

App-οτελεσματικό εικονικό περιβάλλον στη διδασκαλία της φύσης της φωτεινής ενέργειας

Μήτρακας Νικόλαος¹, Τσιουριδής Χαρίλαος²
nmitrakas@upatras.gr, hatsihour@upatras.gr

¹ Υποψήφιος Διδάκτορας, Πανεπιστήμιο Πατρών

² Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών

Περίληψη

Η έννοια της ενέργειας και ειδικότερα της φωτεινής ενέργειας παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες κατανόησης λόγω της διττής φύσης της και των διαχρονικών εναλλακτικών ιδεών των παιδιών. Οι δυσκολίες διδακτικού μετασχηματισμού της επιστημονικής γνώσης σε σχολική γνώση προβληματίζουν τους εκπαιδευτικούς. Η εργασία στοχεύει να συνταιριάξει στα διδακτικά βήματα, το ασηθηριακό, απτικό περιβάλλον με τα σύγχρονα τεχνολογικά περιβάλλοντα για βέλτιστα μαθησιακά αποτελέσματα. Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκε κατάλληλη εφαρμογή μοντελοποίησης με τη χρήση της οπτικής γλώσσας προγραμματισμού MIT App Inventor. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του διδακτικού σχεδιασμού είναι η ομαδοσυνεργατική συν-δημιουργία μέρους της εφαρμογής από τους μαθητές, που στόχευαν μέσω της γνωστικής σύγκρουσης, σε βελτίωση της κατανόησης του διδακτικού αντικειμένου, αλλά και στην ανάπτυξη σύγχρονων δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων. Τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας σε δείγμα 24 μαθητών έδειξαν ότι η ενσωμάτωση του App Inventor στη διδακτική παρέμβαση ήταν αποτελεσματική και βοήθησε τους μαθητές να αποσαφηνίσουν και να κατανοήσουν τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη.

Λέξεις κλειδιά: Φωτεινή Ενέργεια, MIT App Inventor, Κβαντική φύση φωτός

Εισαγωγή

Ένα από τα δυσκολότερα αντικείμενα κατανόησης αλλά και διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών αποτελεί η έννοια της ενέργειας γενικότερα αλλά και της φωτεινής ενέργειας ειδικότερα. Η πληθώρα των παρερμηνειών και των εναλλακτικών ιδεών σχετικά με τα φαινόμενα της φωτεινής ενέργειας έρχονται συχνά σε σύγκρουση με τα επιστημονικά δεδομένα (Bransford et al., 1999). Κι αυτό γιατί η καθημερινή έκθεση των μαθητών σε φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδραση της ενέργειας του φωτός με την ύλη αλλά και η υψηλού βαθμού αφαιρετικότητα των φαινομένων αυτών, καθιστά τις εναλλακτικές τους ιδέες ιδιαίτερα ισχυρές και επίμονες (Valanides & Angeli, 2008). Ο εκπαιδευτικός καλείται να «αντιμετωπίσει» αυτές τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών οι οποίες συχνά μπορεί να αποτελέσουν εμπόδιο στη μαθησιακή διαδικασία.

Πολυάριθμες έρευνες καταδεικνύουν τη διαχρονικότητα των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα της αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη. Έτσι οι μαθητές συχνά δεν αποδίδουν στο φως αυτόνομες ιδιότητες (Stead & Osborne, 1980; Tiberghien et al., 1980; Guesne 1985; Ravanis & Boilevin, 2009; Grygorovich, 2015) ενώ όταν τους ζητείται να περιγράψουν τη φύση του το ταυτίζουν με τις πηγές ή τα αποτελέσματά του (Tiberghien et al., 1980; Stead & Osborne, 1980; Andersson & Kärrqvist, 1983; Guesne, 1985; Osborne et al., 1993; Ravanis et al. 2002; Grygorovich, 2015). Η ανάκλαση (Anderson & Smith, 1983; Guesne, 1985; Fetherstonhaugh & Treagust, 1992; Galili, 1996; Aydin et al., 2012; Tsihouridis et al. 2014) και η διάθλαση (Shapiro, 1989; Driver et al., 2000; Aydin et al., 2012; Tsihouridis et al., 2014; Kurniawati et al., 2018) του φωτός αποτελούν δύο επιπλέον φαινόμενα στα οποία οι μαθητές εκφράζουν αδυναμία ως προς την ερμηνεία τους.

Επιπλέον, η κβαντική φύση του φωτός και γενικότερα η ποιοτική εισαγωγή εννοιών της Κβαντομηχανικής, αποτελεί από μόνη της μια πρόκληση για τη μάθηση και τη διδασκαλία (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017). Για την βελτιστοποίηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων κρίνεται απαραίτητη η υποστήριξη της μάθησης με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών ή άλλου ψηφιακού υλικού, ενώ ταυτόχρονα η ανάγκη διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων για τη διδασκαλία των αφαιρετικών εννοιών της κβαντικής μηχανικής έχει επισημανθεί από την έρευνα (Bonnaci, 2020). Ως εκ τούτου, μια εναλλακτική διδακτική προσέγγιση με τη χρήση μιας εφαρμογής μοντελοποίησης και προσομοίωσης που εισάγει ποιοτικά τη κβαντική φύση του φωτός, θα μπορούσε να βοηθήσει στην ερμηνεία των φαινομένων της αλληλεπίδρασης της φωτεινής ακτινοβολίας με την ύλη.

Η δυναμικά μεταβαλλόμενη κοινωνία της πληροφορίας και των υπολογιστών απαιτεί την ικανότητα της χρήσης νέων τεχνολογιών από τους εκπαιδευτικούς κατά τη μαθησιακή διαδικασία (Hendikawanti et al., 2019). Η ένταξη των υπολογιστών στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι η χρήση τους μπορεί να γίνει σε τυχαίες χρονικές στιγμές σύμφωνα με την επιθυμία του μαθητή, ενώ οι εκπαιδευτικοί μπορούν να εισάγουν έννοιες χρησιμοποιώντας λέξεις-κλειδιά, σύμβολα και γραφήματα (Sell & Richey, 1994). Ένας εναλλακτικός πόρος μάθησης επομένως είναι και η διδασκαλία υποβοηθούμενη από υπολογιστή (Computer Assisted Instruction - CAI). Η χρήση των φορητών μέσων στη διδασκαλία διευκολύνει τη διανομή διδακτικού υλικού, ενώ τα οπτικο-ακουστικά μέσα που χρησιμοποιούνται στην CAI αποτελούν σημαντική αρωγή στην κατανόηση του γνωστικού περιεχομένου του μαθήματος από τους μαθητές, λόγω της μεγάλης ευελιξίας τους (Hendikawanti et al., 2019). Ο θετικός αντίκτυπος του CAI στην μάθηση καταδεικνύεται από διάφορες έρευνες (Ragasa, 2008; Aktaruzzaman & Muhammad, 2011; Mahmood & Mirza, 2012) όπου συγκρίνεται η μάθηση υποβοηθούμενη από υπολογιστή με τη συμβατική διδασκαλία.

Μια σημαντική και δυναμικά εξελισσόμενη πλατφόρμα στην οποία μπορεί να βασιστεί η δημιουργία ενός συστήματος υποβοηθούμενης μάθησης είναι και η πλατφόρμα Android. Το Android αναπτύχθηκε για πρώτη φορά από την Android Inc. η οποία ιδρύθηκε από τον Andy Rubin. Η τεχνολογία με βάση το σύστημα Android χρησιμοποιείται ευρέως, καθώς η λειτουργία είναι πολύ εύκολη στη χρήση, ευέλικτη και ικανή να μεταφερθεί οπουδήποτε και να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε (Aminudin et al., 2018). Λόγω των δυνατοτήτων τους, οι φορητές συσκευές που βασίζονται σε Android μπορούν να παρουσιάσουν ενδιαφέρον ή ακόμα και δύσκολο υλικό με πιο ευχάριστο τρόπο για τους μαθητές. Λόγω της μεγάλης χρησιμότητας, ευελιξίας και φορητότητας αναπτύχθηκαν κατά καιρούς διάφορες εφαρμογές σε Android που άπτονται θεμάτων της βιολογίας (Rahayu et al., 2021), της Χημείας (Astiningsih & Partana, 2020) αλλά και της Φυσικής (Arista & Kuswanto, 2018; N Sholihah et al., 2020; Erfan et al., 2021) με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα. Ως μέσο ανάπτυξης τέτοιων εφαρμογών (applications ή apps) μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η γλώσσα προγραμματισμού App Inventor η οποία αποτελεί μια διαδικτυακή πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών για φορητές συσκευές.

MIT App Inventor

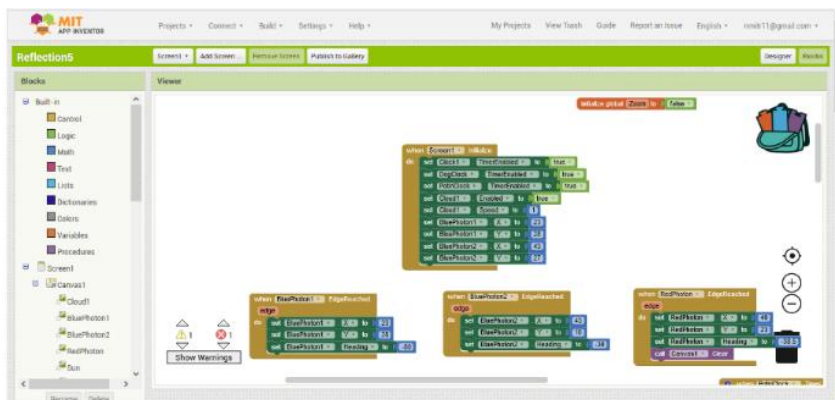
Για την ανάπτυξη του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο το MIT App Inventor, το οποίο αποτελεί μια διαδικτυακή πλατφόρμα ανάπτυξης την οποία μπορεί να αξιοποιήσει ο καθένας για την επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου. Παρέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας βασισμένο στο web και στη φιλοσοφία «What you see is what you get» (WYSIWYG) για τη δημιουργία εφαρμογών για κινητά τηλέφωνα που στοχεύουν τα λειτουργικά συστήματα Android και iOS. Χρησιμοποιεί μια γλώσσα προγραμματισμού που

βασίζεται σε μπλοκ, βασισμένη στο Google Blockly (Fraser, 2013) και είναι εμπνευσμένη από γλώσσες όπως το StarLogo TNG (Begel & Klopfer, 2007) και το Scratch (Resnick et al., 2009; Maloney et al., 2010), δίνοντας τη δυνατότητα σε οποιονδήποτε να δημιουργήσει μια εφαρμογή για κινητά τηλέφωνα για να καλύψει μια ανάγκη.

Η διεπαφή χρήστη του MIT App Inventor περιλαμβάνει δύο κύριους επεξεργαστές: τον επεξεργαστή σχεδίασης και τον επεξεργαστή μπλοκ. Ο επεξεργαστής σχεδίασης, ή ο σχεδιαστής (Εικόνα 1), είναι μια διεπαφή μεταφοράς και απόθεσης για τη διάταξη των στοιχείων της διεπαφής χρήστη (UI) της εφαρμογής. Ο επεξεργαστής μπλοκ (Εικόνα 2) είναι ένα περιβάλλον στο οποίο οι προγραμματιστές εφαρμογών μπορούν να σχεδιάσουν οπτικά τη λογική των εφαρμογών τους χρησιμοποιώντας χρωματικά κωδικοποιημένα μπλοκ που κουμπώνουν μεταξύ τους σαν κομμάτια παζλ για να περιγράψουν το πρόγραμμα. Για να βοηθήσει στην ανάπτυξη και τη δοκιμή, το App Inventor παρέχει μια εφαρμογή για κινητά που ονομάζεται App Inventor Companion (ή απλώς «the Companion») την οποία οι προγραμματιστές μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να δοκιμάσουν και να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά των εφαρμογών τους σε πραγματικό χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο, ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει γρήγορα μια εφαρμογή για κινητά και να αρχίσει αμέσως να επαναλαμβάνει και να δοκιμάζει.



Εικόνα 1: Επεξεργαστής σχεδίασμού εφαρμογής στο App Inventor



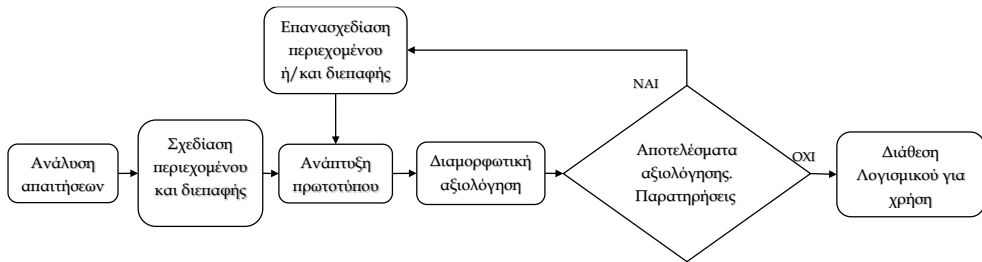
Εικόνα 2: Επεξεργαστής μπλοκ προγραμματισμού

Στο σχεδιασμό του MIT App Inventor, η εισαγωγή της ανάπτυξης εφαρμογών για κινητά σε εκπαιδευτικά πλαίσια ήταν κεντρικός στόχος. Πριν από την κυκλοφορία του, τα περισσότερα περιβάλλοντα ανάπτυξης για εφαρμογές για κινητές συσκευές ήταν αδέξια, προσβάσιμα μόνο με εξειδίκευση σε επίπεδο συστημάτων ή ενσωματωμένο προγραμματισμό ή και στα δύο. Ακόμη και με το λειτουργικό σύστημα Android της Google και τη γλώσσα προγραμματισμού Java, ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη ήταν μια πολύπλοκη εργασία.

Ανάπτυξη εργαλείου προσομοίωσης

Όπως προαναφέρθηκε, οι μαθητές ήταν συν-δημιουργοί της εφαρμογής με χρήση της διαδικτυακής πλατφόρμας προγραμματισμού του App Inventor με τρόπο ώστε να γίνει η αξιοποίηση της φορητότητάς της λόγω της λειτουργίας της σε πλατφόρμα Android.

Η δημιουργία του περιβάλλοντος διεπαφής έγινε με βάση τη μέθοδο της αυξητικής εξελικτικής προτυποποίησης (Sommerville, 2015; Παναγιωτακόπουλος κ.α., 2020) όπου με βάση αυτή τη μέθοδο η εφαρμογή αναπτύσσεται ως μια σειρά εκδόσεων, με κάθε έκδοση να έχει μια επιπρόσθετη λειτουργία σε σχέση με την προηγούμενη της.

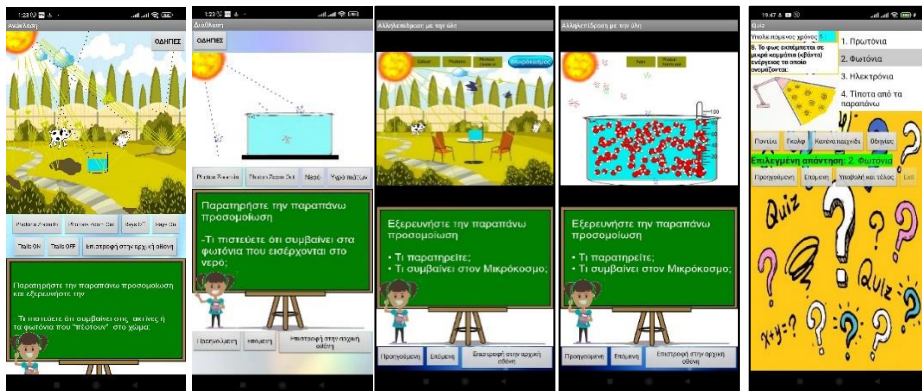


Εικόνα 3: Διαδικασία ανάπτυξης λογισμικού (Παναγιωτακόπουλος κ.α., 2020)

Η ανάλυση των εκπαιδευτικών αναγκών εστίασε στα εξής σημεία:

- Στη δυνατότητα μοντελοποίησης/οπτικής παρουσίασης των φαινομένων μέσω των διαδραστικών προσομοιώσεων.
- Στο μινιμαλιστικό σχεδιασμό της διεπαφής με στόχο τη προσέλκυση του χρήστη και την εύκολη πλοήγηση
- Στην αλληλεπίδραση του χρήστη με την εφαρμογή με στόχο το γνωστικό αντικείμενο και τη διαρκή ανατροφοδότησή του.

Η ανάλυση των αναγκών και απαιτήσεων οδήγησε στο σχεδιασμό της διεπαφής χρήστη της εφαρμογής. Στη συνέχεια ακολουθήθηκε μια επαναληπτική διαδικασία που αποτελούνταν από τα εξής στάδια: α) ανάπτυξη πρωτοτύπου β) αξιολόγηση του από ομάδα εκπαιδευτικών με σκοπό την καταγραφή τυχόν αδυναμιών του γ) επανασχεδίαση περιεχομένου/διεπαφής και δ) παραγωγή νέου βελτιωμένου πρωτοτύπου. Η διαδικασία αυτή τερματίστηκε όταν δεν υπήρχε πλέον κάποια πρόταση διόρθωσης από την ομάδα αξιολόγησης οπότε και το λογισμικό διατέθηκε προς χρήση.



Εικόνα 4: Στιγμιότυπα της εφαρμογής

Η λογική της έρευνας

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιείται την συν-δημιουργία μέρους ενός app, το βαθμό στον οποίο μπορούσε να υλοποιηθεί με τη συμμετοχή των μαθητών, μια κατάλληλα σχεδιασμένη προσομοίωση, η οποία στοχεύει στην κατανόηση από τους μαθητές των χαρακτηριστικών της φωτεινής ενέργειας, μέσω συμπρακτικών και συνεργατικών προσεγγίσεων, καθώς και στην ανάπτυξη/ καλλιέργεια σύγχρονων δεξιοτήτων (επίλυση προβλήματος, υπολογιστική σκέψη, αναλυτική σκέψη και αλγοριθμική σκέψη, κοινωνικό-συνεργατικές δεξιότητες)

Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα-προβληματισμοί που προκύπτουν από το γενικό σκοπό και τους ειδικούς στόχους της παρούσας έρευνας είναι:

Κατά πόσο η συμμετοχή των μαθητών ως συν-δημιουργοί μέρους κατάλληλης εφαρμογής, με τη χρήση της οπτικής γλώσσας προγραμματισμού MIT App Inventor σε Android, έχει θετικά αποτελέσματα και ως προς τη κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου και ως προς την καλλιέργεια σύγχρονων δεξιοτήτων (προγραμματισμού, επίλυση προβλήματος, υπολογιστική σκέψη, αναλυτική σκέψη και αλγοριθμική σκέψη, κοινωνικό-συνεργατικές δεξιότητες);

Με βάση τα ανωτέρω οι ερευνητικές υποθέσεις διατυπώνονται ως εξής:

H0: Μηδενική υπόθεση: Οι κατανομές των επιδόσεων στους πληθυσμούς των μαθητών θα είναι οι ίδιες πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.

H1: Εναλλακτική υπόθεση: Οι κατανομές των επιδόσεων στους πληθυσμούς των μαθητών θα διαφέρουν ως προς τους μέσους όρους τους πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση.

Μεθοδολογία

Το δείγμα

Το δείγμα της πιλοτικής έρευνας αποτελείται από 24 μαθητές Γυμνασίου. Οι μαθητές πραγματοποίησαν δραστηριότητες που περιγράφονται σε κατάλληλα δομημένα φύλλα εργασίας σχεδιασμένα για αυτόν τον σκοπό.

Ερευνητικά εργαλεία

Για τους σκοπούς της έρευνας ακολουθήθηκε η μεικτή ερευνητική προσέγγιση. Πιο συγκεκριμένα:

Ποσοτική προσέγγιση

Το πρώτο εργαλείο της ποσοτικής έρευνας αποτέλεσε ένα κατάλληλα δομημένο ερωτηματολόγιο που αποτελούνταν από 20 ερωτήσεις πάνω στο γνωστικό αντικείμενο αλληλεπίδρασης του φωτός με την ύλη, το οποίο δόθηκε πριν και μετά την παρέμβαση. Το ερωτηματολόγιο αποτελούνταν από ερωτήσεις κλειστού και ανοιχτού τύπου που διακατέχονταν από σαφήνεια, ήταν διατυπωμένες σε απλή γλώσσα ενώ υπήρξαν διευκρινήσεις όπου απαιτούνταν. Το ερωτηματολόγιο ελέγχθηκε ως προς την εγκυρότητα (δομική και περιεχομένου) και την αξιοπιστία του (δείκτης εσωτερικής συνέπειας Cronbach alpha $\alpha = 0,78$).

Πίνακας 1. Ερωτηματολόγιο

	Ερωτήσεις	Στόχος
Σ1: Φύση του φωτός	1,5,14,16	Να κατανοήσουν τη κβαντική φύση του φωτός
Σ2: Ευθύγραμμη διάδοση του φωτός	2,4,8,11,17	Να κατανοήσουν την ευθύγραμμη διάδοση του φωτός
Σ3: Ανάκλαση	6,7,10,18	Να κατανοήσουν την ανάκλαση του φωτός
Σ4: Διάθλαση	9,12,15	Να ερμηνεύουν τη διάθλαση του φωτός
Σ5: Αλληλεπίδραση με την ύλη	3,13,19,20	Να κατανοήσουν την αλληλεπίδραση της φωτεινής ενέργειας με την ύλη

Το δεύτερο εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε κατά την έρευνα ήταν μια σειρά φύλλων εργασίας που είχαν ως σκοπό την γνωριμία και εξοικείωση των μαθητών με το προγραμματιστικό περιβάλλον App Inventor. Τρίτο εργαλείο της έρευνας αποτέλεσε ένα κατάλληλα δομημένο σενάριο με αντίστοιχα φύλλα εργασίας, με την χρήση των οποίων πραγματοποιήθηκε η συν-δημιουργία και ανάπτυξη μέρους της τελικής εφαρμογής και η διδασκαλία του γνωστικού αντικειμένου.

Για λόγους δεοντολογίας διευκρινίστηκαν στους μαθητές οι στόχοι της έρευνας ενώ τονίστηκε ότι η συμμετοχή τους είναι εθελοντική. Επίσης διευκρινίστηκε τόσο σε αυτούς όσο και στην ομάδα εστίασης ότι τα ερωτηματολόγια ήταν ανώνυμα και ότι δε γίνεται καμία αναφορά στα προσωπικά τους δεδομένα. Για τους ίδιους λόγους οι απόψεις των συμμετεχόντων αναφέρονται ως M1, M2 (Μαθητής 1, Μαθητής 2 κλπ). Για τα δεδομένα της συζήτησης με την ομάδα εστίασης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης περιεχομένου, ενώ για την ποσοτική ανάλυση των δεδομένων των ερωτηματολογίων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS και το Microsoft Excel.

Ποιοτική προσέγγιση

Κατά την ποιοτική προσέγγιση πραγματοποιήθηκε, πριν και μετά το τέλος της παρέμβασης, συζήτηση με ομάδα εστίασης (focus group) που αποτελούνταν από 8 τυχαία επιλεγμένους μαθητές (4 αγόρια και 4 κορίτσια) προερχόμενα από τα 24 άτομα της πιλοτικής εφαρμογής. Η συζήτηση με την ομάδα εστίασης πραγματοποιήθηκε με τον ερευνητή στο ρόλο του συντονιστή, με σαφή και απλή διατύπωση ερωτημάτων/θεμάτων, με δυνατότητα ελεύθερου εποικοδομητικού διαλόγου σε κλίμα εμπιστοσύνης και σεβασμού απόψεων. Η συζήτηση κινήθηκε σε τέσσερις βασικούς πυλώνες οι οποίοι εστίαζαν στο περιβάλλον app Inventor και στη δυνατότητα δημιουργίας εκπαιδευτικών εφαρμογών, στον ρόλο της συν-δημιουργίας της εφαρμογής με συμπρακτικές και ομαδοκεντρικές προσεγγίσεις στην μαθησιακή διαδικασία, στο μαθησιακό αποτέλεσμα και στην καλλιέργεια σύγχρονων δεξιοτήτων μέσω των δράσεων

(επίλυση προβλήματος, αναλυτική και αλγοριθμική σκέψη, προγραμματισμός, αποτελεσματική συνεργασία).

Υλοποίηση της παρέμβασης

Η πιλοτική εφαρμογή του λογισμικού έγινε σε 13 διδακτικές ώρες και πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις.

Πίνακας 2: Φάσεις της Διδακτικής Παρέμβασης

Φάση Παρέμβασης	Διδακτικές ώρες	Διδακτικό αντικείμενο	Στόχος
1 ^η	2	Συμπλήρωση Ερωτηματολογίου (Pre-test) Συζήτηση με focus group	Ανίχνευση των ιδεών των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη
	2	Εξοικείωση και γνώριμα των μαθητών με το περιβάλλον προγραμματισμού App Inventor	Γνώριμα με το περιβάλλον, τις εντολές και τον τρόπο σύνταξης προγραμμάτων στο App Inventor
	1	Εισαγωγή προκαταρκτικών εννοιών της κβαντικής φύσης του φωτός	Περιγραφή της φύσης του φωτός με τη βοήθεια των φωτονίων
2 ^η	2	Ανάπτυξη εφαρμογής προσομοίωσης της διάθλασης στο App Inventor	Εισαγωγή κριτικής και υπολογιστικής σκέψης μέσω του προγραμματισμού με τη βοήθεια του περιβάλλοντος App Inventor
	1	Φύση του φωτός και ευθύγραμμη διάδοση	Περιγραφή ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός και της δημιουργίας σκιάς.
	1	Ανάκλαση	Περιγραφή φαινομένου της ανάκλασης με τη βοήθεια της κβαντικής φύσης του φωτός
	1	Διάθλαση	Ερμηνεία φαινομένου διάθλασης με τη βοήθεια της κβαντικής φύσης του φωτός
	1	Αλληλεπίδραση με την ύλη-Εξάτμιση	Ερμηνεία φαινομένων αλληλεπίδρασης με ύλη - εξάτμιση με τη κβαντική φύση του φωτός
3 ^η	1	Συμπλήρωση Ερωτηματολογίου (Post-test)	Ανίχνευση τυχόν αλλαγών των ιδεών των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα αλληλεπίδρασης φωτός με την ύλη
4 ^η	1	Συζήτηση με focus group	Επιπλέον ανίχνευση των ιδεών των μαθητών σχετικά με το διδασκόμενο γνωστικό αντικείμενο

1^η φάση (2 διδακτικές ώρες): Οι μαθητές απάντησαν ένα ερωτηματολόγιο που αφορούσε τις έννοιες της διδασκόμενης ενότητας με σκοπό την καταγραφή τυχόν ιδεών τους πριν την παρέμβαση (pre-test), ενώ ακολούθησε συζήτηση σε focus group.

2^η φάση (9 διδακτικές ώρες): Στην αρχή αυτής της φάσης, οι μαθητές της πειραματικής ομάδας εξοικειώθηκαν με την οπτική γλώσσα προγραμματισμού App Inventor που θα χρησιμοποιούνταν για τη δημιουργία του περιβάλλοντος προσομοίωσης στα πλαίσια της παρέμβασης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες για να συν-δημιουργήσουν μια εφαρμογή σε Android μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας προγραμματισμού του App Inventor. Η συγκεκριμένη εφαρμογή μοντελοποίησης βασίστηκε στο σενάριο και τα φύλλα εργασίας που καθοδήγησαν τους μαθητές σε όλη τη διαδικασία.

Ταυτόχρονα, κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, εισιχθήσαν σταδιακά ορισμένες προκαταρκτικές πληροφορίες σχετικά με τη φωτεινή ακτινοβολία και την πραγματική διαδικασία παρέμβασης.



Εικόνα 5: Εφαρμογή με φορητές συσκευές (τάμπλετ) μέσα στην τάξη

3^η φάση (1 διδακτική ώρα): Το ίδιο αρχικό ερωτηματολόγιο χορηγήθηκε στους ίδιους μαθητές μία εβδομάδα μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης.

4^η φάση (1 διδακτική ώρα): Προκειμένου να εξεταστούν περαιτέρω οι ιδέες των μαθητών, πραγματοποιήθηκε συζήτηση με focus group που αφορούσε τόσο στο γνωστικό αντικείμενο όσο και στο περιβάλλον ανάπτυξης της εφαρμογής.

Αποτελέσματα

Αποτελέσματα focus group

Όπως έγινε φανερό από τη συζήτηση του focus group, η ανάπτυξη και συν-δημιουργία μέρους της εφαρμογής θεωρήθηκε από τους περισσότερους συμμετέχοντες ένα ενδιαφέρον και διασκεδαστικό κομμάτι της όλης διαδικασίας. Οι μαθητές δήλωσαν ότι πριν την παρέμβαση θεωρούσαν δύσκολη την ανάπτυξη μιας εφαρμογής για περιβάλλον Android και δε γνώριζαν ότι, ένα χρήσιμο προγραμματιστικό εργαλείο για το σκοπό αυτό είναι το App Inventor. Ωστόσο, ανέφεραν ότι χρειάζεται οπωσδήποτε κάποιος χρόνος εξοικείωσης στην αρχή για τη χρήση του περιβάλλοντος αυτού. Συνολικά, συμφώνησαν ότι το App Inventor είναι ένα σημαντικό εργαλείο προγραμματισμού με αρκετές δυνατότητες το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανάπτυξη εκπαιδευτικών εφαρμογών: «...δεν το ήξερα (το App Inventor)...πήρε λίγο χρόνο μέχρι να μπω στο νόημα...τελικά είναι εύκολο...πιο εύκολο από ότι νόμιζα» M1, «στην αρχή φάνηκε δύσκολο να καταλάβεις τι γίνεται στο App Inventor...με τα φύλλα εργασίας όλη η δουλειά έγινε πιο εύκολα» M2, «Μου άρεσε που οι εντολές έμοιαζαν με κουτάκια... είχε πλάκα που οι εντολές κολλούσαν σαν κομμάτια από παζλ...ήταν διασκεδαστικό» M3, «Είναι χρήσιμο εργαλείο τελικά...μπορείς να κάνεις εφαρμογές που θα σε βοηθήσουν και στη Φυσική» M5.

Η συζήτηση στο focus group αποκάλυψε ότι, σε μεγάλο ποσοστό, οι μαθητές βρήκαν ευχάριστο το περιβάλλον της διεπαφής της τελικής εφαρμογής με ωραία χρώματα και σχεδίαση. Τόνισαν επίσης ότι, παρόλο που τους άρεσε ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζονταν τα φαινόμενα με βίντεο και διαδραστικές προσομοιώσεις, θα προτιμούσαν να υπάρχουν

φωνητικές οδηγίες και σε άλλα σημεία της εφαρμογής: «έδειχνε ωραία τα φαινόμενα... σαν να είναι πραγματικά...» M1, «.. μου άρεσε που σε κάποια σημεία μιλούσε...θα μπορούσε να γίνει και αλλού αυτό...ωραίο ήταν και το quiz στο τέλος..» M2, «..τα βίντεο και οι πληροφορίες από κάτω ήταν ωραία...είχε καλά χρώματα... εντύπωση μου έκανε ο μικρόκοσμος [αναφερόμενος στην αντίστοιχη προσομοίωση] και το πως έδειχνε τα μόρια» M3.

Οι μαθητές βρήκαν, σε μεγάλο ποσοστό, αρκετά εύκολη τη χρήση της τελικής εφαρμογής, και σημαντική την ύπαρξη οδηγιών, όπου χρειαζόταν, σε γλώσσα απλή και κατανοητή. Πρόσθεσαν ότι η απουσία σφαλμάτων και η ευκολία πλοήγησης τους βοήθησε στο να αντιληφθούν γρήγορα τον τρόπο λειτουργίας της και ενίσχυσε την ενεργό συμμετοχή τους: «δεν ήταν δύσκολο να τη μάθεις... δε πετάγονταν σφάλματα...όπου είχα δυσκολία υπήρχαν οδηγίες» M1, «μπορούσα εύκολα να πάω από οθόνη σε οθόνη και να δω τα φαινόμενα...» M2, «..ήταν μια χαρά... έμαθα γρήγορα να τη χρησιμοποιώ ...» M4, «.. αρκετά απλή...κατάλαβα γρήγορα τι πρέπει να πατήσω» M3.

Ως προς το γνωστικό αντικείμενο, οι μαθητές ανέφεραν ότι ο τρόπος απεικόνισης των φωτονίων τους βοήθησε σε μεγάλο βαθμό να κατανοήσουν τη κβαντική φύση του φωτός και το πως αυτή αλληλεπιδρά με την ύλη. Οι περισσότεροι συμμετέχοντες είπαν ότι δυσκολεύτηκαν να το πιστέψουν στην αρχή γιατί είναι κάτι πρωτόγνωρο το οποίο δεν μπορούν να αντιληφθούν με τα μάτια τους, αλλά τελικά κατανόησαν ότι το φως ταξιδεύει στο χώρο μέσω κάποιων μικρών «κομματιών» - «σωματιδίων», δηλαδή των φωτονίων. «.. τελικά κύριε το φως είναι ενέργεια που έρχεται σε μικρά κομματάκια» M2, «.. εντύπωση μου έκανε που οι ακτίνες “έσπαιγαν” σε μικρά κομμάτια.. αυτά είναι που φτάνουν στα μάτια μας» M3, «...αυτά τα κομμάτια που έμοιαζαν με σκουλήκια [αναφερόμενος στην προσομοίωση]... είναι τα φωτόνια» M4, «...τα μικρά κομματάκια, τα φωτόνια, τα κάλαβα τελικά ότι έρχονται με μεγάλη ταχύτητα στα μάτια μας και δεν μπορούμε να τα ξεχωρίσουμε» M5.

Όπως δήλωσαν οι μαθητές μέσω της συζήτησης, η εφαρμογή τους βοήθησε να αντιληφθούν ότι το φως διαδίδεται ευθύγραμμο ενώ κάποιοι συνέδεσαν τη δημιουργία σκιάς ως αποτέλεσμα αυτού του τρόπου διάδοσης: « Το φως φαινόταν ότι πάει σε ευθεία γραμμή και δεν μπορεί να στρίψει...» M1, « .. φάνηκε ότι η σκιά γίνεται εκεί που δεν μπορεί να φτάσει το φως» M2, « σε κάποια σώματα τα φωτόνια βρίσκουν εμπόδιο και δεν μπορούν να περάσουν από μέσα τους...άρα το φως δε φτάνει από πίσω και έχουμε σκιά» M3.

Οι περισσότεροι μαθητές ανέφεραν ότι γνώριζαν το φαινόμενο της ανάκλασης επειδή το είχαν διδαχτεί σε προηγούμενη τάξη οπότε το αναγνώρισαν και μπορούσαν να το περιγράψουν. Αρκετοί όμως μπόρεσαν, μετά την παρέμβαση, να αντιληφθούν και τη διαφορά της ανάκλασης και της διάχυσης: «..η κατοπτρική ανάκλαση φάνηκε ότι ήταν όπως το λέει και η λέξη...η ανάκλαση που λαβαίνει το φως όταν πέσει πάνω σε έναν καθρέφτη» M5, «εντύπωση μου έκανε ότι το φως πηδούσε αλλιώς όταν έπερτε πάνω στο έδαφος και αλλιώς πάνω στον καθρέφτη» M6, «οι ακτίνες όταν έπεφταν στο έδαφος έφευγαν σε διαφορετικές γωνίες....στον καθρέφτη έφευγαν πάλι... όλες μαζί προς την ίδια γωνία» M7.

Όπως αποκάλυψαν οι περισσότεροι συμμετέχοντες της έρευνας, ιδιαίτερα μεγάλη εντύπωση τους έκανε η παρατήρηση του φαινομένου της διάθλασης την οποία η συντριπτική πλειοψηφία δεν μπορούσε να ερμηνεύσει. Όπως δήλωσαν οι μαθητές στη συζήτηση, κατάλαβαν ότι τα φωτόνια αλλάζουν διεύθυνση διάδοσης κατά τη μετάβαση τους από τον αέρα στο υγρό. Επίσης, πολλοί συνέδεσαν αυτή την αλλαγή στη διεύθυνση με την αλλαγή στην ταχύτητα διάδοσης του φωτός κατά τη μετάβαση από τον αέρα σε κάποιο υγρό: «..δεν ήξερα τι ήταν η διάθλαση... Μου έκανε εντύπωση ότι τα φωτόνια πήγαιναν πιο αργά μέσα στο νερό από ότι στον αέρα...» M7, «τα φωτόνια αναγκάζονται να φρενάρουν και στρίβουν όταν μπαίνουν στο νερό» M8, «οι ακτίνες του φωτός άλλαζαν διεύθυνση γιατί το φως αλλάζει ταχύτητα όταν πάει από τον αέρα

στο νερό» M6, «..τα φωτόνια πάνε αργά μέσα στο νερό... μέσα στο υγρό πιάτων πάνε ακόμα πιο αργά .. γιατί το υγρό πιάτων είναι πιο πυκνό και έχουν άλλη ταχύτητα» M4.

Μεγάλο μέρος των μαθητών δήλωσε ότι, κατά την παρατήρηση προσομοίωσης του φαινομένου της εξάτμισης στο μικρόκοσμο, με τη βοήθεια της προσομοίωσης κατανόησε τον τρόπο αλληλεπίδρασης της φωτεινής ενέργειας με την ύλη. Οι μαθητές ανέφεραν επίσης ότι τα φωτόνια επηρεάζουν τα μόρια του νερού και αλλάζουν τον τρόπο κίνησής τους: «αυτά που κουνιούνταν μέσα στο νερό είναι τα μόρια... Το κόκκινο είναι το οξυγόνο και το άσπρο το υδρογόνο» M2, «όταν πέφτουν πολλά φωτόνια κουνιούνται όλο και πιο γρήγορα» M3, «... τα μόρια κουνιούνται πιο γρήγορα...όταν πέσει το φως του ήλιου πάνω τους... μάλλον για αυτό το θερμομέτρο ανέβαινε και το νερό ζεσταιόνταν» M4.

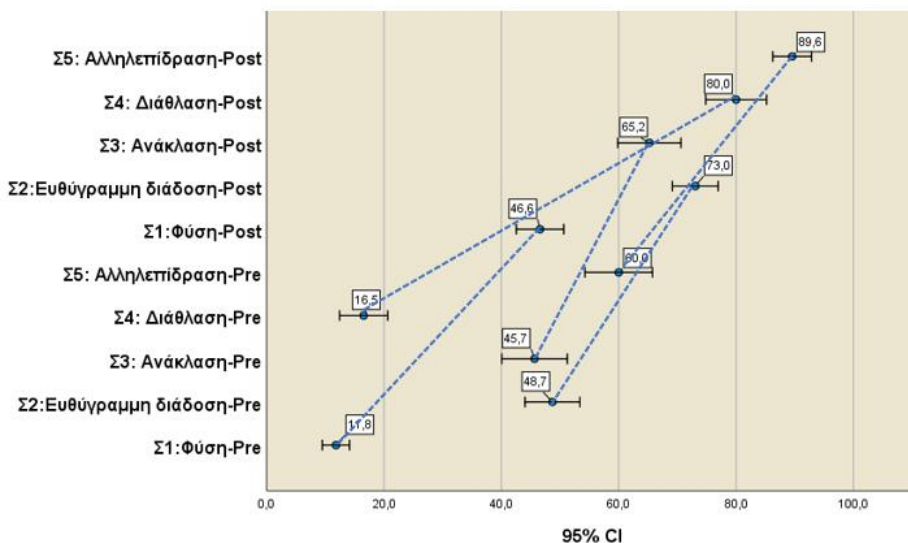
Τέλος, με βάση τη συζήτηση που έγινε στα πλαίσια του focus group, οι μαθητές δήλωσαν ότι τους άρεσε η εργασία σε ομάδες για τη δημιουργία μέρους της εφαρμογής και όχι μόνο η απλή της χρήση. Ανέφεραν ότι η λογική του App Inventor τους βοήθησε τόσο στον προγραμματισμό, όσο και στην εξεύρεση τρόπων αποτελεσματικής συνεργασίας για την ένωση των προγραμματιστικών μερών που είχε αναλάβει ο καθένας. Αυτό ήταν κάτι που τους έδωσε κίνητρο να συμμετέχουν στο μάθημα και τους άλλαξε τον τρόπο με τον οποίο έβλεπαν τη διδασκαλία του: « Μου άρεσε που συνεργάστηκα με άλλους συμμαθητές ... προβληματιστήκαμε λίγο πως θα τα καταφέρουμε... και τελικά φτιάξαμε μαζί ένα πρόγραμμα για τάμπλετ» M3, « ο Πέτρος είχε να κάνει το δικό του κομμάτι ... εγώ είχα το δικό μου... όταν τα καταφέραμε να τα ενώσουμε βγήκε μια ωραία εφαρμογή», M6, «...εντοχώς δεν λατούσαμε μόνο κουμπιά...έπρεπε να φτιάξουμε κάτι... μακάρι να γινόταν έτσι και αλλού» M7.

Αποτελέσματα ποσοτικής ανάλυσης

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού πακέτου IBM-SPSS. Με βάση τον παρακάτω Πίνακα 3 συμπεραίνουμε ότι υπήρχε μια ξεκάθαρη βελτίωση των μαθητών σε όλες τις υπό εξέταση κατηγορίες που κυμαινόταν από 18,7% έως 63,5% με μέση τιμή 34,1% ανά διδακτικό στόχο. Ιδιαίτερα μεγάλη βελτίωση υπήρχε στην κατηγορία της διάθλασης (63,5%), ενώ η μικρότερη στην κατηγορία της ανάκλασης (18,7%). Λόγω της μη κανονικής κατανομής των δεδομένων εφαρμόστηκε το μη παραμετρικό κριτήριο Wilcoxon οπότε προέκυψαν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα 3. Από αυτόν μπορούμε να συμπεράνουμε, από όλες τις πιθανές συγκρίσεις των pre και post test, ότι για όλες τις κατηγορίες το αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό ($p < 0,05$) και οδηγεί στην αποδοχή της εναλλακτικής υπόθεσης ότι δηλαδή, η απόδοση των μαθητών ως προς τους στόχους Σ1, Σ2, Σ3, Σ4, Σ5 βελτιώθηκε μετά την παρέμβαση ($\mu_0 \neq \mu_1$).

Πίνακας 3. Αποτελέσματα ανάλυσης pre, post test

Στόχος	Pre-test		Post-test		Z	Asymp. Sig. (2-tailed)
	Mean	SD	Mean	SD		
Σ1: Φύση του φωτός	11,8	5,6	46,5	9,3	-3,985	<0,001
Σ2: Ευθύγραμμη διάδοση	48,7	6,6	73,0	8,7	-3,167	0,002
Σ3: Ανάκλαση	46,5	7,7	65,2	12,8	-3,036	0,002
Σ4: Διάθλαση	16,5	6,6	80,0	14,9	-4,041	<0,001
Σ5: Αλληλεπίδραση με ύλη	60	7,9	89,5	13,8	-3,787	<0,001



Σχήμα 1. Αποτελέσματα των pre, post test

Συμπεράσματα και προτάσεις

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε η δυνατότητα αξιοποίησης του διαδικτυακού προγραμματιστικού περιβάλλοντος App Inventor στη διδακτική και μαθησιακή διαδικασία, μέσω κατάλληλα σχεδιασμένων δράσεων. Διερευνήθηκε επίσης αν η δυνατότητα συν-δημιουργίας και χρήσης μιας κατάλληλα σχεδιασμένης εφαρμογής σε περιβάλλον App Inventor βελτιστοποιεί τα μαθησιακά αποτελέσματά της, ως προς τη κατανόηση του γνωστικού αντικείμενου της φωτεινής ενέργειας, αλλά και ως προς την καλλιέργεια σύγχρονων δεξιοτήτων.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε ότι η διαδικτυακή πλατφόρμα προγραμματισμού App Inventor μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά για την ανάπτυξη μιας εκπαιδευτικής εφαρμογής (Voštinár, 2017; Ortega García et al., 2018). Η επιλογή δημιουργίας της εφαρμογής με χρήση του App Inventor έγινε με γνώμονα τη δυνατότητα φορητότητάς της, λόγω της λειτουργίας της σε πλατφόρμα Android, όχι μόνο στο σχολικό εργαστήριο, αλλά και στη σχολική τάξη (Patton et al., 2019).

Τα αποτελέσματα έδειξαν την εφικτότητα δημιουργίας της εφαρμογής, την ευκολία χρήσης της, μέσω της δημιουργίας κατάλληλων μινιμαλιστικών επιφανειών διεπαφής. Η ομαδοσυνεργατική και συμπρακτική συμμετοχή στην ανάπτυξη μέρους της εφαρμογής, ενίσχυσε σε μεγάλο ποσοστό, σύμφωνα με τις απόψεις των συμμετεχόντων, δεξιότητες υπολογιστικής σκέψης, επίλυσης προβλήματος και προγραμματισμού (Τσιχουρίδης κ.ά., 2009; Patton et al., 2019). Συγκεκριμένα, η παρατήρηση του τρόπου δράσης και συνεργασίας των μαθητών κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων έδειξε ότι, παρά την αφαιρετικότητα και τη δυσκολία κατανόησης της φύσης και της έννοιας της φωτεινής ενέργειας, που πολλές φορές δεν συνάδουν με τις αισθητηριακές αντιλήψεις τους, η πραγμάτευσή τους αντιμετωπίστηκε με ιδιαίτερο ενθουσιασμό και αποτελεσματικότητα. Οι μαθητές, χρησιμοποιώντας τεχνικές υπολογιστικής σκέψης, παρατήρησαν, ανέλυσαν, τμηματοποίησαν και στη συνέχεια χρησιμοποίησαν το ίδιο μοτίβο σκέψης και για την προσπάθεια κατανόησης και άλλων

μορφών ενέργειας. Ακολουθώντας αυτή τη λογική και με βάση την πεποίθηση ότι το φως εκπέμπεται σε κβάντα ενέργειας, κατάφεραν να ερμηνεύσουν και άλλα φαινόμενα αλληλεπίδρασης της φωτεινής ενέργειας με την ύλη, με ιδιαίτερα επιτυχή μαθησιακά αποτελέσματα που είναι και ένας από τους βασικούς στόχους της όλης διαδικασίας.

Σημαντικό σημείο αναφοράς είναι και η σαφής βελτίωση δεξιοτήτων που άπτονται των εννοιών, συνεργασία, διαφορετικότητα, αλληλοσεβασμός, αποτελεσματική μάθηση.

Επισημαίνεται επίσης ότι τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας υπόκεινται σε περιορισμούς λόγω του μικρού δείγματος εφαρμογής της σε αυτή την πιλοτική φάση διεξαγωγής της. Παρόλα αυτά τα πορίσματα της κρίνονται σημαντικά στην αναδιαμόρφωση των εργαλείων και του πλαισίου της κύριας έρευνας σε μεγαλύτερο δείγμα συμμετεχόντων.

Ευχαριστίες: Η εργασία υλοποιήθηκε με την χρηματοδότηση της Επιτροπής Ερευνών του Πανεπιστημίου Πατρών μέσω του προγράμματος «ΜΕΔΙΚΟΣ».

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Aktaruzzaman, M., & Muhammad, K. (2011). A comparison of traditional method and computer-aided instruction on students' achievement in educational research. *Academic Research International*, 1(3), 246.
- Aminudin, N., F., Huda, M., Hehsan, A., Nasir Ripin, M., Haron, Z., Junaidi, J., Irviani, R., Muslihudin, M., Hidayat, S., Maselena, A., Gumanti, M., & Nabila Fauzi, A. (2018). Application program learning based on android for students' experiences. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(2.27), 295-299. <http://dx.doi.org/10.14419/ijet.v7i2.27.11574>.
- Anderson, C.W. & Smith, E.L. (1983). *Transparencies on light: Teacher's manual*. East Lansing, MI: Michigan State University. (ERIC Document Reproduction Service No. ED).
- Arista, F. S., & Kuswanto, H. (2018). Virtual Physics Laboratory Application Based on The Android Smartphone to Improve Learning Independence and Conceptual Understanding. *International Journal of Instruction*, 11(1), 1-16. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.1111a>.
- Artino, A. R. (2008). Motivational beliefs and perceptions of instructional quality: Predicting satisfaction with online training. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 260-270.
- Astiningsih, A. D., & Partana, C. F. (2020). Using Android Media for Chemistry Learning Construction of Motivation and Metacognition Ability. *International Journal of Instruction*, 13(1), 279-294. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13119a>.
- Aydin, S., Keles, U. P., & Hasiloglu, A. M. (2012). Establishment for misconceptions that science teacher candidates have about geometric optics. *The online journal of new horizons in education*, 2(3), 7-15.
- Begel, A. & Klopfer, E. (2007). Starlogo TNG: An introduction to game development. *Journal of E-Learning*, 5(3), 146.
- Bonacci, E. (2020), On Teaching Quantum Physics at High School, *Athens Journal of Education*, 7(3), 313-330.
- Fetherstonhaugh, T. & Treagust, D.F. (1992), Students' Understanding of Light and Its Properties: Teaching to Engender Conceptual Change, *Science Education*, 76(6), 653-672.
- Fraser, N. (2013) *Blockly: A visual programming editor*. Google Developers. Retrieved Feb 14, 2016, from: <https://developers.google.com/blockly/>
- Galili, I., (1996) Students' conceptual change in geometrical optics, *International Journal of Science Education*, 18(7), 847-868. <https://doi.org/10.1080/0950069960180709>.
- Grygorovich A. (2015), Teaching optics perspectives: 10-11 year old pupils' representations of light, *International Education & Research Journal*, 1(3), 4-6.
- Guesne, E. (1985). Light. In Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A., (Eds), *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes: Open University Press.
- Henderson, P. B., Cortina, T. J., & Wing, J. M. (2007). Computational thinking. *ACM SIGCSE Bulletin*, 39(1), 195-196.

- Hendikawati, P., Zahid, M. Z., & Arifudin, R. (2019). Android-Based Computer Assisted Instruction Development as a Learning Resource for Supporting Self-Regulated Learning. *International Journal of Instruction*, 12(3), 389-404. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12324a>.
- Kurniawati, L., Aminah, N. S. & Marzuki, A. (2018) Conceptual understanding and consistency level of high school students in optics, *International Conference on Science and Applied Science*, <https://doi.org/10.1063/1.5054468>.
- Mahmood, M. K., & Mirza, M. S. (2012). Effectiveness of Computer-Assisted Instruction in Urdu Language for Secondary School Students' Achievement in Science. *Language in India*, 12(2).
- 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.
- Ortega García, A., Ruiz-Martínez, A., & Valencia-García, R. (2018) Using App Inventor for creating apps to support m-learning experiences: A case study. *Comput Appl Eng Educ.*, 26, 431- 448. <https://doi.org/10.1002/cae.21895>
- Patton, E.W., Tissenbaum, M., & Harunani, F. (2019). MIT App Inventor: Objectives, Design, and Development. In: Kong, SC., Abelson, H. (eds) *Computational Thinking Education*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7_3.
- Ragasa, C. Y. (2008). A comparison of computer-assisted instruction and the traditional method of teaching basic statistics. *Journal of Statistics Education*, 16(1), 62-78.
- Ravanis, K., & Boilevin, J. M. (2009). A comparative approach to the representation of light for five- eight-and ten-year-old children: Educational perspectives. *Journal of Baltic Science Education*, 8 (3), 182-190.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., & Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- Sell, B., & Richey, R. C. (1994). *Instructional Technology: The Definition and Domain of The Field (AECT)*. Washington DC.
- Shapiro, B.L. (1989). 'What children bring to light: giving high status to learners' views and actions in science', *Science Education* 73(6), 711-33
- Sholihah, N., Wilujeng I., & Purwanti S. (2020) Development of android-based learning media on light reflection material to improve the critical thinking skill of high school students, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1440 012034.
- Sommerville, I. (2015) *Software engineering (9th edition)*. Boston: Pearson Education Limited.
- Rahayu,S., Dewahrani,Y. R., Nurkhofiyya, A., & Ristanto, R. H. (2021) Scaffolding self-regulated learning through Android-based mobile media on hormone system *AIP Conference Proceedings* 2331, (pp. 050004-1 - 050004-5). <https://doi.org/10.1063/5.0041777>.
- Stead, B., Osborne, R. (1980). Exploring student's concepts of light. *Australian Science Teacher Journal*, 26(3), 84-90.
- Tiberghien, A., Delacote, G., Ghiglione, R. & Matalon, B. (1980). Conceptions de la lumière chez Γ enfant de 10-12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, 50, 24-41.
- Tsihouridis, Ch., Vavougiou, D., Ioannidis, G.S., Alexias, A., Argyropoulos Ch., & Poullos, S., (2014), Using sensors and data-loggers in an integrated mobile school-lab setting to teach Light and Optics, (pp. 339-445), *Interactive Collaborative Learning*.
- Valanides, N., & Angeli, C. (2008). Distributed cognition in a sixth-grade classroom: An attempt to overcome alternative conceptions about light and color. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(3), 309-336.
- Voštinár, P. (2017). Using App Inventor for creating educational applications. In *Proceedings of the 9th International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN17)*, (pp. 10128-10133)
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- Παναγιωτακόπουλος, Χ., Καρατράντου, Α., Αντζακας, Κ., (2020). Η διαδικτυακή εφαρμογή «Ελληνική Νοηματική Γλώσσα-1»: Θέματα σχεδίασης, κατασκευής και αξιολόγησης. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 13(1/2), 33-48.
- Παναγιωτακόπουλος, Χ., Πιερρακέας, Χ., Πιντέλας, Π. (2005) *Το εκπαιδευτικό λογισμικό και η αξιολόγησή του*. Εκδόσεις Μεταίχμιο.

Τσιχουρίδης, Χ., Βαβουγιός, Δ., & Ιωαννίδης, Σ. Γ., (2009). Διδακτική αξιοποίηση κατασκευαστικών δεξιοτήτων των μαθητών για τη μελέτη φαινομένων μεταφοράς θερμότητας με χρήση νέων τεχνολογιών. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου, Α. Ζουπίδης (επιμ.), *Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση Πανεπιστήμιο: Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των φυσικών επιστημών*. (σελ. 879-887), ΚΟΔΙΦΕΕΤ.