

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2022)

7ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»



Εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραμάτων Χημείας σε μαθητές Γυμνασίου με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών προσομοίωσης κι επαυξημένης πραγματικότητας

Ειρήνη – Εύα Τριανταφυλλίδου, Ανθή Καρατράντου, Μιχάλης Πετρόπουλος, Χρήστος Παναγιωτακόπουλος

Βιβλιογραφική αναφορά:

Τριανταφυλλίδου Ε. – Ε., Καρατράντου Α., Πετρόπουλος Μ., & Παναγιωτακόπουλος Χ. (2023). Εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραμάτων Χημείας σε μαθητές Γυμνασίου με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών προσομοίωσης κι επαυξημένης πραγματικότητας. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 0915–0932. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/5800>

Εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραμάτων Χημείας σε μαθητές Γυμνασίου με τη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών προσομοίωσης κι επαυξημένης πραγματικότητας

Τριανταφυλλίδου Ειρήνη - Εύα¹, Καρατράντου Ανθή¹, Πετρόπουλος Μιχάλης², Παναγιωτακόπουλος Χρήστος¹

teva@upatras.gr, akarat@upatras.gr, mikepetrop@hotmail.com, cpanag@upatras.gr

¹ Τμήμα Επιστημών της Εκπαίδευσης & Κοινωνικής Εργασίας Πανεπιστημίου Πατρών

² Δ/Βάθμια Εκπαίδευση - Γυμνάσιο με Τ.Λ. Φολεγάνδρου

Περίληψη

Η εισαγωγή των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία γίνεται όλο και περισσότερο επιτακτική στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, περισσότερο δε όταν η διδασκαλία γίνεται από απόσταση. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του κατά πόσο η εισαγωγή εφαρμογών προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας στην εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών Χημείας, έχει αποδοχή από τους μαθητές καθώς και πόσο μπορεί να υποστηρίξει το έργο των εκπαιδευτικών. Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση αξιοποιώντας λογισμικά προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας σε εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών Τυτλοδότησης. Ως μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε η ποιοτική μέθοδος έρευνας και δη η μελέτη περίπτωσης με τη συμμετοχή 15 μαθητών ενός απομακρυσμένου Γυμνασίου της νησιωτικής Ελλάδος. Τα μέσα συλλογής των δεδομένων ήταν, ερωτηματολόγιο, φύλλα εργασίας των μαθητών, ερωτηματολόγια γνωστικού αντικείμενου πριν και μετά την παρέμβαση, συμμετοχική παρατήρηση και συνέντευξη. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας, τα λογισμικά και οι εφαρμογές που αξιοποιήθηκαν φαίνεται να μπορούν να ενισχύσουν τα μαθησιακά οφέλη για τους μαθητές και να υποστηρίξουν αποτελεσματικά τους εκπαιδευτικούς στο έργο τους.

Λέξεις κλειδιά: Πειραματική Χημεία, Προσομοίωση, Επαυξημένη Πραγματικότητα, εξ αποστάσεως διδασκαλία

Εισαγωγή

Οι Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτελούν ένα ταχύτατα αναπτυσσόμενο και αναπόσπαστο κομμάτι του σύγχρονου τρόπου ζωής. Ως εκ τούτου δεν θα μπορούσαν να μην οδηγήσουν και σε μια νέα εκπαιδευτική πραγματικότητα προσαρμόζοντας και συμπεριλαμβάνοντας τις ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Η εισαγωγή των ΤΠΕ στην εκπαίδευση οδηγεί στον επαναπροσανατολισμό της μαθησιακής διαδικασίας συνδυάζοντας την συνεργατική, την διερευνητική και την δημιουργική μάθηση, καθώς ο μαθητής κατέχει ενεργητική θέση αφού μόνος του, υπό την διακριτική καθοδήγηση του εκπαιδευτικού, καλείται να πειραματιστεί, να αναζητήσει και να ανακαλύψει τη γνώση, να συνεργαστεί με τους συμμαθητές του, να αναπτύξει την κατάλληλη μεθοδολογία παίρνοντας πρωτοβουλίες για την επίλυση του προβλήματος, να θέσει ο ίδιος τους στόχους του, να επιχειρηματολογήσει, να σκεφτεί, να εκφραστεί ελεύθερα και να καλλιεργήσει τα ταλέντα του (Romeo, 2008). Επίσης, οι ΤΠΕ αποτελούν σημαντικό εργαλείο στα χέρια των εκπαιδευτικών καθώς η χρήση τους παρουσιάζει περισσότερες ευκαιρίες διαφοροποίησης της εκπαιδευτικής διαδικασίας (Αποστολοπούλου Παναγιωτακόπουλος, Καρατράντου, 2012; Karatza, 2019).

Μέχρι και σήμερα έχουν σχεδιαστεί κι αναπτυχθεί πληθώρα λογισμικών εκπαιδευτικού χαρακτήρα με στόχο να ενταχθούν στην εκπαιδευτική διαδικασία υλοποιώντας συγκεκριμένη παιδαγωγική φιλοσοφία και συγκεκριμένη εκπαιδευτική στρατηγική. Τα λογισμικά τα οποία χαρακτηρίζονται ως εκπαιδευτικά, οφείλουν να εμπεριέχουν διδακτικούς στόχους, ολοκληρωμένα σενάρια, αλληγορίες με παιδαγωγική σημασία και ιδιαιτέρως να επιφέρουν συγκεκριμένα διδακτικά και μαθησιακά αποτελέσματα (Schleyer & Johnson, 2003; Καρατράντου, & Παναγιωτακόπουλος, 2013).

Οι Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ) είναι από τα πιο απαιτητικά γνωστικά αντικείμενα που διδάσκονται στο σχολείο και πολλές φορές οι μαθητές είναι αρνητικά προδιατεθειμένοι έναντι αυτών. Ο μαθητής καλείται να εξοικειωθεί και να χρησιμοποιήσει σωστά την επιστημονική ορολογία, να κατανοήσει τα φυσικά φαινόμενα και να συνδυάσει τη θεωρία που διδάσκεται με τα φυσικά φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω του (Glynn & Muth, 1994; Παναγιωτακόπουλος, Πιερρή, Καρατράντου, 2006). Σημαντικό εργαλείο στην φαρέτρα του εκπαιδευτικού φαίνεται να είναι οι ΤΠΕ η χρήση των οποίων εφαρμόζεται στην διδασκαλία των ΦΕ από την δεκαετία του '60 και φτάνει μέχρι και σήμερα, προσφέροντας πολλές δυνατότητες στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη κατάλληλου περιβάλλοντος εκπαιδευτικού χαρακτήρα, βοηθώντας τους μαθητές να περάσουν από την παθητική στην ενεργητική μάθηση, συνδέοντας την θεωρία με την πράξη και τον πραγματικό κόσμο αλλά και συνδυάζοντας τη γνώση με την ψυχαγωγία (Πιερρή, Καρατράντου, Παναγιωτακόπουλος, 2006; Romero, Laferriere & Power, 2016; Paxinou et al., 2018; Paxinou et al., 2019).

Μία από τις ταχέως αναπτυσσόμενες ΦΕ είναι η Χημεία με πολλαπλές εφαρμογές στην καθημερινότητά μας, π.χ. τρόφιμα, φάρμακα, καλλυντικά, ενέργεια, κ.ά.. Η διδασκαλία της Χημείας είναι απαραίτητο να συνδυάζει τη θεωρία με την εργαστηριακή άσκηση, οδηγώντας τον μαθητή να προβληματιστεί, να πάρει πρωτοβουλίες και να πειραματιστεί. Η σύνδεση της πειραματικής Χημείας με την θεωρία είναι ιδιαίτερα βαρύνουσας σημασίας για την επιστήμη αυτή (Pierri, Karatrantou, Panagiotakopoulos, 2008; Hofstein & Kind 2012).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του κατά πόσο η αξιοποίηση λογισμικών και εφαρμογών προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας στην εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών Χημείας, έχει αποδοχή από τους μαθητές καθώς και πόσο μπορεί να υποστηρίξει το έργο των εκπαιδευτικών. Για το σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε διδακτική παρέμβαση χρησιμοποιώντας το λογισμικό προσομοίωσης *IrYdium vLab* και την πλατφόρμα εφαρμογών επαυξημένης πραγματικότητας ARTutor σε εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών Τυτλοδότησης.

Θεωρητικό πλαίσιο

Χαρακτηριστικό των ΦΕ είναι ότι οι διδασκόμενες έννοιες είναι δυσκολονόητες για τους μαθητές, πολλές φορές είναι αφηρημένες και δεν είναι εύκολο για τους μαθητές να τις συνδέσουν με την καθημερινότητα. Πολλές φορές οι μαθητές δεν μπορούν να κατασκευάσουν τις νοητικές αναπαραστάσεις για το γνωστικό αντικείμενο που διδάσκονται και εύκολα οδηγούνται σε παρανοήσεις και απογοητεύονται (Glynn & Muth, 1994). Όμως η χρήση λογισμικών προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας (ΕΠ) επιτρέπουν την οπτικοποίηση και την διαδραστική διεπαφή του φυσικού φαινομένου που διδάσκονται, αυξάνοντας το ενδιαφέρον του μαθητή και την εμπλοκή του στην αυτόνομη και διερευνητική μάθηση (Romero, Laferriere & Power, 2016, Lytridis, Tsinakos & Kazanidis, 2018).

Στο πλαίσιο του μαθήματος Χημείας και της πειραματικής Χημείας έχουν σχεδιαστεί και αναπτυχθεί πληθώρα εκπαιδευτικών λογισμικών με χρήσεις που συντελούν στην καλλιέργεια της επιστημονικής σκέψης, την εξοικείωση με την επιστημονική ορολογία, την οπτικοποίηση δυσκολονόητων εννοιών, φαινομένων και διαδικασιών, επιτρέποντας στον μαθητή να

αλληλοεπιδράσει, να προβληματιστεί και να δημιουργήσει πολλαπλές οπτικές αναπαραστάσεις ενός φαινομένου. Μέσω των λογισμικών αυτών, ενισχύεται η αντίληψη του μαθητή μέσω της εποικοδομητικής, διερευνητικής αλλά και της συνεργατικής μάθησης, βασικές παιδαγωγικές αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η διδασκαλία των ΦΕ. Εφαρμογές ΤΠΕ σχετικές με εργαστηριακό περιβάλλον, εφόσον αξιοποιηθούν σωστά, αποτελούν ουσιαστικά μέσα διδασκαλίας προάγοντας την μαθησιακή διαδικασία μέσω της διερευνητικής και συνεργατικής μάθησης και γενικότερα την απόκτηση νέων γνωστικών δεξιοτήτων για τους μαθητές.

Τα εικονικά εργαστηριακά περιβάλλοντα που έχουν σχεδιαστεί μέχρι σήμερα μπορούν να ταξινομηθούν ως (Ma & Nickerson, 2006):

- (i) *προσομοίωσης (Simulations)* – προσομοίωση συστημάτων, λειτουργίας αυτών, εξέλιξη χημικών διεργασιών. Το περιβάλλον προσομοίωσης είναι ασφαλές, οικονομικότερο και πιο προσιτό συγκριτικά με την πραγματική εργαστηριακή διαδικασία
- (ii) *διαδίκτυακά εργαστήρια (Cyber Labs)* – πρόκειται για εργαστήρια που λειτουργούν με προσομοίωση των φαινομένων ή των πειραματικών διατάξεων και μεταφέρονται εύκολα στο διαδίκτυο
- (iii) *εργαστήρια εικονικής πραγματικότητας (Virtual Reality Labs – VRLabs)* – ο χρήστης έχει την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με πολλαπλές αισθήσεις με τον εικονικό εργαστηριακό κόσμο μέσα σε ένα εικονικό πραγματικό κόσμο
- (iv) *εργαστήρια ελεγχόμενα από απόσταση (Remote Labs)* – λαμβάνουν χώρα πραγματικά πειράματα στον φυσικό τους χώρο, από απόσταση με την χρήση τηλεπικοινωνιών.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο κατηγορίες εκπαιδευτικού λογισμικού:

- (i) *εργαστηριακό περιβάλλον προσομοίωσης*: τα λογισμικά αυτής της κατηγορίας προσφέρουν την δυνατότητα στον μαθητή να ενεργήσει ως ερευνητής, να ορίσει και να κατασκευάσει ο ίδιος το μοντέλο του προβλήματος, να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρούν διάφοροι παράμετροι στο πρόβλημα και να δοκιμάσει διαφορετικές προσεγγίσεις για το μοντέλο που μελετά. Με την χρήση του λογισμικού, ο μαθητής ενεργοποιεί κι αξιολογεί τις προσωπικές του ιδέες, έχει την δυνατότητα να αντιπαραθέσει την πρότερη γνώση του με τα νέα στοιχεία, να συγκρίνει το μοντέλο που έχει αναπτύξει με τα πραγματικά δεδομένα αλλά και να συνεργαστεί σε ομάδες τόσο με τους συμμαθητές του όσο και με άλλες ομάδες, π.χ. μαθητές από άλλα σχολεία, επιστήμονες ειδικούς στο γνωστικό αντικείμενο, κ.ά., με στόχο την οικοδόμηση κι επίλυση ακόμα πιο πολύπλοκου μοντέλου (Morozov et al., 2004) και
- (ii) *ηλεκτρονικά βιβλία & επανημιμένη πραγματικότητα (augmented reality – AR)*: πρόκειται για εκπαιδευτικό υλικό αποθηκευμένο σε CD-ROM ή στο διαδίκτυο ή έντυπο που συνοδεύεται από QR code και παρέχει την παρουσίαση του αντικειμένου σε περιβάλλον με χαρακτηριστικά την υπερμεσική δομή, την παρουσίαση της πληροφορίας με ποικίλους τρόπους και την δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τον χρήστη. Οι πληροφορίες παρουσιάζονται με την χρήση διαφόρων μορφών όπως κείμενο, εικόνα, τρισδιάστατη εικόνα, κινούμενη εικόνα, ήχο, βίντεο, κ.ά. (Lim & Park, 2011).

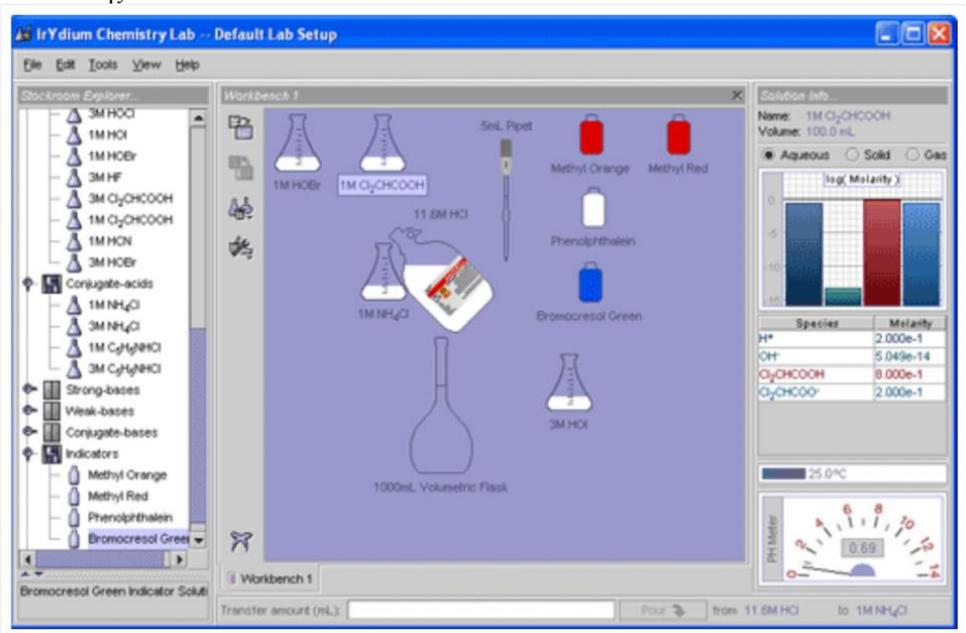
Παρακάτω παρουσιάζονται κάποια από τα σημαντικότερα εκπαιδευτικά λογισμικά στο γνωστικό αντικείμενο της Χημείας:

ChemSketch Freeware: πρόκειται για ελεύθερο λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία ACD/Labs. Αντικείμενο του λογισμικού αυτού είναι η σχεδίαση χημικών ενώσεων τόσο σε δισδιάστατο όσο και σε τρισδιάστατο επίπεδο. Για τον χειρισμό του λογισμικού αυτού απαιτείται εξοικείωση από τον χρήστη και απευθύνεται σε χρήστες προχωρημένου επιπέδου, κυρίως φοιτητές Τμημάτων με αντικείμενο συναφές με τη Χημείας

(<https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>).

Chemist: πρόκειται για εφαρμογή εικονικού εργαστηρίου στις κινητές συσκευές. Κατασκευάστηκε από την εταιρεία THIX και διαθέτει πληθώρα εργαστηριακών υαλικών και χημικών ουσιών. Τα γραφικά του λογισμικού δίνουν μια ρεαλιστική εικόνα. Με τη χρήση του λογισμικού, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει διαλύματα, να τα θερμάνει ή να τα ψύξει, να μετρήσει θερμοκρασία, όγκο βάρους και αγωγιμότητα. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να αλληλοεπιδράσει με τα υαλικά και τα διαλύματα, π.χ. μέσω της ανάμιξης του διαλύματος με γυάλινη ράβδο. Το περιβάλλον θεωρείται φιλικό και ευχάριστο προς τον χρήστη. Στα αρνητικά του λογισμικού συγκαταλέγονται το γεγονός ότι αφορά εφαρμογή σε κινητή συσκευή οπότε δεν προάγει την συνεργατική αλληλεπίδραση των χρηστών και επίσης είναι περιορισμένη η γκάμα των διαθέσιμων πειραμάτων που μπορεί να εκτελέσει ο χρήστης (<http://thix.co/chemist>).

IrYdium vLab: το λογισμικό αυτό διατίθεται δωρεάν και κατασκευάστηκε από Χημικούς του Πανεπιστημίου Carnegie Mellon (Η.Π.Α.) στα πλαίσια του προγράμματος IrYdium Project το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το National Science Foundation των Η.Π.Α. (Εικόνα 1). Το λογισμικό είναι διαθέσιμο σε πληθώρα γλωσσών μεταξύ των οποίων και τα Ελληνικά. Το IrYdium vLab είναι ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα προσομοίωσης Χημικού εργαστηρίου, το οποίο είναι ευέλικτο και απευθύνεται σε μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου και μάλιστα στην Ελληνική γλώσσα, γεγονός το οποίο συμβάλει στην εξοικείωση του μαθητή-χρήστη με την Χημική επιστημονική ορολογία. Στην περίπτωση που ο μαθητής διαθέτει τα κατάλληλα φύλλα εργασίας, το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο μέσα στην τάξη στην δια ζώσης εκπαίδευση αλλά και στον προσωπικό υπολογιστή του μαθητή στο πλαίσιο εξ' αποστάσεως εκπαίδευσης.



Εικόνα 1: IrYdium vLab (<http://www.chem.uwec.edu/>)

Το λογισμικό διαθέτει αποθηκευμένα 39 έτοιμα πειράματα τα οποία καλύπτουν την όλη

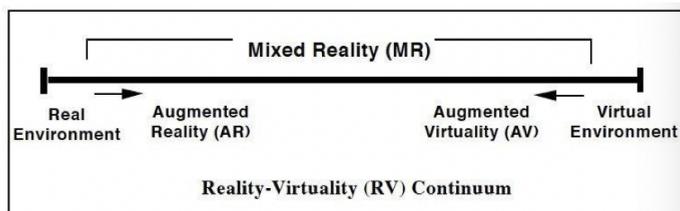
της Χημείας τόσο του Γυμνασίου όσο και του Λυκείου. Κάθε πείραμα συνοδεύεται από την εκφώνηση και το φύλλο οδηγιών, ενώ δίνεται η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέα πειράματα. Επίσης το λογισμικό προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να έρθει σε επαφή με τα αντικείμενα διεξαγωγής του πειράματος όπως η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση οργάνων, η αλλαγή του τρόπου μεταφοράς αντιδραστηρίων π.χ. ακριβής ή κατά προσέγγιση, κ.ά. Αποτελεί ίσως την πιο ολοκληρωμένη παρουσίαση ενός εργαστηρίου σε επίπεδο προσομοίωσης αλλά ενδέχεται στην αρχή να δυσκολέψει τον μαθητή και απαιτείται εξάσκηση για να ανταπεξέρθει στις απαιτήσεις του λογισμικού. Περιέχεται στα λογισμικά που προτείνονται από το Υπουργείο Παιδείας για την εκτέλεση πειραμάτων χημείας σε περιβάλλον προσομοίωσης για μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου (http://edu-gate.minedu.gov.gr/index.php?option=com_sppagebuilder&view=page&id=306&Itemid=137).

Virtual Chemistry Laboratory: πρόκειται για εικονικό εργαστήριο Χημείας το οποίο σχεδιάστηκε από τον Boyan Mihaylon και διατίθεται δωρεάν. Ο χώρος είναι χωρισμένος σε ένα εικονικό χώρο εργασίας, έναν χώρο για τα εργαστηριακά όργανα και έναν χώρο για τις χημικές ουσίες. Τα πειράματα εκτελούνται με σχετική ευκολία αλλά σίγουρα η Αγγλική γλώσσα του προγράμματος θα δυσκολεύει τους μαθητές οι οποίοι δεν είναι εξοικειωμένοι με την επιστημονική ορολογία και μάλιστα στα Αγγλικά (<https://chemistry.dortikum.net/en/>).

Model Chem Lab: πρόκειται για λογισμικό προσομοίωσης το οποίο προέκυψε από ακαδημαϊκή εργασία στο Πανεπιστήμιο McMaster των Η.Π.Α. και πλέον αποτελεί εμπορικό προϊόν. Διατίθεται σε δύο εκδόσεις, Standard και Professional. Ενώ είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης εργαστηρίου Χημείας, είναι αρκετά δυσνόητο για μαθητές Δ/βάθμιας εκπαίδευσης, τα αφηγηματικά κείμενα που παρουσιάζονται είναι αρκετά κουραστικά και δυσνόητα για τον μαθητή κι επιπλέον είναι στην Αγγλική γλώσσα (<https://www.modelscience.com/products.html>).

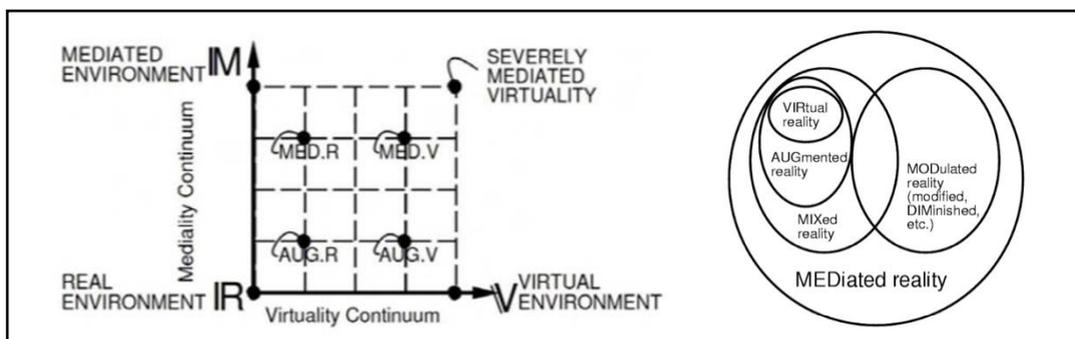
PhET Colorado: πρόκειται για ένα πρόγραμμα προσομοιώσεων το οποίο έχει σχεδιαστεί από το University of Colorado Boulder των Η.Π.Α. και μπορεί να λειτουργήσει on-line αλλά και off-line, δωρεάν. Προσφέρει ποικιλία προσομοιώσεων στο πεδίο των ΦΕ αλλά και των Μαθηματικών. Στο λογισμικό αυτό ο μαθητής μέσα από μια διασκεδαστική διαδικασία και κατέχοντας τον ρόλο του ερευνητή αλληλοεπιδρά τόσο με το λογισμικό όσο και με τους συμμαθητές του προκειμένου να επιλύσει το πρόβλημα και να κατανοήσει το γνωστικό αντικείμενο. Σε κάθε προσομοίωση τίθενται σαφείς εκπαιδευτικοί στόχοι τους οποίους ο μαθητής θα πρέπει να έχει κατακτήσει με το πέρας της διαδικασίας προσομοίωσης. Στο γνωστικό αντικείμενο της Χημείας, περιλαμβάνονται 27 προσομοιώσεις Γενικής Χημείας και 2 Κβαντικής Χημείας (<https://phet.colorado.edu/>).

Στην παρούσα εργασία εκτός από την αξιοποίηση λογισμικού προσομοίωσης εργαστηρίου Χημείας, δημιουργήθηκε για το πείραμα που θα εκτελούσαν οι μαθητές ένας *εργαστηριακός οδηγός σε περιβάλλον ΕΠ*. Η ΕΠ, η οποία αναφέρεται ως Augmented Reality (AR) στην διεθνή βιβλιογραφία, αποτελεί μια τεχνολογία παραλλαγής της *Εικονικής Πραγματικότητας* με την οποία συγχέεται πολλές φορές. Η ΕΠ μέσω ενός υπολογιστικού συστήματος, «επαυξάνει» τον πραγματικό κόσμο με εικονικά στοιχεία χωρίς όμως να τον αντικαθιστά όπως κάνει η Εικονική Πραγματικότητα. Από το 1994, οι Milgram & Kishino, ορίζουν ότι τόσο η επαυξημένη πραγματικότητα όσο και η εικονική πραγματικότητα συνιστούν τα δύο ακραία τμήματα της μικτής πραγματικότητας όπου υπάρχουν τόσο τα φυσικά όσο και τα ψηφιακά στοιχεία (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Το σύστημα Μικτής Πραγματικότητας κατά τους Milgram & Kishino (Milgram & Kishino, 1994)

Το μοντέλο των Milgram και Kishino εμπλουτίστηκε το 2002 από τον Mann, ο οποίος πρόσθεσε και άλλους τρόπους παρεμβολής της πραγματικότητας και της εικονικής παρουσιάζοντας τις σχέσεις μεταξύ τους (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Το σύστημα πραγματικής και εικονικής πραγματικότητας και οι σχέσεις μεταξύ τους κατά τον Mann (Mann, 2002)

Από την ανάπτυξη της τεχνολογίας ΕΠ μέχρι και σήμερα, οι εφαρμογές της είναι πολυάριθμες σε διάφορα πεδία της εργασίας και ζωής και όπως είναι φυσικό έχει εισαχθεί και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Σύμφωνα όμως με τον Billinghurst (Billinghurst, 2002), η εισαγωγή της ΕΠ στην εκπαιδευτική διαδικασία διαφέρει σημαντικά συγκριτικά με τις υπόλοιπες ΤΠΕ στα ακόλουθα σημεία:

- (i) η ΕΠ μπορεί να υποστηρίξει την αλληλεπίδραση πραγματικού και εικονικού περιβάλλοντος χωρίς εμπόδια
- (ii) μπορεί να γίνει απτή μεταφορά από τον χρήστη προκειμένου να χειριστεί τα αντικείμενα και
- (iii) η μετάβαση από τον πραγματικό στον εικονικό κόσμο και αντίστροφα γίνεται με ομαλό τρόπο.

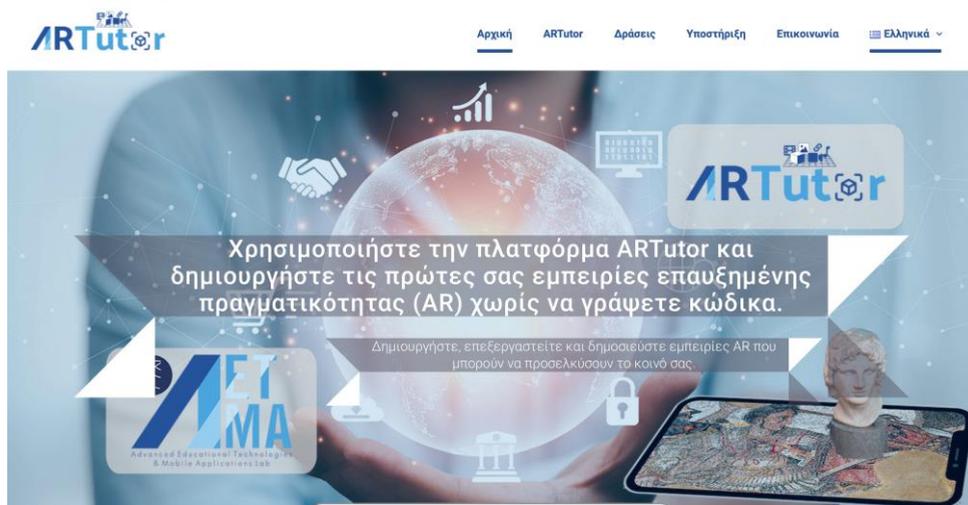
Η ΕΠ δίνει την δυνατότητα στους μαθητές να αλληλοεπιδρούν τόσο μεταξύ τους όσο και με το αντικείμενο που διδάσκονται μέσω της οπτικής εμφάνισης την οποία μπορούν να χειριστούν με αφή. Επίσης τους δίνεται η δυνατότητα να μετακινήσουν αντικείμενα, να τα δουν τρισδιάστατα, να τα μεγεθύνουν αλλά και να τα μικρύνουν, να «ζωντανέψουν» μια εικόνα, δίνοντάς τους ουσιαστικά την δυνατότητα εξέτασης του υπό μελέτη αντικειμένου μέσω μιας άλλης προοπτικής (Billinghurst, 2002). Στην εκπαίδευση η ΕΠ μπορεί να αφορά βιβλίο ΕΠ, εκπαιδευτικά παιχνίδια ΕΠ, ανακαλυπτικής μάθησης, μοντελοποίηση αντικειμένων, εξάσκησης δεξιοτήτων (Yen, Yaoyuneyog & Johnson, 2011).

Το πεδίο εφαρμογής της ΕΠ στην εκπαίδευση είναι αρκετά ευρύ αφού βρίσκει εφαρμογές σε όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες και σε διάφορα πεδία (Antonioli, Blake & Sparks 2014).

Leighton & Crompton, 2017). Φαίνεται να κερδίζει έδαφος κυρίως στις ΦΕ, όπως είναι η Βιολογία, η Γεωγραφία, η Αστρονομία, η Φυσική και η Χημεία (Arici et al., 2019) αλλά και στις Ανθρωπιστικές Επιστήμες όπως είναι η Ιστορία (Challenor & Ma, 2019).

Η ΕΠ μπορεί να αποτελέσει το εργαλείο που θα παρουσιάσει το γνωστικό αντικείμενο με ένα διασκεδαστικό τρόπο και να οδηγήσει τα παιδιά στην συνεργασία και την κατανόηση αυτού. Σύμφωνα με τους Billinghamurst και Dünser (Billinghurst & Dünser, 2012) η ΕΠ μπορεί να αποτελέσει ένα ιδιαίτερα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του εκπαιδευτικού στην διδασκαλία ενός γνωστικού αντικείμενου σε μαθητές που έχουν προβλήματα στην κατανόηση κειμένου. Η χρήση της ΕΠ έχει επίσης προταθεί και στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση όπου μπορεί να διατηρήσει το ενδιαφέρον του μαθητή και να μην αποσπαστεί η προσοχή του κατά την διάρκεια του μαθήματος (Akçayır & Akçayır, 2017).

Στον Ελληνικό χώρο έχει γίνει μια αξιόλογη προσπάθεια από τους Λυτρίδη, Τσινάκο και Καζανίδη (Lytridis, Tsinakos & Kazanidis, 2018) οι οποίοι δημιούργησαν την πλατφόρμα ARTutor (http://artutor.ihu.gr/index_el/) μαζί με την αντίστοιχη εφαρμογή κινητής συσκευής, στην οποία ο χρήστης μπορεί να εισάγει το βιβλίο/σημειώσεις/εγχειρίδιο που ετοίμασε για ένα γνωστικό αντικείμενο και να το μετατρέψει σε βιβλίο ΕΠ, δωρεάν, εύκολα και χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός (Εικόνα 4). Ο εκπαιδευτικός με την χρήση του εν λόγω λογισμικού μπορεί να προσθέσει διαδραστικό περιεχόμενο στο εκπαιδευτικό βιβλίο είτε σε ηλεκτρονική είτε σε έντυπη μορφή, όπως βιβλία ή ηλεκτρονικά βιβλία, παρουσιάσεις, αφίσες κ.ά. Με τον τρόπο αυτό το στατικό υλικό που περιέχεται στο βιβλίο μετατρέπεται σε επαυξημένη πραγματικότητα με την προσθήκη εικόνων, βίντεο, τρισδιάστατων μοντέλων και διαδραστικών τεστ. Ο μαθητής μπορεί να κατεβάσει την εφαρμογή στην κινητή του συσκευή και είτε από τον δικτυακό τόπο του ARTutor είτε σκανάροντας το QR code που συνοδεύει το σύγγραμμα, να δει εικόνες να «ζωντανεύουν», να αλληλοεπιδρά με τα τρισδιάστατα μοντέλα κ.ά.



Εικόνα 4: ARTutor (http://artutor.ihu.gr/index_el/)

Σκοπός και Ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της εξ αποστάσεως διδασκαλίας πειραμάτων Χημείας σε μαθητές Γυμνασίου χρησιμοποιώντας εφαρμογές προσομοίωσης και επαυξημένης

πραγματικότητας και αφορά μελέτη περίπτωσης. Τα ερευνητικά ερωτήματα που εξετάζονται είναι:

- (i) Ποια είναι η αποδοχή μαθητών Γυμνασίου για την εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικής διαδικασίας Χημείας με εφαρμογές προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας;
- (ii) Ποια είναι η αποδοχή εκπαιδευτικών ΦΕ για την εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικής διαδικασίας Χημείας με εφαρμογές προσομοίωσης και επαυξημένης πραγματικότητας;

Για τον σκοπό αυτό σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια διδακτική παρέμβαση σε μαθητές Γυμνασίου απομακρυσμένης νησιωτικής περιοχής που αφορούσε το μάθημα της Χημείας και συγκεκριμένα την *Πειραματική Διαδικασία της Τιτλοδότησης*, στο πλαίσιο της ύλης που σχετίζεται με τα οξέα, τις βάσεις, τα άλατα και την εξουδετέρωση. Η παρέμβαση διεξήχθη κατά το ωρολόγιο πρόγραμμα του σχολείου.

Μεθοδολογία

Στην παρούσα εργασία επιχειρήθηκε έρευνα ποιοτικής μορφής και ειδικότερα η Μελέτη Περίπτωσης (Case Study) (Παναγιωτακόπουλος & Σαρρής, 2017). Η μέθοδος αυτή θεωρήθηκε κατάλληλη για την παρούσα εργασία γιατί επιχειρεί να απαντήσει στο πώς υποδέχονται τόσο οι μαθητές όσο και οι εκπαιδευτικοί τη χρήση προσομοίωσης και ΕΠ την εξ' αποστάσεως διδασκαλία πειραματικής διαδικασίας Χημείας με την εφαρμογή συγκεκριμένης εκπαιδευτικής παρέμβασης στο συγκεκριμένου πλαίσιο μια τάξης Γυμνασίου απομακρυσμένης νησιωτικής περιοχής.

Για την συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν:

- (i) *ερωτηματολόγιο κλειστού τύπου* για τους μαθητές πριν και μετά την παρέμβαση. Στο ερωτηματολόγιο πριν την παρέμβαση περιέχονταν ερωτήσεις σχετικές με δημογραφικά στοιχεία (3 ερωτήσεις), την εξοικείωση των μαθητών με τους Η/Υ (5 ερωτήσεις) και την σχέση τους με το μάθημα της Χημείας (3 ερωτήσεις). Μετά την παρέμβαση, το ερωτηματολόγιο περιείχε ερωτήσεις στις οποίες ο μαθητής καλούνταν να αξιολογήσει το IrYdium vLab ως προς την ευχρηστία του (7 ερωτήσεις) και ως προς την απήχυσή του (7 ερωτήσεις) και το ARTutor ως προς την απήχυσή του (7 ερωτήσεις)
- (ii) φύλλα εργασίας για τους μαθητές
- (iii) *ερωτηματολόγιο γνωστικού περιεχομένου* με ερωτήσεις ανοικτού και κλειστού τύπου πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση
- (iv) *συμμετοχική παρατήρηση*
- (v) *ημιδομημένες συνεντεύξεις* στο τέλος της παρέμβασης (ομαδική για τους μαθητές και ατομική για τον εκπαιδευτικό).

Προκειμένου να είναι εφικτή η ποσοτικοποίηση των δεδομένων των ερωτηματολογίων όπου ήταν απαραίτητο εφαρμόστηκαν κατηγορική κλίμακα μέτρησης και η πεντάβαθμη ιεραρχική κλίμακα τύπου Likert.

Οι ερωτήσεις τόσο των ερωτηματολογίων όσο και των ημιδομημένων συνεντεύξεων πριν και μετά την παρέμβαση είχαν σκοπό να αξιολογήσουν οι συμμετέχοντες, εκπαιδευτικός και μαθητές, την εκπαιδευτική παρέμβαση που διενεργήθηκε με τους κεντρικότερους άξονες να είναι *το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η δραστηριότητα, η χρησιμότητα της εργαστηριακής διαδικασίας ως προς τις γνώσεις που αποκόμισαν οι μαθητές, οι δυσκολίες που αντιμετώπισαν και η οπτική τους για την αξιοποίηση των συγκεκριμένων εργαλείων στην εκπαιδευτική διαδικασία*. Οι ερωτήσεις βασίστηκαν σε βιβλιογραφικά δεδομένα κι επιλέχθηκαν από την ερευνήτρια. Η εγκυρότητα των ερωτήσεων ελέγχθηκε από έναν ειδικό σε θέματα ΤΠΕ στη διδασκαλία ΦΕ κι έναν έμπειρο εκπαιδευτικό ΦΕ Δ/βάθμιας εκπαίδευσης ως προς την καταλληλότητά τους για την ηλικία

των μαθητών και το κατά πόσο καλύπτουν το προς μελέτη αντικείμενο.

Τα φύλλα εργασίας που δόθηκαν στους μαθητές, ένα για κάθε πείραμα, είχαν την εκφώνηση της εργαστηριακής διαδικασίας που καλούνταν να εκτελέσουν στο IrYdiumVlab, πίνακα στον οποίον έπρεπε να εισάγουν τα πειραματικά τους δεδομένα, πεδίο για την χάραξη της καμπύλης τιτλοδότησης και τρεις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου για τον έλεγχο της κατανόησης των πειραμάτων που εκτελέστηκαν. Μετά το πέρας της παρέμβασης, τα φύλλα εργασίας αναλύθηκαν από την ερευνήτρια ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο επιτεύχθηκαν οι μαθησιακοί στόχοι που είχαν τεθεί.

Ο εργαστηριακός οδηγός που δόθηκε στους μαθητές κατασκευάστηκε από την ερευνήτρια σε περιβάλλον ΕΠ με την χρήση του προγράμματος ARTutor και περιείχε θεωρητικά στοιχεία σχετικά με τα πειράματα που καλούνταν να εκτελέσουν καθώς και αναλυτικές οδηγίες για την εκτέλεση των πειραμάτων στο IrYdiumVlab. Ο εργαστηριακός οδηγός περιέχει *τρισδιάστατα μοντέλα των βασικότερων υαλικών που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση του εν λόγω πειράματος, βίντεο που δείχνουν την εκτέλεση τέτοιων πειραμάτων σε πραγματικό εργαστηριακό χώρο, βίντεο σχετικά με την τιτλοδότηση που κινούν το ενδιαφέρον του αναγνώστη μέσα από τρικ καθώς και υπερσυνδέσεις στα κυριότερα σημεία προκειμένου ο μαθητής να μπορεί με ένα απλό άγγιγμα στην οθόνη του κινητού του να αντλήσει περισσότερες πληροφορίες.* Έγινε προσπάθεια από την ερευνήτρια να παρουσιαστεί το θέμα με όσο το δυνατόν περισσότερο παιγνιώδη κι ευχάριστο τρόπο προκειμένου να διατηρηθεί αμείωτο το ενδιαφέρον του μαθητή.

Το ερωτηματολόγιο γνωστικού περιεχομένου πριν την παρέμβαση περιείχε μία ερώτηση πρόβλεψης, μία ερώτηση ανοιχτού τύπου και οκτώ ερωτήσεις κλειστού τύπου, ενώ μετά την παρέμβαση περιείχε έντακα ερωτήσεις κλειστού τύπου και τρεις ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Τα ερωτηματολόγια γνωστικού αντικείμενου δόθηκαν με σκοπό να διερευνηθούν οι πρότερες γνώσεις των μαθητών επί του συγκεκριμένου αντικείμενου αλλά και να διαπιστωθεί το κατά πόσο οι μαθητές με την εν λόγω εκπαιδευτική παρέμβαση αποκόμισαν περισσότερες γνώσεις για το συγκεκριμένο αντικείμενο. Προκειμένου να τηρηθεί η εγκυρότητα της βαθμολόγησης, τα ερωτηματολόγια γνωστικού περιεχομένου βαθμολογήθηκαν από δύο βαθμολογητές και για την ανάλυση των δεδομένων ελήφθη ο μέσος όρος των δύο βαθμολογητών.

Η παρατήρηση που διενεργήθηκε κατά την διάρκεια της εκπαιδευτικής παρέμβασης ήταν μέσω της συμμετοχής ενός μέλους της ερευνητικής ομάδας μέσα στην τάξη (ο εκπαιδευτικός της τάξης) όπου διενεργούνταν η εργαστηριακή διαδικασία αλλά και ενός μέλους από απόσταση. Οι παρατηρητές συμμετείχαν όπου απαιτούνταν και είχε ελεύθερο χαρακτήρα καθώς διεξήχθη σε μη αυστηρό πλαίσιο (Παναγιωτακόπουλος & Σαρρής, 2017).

Για την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων, εφαρμόστηκε η ανάλυση περιεχομένου με μονάδα ανάλυσης το θέμα.

Στην έρευνα συμμετείχαν 15 μαθητές Γυμνασίου από το Γυμνάσιο με Τ.Α. Φολεγάνδρου (N=15). Από τους 15 συμμετέχοντες οι 9 είναι κορίτσια και οι 6 αγόρια. Οι μαθητές εργάστηκαν ανά ομάδες τριών ή τεσσάρων ατόμων. Σε όλους τους μαθητές δόθηκαν όλα τα ερωτηματολόγια που αναφέρθηκαν παραπάνω και όλοι συμμετείχαν στην συνέντευξη.

Στα πλαίσια της ηθικής δεοντολογίας όλα τα ερωτηματολόγια και οι σημειώσεις που κατέγραψαν οι παρατηρητές ήταν ανώνυμα και δεν έγινε κάποιου είδους καταγραφή. Οι παρατηρήσεις έγιναν σε ομαδικό και όχι σε ατομικό επίπεδο, εστιάζοντας στον τρόπο με τον οποίο αλληλοεπιδρούσε η ομάδα, στον τρόπο με τον οποίο συνεργάστηκαν, στο τι μπορεί να τους δυσκόλεψε και στο τι μπορεί να τους προσέλκυσε το ενδιαφέρον.

Η διδακτική παρέμβαση υλοποιήθηκε από την ερευνήτρια εξ αποστάσεως. Πριν την παρέμβαση δόθηκε στους μαθητές το ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις σχετικές με δημογραφικά στοιχεία και την σχέση τους με τους Η/Υ και το μάθημα της Χημείας καθώς και το ερωτηματολόγιο γνωστικού αντικείμενου. Η παρέμβαση διήρκεσε τέσσερις (4) διδακτές ώρες

και έλαβε χώρα τον Μάιο του 2022. Η διαδικασία περιελάμβανε αρχικά την εγκατάσταση του λογισμικού ΕΠ στις κινητές τους συσκευές, η παρουσίαση του εργαστηριακού οδηγού σε περιβάλλον ΕΠ από τον ερευνητή με παράλληλη επισκόπησή του από τους μαθητές μέσω της εφαρμογής. Ακολούθως οι μαθητές χωρίστηκαν σε ομάδες και η κάθε ομάδα κλήθηκε να εκτελέσει δύο πειράματα *τιτλοδότησης, ισχυρό οξύ-ισχυρή βάση και ασθενές οξύ-ισχυρή βάση*, στο λογισμικό IrYdiumVlab. Στην συνέχεια οι μαθητές συμπλήρωσαν τα φύλλα εργασίας των δύο πειραμάτων που εκτέλεσαν, με τα πειραματικά δεδομένα που πήραν από την εκτέλεση των πειραμάτων και το ερωτηματολόγιο για την αξιολόγηση των λογισμικών και της εμπειρίας που αποκόμισαν από την παρέμβαση καθώς και το ερωτηματολόγιο γνωστικού αντικειμένου μετά την παρέμβαση.



Εικόνα 5: Σύνδεση της ερευνητικής ομάδας με το Γυμνάσιο Φολεγάνδρου.

Ευρήματα και Συζήτηση

Στην παρούσα μελέτη συμμετείχαν 15 μαθητές Γυμνασίου εκ των οποίων τα 10 (67%) ήταν κορίτσια και οι 5 (33%) αγόρια.

11 μαθητές (73%) δήλωσαν ότι είναι «Λίγο» εξοικειωμένοι με την χρήση του Η/Υ ενώ 4 (27%) δήλωσαν ότι η εξοικείωση τους είναι «Μέτρια».

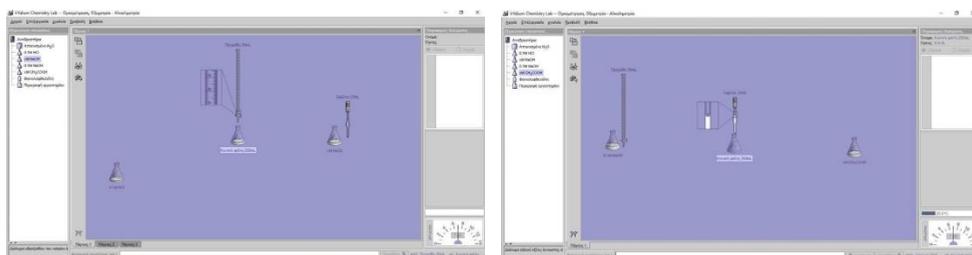


Εικόνα 6: Επισκόπηση του εργαστηριακού οδηγού σε περιβάλλον ΕΠ από μαθήτρια που συμμετείχε στην δράση. Μέσα από την κινητή της συσκευή παρατηρεί την εικόνα να «ζωντανεύει» και βλέπει την αλλαγή του χρώματος του δείκτη σε ένα πείραμα τιτλοδότησης σε πραγματικό εργαστηριακό περιβάλλον.

Ενδιαφέρον αποτελεί το στοιχείο ότι 8 μαθητές (53%) δήλωσαν ότι εξοικειώθηκαν με την

χρήση του Η/Υ μόνοι τους, 4 μαθητές (27%) με την βοήθεια του μαθήματος Πληροφορικής του σχολείου και 3 μαθητές (20%) με την βοήθεια των γονιών/αδερφών τους. Δεκατέσσερις (14) μαθητές (93%) δήλωσαν ότι δεν χρησιμοποιούν «Σχεδόν ποτέ» τον προσωπικό του Η/Υ για τα μαθήματά τους ενώ 1 μαθητής (7%) δήλωσε ότι τον χρησιμοποιεί «Περιοριστικά/Μερικές φορές». Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι μέχρι την ημέρα της δράσης κανένας από τους συμμετέχοντες μαθητές δεν είχε χρησιμοποιήσει κάποιο λογισμικό σχετικό με τη Χημεία.

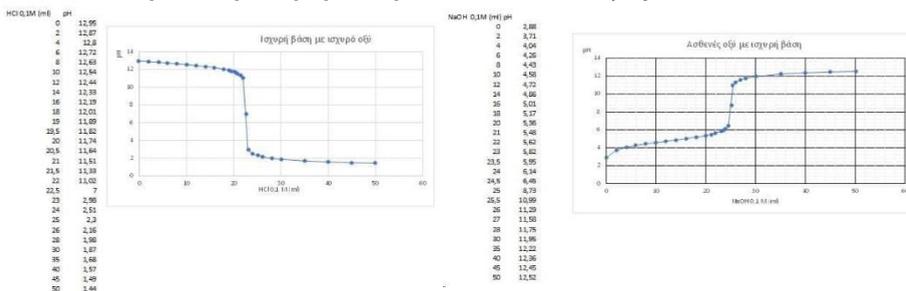
Έξι (6) μαθητές (40%) δήλωσαν ότι η Χημεία τους αρέσει «Λίγο», 7 μαθητές (47%) «Μέτρια» ενώ 2 μαθητές (13%) «Πολύ» (Γράφημα 1). Κανένας από τους συμμετέχοντες μαθητές δεν είχαν επισκεφθεί Χημικό εργαστήριο ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι όλοι, ανεξαρτήτως της σχέσης τους με το μάθημα της Χημείας, θα ήθελαν το σχολείο τους να διαθέτει εξοπλισμένο εργαστήριο και να μπορούν να κάνουν δια ζώσης κάποιο πείραμα έστω και σε μορφή επίδειξης.



Εικόνα 7: Η οθόνη του Η/Υ όταν οι μαθητές εκτελούσαν το πείραμα στο λογισμικό IridiumVlab.



Εικόνα 8: Οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες και συνεργάστηκαν προκειμένου να ολοποιήσουν την πειραματική διαδικασία στο λογισμικό IridiumVlab.



Εικόνα 9: Η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων που συνέλλεξαν οι μαθητές από την εκτέλεση των πειραμάτων στο λογισμικό IridiumVlab και η συμπλήρωση αυτών στα φύλλα εργασίας που τους δόθηκαν.

Ευχρησσία του λογισμικού IrYdiumVlab

Όσο αφορά την χρήση του IrYdiumVlab, 7 μαθητές (46%) δήλωσαν ότι ήταν «Εύκολο», 4 μαθητές (27%) «Ούτε εύκολο ούτε δύσκολο» και 4 μαθητές επίσης (27%) «Πολύ εύκολο». Έντεκα (11) μαθητές (73%) κατανόησαν το τι έπρεπε να κάνουν σε κάθε πείραμα σε αντίθεση με 4 μαθητές (27%) που χρειάστηκαν περισσότερες επεξηγήσεις. Όλοι οι συμμετέχοντες τοποθέτησαν «Εύκολα» όλα τα απαραίτητα υαλικά και αντιδραστήρια στον εικονικό τους πάγκο προκειμένου να εκτελέσουν το πείραμα. Από τα εικονίδια που έπρεπε να βρουν στο λογισμικό, αυτό που τους έδειχνε τα υαλικά, 10 μαθητές (67%) το βρήκαν «Εύκολα» ενώ 5 μαθητές (33%) χρειάστηκαν βοήθεια. Η μετάβαση από το 1^ο στο 2^ο πείραμα έγινε «Εύκολα» για 11 μαθητές (73%) ενώ 4 μαθητές (27%) δήλωσαν ότι τα κατάφεραν «Δύσκολα». Δώδεκα (12) μαθητές (80%) δήλωσαν ότι η συχνότητα με την οποία απευθύνθηκαν στον καθηγητή τους ήταν «Μερικές φορές» ενώ μόλις 3 μαθητές (20%) δήλωσαν ότι απευθύνθηκαν «Συχνά». Το γεγονός ότι η εκπαιδευτική παρέμβαση έγινε εξ αποστάσεως φαίνεται ότι δεν δυσκόλεψε 9 μαθητές (60%), ενώ 6 μαθητές (40%) δήλωσαν ότι τους δυσκόλεψε «Λίγο».

Απήχηση του λογισμικού IrYdiumVlab

Το λογισμικό προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκε στην δράση φάνηκε να έχει ιδιαίτερη απήχηση στους συμμετέχοντες μαθητές αφού όλοι ανέφεραν ότι η διαδικασία ήταν «Πάρα πολύ» ενδιαφέρουσα, παρ' όλο που όλοι χαρακτήρισαν τα γραφικά του ως «Μέτρια». Δώδεκα (12) μαθητές (80%) δήλωσαν ότι το λογισμικό τους βοήθησε «Πολύ» στην αναπαράσταση της πειραματικής διαδικασίας ενώ 3 μαθητές (20%) «Πάρα πολύ». Στο σημείο αυτό σημειώνεται ότι οι συμμετέχοντες μαθητές κατά τη διάρκεια του σχολικού έτους είχαν χρησιμοποιήσει το λογισμικό PhET Colorado με τον εκπαιδευτικό της Φυσικής εκτελώντας πειράματα προσομοίωσης στα πλαίσια του μαθήματος Φυσικής. Όλοι οι μαθητές δήλωσαν ότι θα επιθυμούσαν να κάνουν και άλλα πειράματα στο λογισμικό προσομοίωσης με τον εκπαιδευτικό τους στην σχολική αίθουσα. Από τα πλέον σημαντικότερα ευρήματα της παρούσας εργασίας είναι ότι όλοι οι μαθητές δήλωσαν ότι η εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε τους βοήθησε να κατανοήσουν την αντίστοιχη θεωρία αλλά και να εξοικειωθούν με την επιστημονική ορολογία.

Απήχηση του λογισμικού ARTutor:

Η παρουσίαση του εργαστηριακού οδηγού σε περιβάλλον ΕΠ έτυχε ιδιαίτερης εκτίμησης από τους συμμετέχοντες μαθητές. Όλοι δήλωσαν ότι δεν είχαν δει ποτέ ξανά κάποιο βιβλίο ή παρουσίαση σε περιβάλλον ΕΠ, τα γραφικά τους άρεσαν «Πάρα πολύ», χαρακτήρισαν ως «Πάρα πολύ» ενδιαφέρουσα αυτού του είδους την παρουσίαση και όλοι οι μαθητές θα ήθελαν να είχαν και σε άλλα μαθήματα εφαρμογές σε περιβάλλον ΕΠ (Γράφημα 4). Εννέα μαθητές (60%) δήλωσαν ότι ο τρόπος που παρουσιάστηκε ο εργαστηριακός οδηγός τους βοήθησε να αναγνωρίσουν τον απαιτούμενο εργαστηριακό εξοπλισμό στο IrYdiumVlab .

Ευρήματα με βάση την παρατήρηση.

Οι μαθητές έδειξαν ιδιαίτερο ενθουσιασμό για την δράση και πρόθυμοι να δουλέψουν. Τα μέλη όλων των ομάδων συνεργάστηκαν μεταξύ τους προκειμένου να λύσουν τα προβλήματα που αντιμετώπιζαν κατά την διάρκεια της δράσης και εφόσον δεν το κατάφεραν απευθύνονταν στον εκπαιδευτικό.

Ιδιαίτερο ενθουσιασμό έδειξαν στην επισκόπηση του εργαστηριακού οδηγού με το λογισμικό ΕΠ και το επεξεργάστηκαν περισσότερες από μία φορές, γυρνώντας ξανά στα σημεία που τους έκαναν περισσότερη εντόπωση. Επίσης ήταν τόσο ο ενθουσιασμός που προέτρεχαν από την παρουσίαση που έγινε από την ερευνήτρια.

Όσο αφορά το λογισμικό προσομοίωσης, τα μέλη των ομάδων συνεργάστηκαν μεταξύ

τους προκειμένου να εκτελέσουν την πειραματική διαδικασία και όταν ολοκληρώθηκε η προσπάθειά τους ήθελαν να εξερευνήσουν ποιες άλλες δυνατότητες τους δίνει το λογισμικό. Κάποιοι μαθητές κατείχαν πιο δυναμική θέση και έπαιρναν περισσότερες πρωτοβουλίες συγκριτικά με άλλους.

Ως διαδικασία, τόσο με το λογισμικό προσομοίωσης όσο και με το λογισμικό ΕΠ, φάνηκε ότι τους κέντρισε ιδιαίτερα το ενδιαφέρον, ανεξάρτητα από το μαθησιακό τους επίπεδο και την σχέση τους με το μάθημα της Χημείας, καθώς διατήρησαν την προσήλωσή τους στον στόχο χωρίς ο εκπαιδευτικός να τους παροτρύνει. Επίσης το γεγονός ότι η πειραματική διαδικασία ήταν σε ένα ασφαλές περιβάλλον προσομοίωσης χωρίς να υπάρχει η περίπτωση κάποιου ατυχήματος όπως θα μπορούσε να συμβεί σε ένα πραγματικό εργαστήριο, τους έδωσε την δυνατότητα να αισθάνονται ασφαλείς και να πειραματιστούν περαιτέρω χωρίς τον φόβο κάποιου λάθους που θα μπορούσε να αποβεί μοιραίο.

Ευρήματα με βάση την συνέντευξη

Σκοπός των συνεντεύξεων ήταν η αξιολόγηση της δράσης από τους ίδιους τους συμμετέχοντες ώστε να αναδειχθούν τόσο τα θετικά σημεία όσο και τα τυχόν προβλήματα που μπορεί να ανακύψουν από παρόμοιες πρακτικές μέσα στην σχολική τάξη. Τα σημεία που αναδείχθηκαν από τις συνεντεύξεις ήταν τα ακόλουθα:

Για τους μαθητές:

- Οι μαθητές ενθουσιάστηκαν και βρήκαν εξαιρετικά ενδιαφέροντα και πρωτόγνωρη την παρουσίαση με την χρήση λογισμικού ΕΠ
- Οι μαθητές συνέχισαν την επισκόπηση του υλικού με την χρήση λογισμικού ΕΠ και μόνοι τους πέρα από την ώρα της δράσης
- Η ΕΠ δίνει μια άλλη διάσταση στο μάθημα
- Η επανάληψη ίδιων ενεργειών για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας στο λογισμικό προσομοίωσης έκανε τους μαθητές να διασπαστεί η προσοχή τους καθώς δεν το θεώρησαν ενδιαφέρον
- Με αναλυτικές οδηγίες όλοι οι μαθητές μπορούν να εκτελέσουν το πείραμα στο λογισμικό IrYdiumVlab ακόμα και εξ αποστάσεως
- Το λογισμικό ΕΠ είναι ιδιαίτερα εύχρηστο για τα παιδιά ακόμα και εξ αποστάσεως
- Όλα τα παιδιά συνεργάστηκαν, όχι μόνο εντός της ομάδας αλλά και μεταξύ τους οι ομάδες, ώστε να λυθούν τυχόν προβλήματα που ανέκυπταν

Για τον εκπαιδευτικό:

- Ενδιαφέροντα διαδικασία που δίνει άλλη διάσταση στο μάθημα της Χημείας
- Ιδιαίτερα χρήσιμο σε σχολεία που δεν διαθέτει εργαστήριο Χημείας ή ο εξοπλισμός τους είναι ελλιπής ή απαρχαιωμένος
- Το λογισμικό IrYdiumVlab είναι πιο συγγενές συγκριτικά με άλλα λογισμικά προσομοίωσης ως προς την ύλη του μαθήματος Χημείας, Γυμνασίου και Λυκείου. Ίσως πιο κατάλληλο για την Γ Γυμνασίου και Α Λυκείου
- Είναι δύσκολο ένας και μόνο εκπαιδευτικός να ελέγξει τον τρόπο χρήσης του κινητού μέσα στην τάξη, κυρίως σε πολυάριθμα τμήματα 25 μαθητών. Η διαχείριση της τάξης όταν οι μαθητές δουλεύουν σε υπολογιστές ή/και τις κινητές τους συσκευές είναι δύσκολη για έναν και μόνο εκπαιδευτικό ακόμα και σε ολιγάριθμα τμήματα 15 μαθητών
- Η εισαγωγή ΤΠΕ στην μαθησιακή διαδικασία εκτός από υλικοτεχνική υποδομή, απαιτεί και ανθρώπινο δυναμικό
- Πολλοί εκπαιδευτικοί που καλούνται να διδάξουν το μάθημα της Χημείας είτε δεν είναι το αντικείμενό τους και δεν γνωρίζουν τι περισσότερα μπορούν να προσφέρουν στα παιδιά είτε είναι τεchnοφοβικοί και δεν εισάγουν ΤΠΕ εύκολα στο μάθημά τους

- Πολλοί εκπαιδευτικοί προσπαθούν να καλύψουν την ύλη και θεωρούν ότι τέτοιες δράσεις θα τους καθυστερήσουν
- Πολλοί εκπαιδευτικοί σε μικρά απομακρυσμένα σχολεία είναι αναπληρωτές
- Για τα μικρά σχολεία με σχεδόν ανύπαρκτο εξοπλισμό τα προγράμματα προσομοίωσης και ΕΠ μπορούν να προσφέρουν πολλά
- Παρά τα προβλήματα οι μαθητές επωφελήθηκαν καθώς είδαν και μια άλλη διάσταση στο μάθημα της χημείας
- Τα λογισμικά προσομοίωσης και ΕΠ ενδείκνυνται για την εξ αποστάσεως εκπαίδευσης καθώς μπορούν να διατηρήσουν πιο εδκόλα την προσοχή των μαθητών στο μάθημα
- Με αναλυτικές οδηγίες όλοι οι μαθητές μπορούν να εκτελέσουν το πείραμα στο λογισμικό *IrYdiumVlab* ακόμα και εξ αποστάσεως
- Το λογισμικό ΕΠ είχε κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία δεν επέτρεπαν την εφαρμογή του σε όλες τις κινητές συσκευές

Ευρήματα με βάση το ερωτηματολόγιο γνωστικού αντικειμένου

Προκειμένου να διερευνηθεί ο τρόπος με τον οποίο επέδρασε η εκπαιδευτική παρέμβαση με την μεθοδολογία ΤΠΕ, αξιολογήθηκαν οι επιδόσεις τους πριν και μετά την εκπαιδευτική παρέμβαση. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μαθητών, διαπιστώθηκε ότι υπήρχε διαφορά στην επίδοσή τους πριν και μετά την παρέμβαση, καθώς φαίνεται πως κατανόησαν καλύτερα την θεωρία και μπόρεσαν να την εφαρμόσουν στις ασκήσεις που τους ζητήθηκε να λύσουν. Η εκπαιδευτική παρέμβαση φαίνεται να είχε θετική επίδραση στους μαθητές και να κατακτηθήκαν γνωστικοί στόχοι που είχαν τεθεί εξ αρχής για τους μαθητές.

Παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της παρούσας μελέτης καταγράφονται και στην διεθνή βιβλιογραφία. Ενδεικτικά:

Μελέτη που έλαβε χώρα στην Τουρκία όπου συμμετείχαν μαθητές Γ Γυμνασίου ανέδειξε ότι οι μαθητές που έκαναν πειράματα Χημείας σε εικονικό εργαστήριο, παράλληλα με το θεωρητικό τους μάθημα, αυξήσαν το επίπεδο των επιτευγμάτων τους και επιπλέον ανέπτυξαν πιο θετική στάση απέναντι στο μάθημα της Χημείας (Tüysüz, 2010).

Επίσης, σε μελέτη στις Η.Π.Α. (Pyatt & Sims, 2012), αναφέρεται ότι η εκπαιδευτική αξία των πειραμάτων Χημείας σε λογισμικό προσομοίωσης είναι εφάμιλλη με αυτή των δια ζώσης εργαστηρίων. Μάλιστα οι μαθητές στην παρούσα μελέτη δήλωσαν ότι επιθυμούν το θεωρητικό μάθημα Χημείας να εμπλουτιστεί με πειραματική χημεία σε λογισμικό προσομοίωσης πραγματικών εργαστηρίων.

Οι Makransky et al. (2016), αναφέρουν ότι αν ο εκπαιδευτικός σχεδιάσει και υλοποιήσει πειράματα Χημείας σε λογισμικό προσομοίωσης, αυτό θα είναι ένα πάρα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια του προκειμένου να υποστηρίξει τους μαθητές να κατανοήσουν τις δυσκολονόητες έννοιες της Χημείας.

Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Babincakova & Bernard (2020) οι οποίοι εφαρμόσαν λογισμικό προσομοίωσης πειραμάτων Χημείας σε πλαίσιο εξ ολοκλήρου εξ αποστάσεως εκπαίδευσης.

Όσο αφορά την χρήση ΕΠ στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση, θεωρείται ότι αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στα χέρια του εκπαιδευτικού. Παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της παρούσας έρευνας, αναφέρουν και οι Eldokhny & Drwish (2021), σύμφωνα με τα οποία, οι μαθητές στον οποίων η εξ αποστάσεως διδασκαλία έγινε με την χρήση εφαρμογών ΕΠ είχαν καλύτερα ακαδημαϊκά επιτεύγματα συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου στην οποία δεν αξιοποιήθηκε εφαρμογή ΕΠ στην εξ αποστάσεως διδασκαλία.

Οι Barbour & Mulcahy (2008), αναφέρουν ότι σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους, η χρήση

ΕΠ στην εξ αποστάσεως διδασκαλία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε σχολεία που βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές και μάλιστα οι ακαδημαϊκές αποδόσεις και οι δεξιότητες των μαθητών αυτών ήταν καλύτερες συγκριτικά με τους συνομηλικούς τους που φοιτούσαν σε παραδοσιακές τάξεις.

Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της εξ αποστάσεως διδασκαλίας πειραμάτων Χημείας χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοιώσεων και ΕΠ. Πρόκειται για μια ποιοτική μελέτη περίπτωσης και συμμετείχαν 15 μαθητές Γυμνασίου και ένας εκπαιδευτικός ΠΕ04, απομακρυσμένου σχολείου της νησιωτικής Ελλάδας. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, επιχειρήθηκαν να απαντηθούν δύο ερευνητικά ερωτήματα: *το 1^ο αφορούσε την αποδοχή λογισμικών και εφαρμογών προσομοίωσης και ΕΠ στην εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών από τους μαθητές και το 2^ο αφορούσε την αποδοχή λογισμικών και εφαρμογών προσομοίωσης και ΕΠ στην εξ αποστάσεως διδασκαλία πειραματικών διαδικασιών από τον εκπαιδευτικό.*

Σχετικά με το πρώτο ερευνητικό ερώτημα φαίνεται πως οι μαθητές όχι μόνο την υποδέχτηκαν θετικά, αλλά έδειξαν ιδιαίτερο ενθουσιασμό και μάλιστα όσο αφορά το λογισμικό της ΕΠ το χαρακτήρισαν ως κάτι πρωτόγνωρο. Μάλιστα οι μαθητές ασχολήθηκαν και με τα δύο λογισμικά πέραν της ώρας που έλαβε χώρα η δράση, στον προσωπικό τους χρόνο, γεγονός που καταδεικνύει ότι η αξιοποίηση καινοτόμων τεχνολογιών μπορεί να προσελκύσει το ενδιαφέρον του μαθητή, διατηρώντας την προσοχή του σε γνωστικά αντικείμενα που χαρακτηρίζονται ως απαιτητικά και έχουν δυσκολονόητες έννοιες. Η εφαρμογή τέτοιων εφαρμογών συνδυαστικά στην εκπαιδευτική διαδικασία φαίνεται να βοήθησε τους μαθητές να κατανοήσουν το θεωρητικό υπόβαθρο του πειράματος αλλά και να αποκτήσουν οπτική αναπαράσταση ενός πειράματος Χημείας.

Όσο αφορά το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα φάνηκε ότι ο εκπαιδευτικός υιοθετώντας τις συγκεκριμένες εφαρμογές τόσο στο μάθημα στην τάξη όσο και εξ αποστάσεως να διδάξει με πιο κατανοητό τρόπο δυσκολονόητες επιστημονικές έννοιες στους μαθητές του και με τον τρόπο αυτό να τους εμφορήσει θετικά συναισθήματα για τις ΦΕ. Οι δυσκολίες που μπορεί να ανακύψουν στην υιοθεσία των συγκεκριμένων εργαλείων στην εκπαιδευτική διαδικασία μπορούν να ξεπεραστούν με την συνεργασία εκπαιδευτικού και μαθητών, αφού τα οφέλη για τους μαθητές φαίνεται να είναι σημαντικά. Το λογισμικό προσομοίωσης *IrYdiumVlab* θεωρήθηκε σχετικά δύσκολο στη χρήση και κρίθηκαν σημαντικές οι αναλυτικές οδηγίες χρήσης κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Η εφαρμογή ΕΠ θεωρήθηκε ιδιαίτερα εύχρηστη και εντυπωσιακή.

Εικονικά εργαστήρια Χημείας, αλλά και εργαστήρια προσομοίωσης πειραμάτων Χημείας, έχουν εφαρμοστεί σε σχολεία Δ/βάθμιας εκπαίδευσης με στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές στην οπτική αναπαράσταση Χημικών εννοιών και φαινομένων, με ένα πιο αφαιρετικό τρόπο έτσι ώστε να είναι πιο κατανοητό από τους μαθητές, αλλά και να προετοιμαστούν και να εξοικειωθούν για την εργαστηριακή άσκηση που θα κληθούν να εκτελέσουν σε πραγματικό εργαστήριο (Dalgaro, 2009). Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης συμφωνούν με ευρήματα ερευνών που καταγράφονται στην διεθνή βιβλιογραφία.

Η παρούσα εργασία, συμβάλει στην αναγνώριση της σπουδαιότητας για την διδασκαλία πειραμάτων Χημείας στα σχολεία της Δ/βάθμιας εκπαίδευσης, έστω και μέσα από προγράμματα προσομοίωσης. Είναι σαφές ότι οι μαθητές πλέον εκτός από την διδασκαλία με τον κλασικό τρόπο επιζητούν νέες τεχνολογίες που τους φέρνουν πιο κοντά στην πραγματικότητα. Απομακρυσμένα σχολεία που δεν έχουν πόρους, δεν μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές και να τους φέρουν σε επαφή με το εργαστήριο Χημείας, το οποίο

θα έπρεπε να γίνεται παράλληλα με την διδασκαλία της θεωρίας. Παρ' όλο που στα Ελληνικά σχολεία υιοθετούνται όλο και περισσότερες ΤΠΕ από τους εκπαιδευτικούς, οι ελλείψεις σε υλικοτεχνική υποδομή αλλά και ανθρώπινο δυναμικό είναι τέτοιες που κάποιες φορές αποτρέπουν τον εκπαιδευτικό στο να τις υιοθετήσει στην διδασκαλία του.

Επισημαίνεται ότι η παρούσα εργασία είναι μια ποιοτική μελέτη περίπτωσης συνεπώς τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται τίθενται κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα προέρχονται μόνο από ένα απομακρυσμένο Γυμνάσιο της νησιωτικής Ελλάδας, σε μελλοντική μελέτη θα πρέπει να συμπεριληφθούν και άλλα απομακρυσμένα σχολεία με ελλιπή υλικοτεχνική εργαστηριακή υποδομή, καθώς και Διαπεριφερειακά σχολεία στα οποία η διδασκαλία γίνεται εξ ολοκλήρου εξ αποστάσεως. Με τον τρόπο αυτό τα αποτελέσματα θα εμπλουτιστούν και πιθανόν να ανακλύψουν κι άλλες πτυχές του αντικειμένου που δεν προέκυψαν στην παρούσα μελέτη. Επίσης, μελλοντικά η διάρκεια παρέμβασης θα μπορούσε να επεκταθεί με την εκτέλεση κι άλλων πειραμάτων Χημείας στο λογισμικό προσομοίωσης καθώς και παρουσίαση περισσότερου υλικού σε περιβάλλον ΕΠ.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Antonioli, M., Blake, C., & Sparks, K. (2014). Augmented reality applications in education. *The Journal of technology studies*, 96-107.
- Αποστολοπούλου, Δ., Παναγιωτακόπουλος, Χ., Καρατράντου, Α. (2012). Οι Θεωρίες Μάθησης και η Ενοσμάτωσή τους στο Εκπαιδευτικό Λογισμικό: Μία εμπειρική έρευνα. *Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»*, 28-30 Σεπτεμβρίου 2012, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 53-60.
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 103647.
- Babinčáková, M., & Bernard, P. (2020). Online experimentation during COVID-19 secondary school closures: Teaching methods and student perceptions. *Journal of chemical education*, 97(9), 3295-3300.
- Barbour, M. K., & Mulcahy, D. (2008). How are they doing?: Examining student achievement in virtual schooling. *Education in Rural Australia*, 18(2), 63-74.
- Billinghurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New horizons for learning*, 12(5), 1-5.
- Billinghurst, M., & Duenser, A. (2012). Augmented reality in the classroom. *Computer*, 45(7), 56-63.
- Challenor, J., & Ma, M. (2019). A review of augmented reality applications for history education and heritage visualisation. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(2), 39.
- Dalgarno, B., Bishop, A. G., Adlong, W., & Bedgood Jr, D. R. (2009). Effectiveness of a virtual laboratory as a preparatory resource for distance education chemistry students. *Computers & Education*, 53(3), 853-865.
- Eldokhny, A. A., & Drwish, A. M. (2021). Effectiveness of Augmented Reality in Online Distance Learning at the Time of the COVID-19 Pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(9).
- Glynn, S. M., & Muth, K. D. (1994). Reading and writing to learn science: Achieving scientific literacy. *Journal of research in science teaching*, 31(9), 1057-1073.
- Hofstein, A., & Kind, P. M. (2012). Learning in and from science laboratories. *Second international handbook of science education*, 189-207.
- Karatzá, Z. (2019). Information and communication technology (ICT) as a tool of differentiated instruction: An informative intervention and a comparative study on educators' views and extent of ICT use. *International Journal of Information and Education Technology*, 9(1), 8-15.
- Καρατράντου, Α., Παναγιωτακόπουλος, Χ. (2013). Αλληλεπιδράσεις των ΤΠΕ, της εκπαιδευτικής αποτελεσματικότητας και των Θεωριών Οικοδόμησης της Γνώσης: Μια μελέτη περίπτωσης. 3ο

- Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία», Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς, 10-12 Μαΐου 2013.
- Leighton, L. J., & Crompton, H. (2017). Augmented reality in K-12 education. In *Mobile technologies and augmented reality in open education* (pp. 281-290). IGI Global.
- Lim, C., & Park, T. (2011). Exploring the educational use of an augmented reality books. In *Proceedings of the Annual Convention of the Association for Educational Communications and Technology* (pp. 172-182).
- Lytridis, C., Tsinakos, A., & Kazanidis, I. (2018). ARTutor – an augmented reality platform for interactive distance learning. *Education Sciences*, 8(1), 6.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 38(3), 7-es.
- Makransky, G., Thisgaard, M. W., & Gadegaard, H. (2016). Virtual simulations as preparation for lab exercises: Assessing learning of key laboratory skills in microbiology and improvement of essential non-cognitive skills. *PLoS one*, 11(6), e0155895.
- Mann, S. (2002). Mediated reality with implementations for everyday life. *Presence Connect*, 1, 2002.
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321-1329.
- Morozov, M., Tanakov, A., Gerasimov, A., Bystrov, D., & Cvirco, E. (2004, August). Virtual chemistry laboratory for school education. In *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, 2004. Proceedings.* (pp. 605-608). IEEE.
- Παναγιωτακόπουλος, Χ., Πιερρή, Ε., Καρατράντου, Α. (2006). Οι Μαθητές Αξιολογούν το Εκπαιδευτικό Λοιγισμικό της Χημείας Γ' Γυμνασίου: Μια Μελέτη Περίπτωσης. *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΤΠΕ με διεθνή συμμετοχή "Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση"* (επιμ. Δ. Ψύλλος, Β. Δαγδιλέλης), σελ. 654-662. ISBN 960-88359-3-3.
- Παναγιωτακόπουλος, Χ., & Σαρρή, Μ. (2017). *Η Εκπόνηση μιας Επιστημονικής Εργασίας με τη Χρήση των Τ.Π.Ε.* Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
- Paxinou, E., Karatrantou, A., Kalles, D., Panagiotakopoulos, C., Sgourou, A. (2018). A 3D Virtual Reality Laboratory as a Supplementary Educational Preparation Tool for a Biology Course. *European Journal of Open, Distance and E-learning* 21(2). Retrieved from <http://www.eurodl.org/?p=current&sp=brief&article=777>
- Paxinou, E., Panagiotakopoulos, C., Karatrantou, A., Kalles, D., Sgourou, A. (2019). Implementation and evaluation of a 3D virtual reality biology lab vs conventional didactic practices in lab experimenting with the photonic microscope. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 15(3), 487-496. DOI: 10.1002/bmb.21307
- Pierrri, E., Karatrantou, A., Panagiotakopoulos, C. (2008). Exploring the phenomenon of "Change of Phase" of pure substances using the MBL System. *Chemistry Education: Research and Practice*, 9, 234-239.
- Πιερρή, Ε., Καρατράντου, Α., Παναγιωτακόπουλος, Χ. (2006). Μελέτη του φαινομένου της αλλαγής φάσης με τη χρήση συστήματος συγχρονικής διάταξης. *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΤΠΕ με διεθνή συμμετοχή "Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση"* (επιμ. Δ. Ψύλλος, Β. Δαγδιλέλης), σελ. 640-647. ISBN 960-88359-3-3.
- Pyatt, K., & Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 133-147.
- Romeo, G. E. O. F. F. (2008). Information and communication technologies in education. *Rethinking Education with ICT: New directions for effective practices*. Rotterdam, Sense publishers.
- Romero, M., Laferriere, T., & Power, T. M. (2016). The move is on! From the passive multimedia learner to the engaged co-creator. *ELearn*, 2016(3).
- Schleyer, T. K., & Johnson, L. A. (2003). Evaluation of educational software. *Journal of dental education*, 67(11), 1221-1228.
- Sypsas, A., & Kalles, D. (2018, November). Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review. In *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 70-75).
- Tüysüz, C. (2010). The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry. *International Online Journal of Educational Sciences*, 2(1).
- Yuen, S. C. Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five

directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*, 4(1), 11.