εξέτασαν πώς ενσώματες αλληλεπιδράσεις σ' ένα εικονικό περιβάλλον που επεξεργαζόταν τις χορευτικές κινήσεις των μαθητών μπορούσαν να ενισχύσουν την υπολογιστική μάθηση.

2.4.3 Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης με χρήση Ρομπότ

Η ιδέα χρήσης των ρομπότ στην εκπαίδευση στηρίζεται πρωτίστως στην προηγούμενη έρευνα του Papert [1980]. Μέσω της ρομποτικής, τα παιδιά ξεφεύγουν από τον παραδοσιακό τρόπο προγραμματισμού υπολογιστή. Ο Papert πίστευε ότι οι μαθητές μπορούσαν να ταυτιστούν με τα ρομπότ που είναι φυσικές, απτές αναπαραστάσεις του υπολογιστή και των προγραμμάτων του. Θεωρούσε, επίσης, ότι αυτοί αλληλεπιδρώντας με τα ρομπότ μπορούν να κατανοήσουν ευκολότερα αφηρημένες έννοιες. Η υλική φύση του ρομπότ, σύμφωνα με τον Papert, αποτελεί το κύριο πλεονέκτημα του. Η χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ ως πρώτης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων είναι εκτεταμένη και επικεντρώνεται κυρίως σε πτυχές της ΥΣ, όπως την επίλυση προβλημάτων και την εκμάθηση προγραμματισμού (βλέπε αναλυτικά [Sullivan & Heffernan 2016]).

Η εκμάθηση προγραμματισμού και η ανάπτυξη ΥΣ μέσω ενσώματων αλληλεπιδράσεων με εκπαιδευτικά ρομπότ ταυτίζεται με την έννοια του «σωματικού συντονισμού» (“body syntonicity”) του Papert [1980], κατά τον οποίο οι μαθητές υποκρίνονται το ρόλο του ρομπότ (π.χ. παίζουν το ρόλο της ρομποτικής χελώνας στη Logo), μέσω ενσώματων ενεργειών, γεγονός που τους βοηθά να κατανοήσουν καλύτερα τον κώδικά τους. Υπό αυτό το πρίσμα, η Lu et al. [2011] διερεύνησε πώς οι άμεσες σωματικές εμπειρίες και αυτές μέσω αντιπροσώπου μπορούν να επηρεάσουν τους μαθητές στην κατανόηση υπολογιστικών εννοιών κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας ρομποτικής. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να μιμηθούν (άμεση σωματοποίηση) ή να παρατηρήσουν το δάσκαλο να μιμείται τις κινήσεις (σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου) ενός ρομπότ, πριν προχωρήσουν στον προγραμματισμό του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές που είχαν ανατεθεί στη συνθήκη άμεσης σωματοποίησης κατανόησαν γρηγορότερα τις υπολογιστικές έννοιες. Ομοίως, η Sung et al. [2017b] και οι συνάδελφοι της διερεύνησαν πώς οι ενσώματες εμπειρίες μπορούν να επηρεάσουν τις ικανότητες επίλυσης προβλημάτων μαθητών Δημοτικού. Οι μαθητές, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί στη συνθήκη υψηλής σωματοποίησης κλήθηκαν να εναδράσουν τις κινήσεις του ρομπότ με αλληλεπίδραση ολόκληρου του σώματος, πριν προχωρήσουν στον προγραμματισμό του. Αυτοί οι μαθητές επέδειξαν καλύτερες ικανότητες επίλυσης προβλημάτων συγκριτικά με τους μαθητές που είχαν τοποθετηθεί στη συνθήκη χαμηλής σωματοποίησης και αλληλεπίδρασαν με το ρομπότ μέσω χειρονομιών.

Παρόλο που προηγούμενες έρευνες έχουν εξετάσει τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη της ΥΣ στο πλαίσιο της ενσώματης αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά ρομπότ, εμείς υιοθετήσαμε μια διαφορετική προσέγγιση ενσώματης μάθησης. Αντί να

ζητήσουμε από τους μαθητές να εναδράσουν τις κινήσεις του ρομπότ, πριν προχωρήσουν στον προγραμματισμό, τους ζητήσαμε να προγραμματίσουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ με διαφορετικό επίπεδο σωματοποίησης. Με αυτό τον τρόπο πιστεύουμε ότι θα εντοπίσουμε μια συσχέτιση ανάμεσα στη σωματοποίηση (βαθμός αισθητηριοκινητικής διέγερσης) και την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών. Συνεπώς, στις έρευνες που θα ακολουθήσουν θα προσπαθήσουμε να υλοποιήσουμε ελαφρώς παραλλαγμένο και να αξιολογήσουμε σε συνθήκες τάξης το όραμα του Papert [1980], όσον αφορά στον «σωματικό συντονισμό» για τη μάθηση μέσω του προγραμματισμού ρομπότ. Αντί οι μαθητές να υποκρίνονται το ρόλο της ρομποτικής χελώνας στη Logo (δες πραξιακή νόηση), μεταφορικά θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι συμμετέχουν σ' ένα «κουκλοθέατρο» όπου χειρίζονται, μέσω σωματικών κινήσεων, εξ αποστάσεως μαριονέτες-ρομπότ.

2.5 Επιστημονική Σκέψη

2.5.1 Ορίζοντας την Επιστημονική Σκέψη

Η Επιστημονική Σκέψη (ΕΣ) ορίζεται ως η εφαρμογή μεθόδων ή αρχών της επιστημονικής έρευνας σε καταστάσεις συλλογισμού ή επίλυσης προβλημάτων, και περιλαμβάνει δεξιότητες οι οποίες εμπλέκονται κατά την παραγωγή, τον έλεγχο και την αναθεώρηση θεωριών, ενώ στην περίπτωση των πλήρως ανεπτυγμένων δεξιοτήτων αντικατοπτρίζεται στη διαδικασία απόκτησης και μετασχηματισμού της γνώσης [Zimmerman 2007]. Σύμφωνα με τους Dunbar & Fugelsang [2005] υπάρχουν δυο είδη ΕΣ. Το πρώτο, και πιο προφανές, είναι η σκέψη για το περιεχόμενο της επιστήμης. Οι άνθρωποι εμπλέκονται στην ΕΣ όταν συλλογίζονται για οντότητες και διαδικασίες όπως οι δυνάμεις, η μάζα, η ενέργεια, ο μαγνητισμός, η φωτοσύνθεση, η ραδιενέργεια, η γεωλογία και η αστροφυσική. Το δεύτερο είδος την επιστημονικής σκέψης περιλαμβάνει ένα σύνολο από διαδικασίες συλλογισμού οι οποίες διεισδύουν στο πεδίο της επιστήμης όπως η επαγωγή, η αφαίρεση, ο πειραματικός σχεδιασμός, η αιτιώδη συλλογιστική, η διαμόρφωση ιδεών, ο έλεγχος υποθέσεων κ.τ.λ.

Ο Resnick et al. [1996] πιστεύει ότι οι μαθητές είναι πιθανότερο να δημιουργήσουν βαθύτερες και πιο στέρεες συνδέσεις με την ΕΣ και τις επιστημονικές έννοιες εάν χρησιμοποιήσουν τον υπολογισμό ως μέσο για να εξερευνήσουν καθημερινά επιστημονικά φαινόμενα τις ζωής τους, τόσο μέσα, όσο και έξω από το χώρο του σχολείου. Ο ίδιος περιγράφει πώς τα παιδιά θα μπορούσαν να ενσωματώσουν στο σώμα τους μια φορητή συσκευή ώστε να καταγράψουν και να αναλύσουν τον τρόπο με τον οποίο κινούνται τα πόδια τους όταν τρέχουν. Συνεπώς, η υπολογιστική

προσέγγιση εξερεύνησης επιστημονικών φαινομένων προσφέρει ένα καινοτόμο τρόπο ανάπτυξης της ΕΣ αρκεί να συνδυαστεί με τις κατάλληλες θεωρίες μάθησης.

2.5.2 Ενσώματη Επιστημονική Σκέψη

Ένα ενσώματο πλαίσιο νόησης δίνει τη δυνατότητα στους κλάδους της Επιστήμης [Han & Black 2011; Johnson-Glenberg et al. 2016; Kontra et al. 2015; Lindgren et al. 2016], της Τεχνολογίας, της Μηχανικής και των Μαθηματικών [Abrahamson 2014; Alibali & Nathan 2012; Nemirovsky et al. 2012; Ramani & Siegler 2008; Tran et al. 2017] (STEM) να εντάξουν εργαλεία ενσώματης μάθησης στην εκπαιδευτική διαδικασία, με στόχο τη βελτίωση της παιδαγωγικής και κατ' επέκταση την ευκολότερη κατανόηση από τους μαθητές των αφηρημένων STEM εννοιών [Weisberg & Newcombe 2017]. Ωστόσο, οι έννοιες STEM εκτείνονται σ' ένα ευρύ θεματικό φάσμα, από αυτές που μπορούν εύκολα να βιωθούν, για παράδειγμα αν πηδήξουμε στον αέρα η δύναμη της βαρύτητας θα μας έλξει στο έδαφος, έως σ' εκείνες που πηγάζουν εξ' ολοκλήρου από μαθηματικές εξισώσεις, όπως η δύναμη της σκοτεινής ύλης. Δεδομένης της ποικιλομορφίας των αφηρημένων εννοιών, η θεμελίωση επιστημονικών και μαθηματικών σε αισθητηριοκινητικές εμπειρίες και αναπαραστάσεις δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να τοποθετήσουν την αφηρημένη σκέψη εντός ενός εύκολα προσπελάσιμου και απτού εννοιολογικού πλαισίου [Hayes & Kraemer 2017]. Οι μαθητές, άλλωστε, χρειάζονται έναν τρόπο να συνδέσουν τις αφηρημένες έννοιες με αισθητηριοκινητικές αναπαραστάσεις [Weisberg & Newcombe 2017].

Ξεκάθαρα το πεδίο της Φυσικής [Kontra et al. 2015] είναι μια προφανής επιλογή για την εφαρμογή της ενσώματης προσέγγισης, μιας και από τη στιγμή που ο εγκέφαλος και το σώμα μας αρχίζουν να βιώνουν τον κόσμο, αρχίζουμε να αναπτύσσουμε μια «αίσθηση» για βασικές έννοιές της, όπως οι δυνάμεις και η κίνηση. Σύμφωνα με τον Enyedy et al. [2012], το μυαλό των μαθητών, όταν εισέρχονται στο σχολείο, δεν είναι ένας «άγραφος πίνακας» (“tabula rasa”), αλλά οι μαθητές έχουν ήδη αναπτύξει κάποια διαίσθηση για τα φυσικά φαινόμενα μέσα από τις συνεχείς παρατηρήσεις και τις αλληλεπιδράσεις τους με το περιβάλλον. Η «υλικότητα» (“physicality”) [Zacharia et al. 2012] διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να σκέφτονται και να εξάγουν συμπεράσματα για τους νόμους της Φυσικής και αργότερα μέσα στο χώρο του σχολείου. Για παράδειγμα, στα εργαστήρια Φυσικής οι μαθητευόμενοι δεν παρατηρούν παθητικά τις συνέπειες ενός φυσικού φαινομένου, αλλά καλούνται να ελέγξουν διεξοδικά τις διαισθήσεις τους, με το να εμπλακούν ενεργά σε διάφορες βιωματικές και ενσώματες δραστηριότητες.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε το υποθετικό σενάριο μαθήματος στο οποίο ένας καθηγητής Φυσικής θέλει να παρουσιάσει για πρώτη φορά στους μαθητές της τάξης του ένα άγνωστο εργαλείο, που αποτελείται από δύο τροχούς ποδηλάτου οι οποίοι περιστρέφονται ανεξάρτητα σ' έναν άξονα. Από το εύρος των διαθέσιμων επιλογών, ο καθηγητής πρώτον θα μπορούσε να περιγράψει τις ιδιότητες του οργάνου δίνοντας έμφαση σε στοιχεία, όπως το σχήμα, το χρώμα, ο ήχος κ.τ.λ. Δεύτερον, θα μπορούσε να δείξει ένα βίντεο στους μαθητές, στο οποίο θα επιδεικνύει τις φυσικές ιδιότητες του οργάνου και τον τρόπο χρήσης του. Τρίτον, θα μπορούσε να διεξάγει ένα πείραμα σ' ένα εργαστήριο Φυσικών επιστημών, όπου οι μαθητές θα είχαν τη δυνατότητα να πειραματιστούν οι ίδιοι με το όργανο. Φυσικά υπάρχουν και άλλες διαθέσιμοι μέθοδοι, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, για να διδαχτούν οι φυσικές έννοιες της ροπής και της στροφορμής. Ωστόσο αυτό που θέλουν να επισημάνουν οι Shapiro & Stolz [2018] είναι ότι οι σωματικές εμπειρίες μπορούν να εμπλουτίσουν και να ενισχύσουν θετικά την εκμάθηση επιστημονικών εννοιών. Σε μια τέτοια έρευνα [Kontra et al. 2015], η οποία εξέτασε τα πλεονεκτήματα της άμεσης σωματικής εμπειρίας, μαθητές που συμμετείχαν ενεργά με το σώμα τους στη διερεύνηση του φυσικού φαινομένου επέδειξαν μεγαλύτερη κατανόηση της έννοιας της στροφορμής, συγκριτικά με τους μαθητές που απλά παρατηρούσαν το φαινόμενο. Επιπρόσθετα, δεδομένα νευροαπεικόνισης (fMRI data) κατέδειξαν σημαντικές διαφορές, όσον αφορά στις περιοχές ενεργοποίησης του εγκεφάλου ανάμεσα στους συμμετέχοντες που βίωσαν ενεργά με το σώμα τους το πείραμα σε σχέση με αυτούς οι οποίοι απλά παρατήρησαν το πείραμα. Περιοχές του προ-κινητικού, κινητικού, αισθητηριακού και βρεγματικού φλοιού ενεργοποιούνταν περισσότερο, όταν οι μαθητές που βίωσαν ενεργά το πείραμα απαντούσαν σε ερωτήσεις οι οποίες αφορούσαν τη στροφορμή. Με άλλα λόγια, οι μαθητές στην ενσώματη συνθήκη ήταν σε θέση να ανακτήσουν μια πλούσια αισθητηριοκινητική αναπαράσταση, που με τη σειρά της διευκόλυε την κατανόηση της αφηρημένης έννοιας της στροφορμής [Hayes & Kraemer 2017].

Πέρα από τα εργαστήρια Φυσικής, προσομοιώσεις υπολογιστή, που απαιτούν τη χρήση κατάλληλων χειρονομιών [Chan & Black 2006; Han & Black 2011; Minogue & Borland 2016], έχουν θεωρηθεί ως μια καινοτόμος προσέγγιση για την υποστήριξη της διδασκαλίας αφηρημένων επιστημονικών εννοιών εντός του ενσώματου πλαισίου μάθησης. Ειδικότερα, σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους Chan & Black [2006], οι μαθητές διερεύνησαν τη λειτουργική σχέση ανάμεσα στη βαρυτική και στην κινητική ενέργεια μέσω μιας προσομοίωσης υπολογιστή, η οποία προσομοίωσε την κίνηση από ένα τρενάκι του λούνα πάρκ ("rollercoaster"). Οι συμμετέχοντες που κλήθηκαν να χειριστούν άμεσα την προσομοίωση, ελέγχοντας με χειρονομίες τη θέση-ύψος από το

τρενάκι και παρατηρώντας παράλληλα τις αλλαγές στην κινητική και στη βαρυτική του ενέργεια, επέδειξαν μεγαλύτερη ικανότητα ανάκλησης από τη μνήμη, βελτιωμένη ικανότητα επίλυσης προβλημάτων και περισσότερες ικανότητες μεταφοράς της γνώσης συγκριτικά με τους συμμετέχοντες οι οποίοι απλώς παρακολούθησαν την προσομοίωση, χωρίς έλεγχο από τον χρήστη. Ομοίως, οι Han & Black [2011] έκαναν χρήση προσομοιώσεων υπολογιστή, επαυξημένων με απτική ανάδραση, με στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν τον τρόπο λειτουργίας γρاناζιών με διαφορετική ακτίνα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι προσομοιώσεις με επαυξημένη απτική ανάδραση προσέφεραν πλουσιότερες αντιληπτικές εμπειρίες στους μαθητές από την αντίστοιχη προσομοίωση χωρίς απτική ανάδραση. Συνεπώς, η πληροφορία που αφορούσε τη σχετική φυσική έννοια, προσφέρθηκε στους συμμετέχοντες όχι μόνο μέσω του οπτικού και ακουστικού αλλά και μέσω του απτικού καναλιού, βοηθώντας τους να δημιουργήσουν μια πολυτροπική αναπαράσταση της κίνησης των γρاناζιών.

Οι δραστηριότητες που περιλαμβάνουν υψηλότερο επίπεδο σωματοποίησης [Johnson-Glenberg et al. 2016], όπως η αλληλεπίδραση ολόκληρου του σώματος, παρέχουν μια ισχυρή βάση για την ανάπτυξη της ενσώματης νόησης μιας και οι χρήστες μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τη ψηφιακή πληροφορία μέσω φυσικής σωματικής κίνησης. Για παράδειγμα, ο Enyedy et al. [2012] και οι συνάδελφοι του διερεύνησαν πώς οι ενσώματες προσομοιώσεις επαυξημένης πραγματικότητας μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να οικοδομήσουν ουσιαστικές συνδέσεις ανάμεσα στην αισθητηριοκινητική δραστηριότητα και τις νοητικές αναπαραστάσεις της Νευτώνειας δύναμης και κίνησης. Η αλληλεπίδραση ολόκληρου σώματος για την εκμάθηση φυσικών εννοιών, όπως η βαρυτική δύναμη και η πλανητική κίνηση, μέσω μιας προσομοίωσης μεικτής πραγματικότητας ήταν το αντικείμενο μιας έρευνας που διεξήχθη από τον Lindgren et al. [37]. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι μαθητές που αλληλεπιδράσαν με ολόκληρο το σώμα τους με ένα παιχνίδι προσομοίωσης μεικτής πραγματικότητας απέκτησαν περισσότερες γνώσεις σχετικά με τη βαρυτική δύναμη και την κίνηση των πλανητών, επέδειξαν μεγαλύτερα επίπεδα ενασχόλησης και θετικότερες απόψεις έναντι της επιστήμης, συγκριτικά με τους μαθητές που χρησιμοποίησαν μια έκδοση του παιχνιδιού προσομοίωσης για επιτραπέζιο υπολογιστή. Ομοίως, η Johnson-Glenberg et al. [2016] χρησιμοποίησε μια προσομοίωση μεικτής πραγματικότητας, για να διευκολύνει την κατανόηση της κεντρομόλου δύναμης από φοιτητές. Οι ερευνητές διαπίστωσαν μεγαλύτερα μακροπρόθεσμα μαθησιακά οφέλη για τα άτομα που είχαν εκχωρηθεί στη συνθήκη «υψηλής σωματοποίησης» (έπρεπε να κινήσουν με συμβατό τρόπο ένα από

ανιχνεύσιμο αντικείμενο πάνω από το κεφάλι τους) συγκριτικά με εκείνους οι οποίοι είχαν εκχωρηθεί στη συνθήκη «χαμηλής σωματοποίησης» (έπρεπε να χρησιμοποιήσουν ένα ποντίκι υπολογιστή ως μέσο αλληλεπίδρασης). Επομένως, είναι σημαντικό να εξεταστεί ο ρόλος που παίζει το επίπεδο σωματοποίησης στη μάθηση και η θέση του στην ενσώματη θεωρία της εκπαίδευσης. Φυσικά, όπως έχει τονιστεί και προηγουμένως, για να υπάρξει αποτελεσματική μάθηση οι αισθητηριοκινητικές ενέργειές πέρα από το να είναι ακριβείς πρέπει να είναι και συμβατές με τις προς μάθηση έννοιες και το νόημά τους [Johnson-Glenberg & Megowan-Romanowicz 2017].

Ορισμένοι δάσκαλοι, ευλόγως, θέλουν να γνωρίζουν τους λόγους για τους οποίους οι πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες μπορούν να ενισχύσουν τη μάθηση. Στοιχεία για τους μηχανισμούς που διέπουν την ενσώματη μάθηση μπορούν να εξαχθούν από τις θεωρίες της ενεργής μνήμης και του γνωσιακού φορτίου [Zacharia et al. 2012]. Θεωρείται ότι όχι μόνο κάθε τρόπος αλληλεπίδρασης (όραση, ακοή, αφή) έχει την δική του ενεργή μνήμη [Millar 1999] αλλά και δρα και ως ανεξάρτητη πηγή αντιληπτικών εμπειριών. Πρώτον, όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλοί τρόποι αλληλεπίδρασης δημιουργούνται ισχυρότερα και σταθερότερα ίχνη μνήμης [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013], καθώς και πλουσιότερες δομές γνώσης συγκριτικά με τη χρήση ενός μόνο τρόπου. Ως εκ τούτου, οι μαθητές θα είναι σε θέση να ανακτήσουν στο μέλλον αποτελεσματικότερα τις πολυτροπικές γνωσιακές αναπαραστάσεις. Δεύτερον, συνδυάζοντας το απτικό κανάλι με το οπτικό και το ακουστικό η νοητική ενέργεια που απαιτείται για την επεξεργασία μιας δεδομένης ποσότητας πληροφορίας κατανέμεται σε όλες τις αισθήσεις και έτσι το γνωσιακό φορτίο το οποίο επιβάλλεται στον εκπαιδευόμενο μειώνεται. Με άλλα λόγια, οι πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες όχι μόνο βοηθούν ένα άτομο να κατανοήσει το εννοιολογικό περιεχόμενο γρηγορότερα και ευκολότερα αλλά και σε μεγαλύτερο βάθος.

Ωστόσο, υπάρχει και η άποψη ότι η υλικότητα δε διευκολύνει πάντα τη μάθηση και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε γνωσιακή υπερφόρτωση και έτσι να μειώσει τα μαθησιακά οφέλη [Pouw et al. 2014; Song et al. 2014; Skulmowski et al. 2016; Skulmowski & Rey 2018]. Οι ερευνητές που υιοθετούν αυτή την άποψη προωθούν τη χρήση εικονικών εργαστηρίων αντί των φυσικών για την ανάπτυξη της εννοιολογικής γνώσης. Δε θεωρούν την υλικότητα προαπαιτούμενο για την εκμάθηση στο πεδίο της επιστήμης [Zacharia et al. 2012]. Η εξήγηση που δίνουν έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι μαθητές έχουν ήδη αποκτήσει τις απαραίτητες γνώσεις μέσω των προηγούμενων αισθητηριοκινητικών εμπειριών τους, Έτσι, η παρουσία ή απουσία της υλικότητας σε μια προσομοίωση δε θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στη διαδικασία

μάθησης. Στοιχεία για τους παραπάνω ισχυρισμούς μπορούν να αντληθούν από μια μελέτη του Zacharia et al. [2012] και των συναδέλφων του, στην οποία οι μαθητές διερεύνησαν την έννοια της μάζας παρατηρώντας την επίδρασή της σ' ένα ζυγό μέτρησης μάζας. Οι μαθητές με λανθασμένες προκαθορισμένες αντιλήψεις για το πώς λειτουργεί ένα ζυγός επωφελήθηκαν περισσότερο στις φυσικές συνθήκες, κατά τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά βάρη, συγκριτικά με τις εικονικές συνθήκες, κατά τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν εικονικά βάρη. Όσον αφορά στους μαθητές με σωστές προκαθορισμένες αντιλήψεις οι διαφορετικές συνθήκες (φυσική vs. εικονική) δεν είχαν διαφορετική επίδραση στις αντιλήψεις τους, αφού οι συμμετέχοντες είχαν ήδη θεμελιώσει τη σχετική γνώση σε προηγούμενες απτικές εμπειρίες.

2.5.3 Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης με χρήση Ρομπότ

Η χρήση των εκπαιδευτικών ως δεύτερης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων εννοιολογικά ταυτίζεται με την παραδοσιακή έννοια των εκπαιδευτικών απτικών αντικειμένων. Το ρομποτικό σύστημα ουσιαστικά δρα ως αντιπρόσωπος για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση επιστημονικών εννοιών από ένα μαθησιακό πεδίο στόχου, πέρα από το αμιγές πεδίο της ρομποτικής. Ενώ η χρήση των εκπαιδευτικών ρομπότ ως πρώτης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων είναι εκτεταμένη, μικρός αριθμός επιστημονικών άρθρων έχουν εξετάσει τη χρήση τους ως δεύτερης τάξης υπολογιστικών τεχνουργημάτων. Οι ερευνητικές μελέτες οι οποίες υπάρχουν, έχουν επικεντρωθεί κυρίως στην ανάπτυξη του επιστημονικού αλφαριθμητισμού και στην κατανόηση εννοιών από το πεδίο της Φυσικής, των Μαθηματικών και της Βιολογίας (βλέπε αναλυτικά [Sullivan & Heffernan 2016]). Ειδικότερα, όσον αφορά στη χρήση ρομπότ για τη διδασκαλία εννοιών της Φυσικής, η έρευνα έχει εστιάσει κυρίως στη Κινητική και ειδικότερα σε θέματα που σχετίζονται με τις δυνάμεις και την κίνηση [Mitnik et al. 2009].

Ακόμα μικρότερος αριθμός ερευνών έχει εξετάσει την ανάπτυξη της ΕΣ μέσω ενσώματων αλληλεπιδράσεων με εκπαιδευτικά ρομπότ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί μια μελέτη της Han [2013] στην οποία οι μαθητές κλήθηκαν να χειριστούν (εγγύς αλληλεπίδραση) εικονικά και φυσικά ρομπότ Lego, ώστε να διερευνήσουν και να κατανοήσουν φυσικές έννοιες που σχετίζονταν με πώς λειτουργούν τα γρανάζια-ταχύτητες. Ωστόσο, οι προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες δεν εξέτασαν τον προγραμματισμό και την ανάπτυξη της ΕΣ στο πλαίσιο της ενσώματης εξ αποστάσεως αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά ρομπότ. Γι' αυτό, υλοποιήσαμε μια σειρά από δραστηριότητες εκπαιδευτικής ρομποτικής με στόχο την ανάπτυξη της ΕΣ, αλλά υιοθετήσαμε μια διαφορετική προσέγγιση ενσώματης μάθησης. Ζητήσουμε από τους μαθητές να προγραμματίσουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, με διαφορετικό βαθμό

συνάφειας χειρονομίας, ώστε να ελέγξουν από απόσταση ένα εκπαιδευτικό ρομπότ. Με αυτό τον τρόπο πιστεύουμε ότι θα εντοπίσουμε μια συσχέτιση ανάμεσα στη σωματοποίηση (συνάφεια της χειρονομίας) και την ανάπτυξη της ΕΣ των μαθητών. Παράλληλα, προσπαθήσαμε να επεκτείνουμε τον τρόπο χρήσης των εκπαιδευτικών ρομπότ ως δεύτερης τάξης υπολογιστικών απτικών αντικειμένων, εισάγοντας τη διάσταση της εξ αποστάσεως ενσώματης αλληλεπίδρασης.

2.6 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια περιεκτική βιβλιογραφική επισκόπηση της ενσώματης νόησης και μάθησης. Αρχικά, αναζητήσαμε τις ρίζες της ενσώματης νόησης σε φαινομενολογικές φιλοσοφικές αναζητήσεις, καθώς και σε έρευνες στο πεδίο της γνωσιακής ψυχολογίας. Παράλληλα, προσπαθήσαμε να ορίσουμε την έννοια της σωματοποίησης μέσα από την περιγραφή των έξι βασικών και συναφών συνιστωσών που τη διέπουν: της πλαισιωμένης, της ενσώματης, της θεμελιωμένης, της πραξιακής, της ενσωματωμένης και της εκτεταμένης. Εστίασαμε την προσοχή μας στο πώς τα ευρήματα από το πεδίο της ενσώματης νόησης μπορούν να βρουν εφαρμογή στο πεδίο της ενσώματης μάθησης. Στη συνέχεια, αναφερθήκαμε στο όραμα του Papert για τη διδασκαλία «δυναμικών ιδεών» μέσω του προγραμματισμού. Επικεντρωθήκαμε σε έρευνες, που έχουν υιοθετήσει αρχές της ενσώματης μάθησης και αφορούσαν την ανάπτυξη της υπολογιστικής και της επιστημονικής σκέψης των μαθητών, κυρίως με τη χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ ως υπολογιστικών απτικών αντικειμένων πρώτης και δεύτερης τάξης, αντίστοιχα. Επίσης, μέσα από τη περιγραφή των ταξινομιών της ενσώματης μάθησης θελήσαμε να τονίσουμε τη σημασία του βαθμού αισθητηριοκινητικής διέγερσης και της συνάφειας της χειρονομίας με την προς μάθηση έννοια.

Στα επόμενα κεφάλαια θα προσπαθήσουμε, μέσα από την περιγραφή των δύο μελετών, να αναδείξουμε τη σχέση ανάμεσα στα επίπεδα της αισθητηριοκινητικής διέγερσης και τη συνάφεια της χειρονομίας στην ανάπτυξη της ΥΣ και ΕΣ των μαθητών, αντίστοιχα, στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης και της εκπαιδευτικής ρομποτικής.

3 Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης μέσα από τον Προγραμματισμό Διεπαφών Ανθρώπου – Ρομπότ

3.1 Επισκόπηση

Στην παρούσα μελέτη επιδιώχθηκε μια συνέργεια ανάμεσα στην ενσώματη μάθηση και την εκπαιδευτική ρομποτική, μέσω μιας σειράς μαθημάτων προγραμματισμού, με απώτερο σκοπό την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών. Ωστόσο, υιοθετήσαμε μια διαφορετική ενσώματη διδακτική προσέγγιση σε σχέση με προηγούμενες έρευνες. Αντί να ζητήσουμε από τους μαθητές να αναπαραστήσουν με το σώμα τους τις κινήσεις του ρομπότ, πριν το προγραμματίσουν, τους ζητήσαμε να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, κατά τις οποίες ο χρήστης θα αλληλεπιδρά εξ αποστάσεως με το ρομπότ με διαφορετικούς τρόπους αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιώντας την αφή, την ομιλία, τις χειρονομίες, ή και καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου σώματος.

Όμοια με την Kafai et al. [2014], μελετήσαμε και αξιολογήσαμε την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών εφαρμόζοντας το πλαίσιο αξιολόγησης των Brennan & Resnick [2012]. Αρχικά, αξιολογήσαμε την ανάπτυξη των δεξιοτήτων ΥΣ των μαθητών αναλύοντας τα έργα που δημιούργησαν κατά τη διάρκεια μιας δραστηριότητας επίλυσης προβλήματος. Επιπρόσθετα, για να αποκτήσουμε μια ολοκληρωμένη άποψη των γνώσεων τους, μελετήσαμε τις υπολογιστικές τους πρακτικές, καταγράφοντας και αναλύοντας τη δραστηριότητα στις οθόνες των σταθμών εργασίας τους. Τέλος, εξετάσαμε, με τη χρήση κατάλληλων ερωτηματολογίων, τις υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών. Τα ποιοτικά δεδομένα που αντλήθηκαν από συνεντεύξεις με τους μαθητές, μετά το πέρας της διδακτικής παρέμβασης, μας βοήθησαν να εμπλουτίσουμε τα ποσοτικά δεδομένα της μελέτης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να βοηθήσουν ουσιαστικά τους εκπαιδευτικούς στην εφαρμογή των αρχών της ενσώματης μάθησης στην εκπαιδευτική διαδικασία με σκοπό την αποτελεσματική διδασκαλία αφηρημένων υπολογιστικών εννοιών.

3.2 Ερευνητικές Ερωτήσεις

Τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα επικεντρώθηκαν στους εξής τομείς:

- *Πρόθεση:* Οι δραστηριότητες εκπαιδευτικής ρομποτικής επηρέασαν τις υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών;
- *Κατανόηση:* Υπήρξαν διαφορές στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων ΥΣ των μαθητών που θα μπορούσαν να συσχετιστούν με τα διαφορετικά επίπεδα σωματοποίησης;

Συνεπώς, η κύρια συμβολή της παρούσας έρευνας είναι η μελέτη εναλλακτικών τρόπων αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης και της επιστήμης των υπολογιστών.

3.3 Ερευνητικές Υποθέσεις

Με βάση τα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα και ευρήματα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία οι ερευνητικές υποθέσεις της μελέτης διαμορφώνονται ως εξής:

- *Ερευνητική Υπόθεση 1:* Όμοια με την Kafai et al. [2014], υποθέσαμε ότι η διδακτική παρέμβαση θα επηρεάσει σε σημαντικό βαθμό τις αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη των υπολογιστών.
- *Ερευνητική Υπόθεση 2:* Έρευνες από το πεδίο ενσώματης μάθησης προωθούν την άποψη ότι, όσο μεγαλύτερο είναι το επίπεδο σωματοποίησης, τόσο μεγαλύτερο είναι και το μαθησιακό όφελος [Johnson-Glenberg et al. 2016]. Συνεπώς, υποθέσαμε ότι οι μαθητές που θα προγραμματίσουν διεπαφές ολόκληρου σώματος, δηλαδή διεπαφές μεγάλου επιπέδου σωματοποίησης, θα επιδείξουν μεγαλύτερες δεξιότητες ΥΣ.

3.4 Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 36 μαθητές και μαθήτριες, ηλικίας 14 έως 15 χρονών, με μικρή έως καθόλου εμπειρία στον προγραμματισμό υπολογιστών. Το γεγονός ότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε προηγουμένως λάβει διδασκαλία στον προγραμματισμό ως μέρος της τυπικής εκπαίδευσης συνετέλεσε στην απόφαση επιλογής των μαθητών της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη ηλικία οι μαθητές έχουν αναπτύξει σε ικανοποιητικό βαθμό το αισθητηριοκινητικό τους σύστημα και άρα είναι σε θέση να αντιληφθούν επαρκώς πολύ-αισθητηριακές ροές πληροφορίας [Price et al. 2017]. Το δείγμα ήταν σχεδόν ισορροπημένο ως προς το φύλο, με 17 κορίτσια και 19 αγόρια, προερχόμενο από οικογένειες χαμηλού έως μεσαίου εισοδήματος. Όσον αφορά στην εθνικότητα των μαθητών 6 από τους 36 προέρχονταν από οικογένειες οικονομικών μεταναστών του εξωτερικού, ωστόσο είχαν γεννηθεί και μεγαλώσει στην Ελλάδα.

Σε αντίθεση με εξωσχολικές ρομποτικές δραστηριότητες (διαγωνισμοί, εξωσχολικά εργαστήρια ρομποτικής κτλ.), στις οποίες οι μαθητές συνήθως συμμετέχουν εθελοντικά, στην παρούσα μελέτη οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν τυχαία από την τρίτη τάξη ενός Γυμνασίου. Παρόλο που οι μαθητές δε δήλωσαν συμμετοχή εθελοντικά ζητήθηκε τόσο η δική τους συγκατάθεση, όσο και των κηδεμόνων τους. Επιπρόσθετα,

τους τονίστηκε ότι τυχόν συμμετοχή τους στη μελέτη δε θα τους επέφερε κάποιο βαθμολογικό κέρδος στο μάθημα της Πληροφορικής.

Οι μαθητές εργάστηκαν σε ζευγάρια σε κάθε μια από τις διδακτικές δραστηριότητες. Το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες εργάζονταν σε ομάδες των δύο, τους επέτρεψε να συνεργαστούν και να στηρίζει ο ένας τον άλλον κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Έχει διαπιστωθεί άλλωστε, ότι η εργασία σε ζεύγη ή ολιγομελείς ομάδες μπορεί να έχει ευεργετικές επιδράσεις όσον αφορά τη μάθηση, ιδιαίτερα σε μαθητές μικρότερης ηλικίας [Price et al. 2017]. Τα κριτήρια για το σχηματισμό των ζευγαριών ήταν οι ικανότητες τους και, κυρίως, τυχόν υπάρχουσες φιλίες ανάμεσά τους. Συγκεκριμένα, σχηματίστηκαν 15 ζευγάρια ίδιου φύλου και 3 μεικτά. Βασικός στόχος της έρευνας αποτέλεσε η διεξαγωγή της σε πραγματικές συνθήκες τάξης, όπως αυτές διαμορφώνονται σ' ένα τυπικό σχολικό περιβάλλον. Γι' αυτό, άλλωστε, η μελέτη πραγματοποιήθηκε στο χώρο του σχολείου (εργαστήριο Πληροφορικής), κατά τη διάρκεια του κανονικού ωρολογίου προγράμματος του σχολείου, στο διάστημα μεταξύ Ιανουαρίου 2017 και Μαΐου 2017.

3.5 Εκπαιδευτική Παρέμβαση

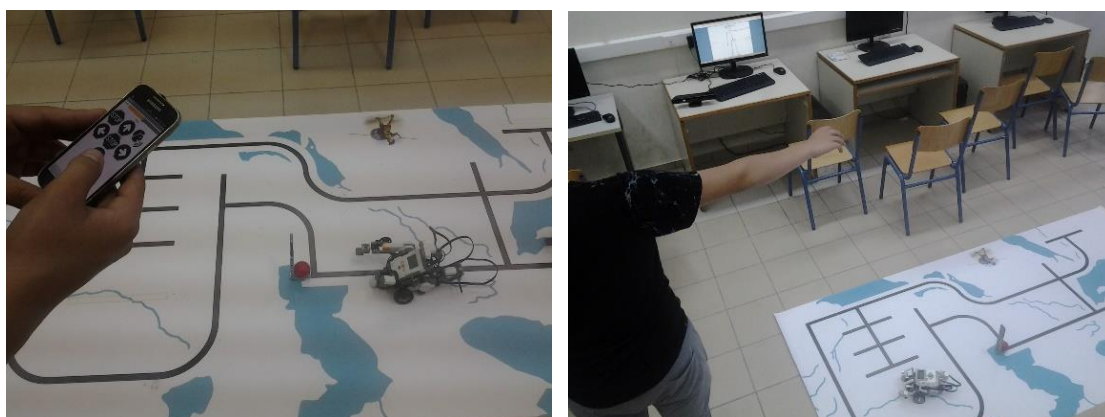
Οι μαθητές ολοκλήρωσαν μια σειρά από έξι μαθήματα εκπαιδευτικής ρομποτικής με στόχο την ανάπτυξη της υπολογιστικής τους σκέψης. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι εφαρμογές τις οποίες οι μαθητές κλήθηκαν να αναπτύξουν και οι υπολογιστικές έννοιες τις οποίες διαπραγματεύθηκαν κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Για τις πρώτες πέντε δραστηριότητες υιοθετήθηκε το «καθοδηγητικό» (“instructionist”) μοντέλο διδασκαλίας [Kafai 2006] και η δομή τους ήταν η εξής: 1) Δημιούργησε τη Διεπαφή Χρήστη (UI) της εφαρμογής. Μια πρότυπη εφαρμογή για κάθε δραστηριότητα δόθηκε στους μαθητές καθώς και αναλυτικές οδηγίες ώστε να ενσωματώσουν τα πρόσθετα στοιχεία διεπαφής, 2) Προγραμμάτισε τη συμπεριφορά της εφαρμογής και 3) Πήγαινε παραπέρα, όπου οι μαθητές καλούνταν να εμπλουτίσουν τη βασική εφαρμογή με πρόσθετα στοιχεία όπως η μεταβλητή ταχύτητα.

Σύμφωνα με την Kafai [2006], η καθοδηγητική προσέγγιση είναι αποτελεσματική στα αρχικά στάδια εξοικείωσης των μαθητών με τον προγραμματισμό υπολογιστών. Αργότερα, καθώς νοιώθουν πιο οικείο με το αντικείμενο, μια προσέγγιση βασισμένη στις αρχές της κατασκευαστικής θεωρίας (constructionist) είναι περισσότερο ενδεδειγμένη και αποτελεσματική. Με βάση αυτή την άποψη, οι συμμετέχοντες κλήθηκαν στο τελευταίο σκέλος της μελέτης να εφαρμόσουν τις γνώσεις που απέκτησαν προηγουμένως σε μια διερευνητική εργασία που απαιτούσε την επίλυση ενός ημί-ανοιχτού τύπου προβλήματος

Πίνακας 1. Σύνοψη των δραστηριοτήτων και των υπολογιστικών εννοιών που διδάχτηκαν οι μαθητές ανά μάθημα

Μάθημα	Ονομασία Δραστηριότητας	Οι μαθητές κλήθηκαν να αναπτύξουν μια εφαρμογή ώστε να...	Υπολογιστικές Έννοιες
1	Απτικός Έλεγχος	ελέγξουν το ρομπότ με την αφή τους ακουμπώντας με τα δάχτυλα τους την οθόνη αφής τους κινητού τους	Συμβάντα, Δομές Ακολουθίας, Δεδομένα
2	Χειροκίνητος Έλεγχος	ελέγξουν το ρομπότ με χειρονομίες περιστρέφοντας κατάλληλα το κινητό τους, αξιοποιώντας τον αισθητήρα προσανατολισμού του κινητού (orientation sensor).	Συμβάντα, Δομές Ακολουθίας, Δεδομένα, Συνθήκες, Τελεστές
3	Φωνητικός Έλεγχος	ελέγξουν το ρομπότ με φωνητικές εντολές, κάνοντας χρήση της τεχνολογίας αναγνώρισης φωνής (speech recognition)	Συμβάντα, Δομές Ακολουθίας, Δεδομένα, Συνθήκες, Τελεστές
4	Σωματικός Έλεγχος	ελέγξουν το ρομπότ με καταδεικτικές κινήσεις του σώματος, αξιοποιώντας την τεχνολογία μηχανικής όρασης (computer vision)	Συμβάντα, Δομές Ακολουθίας, Παραλληλισμός, Δομές Επανάληψης, Δεδομένα, Συνθήκες, Τελεστές
5	Ακολούθησε τη Γραμμή	ενσωματώσουν τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence) στο ρομπότ, ώστε, να κινείται αυτόνομα στην πίστα ακολουθώντας μια μαύρη γραμμή	Συμβάντα, Δομές Ακολουθίας, Δεδομένα, Συνθήκες, Τελεστές
6	Τελική Διερευνητική Εργασία	καθοδηγήσουν ένα ρομπότ μέσα σε μια πίστα και να χτυπήσουν ένα αντικείμενο	Δομές Ακολουθίας, Δομές Επανάληψης, Συμβάντα, Παραλληλισμός, Συνθήκες, Τελεστές, Δεδομένα

Συγκεκριμένα, τους ζητήσαμε να αναπτύξουν μια εφαρμογή μέσω της οποίας οι χρήστες θα μπορούσαν να καθοδηγήσουν από απόσταση ένα ρομπότ μέσα σε μια πίστα και να χτυπήσουν με το ρομποτικό χέρι ένα αντικείμενο τοποθετημένο σε προκαθορισμένο σημείο. Στην τελική παρέμβαση δε δόθηκαν οδηγίες στους μαθητές, ενώ κλήθηκαν να προγραμματίσουν όποια διεπαφή προτιμούσαν (αφή, χειρονομίες, καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου σώματος, φωνητική, αυτόνομα). Επιπλέον, ενθαρρύνσαμε τους μαθητές να «επιαναχρησιμοποιήσουν» και να «αναμείξουν» [Brennan & Resnick 2012] κώδικα τον οποίο είχαν αναπτύξει στις προηγούμενες δραστηριότητες. Οι μαθητές διερεύνησαν «κάνοντας και ανακαλύπτοντας» και «κατανόησαν τόσα, ώστε να μπορούν να προχωρήσουν», όπως πρότεινε ο Papert [1987]. Ως εκ τούτου, η τελική παρέμβαση βασίστηκε στις αρχές της κατασκευαστικής θεωρίας μάθησης, ενώ τα έργα, που παράχθηκαν κατά τη διάρκεια της, χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της παρέμβασης (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Εξ αποστάσεως έλεγχος του ρομπότ με την αφή και φωνητικές οδηγίες (αριστερά), και καταδεικτικές κινήσεις ολόκληρου σώματος (δεξιά)

Θα πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι κάθε διεπαφή έχει συγκεκριμένες «αντιληπτές δυνατότητες» (“affordances”) [Avouris 2015] και περιορισμούς [Brennan & Resnick 2012]. Παρόλα αυτά προσπαθήσαμε να διατηρήσουμε την ισορροπία ανάμεσα στις διαφορετικές συνθήκες της μελέτης, χωρίς να υποβαθμίσουμε τις αντιληπτές δυνατότητες κάθε διεπαφής [Zuckerman & Gal-Oz 2013].

Η χρονική διάρκεια των πρώτων πέντε δραστηριοτήτων ήταν περίπου σαράντα πέντε λεπτά, όση είναι η διάρκεια μια διδακτικής ώρας στο Γυμνάσιο, ενώ η τελική δραστηριότητα είχε διάρκεια περίπου ενενήντα λεπτά, όσο δύο συνεχόμενες διδακτικές ώρες. Όλες οι δραστηριότητες δοκιμάστηκαν σε μια πιλοτική μελέτη δύο φάσεων. Στην πρώτη φάση συμμετείχαν δύο μαθητές, ενώ στη δεύτερη φάση τέσσερις μαθητές, που προέρχονταν από διαφορετικό σχολείο από εκείνο της κύριας μελέτης. Τα δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των πιλότων μας βοήθησαν να βελτιώσουμε

το εκπαιδευτικό υλικό, ώστε να είναι επαρκώς κατανοητό και να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες ενός μέσου μαθητή. Επιπλέον, ελέγχθηκαν οι χρόνοι ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων, ώστε να μην υπερβαίνουν τη διαθέσιμη ώρα. Τέλος, δοκιμάστηκαν σε μικρότερη κλίμακα, αξιολογήθηκαν και βελτιώθηκαν τα εργαλεία μέτρησης της έρευνας.

Ο ερευνητής, που ετοίμασε το εκπαιδευτικό υλικό, ήταν υπεύθυνος και για τη διδασκαλία των μαθήματων της παρέμβασης. Ο ρόλος του ήταν κυρίως υποστηρικτικός ως προς τους μαθητές τόσο κατά τη διάρκεια των πρώτων πέντε δραστηριοτήτων, κατά τις οποίες οι μαθητές είχαν στη διάθεση τους αναλυτικές οδηγίες, όσο και κατά το τελικό στάδιο. Απώτερος σκοπός ήταν οι ίδιοι οι μαθητές να αναλάβουν ενεργό ρόλο στη διαδικασία μάθησης, καθώς ανέλυαν, σχεδίαζαν και δημιουργούσαν τα προγράμματά τους [Fadjo 2012]. Τέλος, ενθαρρύνουμε τους συμμετέχοντες να ρωτούν τους συμμαθητές τους, όταν χρειάζονταν βοήθεια, πριν απευθυνθούν στον εκπαιδευτικό, ώστε να ενισχυθεί η συνεργασία ανάμεσά τους [Sullivan 2016].

3.6 Υλικά

Για τις δραστηριότητες που σχετίζονταν με την κινητή τεχνολογία ως εργαλείο ανάπτυξης εφαρμογών χρησιμοποιήθηκε το App Inventor¹ [Grover & Pea 2013a], ενώ οι μαθητές χρησιμοποίησαν τις δικές τους Android συσκευές. Για τις δραστηριότητες που περιελάμβαναν αλληλεπίδραση με χειρονομίες ολόκληρου σώματος έγινε χρήση του περιβάλλοντος ανάπτυξης εφαρμογών ScratchX², ενώ η κάμερα Kinect χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση του ανθρώπινου κορμού [Howell 2012].

Οι τρόποι αλληλεπίδρασης διέφεραν ως προς το επίπεδο σωματοποίησης [Johnson-Glenberg et al. 2016]. Συγκεκριμένα, οι τρόποι αλληλεπίδρασης στις δραστηριότητες «Απτικού Ελέγχου» και «Φωνητικού Ελέγχου» μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ανήκουν στο πρώτο επίπεδο σωματοποίησης, εκείνοι στη δραστηριότητα «Χειροκίνητου Ελέγχου» στο δεύτερο επίπεδο, ενώ στη δραστηριότητα «Σωματικού Ελέγχου» στο τρίτο επίπεδο. Στη δραστηριότητα «Ακολουθήσε τη Γραμμή» θεωρήθηκε ότι έχουμε μηδενική σωματοποίηση (Πίνακας 2).

¹ App Inventor: <https://appinventor.mit.edu/explore/>

² ScratchX: <http://scratchx.org/>

Τα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν Lego Mindstorms³. Η πλατφόρμα εκπαιδευτικής ρομποτικής Lego Mindstorms αποτελείται από ένα ευφυές τουβλάκι-μικροεπεξεργαστή (NXT ή EV3) μέσω του οποίου μπορούν να ελεγχθούν, μέσω των κατάλληλων εντολών, κινητήρες και αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτό. Οι χρήστες χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα δομικά στοιχεία Lego δύνανται να κατασκευάσουν τα δικά τους ρομπότ και στη συνέχεια να τα προγραμματίσουν κατάλληλα, ώστε να επιτελέσουν συγκεκριμένα καθήκοντα. Τόσο το App Inventor, όσο και το ScratchX, έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό ρομπότ Lego Mindstorms και αυτός ήταν ο κύριος λόγος για την επιλογή τους. Παρόλο που υπάρχουν κάποιες εμφανείς διαφορές στα χαρακτηριστικά των οπτικών γλωσσών προγραμματισμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης, η λογική στη συγγραφή κώδικα είναι παρόμοια, εμπνευσμένη από τα Legos και στηρίζεται στη συνένωση «πλακιδίων» (“blocks”), τα οποία αντιστοιχούν στις εντολές της γλώσσας.

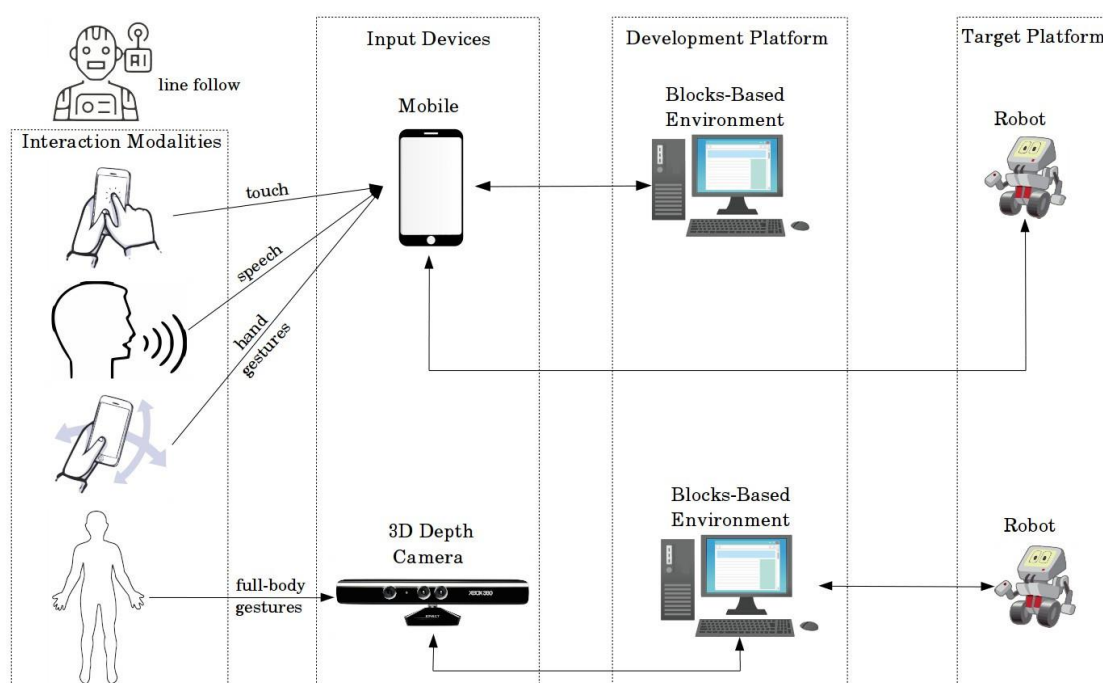
Πίνακας 2: Σύνοψη του τρόπου αλληλεπίδρασης, του επιπέδου σωματοποίησης και του εργαλείου ανάπτυξης εφαρμογών ανά δραστηριότητα.

Δραστηριότητες	Τρόπος Αλληλεπίδρασης	Επίπεδο Σωματοποίησης	Εργαλείο Ανάπτυξης Εφαρμογών
Απτικός Έλεγχος	Αφή	Πρώτο Επίπεδο	App Inventor
Χειροκίνητος Έλεγχος	Χειρονομίες	Δεύτερο Επίπεδο	App Inventor
Φωνητικός Έλεγχος	Ομιλία	Πρώτο Επίπεδο	App Inventor
Σωματικός Έλεγχος	Καταδεικτικές Κινήσεις Ολόκληρου Σώματος	Τρίτο Επίπεδο	ScratchX
Ακολουθήσε τη Γραμμή	Αυτόνομη Κίνηση	Μηδενική Σωματοποίηση	App Inventor
Τελική Διερευνητική Εργασία	Επιλογές Μαθητών	Επιλογές Μαθητών	App Inventor ή ScratchX

Ο βασικός στόχος ήταν αρχικά οι μαθητές να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ. Στη συνέχεια να εκτελέσουν ενέργειες με διαφορετικό επίπεδο

³ Lego Mindstorms: <https://www.lego.com/en-us/mindstorms>

σωματοποίησης, μέσω αφής, ομιλίας, χειρονομιών και καταδεικτικών κινήσεων ολόκληρου σώματος και να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα των ενεργειών τους στην κίνηση ενός ρομπότ (Εικόνα 4). Η χωρική θέση της εξόδου σε σχέση με την είσοδο, που αναφέρεται ως mapping από τους Melcer & Isbister [2016], θεωρήθηκε ότι ήταν “discrete”, καθώς οι ενέργειες των μαθητών λάμβαναν χώρα είτε στην κινητή συσκευή είτε σε φυσικό χώρο (ανίχνευση μέσω της Kinect), ξεχωριστά από τη συσκευή εξόδου (ρομπότ) στην οποία εμφανίζονταν τα αποτελέσματα των ενεργειών τους. Θα πρέπει να τονιστεί ότι με τη διεπαφή ολόκληρου σώματος οι μαθητές αλληλεπιδρούσαν απευθείας στο φυσικό κόσμο, καθώς τα σώματά τους αποτελούσαν την είσοδο για την αλληλεπίδραση. Στις άλλες περιπτώσεις ενεργούσαν μέσω μια άλλης συσκευής (κινητό τηλέφωνο).



Εικόνα 4: Οι τρόποι αλληλεπίδρασης, οι συσκευές εξόδου, τα εργαλεία ανάπτυξης και οι πλατφόρμες εξόδου

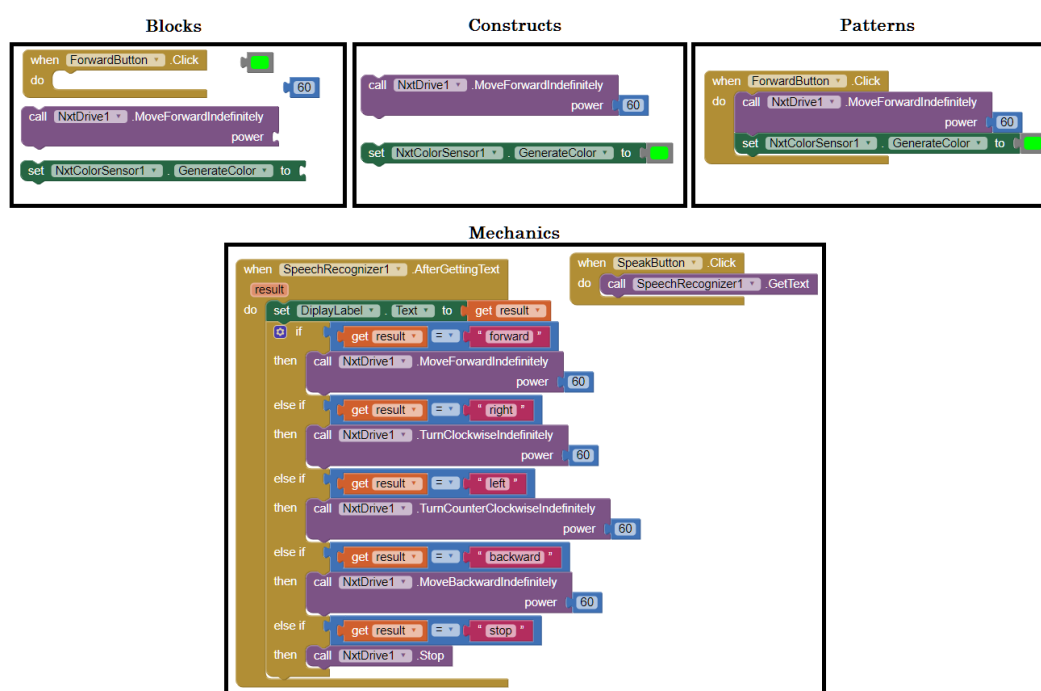
3.7 Εργαλεία Μέτρησης και Διαδικασία

Για τους σκοπούς της έρευνας, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν τόσο ποιοτικά, όσο και ποσοτικά δεδομένα. Όσον αφορά στα ποσοτικά στοιχεία, οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν σύντομα ερωτηματολόγια πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Συγκεκριμένα, πριν από την παρέμβαση έγινε χρήση ενός ερωτηματολογίου πενταβάθμιας κλίμακας Likert με στόχο την καταγραφή της προηγούμενης εμπειρίας των μαθητών στον προγραμματισμό και τις αντιλήψεις τους σχετικά με την επιστήμη των υπολογιστών, την εκπαιδευτική ρομποτική και την ανάπτυξη εφαρμογών για κινητές συσκευές. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, χρησιμοποιήθηκε ένα

ερωτηματολόγιο πενταβάθμιας κλίμακας Likert με παρόμοιες ερωτήσεις μ' εκείνες του ερωτηματολογίου, που είχε ως στόχο να καταγράψει αλλαγές στις αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στην επιστήμη των υπολογιστών, στην εκπαιδευτική ρομποτική και στην ανάπτυξη εφαρμογών. Με λίγα λόγια, με τη χρήση των συγκεκριμένων ερωτηματολογίων στοχεύσαμε στη μελέτη των *υπολογιστικών αντιλήψεων* [Brennan & Resnick 2012] των συμμετεχόντων.

Όσον αφορά στα ποιοτικά στοιχεία, αναλύσαμε χειροκίνητα τα έργα που δημιούργησαν οι μαθητές στην τελική συνεδρία της μελέτης, με σκοπό να αξιολογήσουμε την ανάπτυξη της υπολογιστικής τους σκέψης. Συνεπώς, επικεντρωθήκαμε στην πρώτη διάσταση του πλαισίου αξιολόγησης της ΥΣ των Brennan & Resnick [2012] και συγκεκριμένα στις *υπολογιστικές έννοιες*. Τα έργα βαθμολογήθηκαν με τη χρήση μιας ρουμπρίκας που έχει προταθεί από την Werner et al. [2015] για τη αξιολόγηση προγραμμάτων βιντεοπαιχνιδιών τα οποία είχαν αναπτυχθεί από μαθητές στη γλώσσα προγραμματισμού Alice [Cooper et al. 2000]. Οι ρουμπρίκες αποτελούν διαβαθμισμένες κλίμακες περιγραφικής αξιολόγησης, με προκαθορισμένα κριτήρια. Στην προκειμένη περίπτωση τα κριτήρια της ρουμπρίκας προσαρμόστηκαν κατάλληλα ώστε να ταιριάζουν στα χαρακτηριστικά της παρούσας διδακτικής παρέμβασης. Σύμφωνα με την Werner et al. [2015], τα προγράμματα βιντεοπαιχνιδιών αποτελούνται από προγραμματιστικά «δομικά στοιχεία» (“constructs”), «μοτίβα» (“patterns”) και «μηχανικά στοιχεία» (“mechanics”). Τα προγραμματιστικά δομικά στοιχεία είναι οι βασικές και στοιχειώδεις εντολές κώδικα που είναι διαθέσιμες σ' ένα προγραμματιστικό περιβάλλον. Όταν πολλαπλά δομικά στοιχεία συνδυαστούν, δημιουργούνται τα προγραμματιστικά μοτίβα. Τα μοτίβα είναι ένα σύνολο από υψηλότερου επίπεδου εντολές που παρέχουν πρόσθετη λειτουργικότητα. Επιπλέον, όταν μοτίβα και δομικά στοιχεία συνδυαστούν, παράγονται τα προγραμματιστικά μηχανικά στοιχεία. Αυτά ορίζονται ως ένα είδος ενεργειών, συμπεριφορών και μηχανισμών ελέγχου τα οποία προορίζονται για την υποστήριξη της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο χρήστη και τον υπολογιστή. Εφαρμόζοντας το συγκεκριμένο πλαίσιο αξιολόγησης, προσπαθήσαμε ν' αξιολογήσουμε τη σωστή χρήση των προγραμματιστικών δομικών στοιχείων και μοτίβων, καθώς τα προγραμματιστικά μηχανικά στοιχεία, που παράχθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης, περιορίστηκαν στους μηχανισμούς πλοήγησης του ρομπότ, ελέγχου του ρομποτικού χεριού και ελέγχου της ταχύτητας κίνησης του ρομπότ. Στην Εικόνα 5 δίνονται ορισμένα παραδείγματα εντολών, δομικών στοιχείων, μοτίβων και μηχανικών στοιχείων, μιας και αποτελούν τα κύρια αντικείμενα της αξιολόγησης.

Δεδομένου ότι μια μονοσήμαντη προσέγγιση αξιολόγησης δεν είναι από μόνη της επαρκής [Brennan & Resnick 2012], προκειμένου να σχηματίσουμε μια πιο ολοκληρωμένη και σφαιρική άποψη ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα της παρέμβασης, δώσαμε τη δυνατότητα στους μαθητές να περιγράψουν τα έργα και τις εμπειρίες τους μέσω μιας ημι-δομημένης συνέντευξης διάρκειας περίπου τριάντα λεπτών. Τους ενθαρρύναμε, λοιπόν, να περιγράψουν τα έργα τους και να αιτιολογήσουν τις επιλογές τους, τους ρωτήσαμε εάν θα τους ενδιέφερε να συμμετέχουν σε αντίστοιχες δραστηριότητες εκπαιδευτικής ρομποτικής στο μέλλον, τι επεκτάσεις θα ήθελαν να κάνουν στα έργα τους, τι είδους προβλήματα αντιμετώπισαν, εάν οι απόψεις τους για την επιστήμη των υπολογιστών έχουν διαφοροποιηθεί και τέλος εάν έχουν αλλάξει οι μελλοντικοί τους στόχοι.



Εικόνα 5: Παραδείγματα εντολών, δομικών στοιχείων, μοτίβων και μηχανικών στοιχείων στο App Inventor

Τέλος, καταγράψαμε τη δραστηριότητα στις οθόνες των σταθμών εργασίας των μαθητών με το λογισμικό Camtasia⁴, ώστε να μελετήσουμε και να αξιολογήσουμε τις *υπολογιστικές πρακτικές* τους, που αποτελούν τη δεύτερη διάσταση στο πλαίσιο αξιολόγησης των Brennan & Resnick [2012]. Σ' έναν από τους σταθμούς εργασίας χρησιμοποιήθηκε μια κάμερα και ένα μικρόφωνο για να καταγράψει οπτικά και ακουστικά τους συμμετέχοντες, ενώ στον άλλο σταθμό εργασίας χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα μικρόφωνο για να καταγράψει τις συνομιλίες των μαθητών. Το λογισμικό

⁴ Camtasia: <https://www.techsmith.com/video-editor.html>

Transana⁵ χρησιμοποιήθηκε για την κωδικοποίηση και την ανάλυση των δεδομένων που καταγράφηκαν από το Camtasia. Η κωδικοποίηση της δραστηριότητας των μαθητών έγινε από δύο διαφορετικά άτομα. Ο πρώτος ήταν ο συγγραφέας της διατριβής, ενώ ο δεύτερος ήταν ένας καθηγητής Πληροφορικής με δωδεκάχρονη διδακτική εμπειρία. Για να ελέγξουμε το βαθμό συμφωνίας ανάμεσά τους υπολογίσαμε το «συντελεστή ενδο-συσχέτισης» (“intra-class correlation coefficient”). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ενδο-συσχέτιση ήταν άριστη (ICC = .98). Η συνολική «εσωτερική συνοχή» (“internal consistency”) ήταν άριστη με τιμή Cronbach's alpha της τάξης του $\alpha = .98$.

Όσον αφορά στη διαδικασία που ακολουθήθηκε, αρχικά οι μαθητές συμπλήρωναν ατομικά το ερωτηματολόγιο πριν από τη διδακτική παρέμβαση. Στη συνέχεια, σε διαφορετικές μέρες κάθε φορά εργάζονταν σε ζεύγη σε κάθε μια από τις δραστηριότητες. Με την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων συμπλήρωναν ατομικά το ερωτηματολόγιο μετά την παρέμβαση και στο τέλος πήραν μέρος στη συνέντευξη σε ζεύγη.

3.8 Αποτελέσματα

Για τη μελέτη ανάπτυξης της υπολογιστικής σκέψης των μαθητών εφαρμόστηκε το πλαίσιο αξιολόγησης ΥΣ των Brennan & Resnick [2012]. Τα αποτελέσματα για κάθε μια από τις τρεις υπολογιστικές διαστάσεις (έννοιες, πρακτικές και αντιλήψεις) του πλαισίου παρουσιάζονται αναλυτικά στις επόμενες υποενότητες.

3.8.1 Υπολογιστικές Έννοιες

Όλα τα έργα των μαθητών που αναπτύχθηκαν στην τελική συνεδρία αξιολογήθηκαν χειροκίνητα καταγράφοντας τη σωστή χρήση των υπολογιστικών εννοιών και βαθμολογήθηκαν σύμφωνα με τη ρουμπρίκα της ενότητας 3.7.

Σε μια προσπάθεια να εκτιμήσουμε την εγκυρότητα της ρουμπρίκας, αρχικά υπολογίσαμε το «συντελεστή συσχέτισης» (“correlation coefficient”) ανάμεσα στο συνολικό αριθμό των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν, στα προγραμματιστικά δομικά στοιχεία και στα προγραμματιστικά μοτίβα. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει το συντελεστή συσχέτισης Pearson ανάμεσα στις τρεις μεταβλητές. Όπως αναμενόταν, υπήρξε σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στα δομικά στοιχεία και τον αριθμό των εντολών $r_b = .628$, $p = .005$. Παράλληλα, τα μοτίβα συσχετίζονταν σημαντικά με τα δομικά στοιχεία, $r_b = .630$, $p = .005$, αλλά όχι με το συνολικό αριθμό των εντολών, $r_b = .362$, $p = .14$.

⁵ Transana: <https://www.transana.com/>

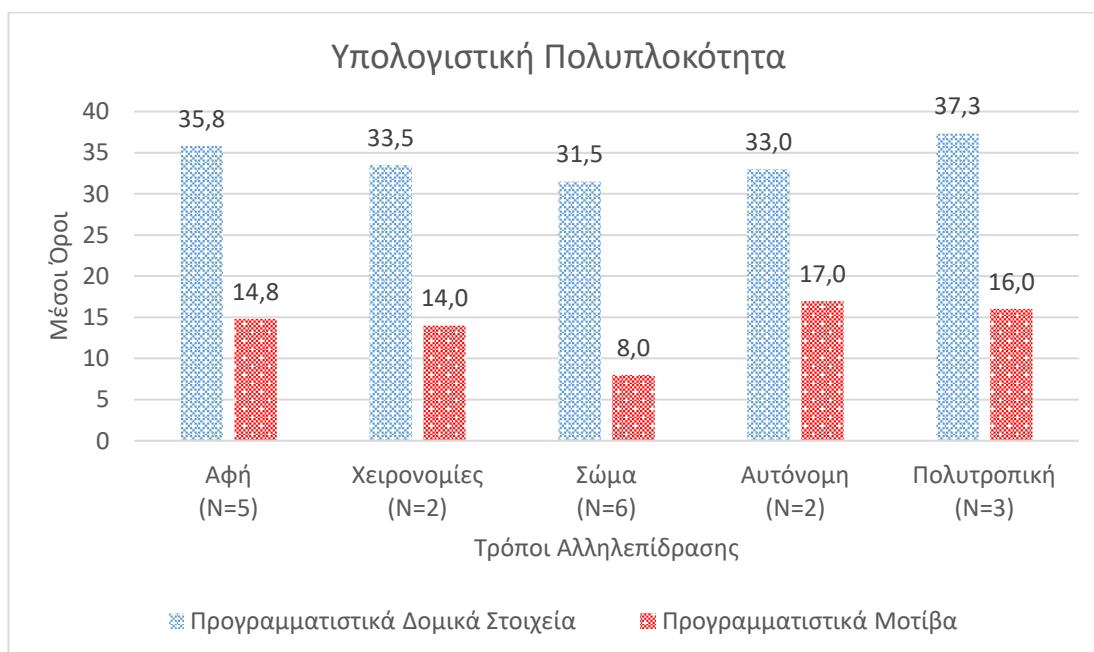
Συνεπώς, η χρήση περισσότερων εντολών δε συνεπάγεται αύξηση στον αριθμό των προγραμματιστικών μοτίβων. Τα παραπάνω ευρήματα αποτελούν μια ένδειξη της εγκυρότητας της ρουμπρίκας.

Πίνακας 3: Συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα σε συνολικές εντολές, δομικά στοιχεία και μοτίβα.

	Συνολικές Εντολές	Δομικά Στοιχεία	Μοτίβα
Συνολικές Εντολές	1	.628 *** [.149, .890]	.362 ns [-.186, .771]
Δομικά Στοιχεία	18	1	.630*** [.291, .836]
Μοτίβα	18	18	1

ns = not significant ($p > .05$), * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$. BCa bootstrap 95% CIs reported in brackets

Στη συνέχεια, υπολογίσαμε τους μέσους όρους των προγραμματιστικών δομικών στοιχείων και μοτίβων ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης που οι μαθητές επέλεξαν, καθώς προγραμματίζουν το μηχανισμό πλοήγησης του ρομπότ (Εικόνα 6). Θα πρέπει να τονιστεί ότι τρεις ομάδες μαθητών επέλεξαν να προγραμματίσουν πολυτροπικές διεπαφές για την πλοήγηση του ρομπότ. Η μια ομάδα συνδύασε την αφή με χειρονομίες, ενώ οι άλλες δύο την αυτόνομη κίνηση με την αφή.



Εικόνα 6: Μέσοι όροι των χρησιμοποιηθέντων προγραμματιστικών δομικών στοιχείων και μοτίβων, ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης που επιλέχθηκαν για τον έλεγχο της κατεύθυνσης του ρομπότ.

Το μη παραμετρικό Kruskal-Wallis τεστ χρησιμοποιήθηκε, για να εκτιμηθούν τυχόν στατιστικές διαφορές στον αριθμό των δομικών στοιχείων και των μοτίβων που χρησιμοποίησαν οι μαθητές στα έργα τους, εξαιτίας του μικρού και άνισου μεγέθους του δείγματος. Σύμφωνα με το Kruskal-Wallis τεστ όντως υπήρξε σημαντική στατιστική διαφορά στα προγραμματιστικά μοτίβα $H(4) = 13.15, p = .011$. Οι ανά ζεύγη συγκρίσεις με προσαρμοσμένες p -values έδειξαν ότι η διαφορά ήταν σημαντική ανάμεσα στα έργα στα οποία οι μαθητές επέλεξαν τη διεπαφή ολόκληρου σώματος και στα έργα στα οποία το ρομπότ προγραμματίστηκε να κινείται αυτόνομα μέσα στην πίστα ($p = .033$). Ωστόσο, τα συγκεκριμένα ευρήματα πρέπει να αντιμετωπιστούν με μια μικρή επιφύλαξη, καθώς τα δείγματα ήταν άνισα ως προς το μέγεθος. Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκε επιπρόσθετα το μη παραμετρικό Mann-Whitney, για συγκρίσεις ανάμεσα στα έργα των μαθητών με τη διεπαφή αφής και σε εκείνα με τη διεπαφή ολόκληρου σώματος, εφόσον το μέγεθος των δειγμάτων ήταν παρόμοιο ($N = 5$ και $N = 6$ αντίστοιχα). Ο αριθμός των προγραμματιστικών δομικών στοιχείων στα έργα με απτικό έλεγχο ($Mdn = 35.80$) δε διέφερε σημαντικά από εκείνον στα έργα με σωματικό έλεγχο ($Mdn = 31.50$), $U = 4.00, z = -2.04, p = .052, r = -.61$. Ωστόσο, ο αριθμός των προγραμματιστικών μοτίβων στα έργα με απτικό έλεγχο ($Mdn = 14.80$) ήταν σημαντικά υψηλότερος από εκείνον στα έργα με σωματικό έλεγχο ($Mdn = 8.00$), $U = 0.00, z = -3.03, p = .004, r = -.91$. Συμπερασματικά, φαίνεται ότι μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης οδήγησαν στην ανάπτυξη έργων με μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

3.8.2 Υπολογιστικές Πρακτικές

Παράλληλα, έγινε μια προσπάθεια να μελετηθούν οι υπολογιστικές πρακτικές των μαθητών. Η καταγεγραμμένη, στις οθόνες, δραστηριότητα των δεκαοκτώ ομάδων, κατά τη διάρκεια επίλυσης του προβλήματος, το οποίο τους δόθηκε στο τελευταίο σκέλος της παρέμβασης, κωδικοποιήθηκε από τους δύο αξιολογητές, σύμφωνα με τις τέσσερις προτεινόμενες, από τους Brennan & Resnick [2012], υπολογιστικές πρακτικές συν την πρακτική της συγγραφής κώδικα (coding). Υπολογίστηκαν οι χρόνοι που αφιέρωσαν οι ομάδες σε κάθε μια από τις υπολογιστικές πρακτικές και το ποσοστό επί της συνολικής διάρκειας παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Το μη παραμετρικό Kruskal-Wallis τεστ χρησιμοποιήθηκε, για να εκτιμηθούν τυχόν στατιστικές διαφορές στο ποσοστό του χρόνου που αφιέρωσαν οι μαθητές σε κάθε μια από τις υπολογιστικές πρακτικές. Σύμφωνα με το Kruskal-Wallis τεστ, υπήρξε σημαντική στατιστική διαφορά στην πρακτική της αφαίρεσης και μοντελοποίησης, $H(4) = 12.01, p = .017$.

Πίνακας 4: Ποσοστό χρόνου που αφιερώθηκε σε κάθε μια από τις υπολογιστικές πρακτικές ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης

	Αφαίρεση & Μοντελοποίηση	Συγγραφή Κώδικα	Αυξητική & Επαναληπτική	Επαναχρησιμοποίηση & Ανάμειξη	Δοκιμές & Αποσφαλμάτωση
Αφή	25,5%	0,8%	15,6%	26,0%	32,1%
Χειρονομίες	33,4%	8,6%	14,5%	22,5%	21,0%
Σώμα	8,5%	25,1%	19,1%	16,8%	30,4%
Αυτόνομη	25,3%	2,5%	34,7%	11,0%	26,5%
Πολυτροπική	16,9%	16,4%	16,1%	20,2%	30,3%

Οι ανά ζεύγη συγκρίσεις με προσαρμοσμένες p -values έδειξαν ότι οι μαθητές που προγραμμάτισαν τη διεπαφή ολόκληρου σώματος αφιέρωσαν λιγότερο χρόνο στην αφαίρεση και μοντελοποίηση συγκριτικά με εκείνους που προγραμμάτισαν τη διεπαφή απτικού ελέγχου ($p = .009$), εκείνους που προγραμμάτισαν τη διεπαφή χειροκίνητου ελέγχου ($p = .029$) και εκείνους που προγραμμάτισαν το ρομπότ να κινείται αυτόνομα στην πίστα ($p = .006$). Σημαντική στατιστική διαφορά υπήρξε και στην πρακτική της συγγραφής κώδικα $H(4) = 13.80, p = .008$. Οι ανά ζεύγη συγκρίσεις με προσαρμοσμένες p -values έδειξαν ότι οι μαθητές που προγραμμάτισαν τη διεπαφή ολόκληρου σώματος αφιέρωσαν λιγότερο χρόνο στη συγγραφή κώδικα συγκριτικά με εκείνους που προγραμμάτισαν τη διεπαφή απτικού ελέγχου ($p = .005$). Όμοια, χρησιμοποιήθηκε το μη παραμετρικό Mann-Whitney για συγκρίσεις ανάμεσα στα έργα των μαθητών με τη διεπαφή αφής και στα έργα με τη διεπαφή ολόκληρου σώματος. Όσον αφορά στην πρακτική της αφαίρεσης και μοντελοποίησης, το ποσοστό χρόνου που δαπανήθηκε στα έργα με απτικό έλεγχο ($Mdn = 25.50$) ήταν σημαντικά υψηλότερο από το ποσοστό χρόνο ο οποίος δαπανήθηκε στα έργα με το σωματικό έλεγχο ($Mdn = 8.50$), $U = 2.00, z = -2.37, p = .017, r = -0.71$. Όσον αφορά στην πρακτική της συγγραφής κώδικα, το ποσοστό χρόνου που δαπανήθηκε στα έργα με απτικό έλεγχο ($Mdn = 0.80$) ήταν σημαντικά μικρότερο από το ποσοστό χρόνου ο οποίος δαπανήθηκε στα έργα με το σωματικό έλεγχο ($Mdn = 25.10$), $U = 20.00, z = 2.75, p = .004, r = .83$. Με άλλα λόγια, τα μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης ώθησαν τους μαθητές να αφιερώσουν περισσότερο χρόνο στη συγγραφή και λιγότερο χρόνο στην αφαίρεση και μοντελοποίηση.

Ως επόμενο βήμα στην ανάλυση, μελετήσαμε και συγκρίναμε αναλυτικότερα τις υπολογιστικές πρακτικές δύο ομάδων μαθητών. Το πρώτο ζεύγος μαθητών ανέπτυξε το πιο προχωρημένο έργο (*Δομικά Στοιχεία* = 48, *Μοτίβα* = 20), ενώ το δεύτερο

ζεύγος μαθητών δημιούργησε το λιγότερο προχωρημένο έργο (*Δομικά Στοιχεία* = 32, *Μοτίβα* = 8). Η πρώτη ομάδα μαθητών (προχωρημένοι), επέλεξε ένα πολυτροπικό στυλ αλληλεπίδρασης για την καθοδήγηση του ρομπότ. Για να κινήσουν το ρομπότ μπροστά και πίσω, αξιοποίησαν τον αισθητήρα προσανατολισμού, ενώ για να το στρίψουν δεξιά και αριστερά χρησιμοποίησαν μια διεπαφή αφής. Μια ράβδος κύλισης χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ταχύτητας του ρομπότ, ενώ για να θέσουν σε λειτουργία το ρομποτικό χέρι προγραμμάτισαν μια διεπαφή φωνητικών εντολών. Η δεύτερη ομάδα μαθητών (αρχάριοι), ανέπτυξε διεπαφές ολόκληρου σώματος τόσο για την πλοήγηση του ρομπότ, όσο και για τον έλεγχο του ρομποτικού χεριού, ενώ δεν υλοποίησε το μηχανισμό για τον έλεγχο της ταχύτητας.

Οι μαθητές και των δύο ομάδων αξιοποίησαν ευρέως την επαναχρησιμοποίηση και ανάμειξη κώδικα για την ανάπτυξη των έργων τους. Ωστόσο παρατηρήσαμε διαφορετικές στρατηγικές ανάμεσα στις δύο ομάδες [Monroy-Hernandez 2012]. Οι περισσότεροι προχωρημένοι μαθητές επαναχρησιμοποίησαν μεγάλα κομμάτια κώδικα, ο οποίος ήταν διαθέσιμος από τις προηγούμενες συνεδρίες και στη συνέχεια αναμείγνυαν τον κώδικα αφαιρώντας τα περιττά κομμάτια. Συνεπώς, οι προχωρημένοι μαθητές ακολούθησαν μια αφαιρετική μέθοδο ανάπτυξης του έργου τους. Από την άλλη μεριά, οι λιγότερο προχωρημένοι μαθητές ακολούθησαν μια προσθετική μέθοδο, αφού ανέπτυξαν το έργο τους βήμα-βήμα, επαναχρησιμοποιώντας και αναμειγνύοντας μικρά κομμάτια κώδικα. Δημιουργούσαν κάτι μικρό και στη συνέχεια το δοκίμαζαν. Συνεπώς έχτισαν το έργο τους με μικρά αυξητικά και επαναληπτικά βήματα. Αυτή η πρακτική (αυξητική και επαναληπτική ανάπτυξη) δεν παρατηρήθηκε στην ομάδα των προχωρημένων. Μια πιθανή εξήγηση για το συγκεκριμένο φαινόμενο είναι ότι οι προχωρημένοι μαθητές είχαν μια πιο ξεκάθαρη άποψη από την αρχή για το τι στοιχεία ήταν απαραίτητα στα έργα τους, για το πού έπρεπε να τα τοποθετήσουν και για το τι ακριβώς θα έκαναν. Επιπλέον, παρατηρήσαμε ότι οργάνωναν τον κώδικά τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να βγάζει νόημα τόσο σε αυτούς όσο και σε τρίτους που πιθανόν θα τον εξέταζαν μελλοντικά. Γενικά, αφιέρωσαν περισσότερο χρόνο στην υπολογιστική πρακτική της αφαίρεσης και μοντελοποίησης συγκριτικά με τους αρχάριους μαθητές. Τέλος, όπως σημειώνεται και σε άλλες έρευνες [Kafai et al. 2014], παρατηρήσαμε ότι και οι δύο ομάδες δυσκολεύτηκαν σε μεγάλο βαθμό με τις δοκιμές και την αποσφαλμάτωση. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στις στρατηγικές [Fitzgerald et al. 2008] των δύο ομάδων. Ορθώς, οι προχωρημένοι μαθητές εξέταζαν λεπτομερώς τον κώδικα, για να εντοπίσουν την αιτία του προβλήματος και στη συνέχεια έκαναν στοχευμένες αλλαγές και δοκιμές για να αποσφαλματώσουν τα έργα τους. Αντιθέτως, οι αρχάριοι υιοθέτησαν λιγότερο

εξελιγμένες στρατηγικές, κάνοντας μικρές και ως ένα βαθμό άσκοπες αλλαγές στον κώδικά τους και συνεχείς δοκιμές μέχρι τα έργα τους να λειτουργήσουν όπως ήθελαν.

3.8.3 Υπολογιστικές Αντιλήψεις

Τέλος, μετρήθηκαν οι υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση (Πίνακας 5). Αρχικά, εκτελέστηκε το Shapiro-Wilk τεστ, για να ελεγχθεί η κανονικότητα, και, επειδή τα δεδομένα δεν ακολουθούσαν την κανονική κατανομή, το μη παραμετρικό Wilcoxon τεστ χρησιμοποιήθηκε για εξακριβωθεί, εάν υπήρξε όντως σημαντική στατιστική διαφορά στις αντιλήψεις των μαθητών. Οι συμμετέχοντες ανέφεραν ότι είχαν σημαντικά περισσότερες ικανότητες στον προγραμματισμό μετά ($Mdn = 2.86$) τη διδακτική παρέμβαση από ό,τι πριν ($Mdn = 2.25$), $T = 238$, $p = .009$, $r = .31$. Δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές στις άλλες περιπτώσεις.

Πίνακας 5: Υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση

Υπολογιστικές Αντιλήψεις	Πριν (N=36)		Μετά (N=36)	
	Mean	SD	Mean	SD
Πόσο σε ενδιαφέρει η επιστήμη των υπολογιστών; ns	3.33	1.069	3.44	1.252
Πόσο δύσκολος πιστεύεις ότι είναι ο προγραμματισμός υπολογιστών; ns	3.36	.931	3.14	1.046
Πόσες ικανότητες προγραμματισμού θεωρείς ότι έχεις;*	2.25	.770	2.86	.899
Θα ήθελες να μάθεις προγραμματισμό στο μέλλον; ns	3.47	1.082	3.25	1.180
Θα ήθελες να δημιουργήσεις εφαρμογές για κινητά στο μέλλον; ns	3.50	1.207	3.36	1.437
Θα ήθελες να κατασκευάσεις και να προγραμματίσεις ρομπότ στο μέλλον; ns	3.22	1.333	3.19	1.191
ns = not significant ($p > .05$), * $p < .05$				

Τα ποιοτικά δεδομένα που αντλήθηκαν από τις συνεντεύξεις των μαθητών προσέφεραν μια διαφορετική οπτική στα παραπάνω ευρήματα. Καθώς, κανείς από τους μαθητές δε συμμετείχε εθελοντικά στη διδακτική παρέμβαση, παρατηρήσαμε δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Από τη μια μεριά, μαθητές με περιορισμένο ή μηδενικό ενδιαφέρον για την επιστήμη των υπολογιστών και συγκεκριμένα για τον προγραμματισμό, ανέφεραν ότι, παρόλο που διακατέχονταν από θετικότερες απόψεις μετά τη διδακτική παρέμβαση, η συγκεκριμένη εμπειρία δεν ήταν αρκετή, ώστε να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στα μελλοντικά τους σχέδια. Για παράδειγμα, η Αθηνά ανέφερε: «Δεν με ενδιέφερε καθόλου η επιστήμη των υπολογιστών πριν απ' αυτό το μάθημα, αλλά τώρα μου αρέσει λίγο περισσότερο. Παρόλα αυτά δεν πιστεύω ότι θα

αλλάξει κάτι στα μελλοντικά μου πλάνα, καθώς έχω ήδη αποφασίσει για το τι ακριβώς θα κάνω στο μέλλον.» Από την άλλη μεριά, υπήρξαν μαθητές με ενδιαφέρον για την επιστήμη των υπολογιστών, που δεν τους είχε δοθεί η ευκαιρία να συμμετάσχουν σε δραστηριότητες εκπαιδευτικής ρομποτικής στο παρελθόν. Για τους συγκεκριμένους μαθητές η διδακτική παρέμβαση είχε σημαντικό αντίκτυπο στις υπολογιστικές τους αντιλήψεις. Συγκεκριμένα, ο Μανώλης τόνισε: «Είχα κάποιες σκέψεις στο παρελθόν να ασχοληθώ με τον προγραμματισμό και η συγκεκριμένη εμπειρία σίγουρα αποτελεί μια έμπνευση για τα μελλοντικά μου σχέδια.»

Πέρα από τις απόψεις των συμμετεχόντων για τους εαυτούς τους, μας ενδιέφεραν, επίσης, και οι ιδέες που η συγκεκριμένη εμπειρία τους οδήγησε να συλλάβουν. Τους ρωτήσαμε με τι άλλους τρόπους θα ήθελαν να χειριστούν τα ρομπότ και τι είδους συσκευές θα ήθελαν να ελέγξουν δημιουργώντας τις κατάλληλες διεπαφές. Οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι θα ήθελαν να προγραμματίσουν μια διεπαφή με ένα χειριστήριο joystick, ενώ κάποιοι θεώρησαν ότι θα ήταν ωραίο να χρησιμοποιήσουν έναν αισθητήρα GPS ή μια κάμερα ενσωματωμένη πάνω στο ρομπότ. Ο Πέτρος είχε μια πιο προχωρημένη άποψη: «Θα ήθελα να ελέγξω το ρομπότ με το μυαλό μου, αλλά δεν ξέρω αν αυτό είναι εφικτό» [Crawford et al. 2018]. Όσον αφορά στα είδη των συσκευών εξόδου, η πλειοψηφία των μαθητών ανέφερε ότι θα προτιμούσαν να ελέγξουν ένα διαφορετικό ρομπότ και συγκεκριμένα ένα ανθρωποειδές ρομπότ που θα ήταν ικανό να μιμηθεί ακριβώς τις κινήσεις του σώματος του χρήστη και να μιλήσει. Άλλοι σημείωσαν ότι θα ήθελαν να αναπτύξουν κινητές εφαρμογές για τον έλεγχο drone, αυτοκινήτων ή συσκευών σπιτιού, όπως τηλεοράσεις. Για παράδειγμα η Μαρία τόνισε: «Συνήθως χρησιμοποιώ το κινητό μου τηλέφωνο, για να είμαι σε επικοινωνία με τους φίλους μου. Δε μου είχε περάσει ποτέ από το μυαλό ότι μπορώ να το χρησιμοποιήσω με αυτόν τον τρόπο.» Τέλος, ρωτήσαμε τους συμμετέχοντες τι ρομποτικές δραστηριότητες θα ήθελαν να παρακολουθήσουν στο μέλλον. Ανέφεραν ότι θα προτιμούσαν ανταγωνιστικές ρομποτικές δραστηριότητες, όπως αγώνες ταχύτητας σε μια πίστα, αγώνες μονομαχίας sumo ανάμεσα σε ρομπότ [Kim & Jeon 2008], ή αγώνες ποδοσφαίρου με ρομπότ [Eguchi 2016].

4 Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης μέσα από τον Προγραμματισμό Διεπαφών Ανθρώπου – Ρομπότ

4.1 Επισκόπηση

Στην παρούσα μελέτη επιδιώχθηκε μια συνέργεια ανάμεσα στην ενσώματη μάθηση και την εκπαιδευτική ρομποτική. Ο βασικός σκοπός ήταν να διερευνήσουμε κατά πόσο ποικίλοι τρόποι ενσώματης αλληλεπίδρασης, με διαφορετικό βαθμό συνάφειας της χειρονομίας για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ, μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ΕΣ των μαθητών. Στο πλαίσιο μιας δραστηριότητας Φυσικής, ζητήθηκε από πενήντα έξι μαθητές και μαθήτριες δύο Δημοτικών σχολείων να τροποποιήσουν, μέσω προγραμματισμού, διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ, κατά τις οποίες ο χρήστης αλληλεπιδρά με ένα εικονικό ρομπότ ή με ένα φυσικό ρομπότ με δύο διαφορετικούς τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιώντας είτε την αφή του είτε μέσω χειρονομιών. Δημιουργήσαμε τέσσερις συνθήκες ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης και την υλική υπόσταση του ρομπότ: 1) αφή-εικονική, 2) αφή-φυσική, 3) χειρονομία-εικονική και 4) χειρονομία-φυσική. Αξιολογήσαμε, με τη χρήση κατάλληλων ερωτηματολογίων, τις επιστημονικές γνώσεις των μαθητών στην έννοια της τριβής.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να βοηθήσουν ουσιαστικά τους εκπαιδευτικούς στην εφαρμογή των αρχών της ενσώματης μάθησης στην εκπαιδευτική διαδικασία με σκοπό την αποτελεσματική διδασκαλία αφηρημένων επιστημονικών εννοιών.

4.2 Ερευνητικές Ερωτήσεις

Η κύρια ερευνητική ερώτηση της παρούσας μελέτης επικεντρώθηκε στον εξής τομέα:

- *Κατανόηση:* Οι διαφορετικοί τρόποι αλληλεπίδρασης, όπως η αφή και οι χειρονομίες και οι διαφορετικές έξοδοι, όπως φυσικά και εικονικά ρομπότ, μπορούν να επηρεάσουν τους μαθητές στην κατανόηση της Φυσικής έννοιας της τριβής;

Συνεπώς η κύρια συμβολή της παρούσας έρευνας είναι η μελέτη εναλλακτικών τρόπων αλληλεπίδρασης ανθρώπου-ρομπότ στα πλαίσια της ενσώματης μάθησης και των Φυσικών επιστημών.

4.3 Ερευνητικές Υποθέσεις

Με βάση το παραπάνω ερευνητικό ερώτημα, καθώς και ευρήματα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία, οι ερευνητικές υποθέσεις της μελέτης διαμορφώνονται ως εξής:

- *Ερευνητική Υπόθεση 1:* Υποθέσαμε ότι οι μαθητές θα κατανοήσουν καλύτερα την έννοια της τριβής, εάν χρησιμοποιήσουν χειρονομίες, για να αλληλεπιδράσουν με τα ρομπότ. Η χρήση χειρονομιών, για να θέσουμε σε κίνηση ένα εικονικό ή ένα φυσικό ρομπότ, έχει μεγαλύτερο βαθμό συνάφειας [Johnson-Glenberg et al. 2016] από τη χρήση της αφής, αφού αυτός ο τρόπος αλληλεπίδρασης συμβαδίζει με τις προηγούμενες εμπειρίες των μαθητών. Παράλληλα, η χρήση χειρονομιών εμπεριέχει την ενεργοποίηση περισσότερων αισθητηριοκινητικών συστημάτων, κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερα μαθησιακά οφέλη [Johnson-Glenberg et al. 2016], από τη χρήση της αφής.
- *Ερευνητική Υπόθεση 2:* Υποθέσαμε ότι η χρησιμοποίηση ενός φυσικού ρομπότ θα ωφελήσει περισσότερο τους μαθητές στην κατανόηση της έννοιας της τριβής. Με τη χρήση αντικειμένων που έχουν πραγματική υπόσταση η διαδικασία μάθησης βασίζεται σε υπάρχουσες γνώσεις και εμπειρίες που έχουν αποκτήσει οι μαθητές μέσα από τις ενσώματες αλληλεπιδράσεις τους και παρατηρήσεις τους στον πραγματικό κόσμο. Επίσης, οι γνωστικές διεργασίες τους είναι ενσωματωμένες στο περιβάλλον (δες ενσωματωμένη νόηση) κάτι που μπορεί να μειώσει το γνωστικό φορτίο το οποίο τους επιβάλλεται. Συνεπώς, θεωρήσαμε ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ του ατόμου, του φυσικού ρομπότ και του περιβάλλοντος μπορεί να στηρίξει με πιο αποδοτικό τρόπο τη γνωστική δραστηριότητα του εκπαιδευόμενου και να διευκολύνει την απόκτηση εννοιολογικής επιστημονικής γνώσης.

4.4 Συμμετέχοντες

Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 56 μαθητές και μαθήτριες, ηλικίας 10 έως 11 χρονών, με μικρή έως καθόλου εμπειρία στον προγραμματισμό υπολογιστών. Οι συμμετέχοντες επιλέχθηκαν τυχαία από την πέμπτη τάξη δύο Δημοτικών σχολείων. Το γεγονός ότι κανένας από τους συμμετέχοντες δεν είχε προηγουμένως λάβει γνώση μέσω διδασκαλίας στην έννοια της τριβής ως μέρος της τυπικής εκπαίδευσης, συνετέλεσε στην απόφαση επιλογής των μαθητών της συγκεκριμένης ηλικιακής ομάδας. Επιπλέον, στη συγκεκριμένη ηλικία οι μαθητές έχουν αναπτύξει σε ικανοποιητικό βαθμό το αισθητηριοκινητικό τους σύστημα και άρα είναι σε θέση να αντιληφθούν επαρκώς πολύ-αισθητηριακές ροές πληροφορίας [Price et al. 2017]. Το δείγμα ήταν απόλυτα ισορροπημένο ως προς το φύλο, με 28 κορίτσια και 28 αγόρια, προερχόμενο από οικογένειες κυρίως χαμηλού έως μεσαίου εισοδήματος. Όσον αφορά στην εθνικότητα, σχεδόν το πενήντα τοις εκατό των μαθητών προερχόταν από οικογένειες οικονομικών μεταναστών του εξωτερικού, ωστόσο, είχαν γεννηθεί και μεγαλώσει στην Ελλάδα. Σχηματίσαμε τέσσερις ανεξάρτητες ομάδες μια για κάθε συνθήκη του

πειράματος: την Tap-Screen, την Tilt-Screen, την Tap-Robot και την Tilt-Robot, με 14 μαθητές η καθεμία (Πίνακας 6).

Οι μαθητές εργάστηκαν σε ζευγάρια σε κάθε μια από τις διδακτικές δραστηριότητες, κάτι που τους επέτρεψε να συνεργαστούν και να στηρίζει ο ένας τον άλλον κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Τα κριτήρια για το σχηματισμό των ζευγαριών ήταν οι ικανότητες τους και κυρίως οι υπάρχουσες φιλίες ανάμεσά τους. Οι μαθητές συμμετείχαν εθελοντικά στη μελέτη. Ωστόσο, ζητήθηκε τόσο η δική τους συγκατάθεση, όσο και των κηδεμόνων τους. Η μελέτη διεξήχθη σε πραγματικές συνθήκες τάξης, στο χώρο του σχολείου (εργαστήριο Πληροφορικής), κατά τη διάρκεια του κανονικού ωρολογίου προγράμματος.

Πίνακας 6: Οι τέσσερις ανεξάρτητες συνθήκες της μελέτης και οι αντίστοιχες ομάδες ανάλογα με την τροπικότητα της εισόδου και της εξόδου.

Τροπικότητα		Έξοδος	
		Εικονική	Φυσική
Είσοδος	Αφή	Tap-Screen	Tap-Robot
	Χειρονομίες	Tilt-Screen	Tilt-Robot

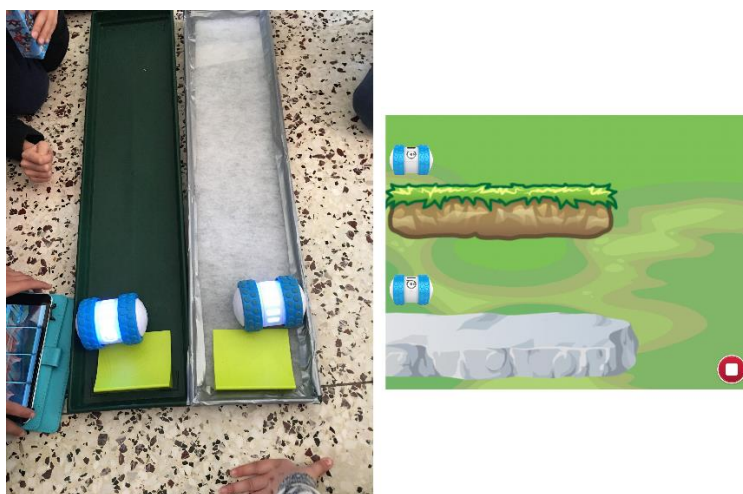
4.5 Εκπαιδευτική Παρέμβαση

Ο βασικός στόχος της εκπαιδευτικής παρέμβασης ήταν οι μαθητές αρχικά να τροποποιήσουν, μέσω προγραμματισμού, διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ. Στη συνέχεια καλούνταν να εκτελέσουν ενέργειες σ' ένα tablet, με την αφή τους ή μέσω χειρονομιών και παρατηρώντας τα αποτελέσματα των ενεργειών τους στην κίνηση ενός εικονικού ή φυσικού ρομπότ να εξάγουν τα κατάλληλα συμπεράσματα για την έννοια της τριβής.

Συνεπώς, δημιουργήσαμε τέσσερις υπολογιστικά επαυξημένες συνθήκες, ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης (είσοδος) και την υλική υπόσταση του ρομπότ (έξοδος) (Πίνακας 6). Στην πρώτη συνθήκη (αφή-εικονική) οι μαθητές, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί στην Tap-Screen ομάδα, κλήθηκαν να προγραμματίσουν εικονικά ρομπότ τα οποία εμφανίζονταν στην οθόνη του tablet. Τους δώσαμε μια πρότυπη εφαρμογή με δύο εικονικά ρομπότ τοποθετημένα σε δύο διαφορετικές εικονικές διαδρομές, μια με γρασίδι και μια με πάγο. Οι μαθητές έπρεπε να εξετάσουν το πρόγραμμα και να προχωρήσουν σε στοχευμένες αλλαγές, ώστε να δημιουργήσουν μια προσομοίωση της κίνησης του ρομπότ σε έδαφος με διαφορετικό συντελεστή τριβής. Μια διεπαφή με κουμπιά που έκανε χρήση της οθόνης αφής, χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο των ρομπότ. Άρα, οι μαθητές χρησιμοποιούσαν την αφή τους (tap), για να

αλληλεπιδράσουν με τα εικονικά ρομπότ. Στη δεύτερη συνθήκη (χειρονομία-εικονική), η έξοδος ήταν ίδια αλλά ο τρόπος αλληλεπίδρασης ήταν διαφορετικός. Ειδικότερα, οι μαθητές, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί στην Tilt-Screen ομάδα, αντί να χρησιμοποιήσουν τα κουμπιά, έκαναν χρήση της χειρονομίας tilt, η οποία ανιχνευόταν από τον αισθητήρα επιτάχυνσης του tablet. Ζητήσαμε από τους μαθητές να κάνουν αλλαγές σ' ένα πρόγραμμα, το οποίο προοριζόταν ν' ασκεί μια εικονική δύναμη στα ρομπότ, που εμφανίζονταν στην οθόνη του tablet ανάλογα με την κίνησή του. Στην τρίτη (αφή-φυσική) και τέταρτη (χειρονομία-φυσική) συνθήκη της μελέτης, τοποθετήσαμε δύο όμοια φυσικά ρομπότ σε δύο διαδρομές με διαφορετικό συντελεστή. Οι μαθητές, που είχαν τοποθετηθεί στις ομάδες Tap-Robot και Tilt-Robot, κλήθηκαν να προγραμματίσουν τα ρομπότ και να αλληλεπιδράσουν με αυτά μέσω αφής και χειρονομιών αντίστοιχα (Εικόνα 7).

Οι φυσικές ήταν οι συνθήκες με το μεγαλύτερο επίπεδο «υλικότητας», καθώς οι φυσικές ενέργειες των χρηστών προκαλούσαν αντιδράσεις στην κίνηση των φυσικών ρομπότ. Από την άλλη μεριά, οι εικονικές ήταν οι συνθήκες με το μικρότερο επίπεδο «υλικότητας», καθώς οι φυσικές ενέργειες των συμμετεχόντων επηρέαζαν την κίνηση των εικονικών ρομπότ [Melcer & Isbister 2016].



Εικόνα 7: Τα ρομπότ που χρησιμοποιήθηκαν ως έξοδος: 1) τα φυσικά (αριστερά) και 2) τα εικονικά (δεξιά).

4.6 Υλικά

Το ρομπότ Ollie⁶ της εταιρείας Sphero χρησιμοποιήθηκε για τις φυσικές συνθήκες. Το συγκεκριμένο ρομπότ επιλέχθηκε, αφενός, γιατί ήταν σχετικά φθηνό και αφετέρου γιατί

⁶Ollie Sphero Robot: <http://www.sphero.com/ollie>

υπήρχε διαθέσιμη η αντίστοιχη οπτική γλώσσα προγραμματισμού Tynker⁷, που βασίζεται σε πλακίδια και παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητές συσκευές (tablets). Οι τρόποι αλληλεπίδρασης, για να τεθούν σε κίνηση τα εικονικά ή φυσικά ρομπότ, διέφεραν στο βαθμό συνάφειας της χειρονομίας [Johnson-Glenberg et al. 2016] και υποστηρίχθηκαν από συσκευές tablet με ενσωματωμένο αισθητήρα επιτάχυνσης (accelerometer sensor) (Εικόνα 8). Επιπλέον, διέφεραν και ως προς το βαθμό αισθητηριοκινητικής διέγερσης, αφού το tapping της οθόνης έχει διαφορετική αίσθηση από την χειρονομία tilt.

Η Oniatt et al. [2012] πιστεύει ότι το ποντίκι και το πληκτρολόγιο έχουν περιορισμένες αντιληπτές δυνατότητες, όσον αφορά στην αλληλεπίδραση με εικονικούς χαρακτήρες κινούμενων σχεδίων και ρομπότ. Ωστόσο, με τις κινητές τεχνολογίες, όπως τα tablets και τα έξυπνα τηλέφωνα, ο χώρος αλληλεπίδρασης επεκτείνεται «σε πιο φυσικούς και ενσώματους τρόπους αλληλεπίδρασης» [Lindgren et al. 2016], εφόσον μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αλληλεπίδραση με τις ψηφιακές πληροφορίες, διεπαφές που αξιοποιούν την οθόνη αφής (touchscreen interfaces) και διεπαφές οι οποίες αξιοποιούν αισθητήρες όπως το επιταχυνσιόμετρο (accelerometer-based interfaces) [Jacob et al. 2008].



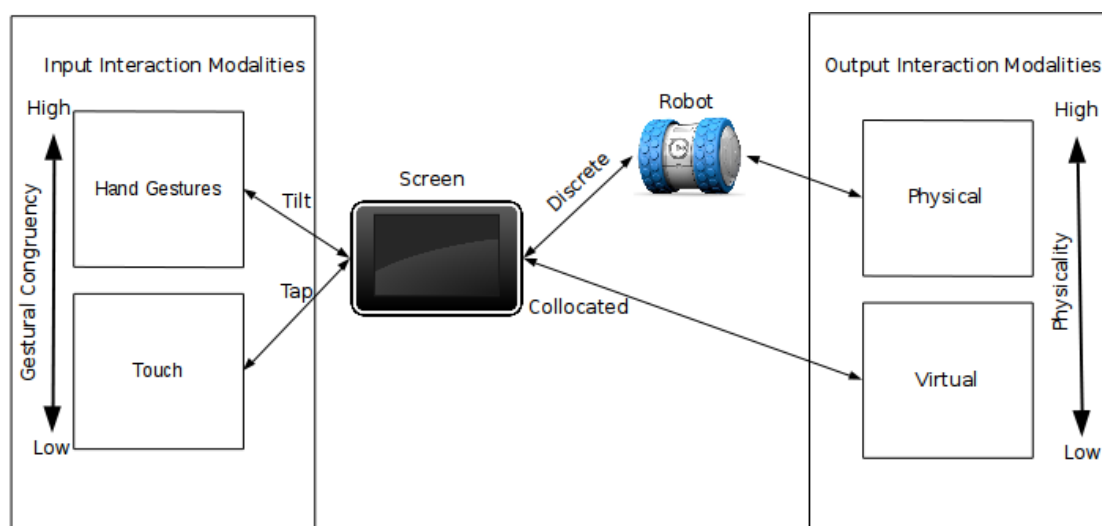
Εικόνα 8: Οι τρόποι αλληλεπίδρασης (είσοδος): 1) αφή (αριστερά), 2) χειρονομίες (δεξιά)⁸.

Χρησιμοποιήσαμε tablets ως συσκευές ελέγχου σε όλες τις περιπτώσεις. Ωστόσο, οι εικονικές και φυσικές καταστάσεις διέφεραν ως προς τη χωρική θέση της εξόδου σε σχέση με την είσοδο, παράμετρος γνωστή ως mapping [Melcer & Isbister 2016], όπως είδαμε και προηγουμένως. Ειδικότερα, το mapping στις φυσικές συνθήκες ήταν

⁷Tynker: <https://www.tynker.com>

⁸ Icons: <http://freebiejar.com/free-icons/illustrated-mobile-gestures/>

“discrete”, καθώς οι ενέργειες των μαθητών για να θέσουν σε κίνηση το ρομπότ εκτελούνταν στο tablet, ξεχωριστά από τα φυσικά ρομπότ που λάμβανε χώρα η κίνηση. Θα πρέπει να τονιστεί ότι συνήθως, όταν τα παιδιά αλληλεπιδρούν με ένα υπολογιστικό απτικό υλικό, οι ενέργειες τους προκαλούν αντιδράσεις στο ίδιο το αντικείμενο, δηλαδή είσοδος και έξοδος είναι «ενσωματωμένες» (“embedded”) στο απτικό υλικό. Η διαφορά στη δική μας προσέγγιση είναι ότι οι συμμετέχοντες χειρίζονται ένα αντικείμενο (tablet) και οι ενέργειες τους προκαλούν αντιδράσεις σ’ ένα άλλο αντικείμενο (ρομπότ). Συνεπώς χειρίζονται τα ρομπότ μέσω τηλεχειρισμού. Από την άλλη μεριά, στις εικονικές συνθήκες το mapping ήταν “collocated”, αφού οι ενέργειες των μαθητών στο tablet έθεταν σε κίνηση τα εικονικά ρομπότ στην οθόνη του (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Οι τρόποι αλληλεπίδραση, οι συνθήκες του πειράματος και το mapping.

Για κάθε συνθήκη δημιουργήθηκε το αντίστοιχο εκπαιδευτικό υλικό, λαμβάνοντας υπόψιν το χρονικό περιορισμό των σαράντα πέντε λεπτών για την ολοκλήρωση κάθε δραστηριότητας. Όλες οι δραστηριότητες δοκιμάστηκαν σε μια πιλοτική μελέτη και σε πραγματικές συνθήκες τάξης. Στην πιλοτική φάση, συμμετείχαν 12 μαθητές της έκτης τάξης ενός Δημοτικού σχολείου, ηλικίας 11 έως 12 χρονών. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του πιλότου συνέβαλλαν στη βελτίωση του εκπαιδευτικού υλικού, ώστε αυτό να είναι επαρκώς κατανοητό και να ανταποκρίνεται στις δυνατότητες ενός μέσου μαθητή. Επιπλέον, ελέγχθηκαν οι χρόνοι ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων, ώστε να μην υπερβαίνουν τη διαθέσιμη ώρα. Τέλος, δοκιμάστηκαν σε μικρότερη κλίμακα, αξιολογήθηκαν και βελτιώθηκαν τα εργαλεία μέτρησης της έρευνας. Η ερευνήτρια που ετοίμασε το εκπαιδευτικό υλικό ήταν υπεύθυνη και για τη διδασκαλία των μαθημάτων της παρέμβασης.

4.7 Εργαλεία Μέτρησης και Διαδικασία

Για τους σκοπούς της έρευνας, συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν κυρίως ποσοτικά στοιχεία, εφόσον οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν σύντομα ερωτηματολόγια πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Συγκεκριμένα, αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα δημογραφικό ερωτηματολόγιο πενταβάθμιας κλίμακας Likert με στόχο την καταγραφή της ενασχόλησης των μαθητών με την τεχνολογία. Το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο δόθηκε στους μαθητές πριν τη μελέτη και ζητήθηκε να το συμπληρώσουν μαζί με τους γονείς τους. Πριν από τη διδακτική παρέμβαση, έγινε χρήση ενός ερωτηματολογίου (προ-ελέγχου) πολλαπλών επιλογών για την καταγραφή των γνώσεων των μαθητών, αναφορικά με την έννοια της τριβής. Οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν ατομικά το ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου. Μετά τη διδακτική παρέμβαση οι συμμετέχοντες συμπλήρωσαν, ατομικά, ένα ερωτηματολόγιο (μετά-ελέγχου) πολλαπλών επιλογών με παρόμοιες ερωτήσεις με το ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου. Αυτό μας επέτρεψε να συγκρίνουμε απευθείας τις γνώσεις των μαθητών πριν και μετά την παρέμβαση και να αξιολογήσουμε τα μαθησιακά οφέλη κάθε συνθήκης. Τέλος, έγινε χρήση ενός ερωτηματολογίου πενταβάθμιας κλίμακας Likert με στόχο την καταγραφή των απόψεων των μαθητών για τους τρόπους αλληλεπίδρασης.

Για να αξιολογήσουμε την εσωτερική συνοχή προχωρήσαμε στον υπολογισμό του Cronbach's alpha. Η αξιοπιστία των ερωτηματολογίων αξιολόγησης της γνώσης ήταν καλή, τόσο για το ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου ($\alpha = .68$), όσο για το ερωτηματολόγιο μετά-ελέγχου ($\alpha = .70$). Η διαφορά στην τιμή του alpha μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι γνώσεις των μαθητών πριν την παρέμβαση ήταν λιγότερο ακριβείς από ό,τι μετά [Jaakkola et al. 2011]. Επιπλέον, διεξήγαμε μια «ανάλυση διαχωρισμού αντικειμένων» (“item discrimination analysis”), για να εξακριβώσουμε πώς κάθε ερώτηση πολλαπλής επιλογής σχετιζόταν με τη συνολική αξιολογούμενη επίδοση. Ο «συντελεστής σημειακής-δισειριακής συσχέτισης» (“point-biserial correlation coefficient”), κάθε ερώτησης του ερωτηματολογίου προ-ελέγχου, ήταν μεταξύ $r_{pb} = 0.375 - 0.561$, με σημαντικές τιμές. Ο συντελεστής σημειακής-δισειριακής συσχέτισης, κάθε ερώτησης του ερωτηματολογίου μετά-ελέγχου, ήταν μεταξύ $r_{pb} = 0.273 - 0.556$, με σημαντικές τιμές.

4.8 Αποτελέσματα

Οι μέσοι όροι των απαντήσεων των συμμετεχόντων στο δημογραφικό ερωτηματολόγιο εμφανίζονται στον Πίνακα 7. Από τη στιγμή που επιλέξαμε τυχαία τους μαθητές, αναμέναμε ότι οι ανεξάρτητες ομάδες στις οποίες τους τοποθετήσαμε θα ήταν ισοδύναμες. Το μη παραμετρικό Kruskal-Wallis τεστ χρησιμοποιήθηκε, για να

εκτιμηθούν τυχόν στατιστικές διαφορές στις απαντήσεις των μαθητών στο δημογραφικό ερωτηματολόγιο, εξαιτίας του μικρού και άνισου μεγέθους του δείγματος (14 άτομα σε κάθε ομάδα). Το Kruskal-Wallis τεστ επιβεβαίωσε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην ενασχόληση των μαθητών με την τεχνολογία, ανάμεσα στις ανεξάρτητες ομάδες.

Πίνακας 7: Περιγραφικά στατιστικά του δημογραφικού ερωτηματολογίου.

	Ομάδα	n	Ενασχόληση με τεχνολογία	
			M	SD
1	Tap-Screen	14	3.00	1.359
2	Tilt-Screen	14	3.07	1.207
3	Tap-Robot	14	3.00	1.177
4	Tilt-Robot	14	2.86	0.864

4.8.1 Γνώσεις Μαθητών για την Τριβή

Το Kruskal-Wallis τεστ χρησιμοποιήθηκε, για να εκτιμηθούν τυχόν στατιστικές διαφορές στη βελτίωση της γνώσης των μαθητών λόγω των διαφορετικών συνθηκών (Πίνακας 8). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρξε σημαντική στατιστική διαφορά, $H(3) = 6.459, p = .091$, ανάμεσα στις ανεξάρτητες ομάδες.

Πίνακας 8: Περιγραφικά στατιστικά γνώσεων τριβής

Ομάδα	n	Πριν		Μετά		Βελτίωση		Μέγεθος Επίδρασης	
		M	SD	M	SD	M	SD		
1	Tap-Screen	14	1.36	0.842	3.36	1.008	2.00	1.301	0.58
2	Tilt-Screen	14	1.57	1.222	3.29	0.914	1.71	1.590	0.54
3	Tap-Robot	14	0.79	0.579	3.86	0.864	3.07	1.269	0.62
4	Tilt-Robot	14	1.00	0.877	3.21	1.222	2.21	1.626	0.55

Επιπρόσθετα, τέσσερα Wilcoxon signed-rank τεστ χρησιμοποιήθηκαν, για να διερευνήσουμε εάν υπήρξε σημαντική στατιστική διαφορά στα μαθησιακά οφέλη κάθε συνθήκης. Όσον αφορά στην Tap-Screen ομάδα, η γνώση των μαθητών για τη τριβή μετά τη διδακτική παρέμβαση ($Mdn = 3.36$), ήταν σημαντικά υψηλότερη από τη γνώση

πριν την παρέμβαση ($Mdn = 1.36$), $T = 78$, $p = 0.002$, $r = 0.58$. Σημαντική στατιστική διαφορά, $T = 75.5$, $p = 0.004$, $r = 0.54$, καταγράφηκε και στις γνώσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση ($Mdn = 3.29$), συγκριτικά με πριν ($Mdn = 1.57$) και στην Tilt-Screen ομάδα μαθητών. Όσον αφορά στην Tap-Robot ομάδα, η γνώση των μαθητών για την τριβή μετά την παρέμβαση ($Mdn = 3.86$), ήταν σημαντικά υψηλότερη από τις γνώσεις πριν την παρέμβαση ($Mdn = 0.79$), $T = 105$, $p = 0.001$, $r = 0.62$. Τέλος, όσον αφορά στην Tilt-Robot ομάδα, οι γνώσεις των μαθητών μετά την παρέμβαση ($Mdn = 3.21$), ήταν σημαντικά περισσότερες από τις γνώσεις πριν την παρέμβαση ($Mdn = 1.00$), $T = 66$, $p = 0.003$, $r = 0.55$.

4.8.1.1 Γνωσιακά Οφέλη με χρήση Αφή vs. Χειρονομιών

Αρχικά, διερευνήσαμε αν οι μαθητές που χρησιμοποίησαν χειρονομίες, για να θέσουν σε κίνηση τα εικονικά ή φυσικά ρομπότ, απέκτησαν περισσότερες γνώσεις συγκριτικά με εκείνους που χρησιμοποίησαν την αφή (*Ερευνητική Υπόθεση 1*). Η μέση βελτίωση των γνώσεων των συμμετεχόντων παρουσιάζεται στον Πίνακα 9. Το Mann-Whitney U τεστ χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση ανάμεσα στις δύο ανεξάρτητες συνθήκες. Για τους μαθητές που χρησιμοποίησαν την αφή, για να θέσουν σε κίνηση το ρομπότ, τα γνωσιακά οφέλη ($Mdn = 2.54$) ήταν όμοια με εκείνους που χρησιμοποίησαν χειρονομίες ($Mdn = 1.96$), $U = 305$, $z = -1.455$, $p = 0.146$, $r = -0.20$.

Πίνακας 9: Βελτίωση γνώσεων μαθητών ανάλογα με τους τρόπους αλληλεπίδρασης.

	Τρόποι Αλληλεπίδρασης	n	Μέση Βελτίωση	SD
1	Αφή	28	2.54	1.374
2	Χειρονομία	28	1.96	1.598
	Συνολικά	56	2.25	1.505

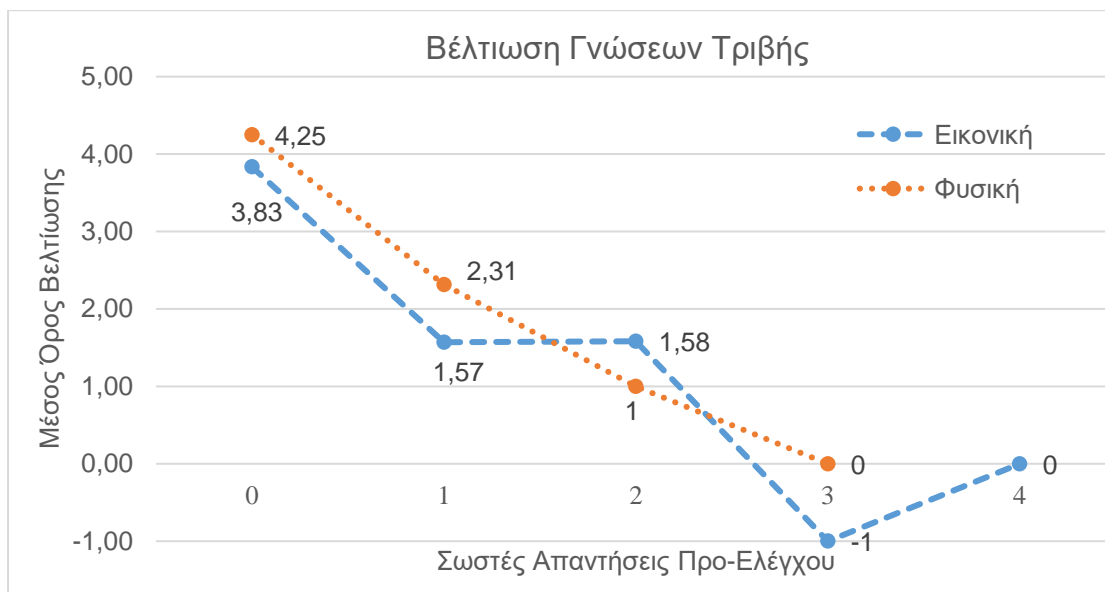
4.8.1.2 Γνωσιακά Οφέλη με χρήση Εικονικών vs Φυσικών Ρομπότ

Επιπρόσθετα, εξετάσαμε αν οι φυσικές συνθήκες βοήθησαν τους μαθητές να αποκτήσουν περισσότερες γνώσεις τριβής συγκριτικά με τις εικονικές συνθήκες (*Ερευνητική Υπόθεση 2*). Η μέση βελτίωση των γνώσεων των συμμετεχόντων παρουσιάζεται στον Πίνακα 10. Το Mann-Whitney U τεστ χρησιμοποιήθηκε για σύγκριση των διαφορών ανάμεσα στις δύο ανεξάρτητες συνθήκες. Για τους μαθητές που χρησιμοποίησαν τα φυσικά ρομπότ τα γνωσιακά οφέλη ($Mdn = 2.64$) ήταν σημαντικά περισσότερα από αυτούς που χρησιμοποίησαν τα εικονικά ρομπότ ($Mdn = 1.86$), $U = 509$, $z = 1.956$, $p = 0.050$, $r = 0.26$.

Πίνακας 10: Βελτίωση γνώσεων μαθητών ανάλογα με την υλική φύση της εξόδου.

Έξοδος	n	Μέση Βελτίωση	SD
1 Εικονική	28	1.86	1.433
2 Φυσική	28	2.64	1.496
Συνολικά	56	2.25	1.505

Έπειτα, μελετήσαμε τη βελτίωση των γνώσεων των μαθητών, όσον αφορά στη τριβή, σε σχέση με τις πρότερες γνώσεις, που τυχόν είχαν οι μαθητές γι' αυτήν. Σύμφωνα με την Εικόνα 10, φαίνεται ότι η χρήση ενός φυσικού ρομπότ ωφέλησε περισσότερο τους μαθητές με περιορισμένες αρχικές γνώσεις τριβής, όπως φάνηκε από τις απαντήσεις τους, στο ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου. Για παράδειγμα, οι μαθητές που δεν έδωσαν καμία σωστή απάντηση στο ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου, βελτιώθηκαν περισσότερο στις φυσικές συνθήκες ($Mdn = 4.25$), συγκριτικά με τους μαθητές που συμμετείχαν στις εικονικές συνθήκες ($Mdn = 3.83$). Όμοια, η βελτίωση ήταν μεγαλύτερη για τους συμμετέχοντες, οι οποίοι έδωσαν μια σωστή απάντηση στο ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου. Ωστόσο, το αντίθετο συνέβη για τους συμμετέχοντες, οι οποίοι έδωσαν δύο σωστές απαντήσεις, όπου παρατηρήθηκε μεγαλύτερη βελτίωση με τη χρήση εικονικών ρομπότ ($Mdn = 1.58$), συγκριτικά με τη χρήση φυσικών ($Mdn = 1.00$).



Εικόνα 10: Βελτίωση γνώσεων τριβής σε σχέση με τις πρότερες γνώσεις.

4.8.2 Απόψεις Μαθητών για Τρόπους Αλληλεπίδρασης

Τέλος εξετάσαμε τις απόψεις των συμμετεχόντων για τους τρόπους αλληλεπίδρασης. Τρεις πτυχές εξετάστηκαν και συγκρίθηκαν: *πόσο ακριβής*, *πόσο ευχάριστος* και *πόσο*

εύκολος ήταν κάθε τρόπος αλληλεπίδρασης (Πίνακας 11). Τρία Mann-Whitney U τεστ χρησιμοποιήθηκαν για να ελέγξουμε αν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στις απόψεις των μαθητών. Οι συμμετέχοντες βρήκαν την αφή ($Mdn = 3.32$) σημαντικά πιο εύκολη, στη χρήση, από τις χειρονομίες ($Mdn = 2.68$), $U = 261$, $z = -2.265$, $p = 0.024$, $r = -0.30$. Ωστόσο, οι μαθητές δε βρήκαν την αφή ($Mdn = 2.64$) σημαντικά πιο ακριβής, στη χρήση, από τις χειρονομίες ($Mdn = 2.36$), $U = 321.5$, $z = -1.200$, $p = 0.230$, $r = -0.16$. Τέλος, οι συμμετέχοντες δε βρήκαν την αφή ($Mdn = 2.64$) πιο ευχάριστη, στη χρήση, από τις χειρονομίες ($Mdn = 2.64$), $U = 314$, $z = -1.360$, $p = 0.174$, $r = -0.18$.

Πίνακας 11: Περιγραφικά στατιστικά με τις απόψεις των μαθητών ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης.

Τρόπος Αλληλεπίδρασης	Πόσο Ακριβής		Πόσο Ευχάριστος		Πόσο Εύκολος	
	M	SD	M	SD	M	SD
Αφή	2.64	1.062	3.18	0.983	3.32	0.819
Χειρονομίες	2.36	1.026	2.68	1.362	2.68	1.090

5 Συζήτηση

Ο στόχος της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν να διερευνήσουμε αν ο προγραμματισμός διεπαφών ανθρώπου-ρομπότ, καθώς και οι μετέπειτα εξ αποστάσεως ενσώματες αλληλεπιδράσεις με υπολογιστικά απτικά αντικείμενα, όπως τα ρομπότ, μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη της ΥΣ και ΕΣ των μαθητών. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μια συζήτηση επί των αποτελεσμάτων των δυο ερευνών. Θα καταγραφούν οι περιορισμοί της παρούσας μελέτης και θα συζητηθούν οι προεκτάσεις, τόσο θεωρητικές, όσο και πρακτικές, της μελέτης.

5.1 Ανάπτυξη Υπολογιστικής Σκέψης & Διάδραση με Εκπαιδευτικό Ρομπότ

Μέσω της πρώτης μελέτης προσπαθήσαμε να εισάγουμε τις αρχές της ενσώματης μάθησης στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής. Πραγματοποιώντας μια σειρά από ενσώματες δραστηριότητες ρομποτικής διδάξαμε υπολογιστικές έννοιες στους μαθητές και παράλληλα εξετάσαμε τις υπολογιστικές πρακτικές και αντιλήψεις τους. Δώσαμε στους μαθητές ένα πρόβλημα με συγκεκριμένες απαιτήσεις: να δημιουργήσουν μια εφαρμογή, με την οποία ο χρήστης θα μπορεί να καθοδηγήσει από απόσταση ένα ρομπότ μέσα σε μια πίστα, ώστε να χτυπήσει, με το ρομποτικό χέρι, ένα αντικείμενο τοποθετημένο σε προκαθορισμένο σημείο. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να επιλύσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα προγραμματίζοντας τις κατάλληλες διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ αλλά με διαφορετικά επίπεδα σωματοποίησης ανάλογα με τις υπολογιστικές τους ικανότητες και προτιμήσεις τους.

5.1.1 Συμβολή της Σωματοποίησης στη Μάθηση

Γενικά, παρά το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες ανέφεραν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση όσον αφορά στις προγραμματιστικές τους ικανότητες μετά τη διδακτική παρέμβαση, τα ποσοτικά δεδομένα έδειξαν ότι η παρούσα παρέμβαση δεν προκάλεσε σημαντική αλλαγή στις υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών (Πίνακας 5). Συνεπώς, δεν επιβεβαιώθηκε, πλήρως, η πρώτη ερευνητική υπόθεση που αφορούσε την πρόθεση. Το συγκεκριμένο εύρημα μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι οι μαθητές δε συμμετείχαν εθελοντικά στις δραστηριότητες αλλά επιλέχθηκαν τυχαία. Θα πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι η παρούσα διδακτική παρέμβαση είχε σχετικά μικρή χρονική διάρκεια. Σύμφωνα με τον Witherspoon et al. [2018], απαιτείται σημαντικός χρόνος για να αλλάξουν ριζικά οι απόψεις και τα κίνητρα των μαθητών. Παρόλα αυτά, είναι ενθαρρυντικό το γεγονός ότι η παρούσα ρομποτική εμπειρία ώθησε τους μαθητές να αποκτήσουν μια νέα αντίληψη για τον εαυτό τους και τον τεχνολογικό κόσμο που τους περιβάλλει.

Ίσως το σημαντικότερο εύρημα που μπορεί να διεξαχθεί από την παρούσα μελέτη είναι η συσχέτιση ανάμεσα στα επίπεδα σωματοποίησης και στην ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών. Η ανάλυση έδειξε ότι οι συμμετέχοντες που ανέπτυξαν συνδυασμούς διεπαφών χαμηλής σωματοποίησης (πολυτροπικές ή αφής) ή διεπαφές με καθόλου σωματοποίηση (αυτόνομη κίνηση του ρομπότ) δημιούργησαν πιο προηγμένα έργα και υιοθέτησαν πιο προχωρημένες υπολογιστικές πρακτικές κατά τη διάρκεια της τελικής δραστηριότητας επίλυσης προβλήματος. Από την άλλη μεριά, οι μαθητές που προγραμματίσαν διεπαφές με υψηλό επίπεδο σωματοποίησης (κινήσεις ολόκληρου σώματος), όχι μόνο δημιούργησαν τα λιγότερο εξελιγμένα έργα αλλά επέδειξαν και τις λιγότερο προχωρημένες υπολογιστικές πρακτικές. Συμπερασματικά, φαίνεται ότι οι αρχάριοι μαθητές προτίμησαν τον προγραμματισμό διεπαφών με μεγάλα επίπεδα σωματοποίησης, ενώ το αντίθετο συνέβη για τους προχωρημένους μαθητές. Συνεπώς, δεν επιβεβαιώθηκε η δεύτερη ερευνητική υπόθεση που αφορούσε την κατανόηση.

Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω εύρημα μπορεί να διεξαχθεί από μελέτες της ενσώματης μάθησης στο πεδίο των Μαθηματικών [Tran et al. 2017]. Συγκεκριμένα, η χρήση των δακτύλων για διεργασίες αρίθμησης και υπολογισμού αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση ενσώματης μάθησης, με την ονομασία «ενσώματη αρίθμηση» (“embodied numerosity”) [Moeller et al. 2012]. Για παράδειγμα, είναι σύνθητες φαινόμενο οι αρχάριοι μαθητές, όταν εμπλέκονται σε αφηρημένες αριθμητικές διεργασίες, να χρησιμοποιούν τα δάχτυλα τους. Με αυτό τον τρόπο υποβοηθούν τις γνωστικές λειτουργίες μέσω σωματικών ενεργειών, μειώνοντας έτσι το «γνωστικό φορτίο» (“cognitive load”) που τους επιβάλλεται. Ωστόσο, καθώς η γνώση – εμπειρία του μαθητή αυξάνεται, οι νοητικές αναπαραστάσεις γίνονται ολοένα και περισσότερο αφηρημένες και απλουστευμένες [Paas et al. 2004; Rouw et al. 2014]. Άρα, οι προχωρημένοι μαθητές επεξεργάζονται τις πληροφορίες με έναν τρόπο λιγότερο σωματοποιημένο.

Είναι πιθανόν να έχουμε γίνει μάρτυρες ενός παρόμοιου φαινομένου στο πεδίο της ΥΣ. Ειδικότερα, παρατηρούμε ότι οι αρχάριοι μαθητές προτίμησαν τον προγραμματισμό διεπαφών με υψηλό επίπεδο σωματοποίησης, ενώ οι πιο προχωρημένοι κινήθηκαν προς μια πιο αφηρημένη και μη σωματοποιημένη ΥΣ. Μερικοί ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης συσχετίζονται με καλύτερες μαθησιακές επιδόσεις, ενώ κάποιοι άλλοι υποστηρίζουν το αντίθετο: ότι μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση του γνωστικού φορτίου και άρα σε χειρότερες γνωστικές επιδόσεις [Skulmowski & Rey 2018]. Φαίνεται ότι στην προκειμένη περίπτωση τα μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης επέτρεψαν στους αρχάριους μαθητές να αναπαραστήσουν με το σώμα τους τις υπολογιστικές έννοιες

υποβοηθώντας έτσι τις νοητικές λειτουργίες μέσω του αντιληπτικού τους συστήματος. Καθώς οι γνώσεις-εμπειρίες των μαθητών αυξάνονταν η ανάγκη να αναπαραστήσουν τις υπολογιστικές έννοιες μέσω δραστηριότητας υψηλής σωματοποίησης ελαττώθηκε και η ΥΣ έγινε πιο διανοητική και αφηρημένη. Συμπερασματικά, καθώς η νοητική ικανότητα αναπτύσσεται τα παιδιά ωθούνται από την ενσώματη, στην οπτική και τέλος στη συμβολική διάσταση [Bruner 1966; Kay 2010; McLeod 2018].

Ωστόσο, υπάρχει μια ακόμα πιθανή εξήγηση για το συγκεκριμένο εύρημα. Παρόλο που προσπαθήσαμε να διατηρήσουμε μια ισορροπία ανάμεσα στις διαφορετικές συνθήκες του πειράματος, κάθε διεπαφή έχει συγκεκριμένες αντιληπτές δυνατότητες που μπορεί να επηρεάζουν την ικανότητα ενός ατόμου να επιτελέσει στο έπακρο συγκεκριμένες εργασίες [Card et al. 1978; Zhai et al. 1996]. Ειδικότερα, οι περισσότεροι σωματοποιημένες διεπαφές απαιτούν επιπρόσθετο κινητικό – γνωστικό συντονισμό και την εμπλοκή μεγαλύτερων μυϊκών ομάδων [Zhai et al. 1996]. Η επιπλέον προσπάθεια, για να επιτευχθεί επαρκής αισθητηριοκινητική ακρίβεια για τον έλεγχο του ρομπότ, μπορεί να πρόσθεσε μεγαλύτερο γνωστικό φορτίο στους μαθητές [Skulmowski et al. 2016], επηρεάζοντας την ικανότητά τους ν' αναπτύξουν ένα πιο εξελιγμένο πρόγραμμα. Με άλλα λόγια, η «ευχρηστία» της διεπαφής μπορεί να είχε αντίκτυπο στην απόδοση των μαθητών στην ΥΣ.

Δεδομένης της αμφιλεγόμενης φύσης του συγκεκριμένου ευρήματος, είναι απαραίτητη περαιτέρω έρευνα στο μέλλον, που θα μας εξασφαλίσει μια οριστική εξήγηση γιατί τα υψηλότερα επίπεδα σωματοποίησης οδηγήσαν σε έργα με μικρότερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

5.2 Ανάπτυξη Επιστημονικής Σκέψης & Διάδραση με Εκπαιδευτικό Ρομπότ

Μέσω της δεύτερης μελέτης προσπαθήσαμε να εισάγουμε τις αρχές της ενσώματης μάθησης στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής. Πραγματοποιώντας μια ενσώματη δραστηριότητα εκπαιδευτικής ρομποτικής προσπαθήσαμε να διδάξουμε στους μαθητές την επιστημονική έννοια της τριβής. Αρχικά, ζητήσαμε από τους μαθητές να τροποποιήσουν, μέσω προγραμματισμού, μια διεπαφή ανθρώπου-ρομπότ. Στη συνέχεια, τους ζητήσαμε να εκτελέσουν ενέργειες, μέσω της αφής ή των χειρονομιών, σε μια κινητή συσκευή και να παρατηρήσουν το αποτέλεσμα των ενεργειών τους στην κίνηση ενός εικονικού ή φυσικού ρομπότ.

5.2.1 Ισορροπώντας Συνάφεια με Οικειότητα

Καθώς μας ενδιέφερε ο μαθησιακός αντίκτυπος των διαφορετικών τρόπων ενσώματης αλληλεπίδρασης, υποθέσαμε ότι οι μαθητές που θα χρησιμοποιήσουν χειρονομίες για να θέσουν σε κίνηση ένα εικονικό ρομπότ ή φυσικό ρομπότ, θα αποκτήσουν περισσότερες επιστημονικές γνώσεις τριβής σε σχέση με εκείνους που θα χρησιμοποιήσουν την αφή (*Ερευνητική Υπόθεση 1*). Συνήθως, όταν θέλουμε να θέσουμε σε κίνηση ένα αντικείμενο στον πραγματικό κόσμο χρησιμοποιούμε κάποια χειρονομία. Έτσι η χειρονομία tilt θεωρήθηκε πιο συμβατή με το προς μάθηση αντικείμενο. Επιπλέον, η μεγαλύτερη αισθητηριοκινητική ενεργοποίηση [Johnson-Glenberg et al. 2016], που απαιτείται για την κίνηση του tablet με χρήση χειρονομίας, θεωρήθηκε ότι θα έχει μεγαλύτερο γνωσιακό αντίκτυπο από το ακούμπημα της οθόνης του tablet με τα δάκτυλα. Ωστόσο, τα ευρήματα της παρούσας μελέτης δεν επαλήθευσαν τη συγκεκριμένη υπόθεση, καθώς η ανάλυση έδειξε ότι η μέση γνωστική βελτίωση ήταν μεγαλύτερη στις συνθήκες με την απτική αλληλεπίδραση ($Mdn = 2.54$), σε σχέση με τις συνθήκες με αλληλεπίδραση μέσω χειρονομιών ($Mdn = 1.96$). Παρόλα αυτά, δεν υπήρξε σημαντική στατιστική διαφορά στον γνωσιακό αντίκτυπο, εξαιτίας του τρόπου αλληλεπίδρασης.

Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω εύρημα είναι ότι οι μαθητές είναι περισσότερο εξοικειωμένοι με τις οθόνες αφής και τις απτικές διεπαφές, όταν αλληλεπιδρούν με μια κινητή συσκευή, συγκριτικά με τη χρήση μιας διεπαφής που βασίζεται στον αισθητήρα επιτάχυνσης. Πέρα από τις προηγούμενες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες με το μαθησιακό περιεχόμενο [Han 2013], η οικειότητα των μαθητών με τις κινητές συσκευές είναι πιθανόν να επηρεάζει την ανάπτυξη της ΕΣ. Σε αυτό συνηγορεί και το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες βρήκαν την απτική διεπαφή σημαντικά πιο εύκολη στη χρήση. Οι χειρονομίες απαιτούν επιπρόσθετο αισθητηριοκινητικό συντονισμό και την εμπλοκή μεγαλύτερων μυϊκών ομάδων [Zhai et al. 1996]. Η επιπλέον προσπάθεια για να επιτευχθεί επαρκής αισθητηριοκινητική ακρίβεια για τον έλεγχο του ρομπότ μπορεί να πρόσθεσε μεγαλύτερο γνωστικό φορτίο στους μαθητές [Skulmowski et al. 2016], επηρεάζοντας τη διεργασία κατανόησης της έννοιας της τριβής. Άλλωστε, οι αντιληπτές δυνατότητες συγκεκριμένων συσκευών εισόδου επηρεάζουν την ικανότητα ενός ατόμου να επιτελέσει στο έπακρο συγκεκριμένες εργασίες [Card et al. 1978; Zhai et al. 1996]. Το συγκεκριμένο εύρημα συμβαδίζει με ευρήματα από προηγούμενες έρευνες, που προωθούν την άποψη ότι τα μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης μπορεί να οδηγήσουν σε χαμηλότερες μαθησιακές επιδόσεις [Skulmowski et al. 2016; Song et al. 2014]. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα

στη συνάφεια της χειρονομίας και την οικειότητα που έχουν οι μαθητές με μια διεπαφή ανθρώπου-υπολογιστή, ώστε να ενθαρρύνουμε την ανάπτυξη της ΕΣ.

5.2.2 Συμβολή της Υλικότητας στη Μάθηση

Η χρήση ενός εικονικού ή ενός φυσικού ρομπότ για τον εμπλουτισμό της εκπαιδευτικής διαδικασίας αποτέλεσε μια επιπλέον πτυχή της παρούσας μελέτης. Υποθέσαμε ότι η χρήση ενός φυσικού ρομπότ θα ήταν πιο αποτελεσματική, όσον αφορά στη μεταφορά επιστημονικής γνώσης από ό,τι η χρήση ενός εικονικού (*Ερευνητική Υπόθεση 2*). Η στατιστική ανάλυση, όντως, έδειξε ότι τα μαθησιακά οφέλη στις φυσικές συνθήκες ήταν σημαντικά περισσότερα απ' ό,τι στις εικονικές συνθήκες. Το εύρημα αυτό δε συμβαδίζει με ευρήματα από προηγούμενες μελέτες, που έχουν δείξει ότι η χρήση εικονικών απτικών υλικών είναι περισσότερο ή εξίσου αποτελεσματική μαθησιακά με τη χρήση φυσικών απτικών υλικών [Han 2013; Triona & Klahr 2015; Zacharia & Olymriou 2011]. Ωστόσο, έρχεται σε συμφωνία με ευρήματα από προηγούμενες έρευνες, που έχουν τονίσει τη σημασία των ψηφιακών απτικών αντικειμένων στη διαδικασία μάθησης [Resnick et al. 1996; Zuckerman & Gal-Oz 2013]. Επιπλέον, οι φυσικές συνθήκες ωφέλησαν περισσότερο τους μαθητές που είχαν παρανοήσεις ή περιορισμένες αρχικές γνώσεις για την τριβή. Αυτό το εύρημα είναι σύμφωνο με τις απόψεις του Zacharia et al. [2012], ότι η υλικότητα έχει σημαντικό αντίκτυπο μόνο σε μαθητές με λανθασμένες πρότερες γνώσεις. Για τους μαθητές με σωστές πρότερες γνώσεις, ο χειρισμός φυσικών υλικών είναι εξίσου αποδοτικός με το χειρισμό εικονικών στην κατανόηση αφηρημένων επιστημονικών εννοιών.

Το ερώτημα που εύλογα τίθεται είναι γιατί οι φυσικές συνθήκες ήταν πιο αποτελεσματικές από τις εικονικές. Η απάντηση δε βρίσκεται μόνο στην υλική φύση του ρομπότ, αλλά και στις αντιληπτές δυνατότητες του περιβάλλοντος, εικονικού ή φυσικού, μέσα στο οποίο ενεργεί το ρομπότ. Παρόλο που θελήσαμε να δημιουργήσουμε μια εικονική προσομοίωση, όσο το δυνατόν όμοια με τη φυσική αναπαράσταση, κάποιες από τις αντιληπτές δυνατότητες του πραγματικού κόσμου δεν ήταν δυνατόν να συμπεριληφθούν. Ειδικότερα, ήταν αδύνατο να συμπεριληφθούν στην εικονική προσομοίωση, ιδιότητες όπως η πραγματική «όψη και αίσθηση» της επιφάνειας των δύο διαδρομών, που κινήθηκαν τα ρομπότ, ή η αίσθηση του βάρους του ρομπότ [Zacharia et al. 2012]. Έτσι, το μοντέλο της προσομοίωσης ήταν ως ένα βαθμό απλοποιημένο. Ως αποτέλεσμα στις φυσικές συνθήκες οι αρχάριοι μαθητές είχαν καλύτερη πρόσβαση στην παρατήρηση, καθώς οι πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες τους ανάδειξαν πολύπλευρες πτυχές του προς μάθηση αντικειμένου [Jaakkola et al. 2011]. Ίσως οι εικονικές συνθήκες να ήταν περισσότερο ή εξίσου ωφέλιμες μαθησιακά, αν είχαμε προσαρμόσει το εικονικό μοντέλο έτσι, ώστε να

παρείχαμε στους συμμετέχοντες μια ολοκληρωμένη εικόνα του υποκείμενου επιστημονικού μηχανισμού [Jaakkola et al. 2011].

5.3 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί των δύο ερευνών καλύπτουν μια ευρεία γκάμα θεμάτων, που σχετίζονται με τη γενίκευση των αποτελεσμάτων σε διαφορετικούς πληθυσμούς και περιβάλλοντα, καθώς και με προεκτάσεις που έχουν να κάνουν με τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων.

Ειδικότερα, ένας από τους περιορισμούς της παρούσας μελέτης είναι το σχετικά μικρό δείγμα, που δεν επέτρεψε τη χρήση παραμετρικών στατιστικών διαδικασιών. Στην πρώτη έρευνα, συμμετείχαν 36 μαθητές και μαθήτριες και αναλύθηκαν 18 έργα, εφόσον οι συμμετέχοντες εργάστηκαν σε ζεύγη. Στη δεύτερη έρευνα, συμμετείχαν 14 μαθητές και μαθήτριες σε κάθε μια από τις τέσσερις συνθήκες και συνολικά 56 συμμετέχοντες. Ο βασικός λόγος για το περιορισμένο δείγμα ήταν το γεγονός ότι οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικές σχολικές συνθήκες. Οι δραστηριότητες υλοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του κανονικού ωρολογίου προγράμματος των σχολείων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν χρονικοί περιορισμοί στην ολοκλήρωσή τους.

Δεύτερον, οι έρευνες διεξήχθησαν με συγκεκριμένο πληθυσμό και σε συγκεκριμένο πεδίο. Η πρώτη έρευνα, αφορούσε μαθητές της τρίτης τάξης του Γυμνασίου, ενώ η δεύτερη αφορούσε μαθητές της πέμπτης τάξης του Δημοτικού. Επίσης, η πρώτη έρευνα έγινε στα πλαίσια του μαθήματος της Πληροφορικής, ενώ στη δεύτερη υπήρξε συνέργεια ανάμεσα στα μαθήματα της Πληροφορικής και της Φυσικής. Εξαιτίας αυτών των περιορισμών, υπάρχει μια δυσκολία στο να γενικευτούν τα ευρήματα σε διαφορετικούς πληθυσμούς και σε άλλα γνωστικά πεδία.

Ένας τρίτος περιορισμός αφορούσε τον τρόπο αξιολόγησης των γνώσεων που απέκτησαν οι μαθητές κατά τη διάρκεια των διδακτικών παρεμβάσεων. Στην πρώτη έρευνα, στην προσπάθειά μας να αξιολογήσουμε την ευχέρεια των συμμετεχόντων στη χρήση συγκεκριμένων υπολογιστικών εννοιών μελετήσαμε κυρίως τα τελικά τους έργα. Παρόλο που αυτός ο τρόπος αξιολόγησης θεωρείται αξιόπιστος [Grover 2017], κάποιοι ερευνητές έχουν κριτική στάση απέναντί του, θεωρώντας ότι οι μαθητές μπορεί να επαναχρησιμοποιούν κώδικα χωρίς απαραίτητα να έχουν κατανοήσει πλήρως την λειτουργικότητα του [Brennen & Resnick 2012; Dorn et al. 2007]. Η Werner et al. [2015] υπερασπίζεται αυτή τη μέθοδο αξιολόγησης έναντι της κριτικής, υποστηρίζοντας ότι η ικανότητα των μαθητών να αναμειγνύουν τον κώδικα, που αντέγραψαν προηγουμένως και να τον προσαρμόζουν κατάλληλα, ώστε να λειτουργήσει σ' ένα νέο περιβάλλον, αποτελεί μια έγκυρη και αξιόπιστη ένδειξη των γνώσεων τους. Παρόλα αυτά, καθώς

καμία μέθοδος αξιολόγησης δεν είναι από μόνη της επαρκής, εξετάσαμε επιπρόσθετα και τις υπολογιστικές πρακτικές των μαθητών, για ν' αποκτήσουμε μια πιο ολοκληρωμένη άποψη των γνώσεων τους. Ενώ όλοι οι κώδικες για την κωδικοποίηση των υπολογιστικών πρακτικών έχουν καθοριστεί επακριβώς από τους Brennen & Resnick [2012], τόσο η χειροκίνητη αξιολόγηση των έργων των μαθητών, όσο και η ανάλυση της καταγεγραμμένης στις οθόνες δραστηριότητας των μαθητών, ήταν μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία. Για να είναι αποδοτικός ο συγκεκριμένος τρόπος αξιολόγησης σε μεγαλύτερη κλίμακα, κρίνεται απαραίτητη η χρήση κατάλληλων εργαλείων για την αυτόματη αξιολόγηση των υπολογιστικών δεξιοτήτων των μαθητών [Moreno-León et al. 2015]. Όσον αφορά στη δεύτερη έρευνα, ο τρόπος αξιολόγησης που χρησιμοποιήθηκε (ερωτηματολόγια πολλαπλής επιλογής) μπορεί να μην ήταν αρκετά ευαίσθητος στο να μετρήσει επαρκώς τις γνώσεις των μαθητών για την τριβή. Για την αξιολόγηση των αποκτηθεισών γνώσεων, είναι απαραίτητο να υιοθετηθούν τρόποι αξιολόγησης προσανατολισμένοι στην ενσώματη προοπτική [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013]. Επιπλέον, δε μετρήσαμε τα μακροχρόνια μαθησιακά οφέλη των διδακτικών παρεμβάσεων, παρά το γεγονός ότι υπάρχουν ενδείξεις [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013], οι οποίες δείχνουν ότι οι συνθήκες με μεγάλο επίπεδο σωματοποίησης οδηγούν σε σημαντικά μακροχρόνια μαθησιακά οφέλη.

Ένας τέταρτος περιορισμός αφορούσε τη δομή των δραστηριοτήτων. Στην πρώτη έρευνα, οι συμμετέχοντες ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη μόνο τριών προγραμματιστικών μηχανικών στοιχείων: το μηχανισμό πλοήγησης του ρομπότ, το μηχανισμό ενεργοποίησης του ρομποτικού χεριού και το μηχανισμό ελέγχου ταχύτητας. Το γεγονός αυτό μπορεί να επηρέασε τη δημιουργικότητά τους και, συνεπώς, μπορεί να περιόρισε τη δυνατότητα των μαθητών να αναπτύξουν πιο εξελιγμένα προγράμματα. Στη δεύτερη έρευνα, οι συμμετέχοντες δεν είχαν τη δυνατότητα να «νιώσουν» άμεσα με το σώμα τους τις φυσικές δυνάμεις που εμπλέκονταν στο υπό παρατήρηση φυσικό φαινόμενο. Η παρατήρηση ενός αντικείμενου να γλιστρά πάνω σε μια επιφάνεια από μονή της, δε συνεπάγεται την πλήρη κατανόηση του μηχανισμού που κρύβεται πίσω από την τριβή. Ωστόσο, θεωρήσαμε ότι οι μαθητές θα μπορούσαν να κατανοήσουν τη γενική αρχή που διέπει το συγκεκριμένο φαινόμενο, μέσω της παρατήρησης των αποτελεσμάτων των ενεργειών τους. Ίσως μια προσέγγιση άμεσης ή επαυξημένης σωματοποίησης, κατά την οποία οι μαθητές θα είχαν τη δυνατότητα να νιώσουν την τριβή αλληλεπιδρώντας με ολόκληρο το σώμα τους θα είχε πιο σημαντικά μαθησιακά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, η παρατήρηση μπορεί και αυτή να παράγει ενσώματη μάθηση [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013].

Συνεπώς, οι παραπάνω περιορισμοί περιορίζουν σε κάποιο βαθμό τη δυνατότητα να γενικεύσουμε τα ευρήματα της παρούσας διδακτορικής έρευνας.

5.4 Θεωρητικές & Εκπαιδευτικές Προεκτάσεις

Είναι φανερό ότι η σωματοποίηση αποτελεί το μέσο για πιο αποτελεσματική μάθηση και συνεπώς η υιοθέτηση βέλτιστων εκπαιδευτικών πρακτικών απαιτεί από τους εκπαιδευτικούς να είναι ενημερωμένοι για την τρέχουσα έρευνα στο πεδίο της ενσώματης μάθησης [Shapiro & Stolz 2018]. Όσον αφορά στα ευρήματα της παρούσας διατριβής, είναι σημαντικά στον τομέα της ενσώματης νόησης και κατ' επέκταση στην εφαρμογή των αρχών της στον τομέα της εκπαίδευσης. Μέσω των δύο ερευνών, κατέστη δυνατή η εφαρμογή των θεωρητικών θεμελίων της ενσώματης νόησης στο τυπικό σχολικό περιβάλλον παρέχοντας κατευθυντήριες γραμμές για το πώς η θεωρία αυτή μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη.

Προηγούμενες έρευνες στο πεδίο της ενσώματης μάθησης και διδασκαλίας έχουν αξιοποιήσει διαφορετικές πτυχές της σωματοποιημένης προοπτικής με στόχο τη μελέτη της συμβολής της δράσης, της αντίληψης και του περιβάλλοντος στη μάθηση. Ειδικότερα, καλά παγιωμένες εκπαιδευτικές πρακτικές, καλούσαν τους μαθητές είτε να αναπαραστήσουν με το σώμα τους το εκπαιδευτικό υλικό (άμεση σωματοποίηση) είτε να χειριστούν και να παρατηρήσουν έναν εξωτερικό φυσικό ή εικονικό αντιπρόσωπο (σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου). Ωστόσο, με την παρούσα προσέγγιση, οι μαθητές κλήθηκαν αρχικά να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ και, στη συνέχεια, να αλληλεπιδράσουν από απόσταση με το ρομπότ, με τρόπο που οι ενσώματες ενέργειές τους να μετασχηματίζονται σε κινήσεις του ρομπότ. Συνεπώς, υιοθετήσαμε μια μορφή της σωματοποίησης μέσω αντιπροσώπου, που αφορούσε το χειρισμό των ρομπότ από απόσταση, κατά την οποία το ρομπότ έπαιζε το ρόλο του αντιπροσώπου.

Πρώτον, εντός του πλαισίου της επιστήμης των υπολογιστών, τα ευρήματα από την πρώτη έρευνα παρέχουν σημαντικές κατευθύνσεις για τον τρόπο που μπορούν να διδαχτούν οι αφηρημένες υπολογιστικές έννοιες σε μαθητές Γυμνασίου σ' ένα τυπικό σχολικό περιβάλλον. Για τους εκπαιδευτικούς οι οποίοι επιθυμούν να υλοποιήσουν μια ενσώματη προσέγγιση διδασκαλίας, τα ευρήματα δείχνουν ότι ο σχεδιασμός και η ένταξη στην εκπαιδευτική διαδικασία ενσώματων δραστηριοτήτων με διαβαθμισμένα επίπεδα σωματοποίησης, μπορούν να παρέχουν τις κατάλληλες ευκαιρίες μάθησης σε όλους τους μαθητές, ανεξάρτητα από το νοητικό τους επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο θα δίνεται η δυνατότητα στους αρχάριους μαθητές να αισθανθούν και νιώσουν με το

σώμα τους τις διδασκόμενες αφηρημένες υπολογιστικές έννοιες, ενώ οι πιο προχωρημένοι θα μπορούν να προχωρήσουν σε πιο αφηρημένα στάδια της ΥΣ.

Δεύτερον, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψιν την ευχρηστία της διεπαφής ανθρώπου-υπολογιστή, μέσω της οποίας, άλλωστε, ο εκπαιδευόμενος έχει πρόσβαση στο εκπαιδευτικό υλικό. Σίγουρα, οι διεπαφές ολόκληρου σώματος παρέχοντας πλουσιότερες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες, είναι περισσότερο ελκυστικές στους μαθητές. Ωστόσο, η πρόσθετη αισθητηριοκινητική προσπάθεια, όπως φάνηκε από τα ευρήματα της πρώτης έρευνας, μπορεί να έχει αντίκτυπο στη μαθησιακή απόδοση. Συνεπώς, θα πρέπει να υπάρξει ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην ελκυστικότητα της διεπαφής και του γνωσιακού οφέλους, που προσφέρουν οι πλούσιες αισθητηριακές αλληλεπιδράσεις με εκπαιδευτικά ρομπότ.

Τρίτον, τα ευρήματα από τη δεύτερη έρευνα μας παρέχουν σημαντικές κατευθύνσεις για τον τρόπο που μπορούν να διδαχθούν οι αφηρημένες επιστημονικές έννοιες σε μαθητές Δημοτικού σ' ένα τυπικό σχολικό περιβάλλον και για το πώς μπορούν να εφαρμοστούν οι αρχές της ενσώματης διδακτικής προσέγγισης στο πεδίο της STEM εκπαίδευσης. Συγκεκριμένα, οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να ενθαρρυνθούν να σχεδιάσουν και να εισάγουν ενσώματες δραστηριότητες στις τάξεις τους, με τις οποίες ο εκπαιδευόμενος θα έχει τη δυνατότητα να αλληλεπιδράσει με διάφορους τύπους (ψηφιακούς ή εικονικούς) απτικών αντικειμένων μάθησης, όπως ρομπότ και κινητές συσκευές και με διάφορους τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, όπως αφή, χειρονομίες, κινήσεις ολόκληρου σώματος και ομιλία. Ωστόσο, πέρα από τη συνάφεια της χειρονομίας με το προς μάθηση υλικό, μια ακόμα παράμετρος που θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί να λαμβάνουν σοβαρά υπόψιν τους κατά το σχεδιασμό ενσώματων δραστηριοτήτων, είναι η οικειότητα του μαθητή με τη διεπαφή, μέσω της οποίας άλλωστε αποκτάει πρόσβαση στο εκπαιδευτικό υλικό.

Τέταρτον, στο πεδίο της εκπαιδευτικής ρομποτικής, οι παρούσες διδακτικές παρεμβάσεις μας παρέχουν εναλλακτικούς παιδαγωγικούς τρόπους για την αξιοποίηση των εκπαιδευτικών ρομπότ στις σχολικές τάξεις και στα εργαστήρια ρομποτικής. Από τη στιγμή που ο Papert [1980] παρουσίασε τη γλώσσα προγραμματισμού Logo και τη ρομποτική χελώνα, συντελείται μια σημαντική ερευνητική προσπάθεια, η οποία έχει ως στόχο την επινόηση νέων εκπαιδευτικών ρομποτικών τεχνολογιών και την ανάπτυξη νέων καινοτόμων παιδαγωγικών μεθόδων. Στις μέρες μας, ο ρόλος των εκπαιδευτικών ρομπότ δεν είναι απλά να σχεδιάζουν τριγωνομετρικά σχήματα. Εξοπλισμένα με πολυάριθμους αισθητήρες και κινητήρες, που τους επιτρέπουν να αλληλεπιδράσουν με το περιβάλλον, μπορούν να κινηθούν αυτόνομα στο περιβάλλον, εκτελώντας διάφορες εργασίες, εφόσον προγραμματιστούν

κατάλληλα. Μια πτυχή, η οποία συχνά όμως παραλείπεται, ήταν η αλληλεπίδραση ανάμεσα στον μαθητευόμενο και το ρομπότ. Προηγούμενες ενσώματες προσεγγίσεις στον τομέα της εκπαιδευτικής ρομποτικής, προωθούσαν είτε τη φυσική αναπαράσταση των βημάτων επίλυσης ενός προβλήματος, κατά την οποία ο μαθητής εκτελούσε με το σώμα του τις κινήσεις του ρομπότ (άμεση σωματοποίηση), πριν να προχωρήσει στη δημιουργία του τελικού προγράμματος, είτε το χειρισμό ενός εξωτερικού αντιπροσώπου, όπου ο μαθητής παρατηρούσε το δάσκαλο ή κάποιον άλλον μαθητή να εκτελεί τις κινήσεις του ρομπότ (σωματοποίηση μέσω αντιπροσώπου), πριν τη φάση του προγραμματισμού [Fadjo 2012; Lu et al. 2011; Sung et al. 2017b]. Ωστόσο, με την παρούσα προσέγγιση οι μαθητές, προγραμματίζοντας τις κατάλληλες διεπαφές, μπορούν είτε να εναδράσουν με το σώμα τους τις υπολογιστικές έννοιες, είτε να ελέγξουν άμεσα με το σώμα τους την προσομοίωση του φυσικού φαινομένου, εκτελώντας ενέργειες, με φυσική – πραξιακή υπόσταση, για το συγχρονισμένο εξ αποστάσεως έλεγχο του ρομπότ. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να εμπνεύσει τους δασκάλους στο να προχωρήσουν στην υλοποίηση καινοτόμων ρομποτικών δραστηριοτήτων, με μια ενσώματη προοπτική, με την οποία η παραδοσιακή αυτόνομη κίνηση του ρομπότ στο περιβάλλον συνδυάζεται με την ενσώματη διάδραση του μαθητή. Τα προγράμματα σπουδών της εκπαιδευτικής ρομποτικής μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά, όσον αφορά στο περιεχόμενο, στη συμβολή στη μάθηση και στην προσέλκυση και διατήρηση του ενδιαφέροντος των μαθητών, εάν οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες. Με αυτόν τον τρόπο, τα ρομποτικά προγράμματα σπουδών θα καταστούν πιο προσιτά και θα αποκτήσουν περισσότερο νόημα για τα παιδιά [Alimisis 2013].

Τέλος, μέσω των ευρημάτων της δεύτερης έρευνας τονίζεται ο σημαντικός ρόλος της υλικότητας του απτικού υλικού μάθησης. Ειδικότερα κάθε τύπος, φυσικός ή εικονικός, απτικού υλικού μάθησης, λόγω των διαφορετικών αντιληπτικών δυνατοτήτων του, μπορεί να προσφέρει εναλλακτικές ευκαιρίες μάθησης στους μαθητές, ανεξάρτητα από το νοητικό τους επίπεδο. Για παράδειγμα, οι λιγότερο προχωρημένοι μαθητές θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν το διαδραστικό πλούτο των υπολογιστικά επαυξημένων απτικών αντικειμένων, όπως είναι τα εκπαιδευτικά ρομπότ, ενώ οι πιο προχωρημένοι θα μπορούν να προχωρήσουν σε λιγότερο σωματοποιημένες διαδικασίες νόησης εντός ενός εικονικού περιβάλλοντος μάθησης. Άλλοι ερευνητές [Jaakkola et al. 2011] έχουν ήδη αναγνωρίσει το σημαντικό ρόλο, που μπορεί να έχει στη μάθηση, η συνέργεια ανάμεσα στα εικονικά και τα φυσικά απτικά αντικείμενα. Η συγκεκριμένη συνέργεια, όχι μόνο μπορεί να προσφέρει τις βέλτιστες αντιληπτικές δυνατότητες στους μαθητές, αλλά και να συμβάλλει στο να γεφυρωθεί το χάσμα

ανάμεσα στον πραγματικό και στον εικονικό κόσμο και συνεπώς να οδηγήσει σε βαθύτερη κατανόηση των επιστημονικών φαινομένων.

Συμπερασματικά, η παρούσα διατριβή, που διεξήχθη σε τυπικά σχολικά περιβάλλοντα με τυπικά δείγματα μαθητών, έχει σημαντικές προεκτάσεις, όσον αφορά στη διδασκαλία και τη μάθηση, ιδιαίτερα στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών και της STEM εκπαίδευσης, στοχεύοντας στην υιοθέτηση μιας ενσώματης προσέγγισης της παιδαγωγικής.

6 Συμπεράσματα

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα δοθεί μια σύντομη περιγραφή των θεωρητικών θεμελίων της ενσώματης μάθησης, ενώ παράλληλα θα γίνει μια σύνοψη των δύο ερευνών. Θα προταθούν πιθανές κατευθύνσεις για μελλοντικές έρευνες και θα διατυπωθεί το τελικό συμπέρασμα. Συνεπώς, το συγκεκριμένο κεφάλαιο αποτελείται από τις εξής ενότητες: τη σύνοψη της διατριβής, τις κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα και την ενότητα με το τελικό συμπέρασμα.

6.1 Σύνοψη της Διατριβής

Σε αυτή την εργασία, αρχικά, επιχειρήθηκε μια περιεκτική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με τη σωματοποιημένη διάσταση της νόησης. Προσπαθήσαμε να ορίσουμε την έννοια της σωματοποίησης, μέσα από την περιγραφή των πολλαπλών συνιστωσών που τη διέπουν, ενώ στη συνέχεια στρέψαμε την προσοχή μας από την ενσώματη νόηση στην ενσώματη μάθηση. Μας ενδιέφεραν, κυρίως, εκπαιδευτικές έρευνες, που έχουν υιοθετήσει αρχές της ενσώματης μάθησης και αφορούσαν την ανάπτυξη της επιστημονικής και υπολογιστικής σκέψης των μαθητών, μέσα από τον προγραμματισμό εκπαιδευτικών ρομπότ.

Το ερευνητικό πρόβλημα που πραγματεύτηκε η παρούσα διατριβή σχετίζεται με τη βελτίωση του τρόπου διδασκαλίας των αφηρημένων επιστημονικών και υπολογιστικών εννοιών. Αξιοποιώντας την εκπαιδευτική ρομποτική και υιοθετώντας αρχές της ενσώματης μάθησης διεξήγαμε δύο έρευνες σε τυπικά σχολικά περιβάλλοντα. Μέσω αυτών των ερευνών, προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε αν υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στον τρόπο αλληλεπίδρασης με ένα ρομπότ και στην ανάπτυξη της ΥΣ (πρώτη έρευνα) και της ΕΣ (δεύτερη έρευνα) των μαθητών. Οι τρόποι που χρησιμοποιήθηκαν για την εξ αποστάσεως ενσώματη αλληλεπίδραση με το ρομπότ διαφοροποιούνταν ως προς το επίπεδο σωματοποίησης, το οποίο σύμφωνα με τους Johnson-Glenberg et al. [2016] και Lindgren et al. [2016], καθορίζεται, κατά κύριο λόγο, από το βαθμό της αισθητηριοκινητικής διέγερσης, καθώς και από τη συνάφεια της χειρονομίας, που χρησιμοποιεί ο εκπαιδευόμενος, με το μαθησιακό αντικείμενο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στα επίπεδα σωματοποίησης και την ανάπτυξη της ΥΣ και της ΕΣ των μαθητών.

Στην πρώτη έρευνα, εξετάσαμε αν διάφορα επίπεδα σωματοποίησης, λόγω του διαφορετικού βαθμού αισθητηριοκινητικής διέγερσης, μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών. Σε μια σειρά από έξι δραστηριότητες προγραμματισμού εκπαιδευτικών ρομπότ τριάντα έξι μαθητές και μαθήτριες ενός Γυμνασίου κλήθηκαν να αναπτύξουν διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ για τον

απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ. Ο χρήστης της διεπαφής μπορούσε να αλληλεπιδράσει με το ρομπότ, με ποικίλους τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, όπως μέσω της αφής, της ομιλίας, χειρονομιών, ή καταδεικτικών κινήσεων ολόκληρου του σώματος. Έχοντας ως οδηγό το πλαίσιο αξιολόγησης της ΥΣ των Brennan & Resnick [2012], προσπαθήσαμε να εξετάσουμε τις υπολογιστικές πρακτικές των μαθητών, τις υπολογιστικές τους αντιλήψεις και το βαθμό κατανόησης των υπολογιστικών εννοιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές που προγραμματίσαν πολυτροπικές διεπαφές, απτικές διεπαφές ή διεπαφές με καθόλου σωματοποίηση, δημιούργησαν πιο προχωρημένα υπολογιστικά έργα και υιοθέτησαν πιο εξελιγμένες υπολογιστικές πρακτικές συγκριτικά με εκείνους που προγραμματίσαν διεπαφές ολόκληρου σώματος. Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω εύρημα είναι ότι οι αρχάριοι μαθητές προτίμησαν τον προγραμματισμό διεπαφών με υψηλό επίπεδο σωματοποίησης, ενώ οι πιο προχωρημένοι μαθητές κινήθηκαν προς μια πιο αφηρημένη και μη σωματοποιημένη ΥΣ. Μια δεύτερη εξήγηση είναι ότι οι περισσότεροι σωματοποιημένες διεπαφές, που επέτρεψαν στους μαθητές να βιώσουν πλουσιότερες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες, μπορεί να πρόσθεσαν επιπλέον γνωστικό φορτίο, επηρεάζοντας έτσι την ικανότητά τους να αναπτύξουν ένα πιο εξελιγμένο πρόγραμμα. Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι η παρέμβαση δεν επηρέασε σημαντικά τις υπολογιστικές αντιλήψεις των μαθητών, παρά το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες ανέφεραν μεγαλύτερη αυτοπεποίθηση, όσον αφορά στις προγραμματιστικές τους ικανότητες μετά τη διδακτική παρέμβαση. Τα συγκεκριμένα ευρήματα υποδηλώνουν ότι παρά την ελκυστικότητα των διεπαφών υψηλού επιπέδου σωματοποίησης θα πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία ανάμεσα στις πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες με εκπαιδευτικά ρομπότ και στο γνωσιακό όφελος που δύνανται να αποκομίσουν οι μαθητές από τη χρήση τους. Επιπλέον, είναι σημαντικό ο βαθμός της αισθητηριοκινητικής διέγερσης που απαιτείται κατά τη χρήση της διεπαφής, με στόχο την πρόσβαση στο εκπαιδευτικό υλικό, να συμβαδίζει με το γνωσιακό επίπεδο του εκπαιδευόμενου.

Στη δεύτερη έρευνα, εξετάσαμε αν η συνάφεια της χειρονομίας του εκπαιδευόμενου με το μαθησιακό αντικείμενο και η υλικότητα του διαδραστικού απτικού αντικειμένου μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη της ΕΣ των μαθητών. Σε μια δραστηριότητα προγραμματισμού εκπαιδευτικών ρομπότ, πενήντα έξι μαθητές και μαθήτριες δύο Δημοτικών σχολείων, κλήθηκαν να τροποποιήσουν, μέσω προγραμματισμού, διεπαφές ανθρώπου-ρομπότ για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ρομπότ. Ο χρήστης της διεπαφής καλούνταν να αλληλεπιδράσει με ένα εικονικό ή με ένα φυσικό ρομπότ, με δύο διαφορετικούς τρόπους ενσώματης αλληλεπίδρασης, χρησιμοποιώντας είτε

την αφή του είτε μέσω χειρονομιών. Συνεπώς, δημιουργήσαμε τέσσερις συνθήκες, ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης και την υλική υπόσταση του ρομπότ: 1) αφή-εικονική, 2) αφή-φυσική, 3) χειρονομία-εικονική και 4) χειρονομία-φυσική. Προσπαθήσαμε να αξιολογήσουμε τις επιστημονικές γνώσεις που απέκτησαν οι μαθητές από την παρατήρηση της κίνησης των ρομπότ και ειδικότερα τις γνώσεις που αποκόμισαν ως προς την έννοια της τριβής. Υποθέσαμε ότι η χρήση χειρονομίας, για να θέσουν σε κίνηση το ρομπότ, είναι ένας τρόπος αλληλεπίδρασης πιο συναφής με το μαθησιακό αντικείμενο και άρα οι μαθητές θα αποκόμιζαν περισσότερα μαθησιακά οφέλη. Επιπλέον, υποθέσαμε ότι η χρήση του φυσικού ρομπότ έναντι του εικονικού, θα τους βοηθούσε να κατανοήσουν καλύτερα την έννοια της τριβής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι πράγματι οι συνθήκες με τα φυσικά ρομπότ είχαν μεγαλύτερο μαθησιακό αντίκτυπο απ' ό,τι οι συνθήκες με τα εικονικά ρομπότ. Επιπλέον, οι συνθήκες με τα φυσικά ρομπότ, ωφέλησαν περισσότερο τους μαθητές με παρανοήσεις ή περιορισμένες αρχικές γνώσεις στο αντικείμενο της τριβής. Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω εύρημα είναι ότι στις φυσικές συνθήκες οι μαθητές είχαν καλύτερη πρόσβαση στην παρατήρηση, καθώς οι πλούσιες αισθητηριοκινητικές εμπειρίες τους με το φυσικό ρομπότ ανέδειξαν διάφορες πτυχές του προς μάθηση αντικειμένου. Αντίθετα, στις εικονικές συνθήκες το μοντέλο της προσομοίωσης ήταν ως ένα βαθμό απλοποιημένο. Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι οι μαθητές που χρησιμοποίησαν την απτική touchscreen διεπαφή, για να θέσουν σε κίνηση τα ρομπότ, αποκόμισαν παρόμοια μαθησιακά οφέλη και ανέφεραν μεγαλύτερη «ευχρηστία» (“usability”), απ' αυτούς που χρησιμοποίησαν τη διεπαφή η οποία βασιζόταν στον αισθητήρα επιτάχυνσης. Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω εύρημα είναι ότι οι μαθητές είναι περισσότερο εξοικειωμένοι με τις οθόνες αφής και τις απτικές διεπαφές, όταν αλληλεπιδρούν με μια κινητή συσκευή συγκριτικά με τη χρήση μιας διεπαφής που βασίζεται στον αισθητήρα επιτάχυνσης, γεγονός το οποίο μπορεί να επηρέασε τις επιδόσεις τους. Τα συγκεκριμένα ευρήματα δείχνουν ότι πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ της οικειότητας του μαθητή με τη χρησιμοποιούμενη διεπαφή και της συνάφειας της χειρονομίας με τις νοητικές λειτουργίες και αναπαραστάσεις της προς μάθηση επιστημονικής έννοιας.

6.2 Κατευθύνσεις για Μελλοντική Έρευνα

Τα ευρήματα από τις δύο έρευνες υποδεικνύουν μια σειρά από μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις. Στη συγκεκριμένη παράγραφο θα υπογραμμιστούν οι κύριοι τομείς όπου επιπλέον έρευνα θα μπορούσε να επεκτείνει και να ενισχύσει τα ευρήματα της παρούσας διατριβής. Ειδικότερα, θα δοθούν κατευθύνσεις σχετικά με την

εκπαίδευση στην επιστήμη των υπολογιστών, την STEM εκπαίδευση, την εκπαιδευτική ρομποτική και την πρακτική εφαρμογή της ενσώματης μάθησης στην τάξη.

6.2.1 Εκπαίδευση στην Επιστήμη των Υπολογιστών

Μελλοντικές έρευνες που αφορούν την ανάπτυξη της ΥΣ μέσω της ενσώματης αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά ρομπότ (χρήσεις πρώτης τάξης [Sullivan & Heffernan 2016]) είναι απαραίτητες, για να επιβεβαιωθούν και να γενικευτούν τα ευρήματα της πρώτης μελέτης. Απαιτείται η διενέργεια ερευνών με μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων τόσο από την πρωτοβάθμια, όσο και από τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και πρόσθετες αυθεντικές δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων. Επιπλέον, είναι απαραίτητες ανοιχτού τύπου δραστηριότητες, αφενός για να προαχθεί η δημιουργικότητα των μαθητών, αφετέρου για να τους δοθεί η δυνατότητα να αναπτύξουν πιο εξελιγμένα και περίπλοκα προγράμματα. Με αυτόν τον τρόπο, θα είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε και να αξιολογήσουμε μεγαλύτερο αριθμό προγραμματιστικών δομικών στοιχείων, μοτίβων και μηχανικών στοιχείων και έτσι θα μπορέσουμε να αποκτήσουμε μια ευρύτερη και πιο αξιόπιστη εικόνα για τις δεξιότητες ΥΣ των μαθητών.

Μια ακόμα κατεύθυνση για μελλοντικές έρευνες στο πεδίο της επιστήμης των υπολογιστών, είναι η υιοθέτηση αυτής της μορφής «ανάδρασης» (“enactment”) των υπολογιστικών εννοιών σε περιβάλλοντα μεικτής και επαυξημένης πραγματικότητας και συγκεκριμένα σε δραστηριότητες προγραμματισμού, κατά τις οποίες ο χρήστης ελέγχει εικονικούς ή φυσικούς αντιπροσώπους μέσω αλληλεπιδράσεων, με ακόμα μεγαλύτερα επίπεδα σωματοποίησης, όπως η ελεύθερη κίνηση στο χώρο. Τα δυναμικά πλεονεκτήματα ενός τέτοιου συστήματος είναι αφενός ότι η μαθησιακή διαδικασία θα έχει μεγάλο βαθμό αντιληπτικής βύθισης και αισθητηριοκινητικής διέγερσης, αφετέρου ότι η «διορθωτική ανατροφοδότηση» (“corrective feedback”) είναι άμεση και δυναμική [Fadjo 2012]. Μια τέτοια επαυξημένη σωματοποιημένη εμπειρία θα μπορούσε, πρώτον, να ανατροφοδοτεί συνεχώς τον μαθητευόμενο, παρέχοντας του στοιχεία, ώστε να διορθώσει την απόδοση του σε μια ενσώματη εργασία. Δεύτερον, μέσω της καταγραφής της ενσώματης δραστηριότητας του μαθητή, όπως για παράδειγμα τις χειρονομίες που επέλεξε να χρησιμοποιήσει, το χρόνο που αφιέρωσε σε μια διεργασία ή σε μια έννοια και το ποσοστό των σωστών σωματικών κινήσεων του, δίνεται η δυνατότητα να εξαχθούν ποιοτικά δεδομένα, τόσο για την αξιολόγηση του μαθητή, όσο και για την εξατομίκευση της μαθησιακής διαδικασίας. Άλλωστε, μια σειρά ερευνών έχουν δείξει ότι το είδος των χειρονομιών που επιλέγουν οι μαθητές δε σχετίζεται μόνο με το πόσο καλά θα αποδώσουν σε μια συγκεκριμένη νοητική εργασία, αλλά, παράλληλα σηματοδοτεί και το βαθμό εννοιολογικής σαφήνειας και κατανόησης που

κατέχουν. Με άλλα λόγια, οι χειρονομίες των μαθητών μπορούν να αξιοποιηθούν από τους εκπαιδευτικούς για την αξιολόγηση της μάθησης και τον προσδιορισμό των συνθηκών, κάτω από τις οποίες ο μαθητής είναι έτοιμος να διδαχθεί και να μάθει νέες έννοιες [Manches et al. 2019]. Από θεωρητικής πλευράς, μια υλοποίηση επαυξημένης σωματοποίησης θα μπορούσε να συμβάλλει περαιτέρω στο να κατανοήσουμε «γιατί», «πώς» και «πότε» οι εμπειρίες άμεσης σωματοποίησης έχουν μεγαλύτερα μαθησιακά οφέλη στην ανάπτυξη της ΥΣ των μαθητών. Παράλληλα, θα μας επιτρέψει να διερευνήσουμε σε βάθος τις γνωστικές διεργασίες που χρησιμοποιούν οι μαθητές, κατά τη διαδικασία μάθησης και ανάπτυξης των νοητικών τους ικανοτήτων, καθώς μεταβαίνουν από την ενσώματη διάσταση στη συμβολική.

Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν, επίσης, να επιχειρήσουν τη διαφοροποίηση των συσκευών εισόδου. Για παράδειγμα, χειροκίνητες συσκευές με ενσωματωμένους αισθητήρες κίνησης (χειριστήρια όπως το Nintendo Wii, ή το Magic Wand), joysticks με απτική ανάδραση, smartwatches, ή φορετές επαυξημένης πραγματικότητας συσκευές (smartglasses όπως τα Google Glass, ή τα Microsoft HoloLens) θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ενσώματη αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή. Επίσης, μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να εξετάσουν τη χρήση διαφορετικών συσκευών εξόδου, όπως ανθρωποειδή ρομπότ για την υλοποίηση σωματοποιημένων παρεμβάσεων μέσω αντιπροσώπου, ως μέσο διδασκαλίας αφηρημένων υπολογιστικών και επιστημονικών εννοιών.

6.2.2 Εκπαίδευση STEM

Όσον αφορά στην ανάπτυξη της ΕΣ των μαθητών μέσω της ενσώματης αλληλεπίδρασής τους με εκπαιδευτικά ρομπότ (χρήσεις δεύτερης τάξης [Sullivan & Heffernan 2016]) είναι απαραίτητη, επιπλέον, έρευνα με μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων και πρόσθετες δραστηριότητες, για να επιβεβαιωθούν και να γενικευτούν τα ευρήματα της δεύτερης μελέτης. Επιπρόσθετα, μέθοδοι αξιολόγησης περισσότερο προσανατολισμένοι στη ενσώματη προοπτική είναι αναγκαίες, για να αξιολογηθούν όχι μόνο τα βραχυπρόθεσμα, αλλά και τα μακροπρόθεσμα μαθησιακά οφέλη [Lindgren & Johnson-Glenberg 2013], καθώς και η ικανότητα των μαθητών να μεταφέρουν τις αποκτηθείσες γνώσεις σε άλλα σχετικά γνωστικά πεδία [Han 2013]. Ως μελλοντική έρευνα, θα ήταν ενδιαφέρον, επίσης, να διαχειριστούμε το γνωστικό φορτίο που επιβάλλεται στους μαθητές, ελέγχοντας τον βαθμό εξοικείωσης τους με μια συγκεκριμένη διεπαφή αλληλεπίδρασης και στη συνέχεια να εξετάσουμε τη μαθησιακή τους απόδοση.

Είναι προφανές ότι ο τηλεχειρισμός του εκπαιδευτικού ρομπότ, μέσω ενσώματων αλληλεπιδράσεων, έδωσε τη δυνατότητα στους συμμετέχοντες να ελέγξουν με ευέλικτο τρόπο την προσομοίωση του φυσικού φαινομένου, χρησιμοποιώντας καθημερινές συσκευές της αρεσκείας τους. Αυτή η μορφή σωματοποίησης μέσω αντιπροσώπου, θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, με τις οποίες ο πειραματιζόμενος διερευνά επιστημονικά φαινόμενα που δεν μπορούν να παρατηρηθούν εύκολα από κοντά. Για παράδειγμα, ο έλεγχος της συμπεριφοράς ενός ρομπότ το οποίο κινείται υποβρύχια [Phamduy et al. 2015] ή στον αέρα. Συνεπώς, μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να εξετάσουν τη χρήση διαφορετικής πλατφόρμας εξόδου, όπως φορητές συσκευές, ή drones, ως μέσο διδασκαλίας αφηρημένων επιστημονικών εννοιών, που σχετίζονται με την κίνηση στις τρεις διαστάσεις, όπως η ταχύτητα, ο προσανατολισμός και η βαρύτητα.

Πέρα από τη χρήση εικονικών ή φυσικών ρομπότ, θα ήταν ενδιαφέρουσα η υιοθέτηση μιας προσέγγισης επαυξημένης σωματοποίησης, όπου οι συμμετέχοντες θα είχαν τη δυνατότητα, σ' ένα περιβάλλον εικονικής ή μεικτής πραγματικότητας, να «νιώσουν» άμεσα τη δύναμη της τριβής, μέσω αλληλεπίδρασης ολόκληρου το σώματος. Για παράδειγμα κάνοντας skateboard σε μια εικονική ή επαυξημένη προσομοίωση. Τα πλεονεκτήματα μιας υλοποίησης επαυξημένης σωματοποίησης τονίστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και σχετίζονται τόσο με μαθησιακά οφέλη, όσο και με αποδοτικότερους και ποιοτικούς τρόπους ενσώματης αξιολόγησης των γνώσεων των μαθητών. Συνεπώς, πέρα από τις απτικές κινήσεις και την κίνηση του χεριού, είναι απαραίτητη η χρήση και άλλων τρόπων αλληλεπίδρασης, όπως της ομιλίας και κινήσεων ολόκληρου του σώματος [Malinverni & Pares 2014], για να σχηματίσουμε μια ολοκληρωμένη άποψη για τη συμβολή που έχουν οι διαφορετικοί τρόποι αλληλεπίδρασης στη μάθηση. Τέλος, σε μελλοντικές έρευνες, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή και σε μαθητές με σωματικούς περιορισμούς, παρέχοντάς τους τις κατάλληλες εξατομικευμένες συνθήκες, ώστε να μπορούν να αλληλεπιδράσουν με το μαθησιακό αντικείμενο.

6.2.3 Πρακτική Εφαρμογή στην Τάξη

Ως μελέτες πεδίου, τα ευρήματα των δύο ερευνών αποτελούν ένα έγκυρο και αξιόπιστο μέσο για το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενσώματη παιδαγωγική προσέγγιση στη διδασκαλία υπολογιστικών και επιστημονικών εννοιών σε μαθητές Γυμνασίου και Δημοτικού. Ωστόσο, ένας από βασικούς περιορισμούς της έρευνας, όπως τονίστηκε και παραπάνω, ήταν οι διαθέσιμοι ανθρώπινοι και υλικοί πόροι, που περιόρισαν τη δυνατότητα διεξαγωγής της μελέτης σε μεγαλύτερη κλίμακα και με ποικίλους πληθυσμούς συμμετεχόντων [Fadjo 2012]. Συνεπώς, επιπλέον έρευνα σε τυπικά

περιβάλλοντα μάθησης κρίνεται αναγκαία, για να διερευνηθεί η συμβολή στη μάθηση της ενσώματης αλληλεπίδρασης με εκπαιδευτικά ρομπότ.

Όσον αφορά στο περιβάλλον της τάξης, δύο είναι τα σημαντικά θέματα που συχνά απασχολούν τους εκπαιδευτικούς. Πρώτον, πώς θα καταφέρουν εύκολα και γρήγορα να διαμορφώσουν το εκπαιδευτικό περιβάλλον, αξιοποιώντας κατάλληλα τα διαθέσιμα εργαλεία μάθησης. Δεύτερον, πώς ο περιορισμένος χρόνος που είναι διαθέσιμος κατά τη διάρκεια μιας διδακτικής παρέμβασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί επαρκώς, ώστε να οδηγήσει σε βαθύτερη γνώση [Fadjo 2012]. Σίγουρα, η ενσωμάτωση διάχυτων τεχνολογιών, όπως είναι τα ρομπότ, τα έξυπνα τηλέφωνα, οι κάμερες υπολογιστικής όρασης, στην εκπαιδευτική διαδικασία απαιτεί από τους εκπαιδευτικούς την απόκτηση πρόσθετων ψηφιακών δεξιοτήτων. Επιπλέον, για να μπορέσει ένας μαθητής να κατανοήσει σε βάθος ένα γνωστικό αντικείμενο, πέρα από τη διδακτική μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί, είναι απαραίτητο να διατεθεί σημαντικός χρόνος. Μελλοντικά, λοιπόν, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου προγράμματος σπουδών, το οποίο θα μπορούσε να ανταποκριθεί επαρκώς στις παραπάνω προκλήσεις. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα σπουδών θα πρέπει να σχεδιαστεί με τρόπο, που αφενός θα στηρίζει ουσιαστικά τους εκπαιδευτικούς στην υλοποίηση ενσώματων διδακτικών παρεμβάσεων με εκπαιδευτικά ρομπότ, αφετέρου θα δίνει τη δυνατότητα στους μαθητές να εξερευνήσουν σε βάθος και σε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια τις υπό διερεύνηση αφηρημένες υπολογιστικές και επιστημονικές έννοιες.

6.3 Τελικό Συμπέρασμα

Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προσπαθήσαμε να διερευνήσουμε το ρόλο που διαδραματίζει ο προγραμματισμός ενσώματων αλληλεπιδράσεων με ρομπότ στην ανάπτυξη της ΥΣ και ΕΣ των μαθητών. Καθώς η εκπαίδευση στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών και ιδιαίτερα της εκπαιδευτικής ρομποτικής, συνεχίζει να ευδοκιμεί και να αναπτύσσεται, είναι ζωτικής σημασίας η έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στο πώς διδάσκεται στα τυπικά σχολικά περιβάλλοντα ο «υπολογισμός» και πώς οι αφηρημένες έννοιες, που είναι θεμελιώδεις στον τομέα του υπολογισμού, καθώς και σε άλλους σχετικούς τομείς, όπως των Μαθηματικών, των Φυσικών επιστημών, της Μηχανικής και της Τεχνολογίας, μπορούν να καταστούν πιο απτές και προσβάσιμες στους μαθητές [Fadjo 2012]. Με βάση τα ευρήματα της παρούσας μελέτης, καθώς και προηγούμενων ερευνών, ένας από τους αποτελεσματικότερους τρόπους, για να φέρουμε τους μαθητές σε επαφή με αφηρημένες έννοιες και να τους διδάξουμε τις βασικές αρχές της υπολογιστικής και επιστημονική σκέψης είναι μέσω της ενσώματης παιδαγωγικής προσέγγισης. Τα αποτελέσματα των δύο ερευνών υποδηλώνουν ότι η σωματοποίηση εντός της εκπαιδευτικής ρομποτικής και ειδικότερα ο

προγραμματισμός ενσώματων διεπαφών ανθρώπου-ρομπότ, μπορεί να χρησιμεύσει ως μια καινοτόμος διδακτική μέθοδος για την ανάπτυξη της ΥΣ και ΕΣ των μαθητών. Εν κατακλείδι, η παρούσα διατριβή αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς μια ενσώματη παιδαγωγική προσέγγιση αξιοποίησης των εκπαιδευτικών ρομπότ. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά ερευνητικά ερωτήματα ακόμα που πρέπει να διατυπωθούν, να διερευνηθούν και να απαντηθούν, ώστε να βελτιωθεί η διδασκαλία των αφηρημένων εννοιών εντός του πλαισίου της ενσώματης νόησης.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνική Βιβλιογραφία

Avouris, N., Katsanos, C., Tselios, N., Moustakas, K., Αβούρης, Ν., Κατσάνος, Χ., ... & Μουστάκας, Κ. (2015). Εισαγωγή στην Αλληλεπίδραση Ανθρώπου-Υπολογιστή: Οδηγός Εργαστηριακών Ασκήσεων.

Δημητριάδης, Ν. Σ. (2014). Θεωρίες Μάθησης & Εκπαιδευτικό Λογισμικό.

Ξένη Βιβλιογραφία

Abrahamson, D. (2009). Embodied design: Constructing means for constructing meaning. *Educational Studies in Mathematics*, 70(1), 27-47.

Abrahamson, D. (2014). Building educational activities for understanding: an elaboration on the embodied-design framework and its epistemic grounds. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 2(1), 1-16.

Abrahamson, D., & Bakker, A. (2016). Making sense of movement in embodied design for mathematics learning. *Cognitive research: principles and implications*, 1(1), 33.

Alibali, M. W., & Nathan, M. J. (2012). Embodiment in mathematics teaching and learning: Evidence from learners' and teachers' gestures. *Journal of the Learning Sciences*, 21(2), 247-286.

Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1), 63-71.

Allen-Conn, B. J., & Rose, K. (2003). *Powerful ideas in the classroom using squeak to enhance math and science learning*. Viewpoints Research Institute, Inc..

Amin, T. G., Jeppsson, F., & Haglund, J. (2015). Conceptual metaphor and embodied cognition in science learning: introduction to special issue.

Andres, M., Seron, X., & Olivier, E. (2007). Contribution of hand motor circuits to counting. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 563-576.

Barros-Loscertales, A., González, J., Pulvermüller, F., Ventura-Campos, N., Bustamante, J. C., Costumero, V., & Ávila, C. (2011). Reading salt activates gustatory brain regions: fMRI evidence for semantic grounding in a novel sensory modality. *Cerebral Cortex*, 22(11), 2554-2563.

Barsalou, L. W. (1999). Perceptions of perceptual symbols. *Behavioral and brain sciences*, 22(4), 637-660.

Barsalou, L. W. (2008). Grounded cognition. *Annu. Rev. Psychol.*, 59, 617-645.

Barsalou, L. W. (2010). Grounded cognition: Past, present, and future. *Topics in Cognitive Science*, 2(4), 716-724.

Bell, T., Lambert, L., & Marghitu, D. (2012, February). CS unplugged, outreach and CS kinesthetic activities. In *Proceedings of the 43rd ACM technical symposium on Computer Science Education* (pp. 676-676). ACM.

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988.

Bers, M. U. (2010). The TangibleK Robotics program: Applied computational thinking for young children. *Early Childhood Research & Practice*, 12(2), n2.

Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, 145-157.

- Black, J. B. (2010). An embodied/grounded cognition perspective on educational technology. In *New science of learning* (pp. 45-52). Springer, New York, NY.
- Boulenger, V., Hauk, O., & Pulvermüller, F. (2008). Grasping ideas with the motor system: semantic somatotopy in idiom comprehension. *Cerebral cortex*, 19(8), 1905-1914.
- Bredo, E. (1994). Reconstructing educational psychology: Situated cognition and Deweyan pragmatism. *Educational psychologist*, 29(1), 23-35.
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012, April). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 annual meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada* (Vol. 1, p. 25).
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction* (Vol. 59). Harvard University Press.
- Card, S. K., English, W. K., & Burr, B. J. (1978). Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, 21(8), 601-613.
- Casasanto, D. (2009). Embodiment of abstract concepts: good and bad in right-and left-handers. *Journal of experimental psychology: General*, 138(3), 351.
- Chan, M. S., & Black, J. B. (2006, June). Direct-manipulation animation: Incorporating the haptic channel in the learning process to support middle school students in science learning and mental model acquisition. In *Proceedings of the 7th international conference on Learning sciences* (pp. 64-70). International Society of the Learning Sciences.
- Chao, L. L., & Martin, A. (2000). Representation of manipulable man-made objects in the dorsal stream. *Neuroimage*, 12(4), 478-484.
- Clark, A. (1998). *Being there: Putting brain, body, and world together again*. MIT press.
- Clark, A. (1999). *Embodiment: From fish to fantasy*. St. Louis, MO: Washington University in St. Louis.
- Clark, A. (2008). *Supersizing the mind: Embodiment, action, and cognitive extension*. OUP USA.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *analysis*, 58(1), 7-19.
- Crawford, C. S., Gardner-McCune, C., & Gilbert, J. E. (2018, February). Brain-computer interface for novice programmers. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education* (pp. 32-37). ACM.
- Coomans, M. K., & Timmermans, H. J. (1997, August). Towards a taxonomy of virtual reality user interfaces. In *Proceedings. 1997 IEEE Conference on Information Visualization (Cat. No. 97TB100165)* (pp. 279-284). IEEE.
- Cooper, S., Dann, W., & Pausch, R. (2000). Alice: a 3-D tool for introductory programming concepts. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 15(5), 107-116.
- Cortina, T. J. (2015). Reaching a broader population of students through unplugged activities. *Communications of the ACM*, 58(3), 25-27.
- Daily, S. B., Leonard, A. E., Jörg, S., Babu, S., & Gundersen, K. (2014, March). Dancing alice: Exploring embodied pedagogical strategies for learning computational thinking. In *Proceedings of the 45th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 91-96). ACM.
- Damasio, A., Descartes' error: emotion, reason, and the human brain GP Putnam's Sons. 1994. *The somatic-marker hypothesis*, pp.165-201.

- de Koning, B. B., & Tabbers, H. K. (2011). Facilitating understanding of movements in dynamic visualizations: An embodied perspective. *Educational Psychology Review*, 23(4), 501-521.
- DeSutter, D., & Stieff, M. (2017). Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics. *Cognitive research: principles and implications*, 2(1), 22.
- Dorn, B., Tew, A. E., & Guzdial, M. (2007, September). Introductory computing construct use in an end-user programming community. In *IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC 2007)* (pp. 27-32). IEEE.
- Dourish, P. (2004). *Where the action is: the foundations of embodied interaction*. MIT press.
- Dunbar, K., & Fugelsang, J. (2005). Scientific thinking and reasoning. *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*, 705-725.
- Eguchi, A. (2014). Educational robotics for promoting 21st century skills. *Journal of Automation Mobile Robotics and Intelligent Systems*, 8(1), 5-11.
- Eguchi, A. (2016). RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 692-699.
- Engelkamp, J., & Zimmer, H. (2001). Categorical and order information in free recall of action phrases. *Psicologica*, 22(1).
- Enyedy, N., Danish, J. A., Delacruz, G., & Kumar, M. (2012). Learning physics through play in an augmented reality environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 7(3), 347-378.
- Fadjo, C. L. (2012). *Developing computational thinking through grounded embodied cognition* (Doctoral dissertation, Teachers College).
- Fadjo, C. L., Lu, M. T., & Black, J. B. (2009a, June). Instructional embodiment and video game programming in an after school program. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 4041-4046). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Fadjo, C. L., Hallman Jr, G., Harris, R., & Black, J. B. (2009b, June). Surrogate embodiment, mathematics instruction and video game programming. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 2787-2792). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Fitzgerald, S., Lewandowski, G., McCauley, R., Murphy, L., Simon, B., Thomas, L., & Zander, C. (2008). Debugging: finding, fixing and flailing, a multi-institutional study of novice debuggers. *Computer Science Education*, 18(2), 93-116.
- Frei, P., Su, V., Mikhak, B., & Ishii, H. (2000, April). Curlybot: designing a new class of computational toys. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 129-136). ACM.
- Gallagher, S., & Lindgren, R. (2015). Enactive metaphors: Learning through full-body engagement. *Educational Psychology Review*, 27(3), 391-404.
- Gallese, V., & Lakoff, G. (2005). The brain's concepts: The role of the sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive neuropsychology*, 22(3-4), 455-479.
- Garbarini, F., & Adenzato, M. (2004). At the root of embodied cognition: Cognitive science meets neurophysiology. *Brain and cognition*, 56(1), 100-106.
- Gibson, J. J. (2014). *The ecological approach to visual perception: classic edition*. Psychology Press.

- Glenberg, A. M., Gutierrez, T., Levin, J. R., Japuntich, S., & Kaschak, M. P. (2004). Activity and imagined activity can enhance young children's reading comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 96(3), 424.
- Glenberg, A. M., & Kaschak, M. P. (2002). Grounding language in action. *Psychonomic bulletin & review*, 9(3), 558-565.
- Glenberg, A. M., Sato, M., & Cattaneo, L. (2008a). Use-induced motor plasticity affects the processing of abstract and concrete language. *Current Biology*, 18(7), R290-R291.
- Glenberg, A. M., Sato, M., Cattaneo, L., Riggio, L., Palumbo, D., & Buccino, G. (2008b). Processing abstract language modulates motor system activity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(6), 905-919.
- Goldin-Meadow, S. (2015). From action to abstraction: Gesture as a mechanism of change. *Developmental review*, 38, 167-184.
- Goldstone, R. L., Landy, D., & Son, J. Y. (2008). A well grounded education: The role of perception in science and mathematics. Symbols, embodiment, and meaning, 327-355.
- González, J., Barros-Loscertales, A., Pulvermüller, F., Meseguer, V., Sanjuán, A., Belloch, V., & Ávila, C. (2006). Reading cinnamon activates olfactory brain regions. *Neuroimage*, 32(2), 906-912
- Grover, S., & Pea, R. (2013a, March). Using a discourse-intensive pedagogy and android's app inventor for introducing computational concepts to middle school students. In *Proceeding of the 44th ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 723-728). ACM.
- Grover, S., & Pea, R. (2013b). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational researcher*, 42(1), 38-43.
- Grover, S. (2017). Assessing algorithmic and computational thinking in K-12: Lessons from a middle school classroom. In *Emerging research, practice, and policy on computational thinking* (pp. 269-288). Springer, Cham.
- Han, I., & Black, J. B. (2011). Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57(4), 2281-2290.
- Han, I. (2013). Embodiment: a new perspective for evaluating physicality in learning. *Journal of Educational Computing Research*, 49(1), 41-59.
- Harel, I., & Papert, S. (1990). Software design as a learning environment. *Interactive learning environments*, 1(1), 1-32.
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.
- Hayes, J. C., & Kraemer, D. J. (2017). Grounded understanding of abstract concepts: The case of STEM learning. *Cognitive research: principles and implications*, 2(1), 7.
- Heidegger, M. (1927). *Being and Time*. English translation 1962. New York: Harper & Row.
- Horn, M. S., & Jacob, R. J. (2007, February). Designing tangible programming languages for classroom use. In *Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. 159-162). ACM.
- Howell, S. (2012). Kinect2Scratch (Version 2.5)[Computer Software].
- Husserl, E. (1970). *The crisis of European sciences and transcendental phenomenology: An introduction to phenomenological philosophy*. Northwestern University Press.

- Ishii, H. (2008, February). Tangible bits: beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction* (pp. xv-xxv). ACM.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of research in science teaching*, 48(1), 71-93.
- Jacob, R. J., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Solovey, E. T., & Zigelbaum, J. (2008, April). Reality-based interaction: a framework for post-WIMP interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 201-210). ACM.
- Johnson-Glenberg, M. C., & Megowan-Romanowicz, C. (2017). Embodied science and mixed reality: How gesture and motion capture affect physics education. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 24.
- Johnson-Glenberg, M. C., Megowan-Romanowicz, C., Birchfield, D. A., & Savio-Ramos, C. (2016). Effects of embodied learning and digital platform on the retention of physics content: Centripetal force. *Frontiers in psychology*, 7, 1819.
- Kafai, Y. B. (2006). Playing and making games for learning: Instructionist and constructionist perspectives for game studies. *Games and culture*, 1(1), 36-40.
- Kafai, Y. B., Lee, E., Searle, K., Fields, D., Kaplan, E., & Lui, D. (2014). A crafts-oriented approach to computing in high school: Introducing computational concepts, practices, and perspectives with electronic textiles. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 14(1), 1.
- Kay, A. (2010). Alan Kay on Learning and Computer Science. YouTube. (19 March 2010). Retrieved April 5, 2018 from <https://www.youtube.com/watch?v=Ud8WRAdihPg>
- Kelleher, C., & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 37(2), 83-137.
- Khan, S. A., & Black, J. B. (2014). Reactivation of multimodal representations and perceptual simulations for meaningful learning: a comparison of direct embodiment, surrogate embodiment, and imagined embodiment. Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Kim, S. H., & Jeon, J. W. (2008). Introduction for freshmen to embedded systems using LEGO Mindstorms. *IEEE transactions on education*, 52(1), 99-108.
- Kiverstein, J., Farina, M., & Clark, A. (2013). *The extended mind thesis*. Oxford University Press.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kolb, D. A. (1975). Towards an applied theory of experiential learning. *Theory s of Group Processes*, 33-58.
- Kölling, M. (2010). The greenfoot programming environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 10(4), 14.
- Kontra, C., Lyons, D. J., Fischer, S. M., & Beilock, S. L. (2015). Physical experience enhances science learning. *Psychological science*, 26(6), 737-749.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2008). *Metaphors we live by*. University of Chicago press.
- Lakoff, G., & Núñez, R. E. (2000). Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being. *AMC*, 10, 12.

- Li, D., Kang, S., Lu, C., Han, I., & Black, J. (2009, June). Case studies of developing programming skills via embodied experiences in an after-school LEGO Robotics Program for elementary school students. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 2209-2216). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Lindgren, R., & Johnson-Glenberg, M. (2013). Emboldened by embodiment: Six precepts for research on embodied learning and mixed reality. *Educational Researcher*, 42(8), 445-452.
- Lindgren, R., Tscholl, M., Wang, S., & Johnson, E. (2016). Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education*, 95, 174-187.
- Lu, C. M., Kang, S., Huang, S. C., & Black, J. B. (2011, June). Building student understanding and interest in science through embodied experiences with LEGO Robotics. In *EdMedia+ Innovate Learning* (pp. 2225-2232). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Malinverni, L., & Pares, N. (2014). Learning of abstract concepts through full-body interaction: A systematic review. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 100.
- Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., & Eastmond, E. (2010). The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 10(4), 16.
- Manches, A., McKenna, P. E., Rajendran, G., & Robertson, J. (2019). Identifying embodied metaphors for computing education. *Computers in Human Behavior*.
- Marshall, P. J. (2016). Embodiment and human development. *Child development perspectives*, 10(4), 245-250.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1987). *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. New Science Library/Shambhala Publications.
- McLeod, S. A. (2018, Feb 05). *Bruner*. Retrieved from Retrieved from <https://www.simplypsychology.org/bruner.html>
- McNerney, T. S. (2004). From turtles to Tangible Programming Bricks: explorations in physical language design. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5), 326-337.
- Melcer, E. F., & Isbister, K. (2016, May). Bridging the physical divide: a design framework for embodied learning games and simulations. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*(pp. 2225-2233). ACM.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *The Phenomenology of Perception*. English translation, 1962. London: Routledge.
- Merleau-Ponty, M. (1964). *The primacy of perception, and other essays on phenomenological psychology, the philosophy of art, history and politics* (C. Smith, Trans.). Evanston, IL: Northwestern University Press.
- Merleau-Ponty, M. (2004). *The world of perception*. Routledge.
- Millar, S. (1999). Memory in touch. *Psicothema*, 11(4).
- Minogue, J., & Borland, D. (2016). Investigating students' ideas about buoyancy and the influence of haptic feedback. *Journal of Science Education and Technology*, 25(2), 187-202.
- Mitnik, R., Recabarren, M., Nussbaum, M., & Soto, A. (2009). Collaborative robotic instruction: A graph teaching experience. *Computers & Education*, 53(2), 330-342.
- Moeller, K., Fischer, U., Link, T., Wasner, M., Huber, S., Cress, U., & Nuerk, H. C. (2012). Learning and development of embodied numerosity. *Cognitive processing*, 13(1), 271-274.

- Moreno-León, J., Robles, G., & Román-González, M. (2015). Dr. Scratch: Automatic analysis of scratch projects to assess and foster computational thinking. *RED. Revista de Educación a Distancia*, (46), 1-23.
- Monroy-Hernandez, A. (2012). *Designing for remixing: Supporting an online community of amateur creators* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Montessori, M. (1966). The secret of childhood, trans. *MJ Costello (Notre Dame, IN: Fides, 1966), 20*.
- Nemirovsky, R., Rasmussen, C., Sweeney, G., & Wawro, M. (2012). When the classroom floor becomes the complex plane: Addition and multiplication as ways of bodily navigation. *Journal of the Learning Sciences*, 21(2), 287-323.
- Oviatt, S., Cohen, A., Miller, A., Hodge, K., & Mann, A. (2012). The impact of interface affordances on human ideation, problem solving, and inferential reasoning. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 19(3), 22.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional science*, 32(1), 1-8.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc..
- Papert, S. (1987, March). Tomorrow's classrooms. In *New horizons in educational computing* (pp. 17-20). Wiley-Interscience.
- Parmar, D., Isaac, J., Babu, S. V., D'Souza, N., Leonard, A. E., Jörg, S., ... & Daily, S. B. (2016, March). Programming moves: Design and evaluation of applying embodied interaction in virtual environments to enhance computational thinking in middle school students. In *2016 IEEE Virtual Reality (VR)* (pp. 131-140). IEEE.
- Piaget, J. (1929). *The child's conception of the world*. New York: Harcourt Brace.
- Piaget, J. (2003). *The psychology of intelligence*. Routledge.
- Piaget, J. (2013). *The construction of reality in the child* (Vol. 82). Routledge.
- Pouw, W. T., Van Gog, T., & Paas, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educational Psychology Review*, 26(1), 51-72.
- Price, S., Duffy, S., & Gori, M. (2017, November). Developing a pedagogical framework for designing a multisensory serious gaming environment. In *Proceedings of the 1st ACM SIGCHI International Workshop on Multimodal Interaction for Education*(pp. 1-9). ACM.
- Raffle, H. S., Parkes, A. J., & Ishii, H. (2004, April). Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 647-654). ACM.
- Roux, F. E., Boetto, S., Sacko, O., Chollet, F., & Trémoulet, M. (2003). Writing, calculating, and finger recognition in the region of the angular gyrus: a cortical stimulation study of Gerstmann syndrome. *Journal of neurosurgery*, 99(4), 716-727.
- Phamduy, P., DeBellis, M., & Porfiri, M. (2015). Controlling a robotic fish via a natural user interface for informal science education. *IEEE Transactions on Multimedia*, 17(12), 2328-2337.
- Ramani, G. B., & Siegler, R. S. (2008). Promoting broad and stable improvements in low-income children's numerical knowledge through playing number board games. *Child development*, 79(2), 375-394.

- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K. & Kafai, Y. B. (2009). Scratch: Programming for all. *Commun. Acm*, 52(11), 60-67.
- Resnick, M., Martin, F., Sargent, R., & Silverman, B. (1996). Programmable bricks: Toys to think with. *IBM Systems journal*, 35(3.4), 443-452.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., & Silverman, B. (1998, January). Digital manipulatives: new toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 281-287). ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- Resnick, M. (2001). Closing the fluency gap. *Communications of the ACM*, 44(3), 144-145.
- Rowlands, M. (2010). *The new science of the mind: From extended mind to embodied phenomenology*. Mit Press.
- Sapounidis, T., Demetriadis, S., & Stamelos, I. (2015). Evaluating children performance with graphical and tangible robot programming tools. *Personal and Ubiquitous Computing*, 19(1), 225-237.
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and brain sciences*, 3(3), 417-424.
- Segal, A. (2011). *Do gestural interfaces promote thinking? Embodied interaction: Congruent gestures and direct touch promote performance in math*. Columbia University.
- Shapiro, L., & Stolz, S. A. (2018). Embodied cognition and its significance for education. *Theory and Research in Education*, 1477878518822149.
- Skulmowski, A., Pradel, S., Kühnert, T., Brunnett, G., & Rey, G. D. (2016). Embodied learning using a tangible user interface: The effects of haptic perception and selective pointing on a spatial learning task. *Computers & Education*, 92, 64-75.
- Skulmowski, A., & Rey, G. D. (2018). Embodied learning: introducing a taxonomy based on bodily engagement and task integration. *Cognitive research: principles and implications*, 3(1), 6.
- Song, H. S., Pusic, M., Nick, M. W., Sarpel, U., Plass, J. L., & Kalet, A. L. (2014). The cognitive impact of interactive design features for learning complex materials in medical education. *Computers & education*, 71, 198-205.
- Stolz, S. A. (2015). Embodied learning. *Educational philosophy and theory*, 47(5), 474-487.
- Sullivan, F. R., & Heffernan, J. (2016). Robotic construction kits as computational manipulatives for learning in the STEM disciplines. *Journal of Research on Technology in Education*, 48(2), 105-128.
- Sullivan, A. A. (2016). Breaking the STEM Stereotype: Investigating the use of robotics to change young children's gender stereotypes about technology and engineering. *Tufts University*.
- Sung, W., Ahn, J., & Black, J. B. (2017a). Introducing computational thinking to young learners: practicing computational perspectives through embodiment in mathematics education. *Technology, Knowledge and Learning*, 22(3), 443-463.
- Sung, W., Ahn, J. H., Kai, S. M., & Black, J. (2017b, March). Effective planning strategy in robotics education: an embodied approach. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 1065-1071). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Thelen, E., & Smith, L. B. (1996). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action*. MIT press.

- Tran, C., Smith, B., & Buschkuehl, M. (2017). Support of mathematical thinking through embodied cognition: Nondigital and digital approaches. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 2(1), 16.
- Triona, L. M., & Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, 21(2), 149-173.
- Trninic, D., & Abrahamson, D. (2012). Embodied artifacts and conceptual performances. In *Proceedings of the international conference of the learning sciences: Future of learning (ICLS 2012)* (Vol. 1, pp. 283-290).
- Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (2017). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. MIT press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher mental processes* (E. Rice, Ed. & Trans.).
- Vygotsky, L. S. (1997). *Educational psychology* (R. Silverman, Trans.). Boca Raton, FL: St.
- Weisberg, S. M., & Newcombe, N. S. (2017). Embodied cognition and STEM learning: overview of a topical collection in CR: PI.
- Werner, L., Denner, J., & Campe, S. (2015). Children programming games: a strategy for measuring computational learning. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 14(4), 24.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 625-636.
- Wilson, R. A., & Foglia, L. (2011). Embodied cognition.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881), 3717-3725.
- Witherspoon, E. B., Higashi, R. M., Schunn, C. D., Baehr, E. C., & Shoop, R. (2017). Developing computational thinking through a virtual robotics programming curriculum. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 18(1), 4.
- Witherspoon, E. B., Schunn, C. D., Higashi, R. M., & Shoop, R. (2018). Attending to structural programming features predicts differences in learning and motivation. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(2), 115-128.
- Zacharia, Z. C., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students?. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 447-457.
- Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317-331.
- Zago, L., Pesenti, M., Mellet, E., Crivello, F., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Neural correlates of simple and complex mental calculation. *Neuroimage*, 13(2), 314-327.
- Zhai, S., Milgram, P., & Buxton, W. (1996, April). The influence of muscle groups on performance of multiple degree-of-freedom input. In *CHI* (Vol. 96, pp. 308-315).
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental review*, 27(2), 172-223.
- Zuckerman, O., Arida, S., & Resnick, M. (2005, April). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 859-868). ACM.

Zuckerman, O., & Gal-Oz, A. (2013). To TUI or not to TUI: Evaluating performance and preference in tangible vs. graphical user interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*, 71(7-8), 803-820.

