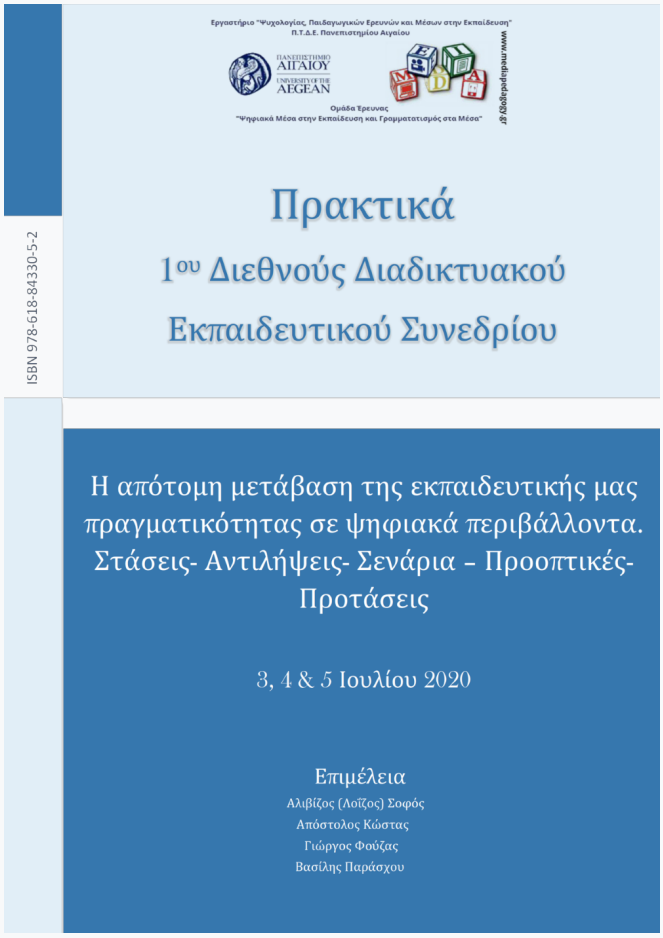
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

1ο Διεθνές Διαδικτυακό Εκπαιδευτικό Συνέδριο Από τον 20ο στον 21ο αιώνα μέσα σε 15 ημέρες

Αρ. 1 (2021)

Τόμος Πρακτικών 1ο Διαδικτυακό Εκπαιδευτικό Συνέδριο "Από τον 20ο στον 21ο αιώνα μέσα σε 15 ημέρες: Η απότομη μετάβαση της εκπαιδευτικής μας πραγματικότητας σε ψηφιακά περιβάλλοντα. Στάσεις – Αντιλήψεις – Σενάρια – Προοπτικές – Προτάσεις



Η μελέτη περίπτωσης του εκπαιδευτικού τρισδιάστατου περιβάλλοντος πολλών χρηστών προσομοίωσης οικολογικών συστημάτων EcoMUVE και η αξιοποίησή του στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Παύλος Κεφαλάκης

doi: 10.12681/online-edu.3225

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 05/12/2025 15:48:13

Η μελέτη περίπτωσης του εκπαιδευτικού τρισδιάστατου περιβάλλοντος πολλών χρηστών προσομοίωσης οικολογικών συστημάτων EcoMUVE και η αξιοποίησή του στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Παύλος Κεφαλάκης[1]
pavlos.kefalakis@gmail.com
[1]Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Ανθρωπιστικών Επιστημών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Υποψήφιος Διδάκτορας

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά, οι λειτουργίες του λογισμικού EcoMUVE, καθώς και ο τρόπος εμπλοκής των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Πρόκειται για ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα με παιγνιώδη στοιχεία για την επιστήμη των οικοσυστημάτων και προορίζεται κυρίως για μαθητές της μέσης εκπαίδευσης. Προτείνεται ένα σενάριο αξιοποίησής του στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση τόσο στη σύγχρονη όσο και στην ασύγχρονη μορφή στα πλαίσια μαθήματος στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Στη συνέχεια, αναφέρονται τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση που ακολούθησε. Η αξιολόγηση αναφέρεται σε γνώσεις και αντιλήψεις που είχαν οι μαθητές πριν την αξιοποίηση του λογισμικού και πως αυτές διαμορφώθηκαν μετά τη χρήση του. Προέκυψαν θετικά στοιχεία, όπως αυξημένα κίνητρα για μάθηση και η εμπλοκή μαθητών με χαμηλότερες επιδόσεις. Η αξιολόγηση ανέδειξε και αρνητικά στοιχεία, όπως οι υψηλές απαιτήσεις σε υλικό. Γενικά, παρατηρούνται σημαντικά οφέλη για τους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές. Τέλος, προτείνεται μια προσαρμογή του σεναρίου για εφαρμογή του στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοίωση οικοσυστήματος, εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Εισαγωγή

Στη διδασκαλία εννοιών που σχετίζονται με το περιβάλλον, το «να μιλάς δεν σημαίνει ότι διδάσκεις» (Kavtaradze, 2006). Υπάρχουν κι άλλοι τρόποι μετάδοσης πληροφοριών και γνώσης, πιο ελκυστικοί. Ένα είδος λογισμικού που μπορεί να αξιοποιηθεί στην εκπαίδευση, ιδιαίτερα αν έχει παιγνιώδη στοιχεία, αποτελούν οι προσομοιώσεις. Είναι κατάλληλες για τη διδασκαλία περιβαλλοντικών ζητημάτων, όπως είναι η ισορροπία οικοσυστημάτων, αφού αναπαράγουν με απλοϊκό και διδακτικό τρόπο την πολυπλοκότητα των οικοσυστημάτων και των προβλημάτων που τα διέπουν (Taylor, 1983). Μέσα από τις προσομοιώσεις, ο μαθητής πειραματίζεται τροποποιώντας μεταβλητές και εφοδιάζεται με δεξιότητες που τον βοηθούν να κατανοήσει πραγματικά όχι μόνο έννοιες, αλλά και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία ενός οικοσυστήματος και τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν. Έτσι, ο μαθητής ευαισθητοποιείται και γίνεται ικανός να λαμβάνει σωστές αποφάσεις για ζητήματα που άπτονται στην προστασία του φυσικού περιβάλλοντος (Taylor, 1983).

Ήδη από το 1977 πραγματοποιήθηκαν έρευνες για τη διδασκαλία μέσω περιβαλλόντων προσομοίωσης. Στο συνέδριο της Τυφλίδας τον Οκτώβρη του 1977 συζητήθηκε η σημασία της περιβαλλοντικής εκπαίδευσης και προτάθηκε η χρήση παιχνιδιών προσομοίωσης για τη διδασκαλία περιβαλλοντικών θεμάτων (Taylor, 1983).

Με την αλματώδη εξέλιξη της τεχνολογίας, τη σημαντική αύξηση της επεξεργαστικής ισχύος των υπολογιστών και την τεράστια βελτίωση των γραφικών, μετά το 2000, έγιναν

σημαντικές προσπάθειες για τη διδασκαλία εννοιών και λειτουργιών σχετικών με τα οικοσυστήματα, που βασίζονται σε εικονικά περιβάλλοντα πολλών χρηστών (Multi-User Virtual Environments (ΕΠΠΧ, MUVEs)). Τα ΕΠΠΧ είναι εικονικοί κόσμοι, στους οποίους συμμετέχουν χρήστες ταυτόχρονα που αναπαρίστανται από avatars (Δισδιάστατη ή τρισδιάστατη κινούμενη ή στατική γραφική αναπαράσταση του χρήστη) και μπορούν να αλληλεπιδράσουν με εικονικά αντικείμενα, να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, αλλά και με οντότητες που ελέγχονται από υπολογιστή και να εκτελέσουν συνεργατικές μαθησιακές δραστηριότητες. Η δυνατότητα αυτή αξιοποιείται στην εκπαιδευτική κοινότητα (Ketelhut et al., 2005) με σημαντικά εκπαιδευτικά οφέλη (π.χ., Merchant et al., 2014). Το ίδιο ισχύει και για την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση (ΠΕ), διότι τα εικονικά περιβάλλοντα, εκτός του ότι βοηθούν τους μαθητές να αποκτήσουν γνώση, έχουν θετικό αντίκτυπο στις στάσεις, τις αξίες και τις δεξιότητες που θεωρούνται σημαντικές στην ΠΕ (Quinn και Lyons, 2013).

Τα ΕΠΠΧ είναι κατάλληλα για μάθηση που βασίζεται σε σύγχρονες παιδαγωγικές στρατηγικές με τη μίμηση / προσομοίωση επιστημονικών φαινομένων (Dalgarno και Lee, 2010). Τα ΕΠΠΧ επιτρέπουν, εξ ορισμού, την ελεύθερη εξερεύνηση του εικονικού περιβάλλοντος και την επικοινωνία μεταξύ των χρηστών. Έτσι, οι μαθητές μπορούν να εργαστούν μαζί, να εξερευνήσουν το εικονικό περιβάλλον και να προσπαθήσουν να κατανοήσουν τα φαινόμενα που συναντούν, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της μάθησης (Dalgarno και Lee, 2010). Τα προσομοιωμένα φαινόμενα μπορούν να είναι ακριβείς αναπαραστάσεις των ομολόγων τους στον πραγματικό κόσμο ή απλουστευμένων, έτσι ώστε να στοχεύονται συγκεκριμένες πτυχές. Τέτοιες προσομοιώσεις μπορούν να υλοποιηθούν στα ΕΠΠΧ. Όχι μόνο αυτό, αλλά καθώς οι χωρικές και χρονικές κλίμακες είναι δυνατόν να τροποποιηθούν, ο εικονικός κόσμος μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση κάποιων διαδικασιών που διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να γίνουν αντιληπτά (Kamarainen et al., 2015).

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, τέθηκε προς διερεύνηση το εάν και κατά πόσο η χρήση ΕΠΠΧ προσομοίωσης οικολογικών συστημάτων επιφέρει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας. Για το λόγο αυτό, υλοποιήθηκαν κάποιες εφαρμογές προσομοίωσης που είχαν ως ομάδες-στόχο μαθητές της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και αναπτύχθηκαν σχετικά εκπαιδευτικά σενάρια.

Διεθνώς έχουν αναπτυχθεί ορισμένες εφαρμογές προσομοίωσης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κυρίως στα γνωστικά πεδία των Φυσικών Επιστημών και της Οικολογίας και στις τρεις βαθμίδες της Εκπαίδευσης. Μια δημοφιλής εκπαιδευτική εφαρμογή που ανήκει στην κατηγορία των ΕΠΠΧ αποτελεί το EcoMUVE, δημιουργία ερευνητικής ομάδας τους Πανεπιστημίου Harvard.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά, οι λειτουργίες του λογισμικού, καθώς και ο τρόπος εμπλοκής των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία.. Επίσης, προτείνεται ένα σενάριο αξιοποίησής του στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση τόσο στη σύγχρονη όσο και στην ασύγχρονη μορφή. Το σενάριο που παρουσιάζεται αξιοποιήθηκε στα πλαίσια μαθήματος στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Ακόμη, αναφέρονται τα αποτελέσματα από την αξιολόγηση που ακολούθησε. Τέλος, προτείνεται μια προσαρμογή του σεναρίου για εφαρμογή του στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση.

Το ΕΠΠΧ "ECOMUVE"

Ένα σημαντικό ερευνητικό πρόγραμμα είναι το ECOMUVE (http://ecolearn.gse.harvard.edu/ecoMUVE/overview.php), που αποτελεί δημιουργία του πανεπιστημίου Harvard. Πρόκειται για ένα εκπαιδευτικό πρόγραμμα για την επιστήμη των

οικοσυστημάτων βασισμένο σε ΕΠΠΧ και προορίζεται κυρίως για μαθητές της μέσης εκπαίδευσης. Βασίζεται σε προηγούμενη έρευνα, σχετική με ΕΠΠΧ (Ketelhut et al., 2010). Το EcoMUVE παρουσιάζει την πολυπλοκότητα ενός πραγματικού περιβάλλοντος επιτρέποντας στους μαθητές να ανακαλύψουν, να εξερευνήσουν και να αλληλεπιδράσουν με τα σύνθετα συστατικά μέρη των οικοσυστημάτων (Kamarainen, Metcalf, Dede, & Grotzer, 2010) και περιλάμβανε την προσομοίωση δύο οικοσυστημάτων, μιας λίμνης και ενός δάσους, διάρκειας δύο (2) εβδομάδων. Οι συμμετέχοντες ήταν μαθητές της μέσης εκπαίδευσης που εξερεύνησαν αυτά τα εικονικά περιβάλλοντα και ανακάλυψαν ζώα, φυτά και μικροοργανισμούς στους φυσικούς τους βιοτόπους. Εργαζόμενοι ως ερευνητική ομάδα, οι μαθητές χρησιμοποίησαν προσομοιωμένα εργαλεία μέτρησης για να συλλέξουν και να αναλύσουν μια ποικιλία δεδομένων, ώστε να κατανοήσουν τις σύνθετες σχέσεις που εμπλέκονται σε συγκεκριμένα οικολογικά φαινόμενα. Ορισμένες από τις λειτουργίες που υποστηρίζει είναι οι εξής:

- Μεγέθυνση σε μικροσκοπικό επίπεδο και αντιστρόφως (zoom in, zoom out) για προβολή ενός πληθυσμού οργανισμών.
- Μετάβαση σε διαφορετικά χρονικά σημεία εξέλιξης του οικοσυστήματος.
- Προβολή των οικολογικών αλληλεπιδράσεων και των επερχόμενων επιπτώσεών τους.
- Δυνατότητα πλοήγησης κάτω από την επιφάνεια της λίμνης.
- Ψηφιακά εργαλεία για μετρήσεις (θερμοκρασία, παράμετροι νερού, επίπεδα οξυγόνου κλπ).
- Πληροφορίες για τον πληθυσμό ενός είδους.
- Ύπαρξη σεναρίου, όπου ο μαθητής καλείται να επιλύσει ένα πρόβλημα που εμφανίζεται στο εικονικό φυσικό περιβάλλον.

Το EcoMUVE παρέχοντας εξειδικευμένα ψηφιακά εργαλεία διευκολύνει τη διδασκαλία εννοιών που είναι δύσκολο να επιτευχθούν στον πραγματικό κόσμο. Μια σημαντική επέκταση του EcoMUVE είναι το EcoMOBILE (http://ecolearn.gse.harvard.edu/ecoMOBILE/overview.php), στο οποίο γίνεται χρήση επαυξημένης πραγματικότητας (AugmentedReality–AR) και λειτουργεί σε φορητές συσκευές.

Στην προσομοίωση της λίμνης οι μαθητές την επισκέφθηκαν κατά τη διάρκεια των εικονικών ημερών, συνέλεξαν νερό για ανάλυση, κατέγραψαν μετεωρολογικά δεδομένα και τον πληθυσμό για διάφορους ζωντανούς οργανισμούς του οικοσυστήματος. Κάποια στιγμή διαπίστωσαν ότι μεγάλος αριθμός ψαριών έχει εκλείψει και ότι υπήρχαν αυξημένες ποσότητες από φύκη και άλγη στη λίμνη. Ο κόσμος του EcoMUVE περιλαμβάνει εκτός από τη λίμνη και τα περίχωρά της, όπως ένα κοντινό γήπεδο γκολφ και μια αγροικία. Οι μαθητές περπατούν με τα άβατάρ τους στην περιοχή που εκτείνεται από την αγροικία και κάτω κατά μήκος ενός ρέματος αποστράγγισης για να δουν πώς ρέει το νερό στη λίμνη. Μέσα από την εξερεύνηση, οι μαθητές ανακαλύπτουν ότι η απορροή λιπάσματος από την αγροικία είναι η αρχική αιτία της ταχείας ανάπτυξης άλγης (algae bloom) στην τοπική λίμνη. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο του περιβάλλοντος της εφαρμογής με τα βασικά χειριστήρια που είναι διαθέσιμα στον μαθητή.

Εικόνα 1. Το ΕΠΠΙΧ "ECOMUVE"

Το υποβρύχιο εργαλείο του EcoMUVE επιτρέπει στους μαθητές να διερευνήσουν τους μικροσκοπικούς οργανισμούς στη λίμνη, βοηθώντας τους να καταλάβουν ότι οργανισμοί που δεν μπορούν να δουν με γυμνό μάτι, όπως άλγη και βακτήρια, παίζουν κρίσιμους ρόλους στο οικοσύστημα της λίμνης. Έτσι, οι μαθητές ήρθαν αντιμέτωποι με την πρόκληση να ανακαλύψουν, μέσα από τη συλλογή δεδομένων, τι είχε συμβεί και να μάθουν για την πολυπλοκότητα των σχέσεων στο οικοσύστημα της λίμνης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η δυνατότητα πλοήγησης κάτω από την επιφάνεια της λίμνης ήταν ένα χαρακτηριστικό που προκάλεσε την περιέργεια των μαθητών.

Τα αποτελέσματα από τις πρώτες πειραματικές δοκιμές, κατέδειξαν ότι οι μαθητές βρήκαν ιδιαίτερα ελκυστικά και ρεαλιστικά τα γραφικά και το περιβάλλον. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Dede et al., 2011), οι μαθητές κατανόησαν καλύτερα έννοιες που σχετίζονται με τα οικοσυστήματα, όπως τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων, τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής και τον ρόλο της αποσύνθεσης, έννοιες και λειτουργίες σημαντικές για την κατανόηση της δυναμικής ενός οικοσυστήματος (Grotzer et al., 2009). Ακόμη, οι μαθητές εξέφρασαν την ικανοποίησή τους για τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων και για το "να έχω ένα πρόβλημα να επιλύσω".

Είναι δύσκολο να εφαρμοστούν παιδαγωγικές τεχνικές στην τάξη που ενθαρρύνουν τους μαθητές να παρακολουθήσουν και να εξηγήσουν για ορισμένες απαιτητικές έννοιες των οικοσυστημάτων. Οι εκπαιδευτικοί εξέφρασαν δυσκολία να καταλήξουν σε παρουσιάσεις και προσομοιώσεις που δίνουν τη δυνατότητα για βαθιά συλλογιστική (Grotzer et al., 2009). Το EcoMUVE προσφέρει ένα μέσο που λειτουργεί καλά στα πλαίσια της τάξης, ώστε να παρέχει νέους τρόπους εξερεύνησης των πολύπλοκων δομών που ενυπάρχουν στα οικοσυστήματα μέσω ελκυστικής προσομοίωσης, οδηγώντας έτσι σε μια πιο βαθιά κατανόηση των οικοσυστημάτων.

Το EcoMUVE στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση

Πραγματοποιήθηκε ενδελεχής έρευνα στη βιβλιογραφία, από την οποία προέκυψε ότι η εφαρμογή ecoMUVE δεν έχει αξιοποιηθεί στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση. Οι έρευνες, στις οποίες γίνεται αναφορά στις προηγούμενες ενότητες αφορούν τη δια ζώσης διδασκαλία εννοιών σχετικές με το φυσικό οικοσύστημα. Υπάρχουν διαθέσιμα κάποια σχέδια μαθήματος (https://www.ecolearn.projectzerohgse.com/ecoMUVE/resources.php), τα οποία αποτέλεσαν έμπνευση για το εκπαιδευτικό σενάριο που διαπραγματεύεται η εργασία. Το γεγονός ότι οι υπάρχουσες έρευνες αφορούν μόνο δια ζώσης διδασκαλία, ενισχύει ακόμη περισσότερο την αξία και πρωτοτυπία της παρούσας εργασίας που παρουσιάζει εκπαιδευτικό σενάριο και την αξιολόγησή του στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση.

Αξιοποίηση του EcoMUVE σε εκπαιδευτικό σενάριο

Η εφαρμογή EcoMuve αποτέλεσε έμπνευση για την αξιοποίησή της στα πλαίσια ενός εκπαιδευτικού σεναρίου στη Δευτεροβάθμια εκπαίδευση και πιο συγκεκριμένα στο μάθημα της βιολογίας. Στη συνέχεια παρατίθενται τα επιμέρους χαρακτηριστικά του σεναρίου.
Σκοπός του σεναρίου: Η γνωριμία με ένα οικοσύστημα λίμνης και των αλληλεπιδράσεων που το διέπουν.
Τάξη: Α΄ τάξη ΕΠΑΛ
Μάθημα: Βιολογία
Μαθησιακά αποτελέσματα-διδακτικοί στόχοι:

Σε επίπεδο γνώσεων:

- Να κατανοήσουν τι είναι ένα οικοσύστημα
- Να γνωρίσουν τα είδη χλωρίδας και πανίδας που ζουν στο οικοσύστημα.

Σε επίπεδο δεξιοτήτων:

- Να μπορούν να κατατάξουν τα είδη σε παραγωγούς, καταναλωτές και αποσυνθέτες.
- Να μπορούν να χειρίζονται μια εφαρμογή προσομοίωσης οικοσυστήματος.

Σε επίπεδο στάσεων:

- Να εκτιμήσουν τα οφέλη της μάθησης μέσω της εξερεύνησης.
- Να ευαισθητοποιηθούν σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος

Το σενάριο εφαρμόστηκε τόσο στη σύγχρονη όσο και στην ασύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία.

Εκπαιδευτικό σενάριο στη σύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία

Η σύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία πραγματοποιήθηκε μέσω της πλατφόρμας webex (https://webex.sch.gr/), σύμφωνα και με τις οδηγίες που είχαμε λάβει από το Υπουργείο Παιδείας κατά τη διάρκεια αναστολής λειτουργίας των σχολείων.

Αρχικά αναφέρθηκε ο γενικός σκοπός και οι επιμέρους στόχοι του σεναρίου. Έγινε συζήτηση με τους μαθητές σχετικά με την έννοια του οικοσυστήματος. Προκειμένου να αξιολογηθεί το σενάριο, αλλά και η συμβολή του EcoMUVE στην επίτευξη των μαθησιακών στόχων κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθούν οι πρότερες γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών για τη λειτουργία ενός οικοσυστήματος. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκε ένα ερωτηματολόγιο που περιείχε τις εξής ερωτήσεις:

1. Ξέρετε τι είναι ένα οικοσύστημα;
   Α. Ναι Β. Όχι
2. Έχετε ξαναχρησιμοποιήσει κάποιο λογισμικό που σχετίζεται με φυσικό περιβάλλον / οικοσύστημα;

Α. Ναι Β. Όχι

3. Γνωρίζετε τι είναι οι μικροοργανισμοί;
   Α. Ναι Β. Όχι
4. Γνωρίζετε τι είναι ένα βακτήριο;
   Α. Ναι Β. Όχι
5. Γνωρίζετε τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στους οργανισμούς και στην ισορροπία ενός φυσικού περιβάλλοντος / οικοσυστήματος;
   Α. Ναι Β. Όχι
6. Πως πιστεύετε ότι μπορεί να μολυνθεί μια λίμνη;

Το ερωτηματολόγιο δόθηκε στους μαθητές με τη μορφή ενός αρχείου και ζητήθηκε εντός 10 λεπτών να το απαντήσουν και να το αποστείλουν στον εκπαιδευτικό. Ακολούθησε επεξεργασία για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τις πρότερες γνώσεις και αντιλήψεις:

- Οι περισσότεροι μαθητές απάντησαν αρνητικά στις 2 πρώτες ερωτήσεις.
- Στην 3η και 4η ερώτηση λίγοι απάντησαν θετικά.
- Στην 5η οι περισσότεροι απάντησαν αρνητικά.
- Στην 6η ερώτηση οι περισσότεροι μαθητές απάντησαν γενικά με τις φράσεις «μόλυνση του νερού» και «ρίψη σκουπιδιών».

Οι παρατηρήσεις που κατεγράφησαν συνέβαλαν στην εξαγωγή των εξής συμπερασμάτων, όσον αφορά τις πρότερες γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών για τη λειτουργία ενός οικοσυστήματος:

- Οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν ξεκάθαρη εικόνα για το τι είναι ένα οικοσύστημα.
- Δεν έχουν ξαναχρησιμοποιήσει παρόμοιο λογισμικό προσομοίωσης οικοσυστήματος.
- Δεν γνωρίζουν με σαφήνεια τι είναι οι μικροοργανισμοί και ποιος ο ρόλος τους σε ένα οικοσύστημα.
- Έχουν κάποιες ιδέες για το πώς μπορεί να μολυνθεί μια λίμνη.

Μετά τη συγκέντρωση των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων ακολούθησε γνωριμία των μαθητών με το περιβάλλον της εφαρμογής EcoMUVE. Η εφαρμογή είναι το βασικό συστατικό του σεναρίου, επομένως οι μαθητές θα πρέπει να είναι εξοικειωμένοι με τη χρήση της, ώστε να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις σχετικές δραστηριότητες.

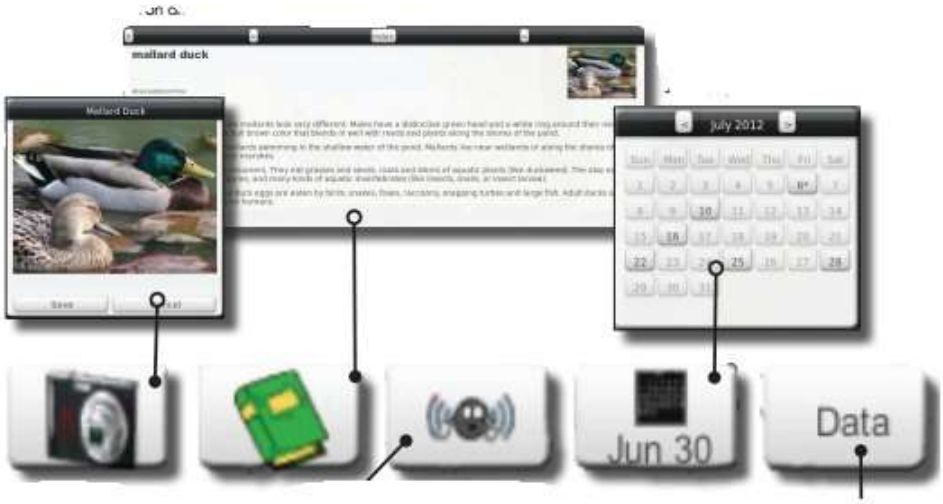
Πραγματοποιήθηκε παρουσίαση της εφαρμογής και των παρεχόμενων εργαλείων. Δεν έγινε εμβάθυνση στις λειτουργίες, καθώς στόχος ήταν η εξοικείωση των μαθητών και η προσέλκυση του ενδιαφέροντός τους, ώστε στη συνέχεια να το αξιοποιήσουν μόνοι τους στα πλαίσια της ασύγχρονης μορφής του σεναρίου. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της εφαρμογής, όπου απεικονίζονται ορισμένα βασικά εργαλεία που έχει στη διάθεσή του ο μαθητής.

Επισημαίνονται ιδιαίτερα τα εργαλεία της κάμερας (πρώτο από αριστερά στην εικόνα 2) και του οδηγού πεδίου (δεύτερο από αριστερά στην εικόνα 2). Με το εργαλείο της κάμερας οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν οργανισμούς (είτε χλωρίδας είτε πανίδας) και να προβάλλουν σχετικές πληροφορίες. Αντίστοιχα στον οδηγό πεδίου περιλαμβάνονται συγκεντρωμένοι οι οργανισμοί που έχουν εντοπιστεί στο οικοσύστημα από την περιήγηση του μαθητή και παρουσιάζονται αναλυτικότερες πληροφορίες, όπως μια περιγραφή του οργανισμού, βιότοπος που τον συναντάμε, η διατροφή του, οι θηρευτές του και άλλα χρήσιμα στοιχεία.

Επιπλέον, παρουσιάστηκε άλλη μια ενδιαφέρουσα λειτουργία, αυτή του εργαλείου «υποβρύχιο». Μέσω του εργαλείου αυτού ο μαθητής έχει τη δυνατότητα να καταδυθεί στο βυθό της λίμνης και να τον εξερευνήσει. Παρέχεται η επιλογή κατάδυσης μεταξύ δυο σημείων:

- Κοντά στην ακτή.

- Στο κέντρο της λίμνης



Εικόνα 2. Βασικά εργαλεία της εφαρμογής "ECOMUVE"

Κάθε επιλογή μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά ευρήματα. Μια ακόμη δυνατότητα που έχει στη διάθεσή του ο μαθητής κατά τη χρήση του υποβρυχίου είναι η παρατήρηση με μεγέθυνση ή σμίκρυνση, προκειμένου να είναι εφικτός ο εντοπισμός μικροοργανισμών ή μεγαλύτερων οργανισμών. Στην Εικόνα 3 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο χρήσης του υποβρυχίου με τα σχετικά εργαλεία και ένας μικροοργανισμός που εντοπίστηκε με το εργαλείο της μεγέθυνσης.

Εικόνα 3. Αξιοποίηση του εργαλείου «υποβρύχιο»

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αξιοποίηση της λειτουργίας του υποβρυχίου ενθουσίασε τους μαθητές και προσέλκυσε το ενδιαφέρον τους.

Ένας από τους μαθησιακούς στόχους του σεναρίου είναι οι μαθητές να μπορούν να κατατάξουν τα είδη σε παραγωγούς, καταναλωτές και αποσυνθέτες (http://www.geography4kids.com/files/land_foodchain.html). Επομένως, κρίθηκε αναγκαίο να γίνει αναφορά σε αυτές τις κατηγορίες των οργανισμών κατά τη διάρκεια του σεναρίου στη σύγχρονη εξ αποστάσεως μορφή του:

- Παραγωγοί. Πρόκειται για οργανισμούς που μπορούν να παράγουν την τροφή τους μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Άρα πρόκειται για φυτικούς οργανισμούς.
- Καταναλωτές. Πρόκειται για οργανισμούς που τρέφονται με άλλους οργανισμούς, διότι δεν μπορούν να παράγουν οι ίδιοι την τροφή τους.
- Αποσυνθέτες. Περιλαμβάνονται εκείνοι οι οργανισμοί που τρέφονται με νεκρή οργανική ύλη (νεκρούς οργανισμούς). Πρόκειται για τα βακτήρια και τους μύκητες.

Οι οργανισμοί αυτών των κατηγοριών συμμετέχουν ενεργά στη λειτουργία ενός οικοσυστήματος και συμβάλλουν στην ισορροπία του.

Το σενάριο στη σύγχρονη μορφή της εξ αποστάσεως διδασκαλίας ολοκληρώθηκε με την παρουσίαση των υπόλοιπων βασικών λειτουργιών (μέτρηση θερμοκρασίας, επιπέδων CO_2 κλπ). Βοηθητικά για την παρουσίαση της εφαρμογής αξιοποιήθηκε επιπλέον ένα βίντεο tutorial, δημιουργημένο από την ομάδα του EcoMUVE (https://youtu.be/LZ7pAuMOBO4).

Τέλος, δόθηκαν οδηγίες για τη λήψη και εγκατάσταση της εφαρμογής (λήψη από https://www.ecolearn.projectzerohgse.com/ecoMUVE/resources.php). Ακόμη, παρουσιάστηκε το φύλλο εργασίας που θα αξιοποιήσουν οι μαθητές στην ασύγχρονη μορφή του σεναρίου.

Εκπαιδευτικό σενάριο στην ασύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία

Για την ασύγχρονη εξ αποστάσεως εφαρμογή του σεναρίου αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα e-me (https://e-me.edu.gr/), σύμφωνα με τις οδηγίες του Υπουργείου Παιδείας και την υποστήριξη από το Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο (ΠΣΔ). Δημιουργήθηκε μια κυψέλη (εικονική τάξη), στην οποία αναρτήθηκε το φύλλο εργασίας της ασύγχρονης μορφής του σεναρίου και ένας οδηγός σύντομης εκκίνησης της εφαρμογής.

Τέθηκε ένας απλό γενικός σκοπός για το φύλλο εργασίας προκειμένου να είναι όσο το δυνατόν μετρήσιμες οι παρατηρήσεις που θα προκύψουν από τις απαντήσεις των μαθητών. Επομένως, ως σκοπός τέθηκε η εξοικείωσή των μαθητών με το εικονικό περιβάλλον της λίμνης και ο εντοπισμός οργανισμών που ζουν στο οικοσύστημα αυτό.

Ορίστηκε ένα χρονικό περιθώριο 10 ημερών για την υποβολή των συμπληρωμένων φύλλων εργασίας από τους μαθητές. Αυτό το χρονικό διάστημα κρίθηκε επαρκές για την εκτέλεση του συνόλου των δραστηριοτήτων του φύλλου εργασίας.

Στο φύλλο εργασίας αρχικά διατυπώνονται οι οδηγίες για τη λήψη, εγκατάσταση και εκτέλεση της εφαρμογής EcoMUVE. Στη συνέχεια ακολουθούν οι επιμέρους δραστηριότητες-ερωτηματα.

Ερωτήματα-δραστηριότητες φύλλου εργασίας

Παρατίθενται τα ερωτήματα με σχόλια για το πώς σχετίζονται με τους διδακτικούς στόχους:

- Τι οργανισμούς πιστεύετε ότι θα εντοπίσετε σε μια λίμνη; Το ερώτημα αυτό θα απαντηθεί πριν την εξερεύνηση του εικονικού κόσμου, ώστε να γίνει διερεύνηση των πρότερων γνώσεων-αντιλήψεων των μαθητών κατά αντιστοιχία με τον αντίστοιχο στόχο στη σύγχρονη μορφή του σεναρίου. Η διερεύνηση των πρότερων γνώσεων θα συμβάλει στο τέλος στη σύγκριση της διδασκαλίας με το σενάριο αυτό σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία.

- Πλοηγηθείτε γύρω από τη λίμνη. Αξιοποιείστε τα εργαλεία που βλέπετε στο κάτω μέρος του παραθύρου (π.χ. τη φωτογραφική μηχανή) μόλις εντοπίσετε κάποιο ζώο ή άλλο οργανισμό ώστε να δείτε πληροφορίες στον οδηγό πεδίου (field guide). Το ερώτημα αυτό σχετίζεται με τους διδακτικούς στόχους της ανάπτυξης γνώσεων για τα είδη χλωρίδας και πανίδας σε ένα οικοσύστημα και της καλλιέργειας δεξιοτήτων χειρισμού μια εφαρμογής προσομοίωσης οικοσυστήματος.
- Αξιοποιείστε επίσης το εργαλείο του υποβρυχίου και τα εργαλεία μεγέθυνσης και σμίκρυνσης (zoom in / zoom out) για να εξερευνήσετε το βυθό της λίμνης. Η δραστηριότητα αυτή σχετίζεται με την ανάπτυξη γνώσεων και τη μάθηση μέσω εξερεύνησης.
- Καταγράψτε 5 οργανισμούς που εντοπίσατε. Ζητείται η εισαγωγή στιγμιότυπου οθόνης (screenshot) για την καλύτερη καταγραφή. Η συγκεκριμένη δραστηριότητα συμβάλλει στη βελτίωση της δεξιότητας χειρισμού της εφαρμογής.
- Ποια είναι η θερμοκρασία που μετρήσατε στο εικονικό περιβάλλον; Αξιοποίηση ψηφιακών εργαλείων για μετρήσεις. Η δραστηριότητα συμβάλλει στην αναγνώριση παραμέτρων ενός φυσικού περιβάλλοντος και στην βελτίωση ψηφιακών δεξιοτήτων.
- Εντοπίστε από έναν οργανισμό σε κάθε κατηγορία: παραγωγοί, καταναλωτές, αποσυνθέτες. Τι παρατηρείτε; Η συγκεκριμένη δραστηριότητα αποσκοπεί στην ανάπτυξη γνώσεων για το πώς διατηρείται η ισορροπία σε ένα οικοσύστημα.

Στο φύλλο εργασίας περιλαμβάνονται και ερωτήματα που απαντώνται μετά την εξερεύνηση στο εικονικό περιβάλλον, προκειμένου να αξιοποιηθούν οι γνώσεις που αποκτήθηκαν μετά την αξιοποίηση της εφαρμογής. Τα ερωτήματα αυτά είναι τα εξής:

- Εντοπίσατε οργανισμούς που δεν γνωρίζατε πριν ασχοληθείτε με την εφαρμογή;
- Εντοπίσατε οργανισμούς μικροσκοπικούς που δεν φαίνονται με γυμνό μάτι;
- Τι πιστεύετε τελικά ότι είναι ένα οικοσύστημα;
- Έχετε κάποια ερώτηση ή απορία;

Ενδεικτικές απαντήσεις του φύλλου εργασίας

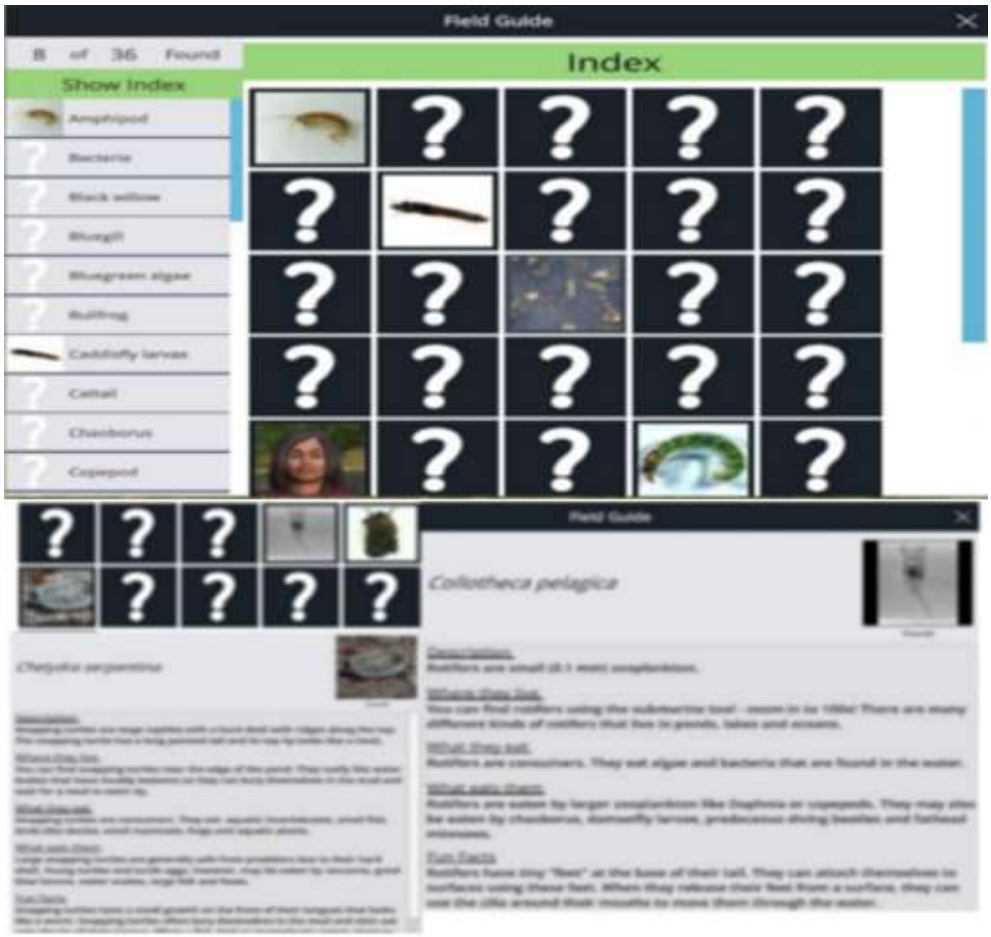
Στο ερώτημα «Τι οργανισμούς πιστεύετε ότι θα εντοπίσετε σε μια λίμνη;» αρκετοί μαθητές έδωσαν τις εξής απαντήσεις:

- Ζωοπλαγκτόν, Ψάρια, Κοράλλια, Άλγη
- Ψάρια, ζωοπλαγκτόν, έντομα, βατράχια, νούφαρα, πουλιά

Παρατηρούμε ότι οι μαθητές ανάλογα με τις εμπειρίες και τις γνώσεις τους έχουν διαφορετικές αντιλήψεις για τους οργανισμούς που αναμένεται να συναντήσουν στο βιότοπο μιας λίμνης. Ο κοινός οργανισμός που εμφανίστηκε σχεδόν σε όλες τις απαντήσεις ήταν τα ψάρια.

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζονται στιγμιότυπα του οδηγού πεδίου από τα ευρήματα μαθητών. Οι οργανισμοί που δεν ανακαλύφθηκαν ακόμη από το μαθητή απεικονίζονται με ερωτηματικό (?). Επιλέγοντας κάποιον οργανισμό από τη λίστα του οδηγού πεδίου προβάλλονται αναλυτικές πληροφορίες.

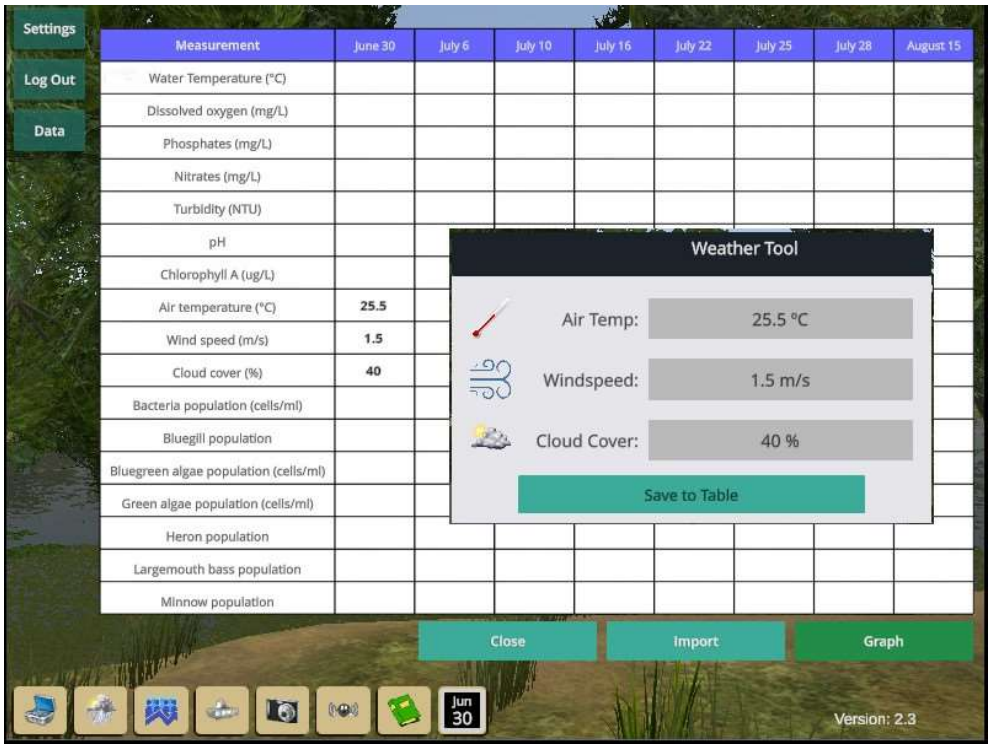
Στην εικόνα 5 παρουσιάζεται στιγμιότυπο από τις μετρήσεις συνθηκών του περιβάλλοντος. Οι μαθητές παρατήρησαν ότι το περιβάλλον εξελίσσεται δυναμικά στο χρόνο, αφού για την κάθε ημέρα καταγράφονται οι συνθήκες (θερμοκρασία, άνεμος, ηλιοφάνεια).



Εικόνα 4. Στιγμιότυπα μαθητών από τον οδηγό πεδίου

Στη δραστηριότητα για τον εντοπισμό οργανισμών παραγωγών, καταναλωτών και αποσυνθετών, οι μαθητές στην πλειοψηφία τους έδωσαν τις εξής απαντήσεις βασισμένοι στην ενημέρωση που έλαβαν κατά τη σύγχρονη μορφή του σεναρίου και τον οδηγό πεδίου:

- Οργανισμοί-παραγωγοί. Οι μαθητές εντόπισαν φυτικούς οργανισμούς, όπως η άλγη και τα δέντρα.
- Οργανισμοί-καταναλωτές. Εντοπίστηκαν οργανισμοί του ζωικού βασιλείου, όπως πάπιες και χελώνες, που τρέφονται με άλλους οργανισμούς (παραγωγούς ή καταναλωτές).
- Οργανισμοί-αποσυνθέτες. Δεν αναφέρθηκαν στιγμιότυπα με ευρήματα από τους μαθητές, πιθανόν λόγω του μικρού μεγέθους αυτών των οργανισμών. Από τον οδηγό πεδίου όμως ανέφεραν τα βακτήρια που ζουν στη λίμνη.



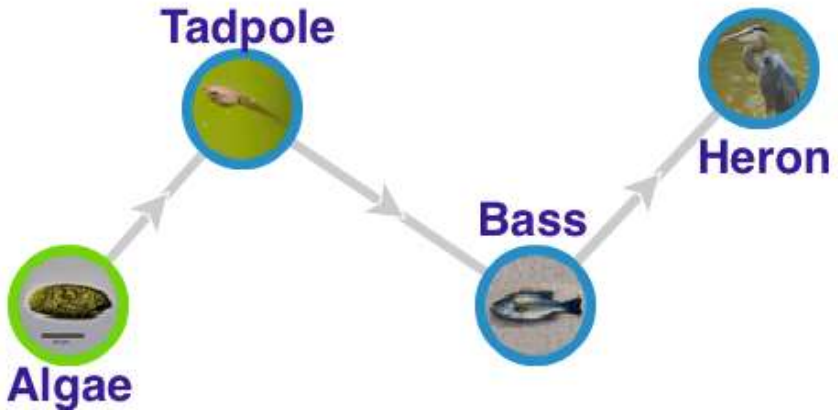
Εικόνα 5. Στιγμιότυπο μαθητών από τις παραμέτρους του περιβάλλοντος

Αξιολόγηση απαντήσεων του φύλλου εργασίας

Οι παρατηρήσεις των μαθητών όσον αφορά τις κατηγορίες των οργανισμών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι αντιλήφθηκαν τη στενή σχέση μεταξύ των ειδών: Η ενέργεια ρέει από τους παραγωγούς στους καταναλωτές, ενώ τους νεκρούς οργανισμούς αναλαμβάνουν οι αποσυνθέτες. Η σχέση αυτή απεικονίζεται στην Εικόνα 6, όπου φαίνεται ότι η άλγη (οργανισμός-παραγωγός) αποτελεί τροφή για τον γυρίνο (οργανισμός-καταναλωτής), από τον οποίο τρέφεται ένα ψάρι (οργανισμός-καταναλωτής) και αυτό με τη σειρά του αποτελεί τροφή για ένα νεροπούλι (επίσης οργανισμός-καταναλωτής). Η εικόνα αυτή παρουσιάστηκε στη σύγχρονη εξ αποστάσεως διδασκαλία που ακολούθησε μετά την ασύγχρονη για να συζητήσουμε τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις.

Αξιολογώντας τις απαντήσεις από τα φύλλα εργασίας, κατέληξα στα εξής συμπεράσματα σχετικά τα μαθησιακά αποτελέσματα:

- Όλοι οι μαθητές εντόπισαν αρκετούς οργανισμούς που δεν γνώριζαν πριν την αξιοποίηση της εφαρμογής.
- Οι περισσότεροι εντόπισαν μικροοργανισμούς μέσω του εργαλείου – «υποβρύχιο». Οι μαθητές αντιλήφθησαν την ύπαρξη οργανισμών πέραν του άμεσου οπτικού τους πεδίου.
- Η πλειοψηφία των μαθητών απάντησε πιο συγκεκριμένα σε σχέση με την αρχική τους τοποθέτηση για το «τι είναι ένα οικοσύστημα»: Ένα φυσικό περιβάλλον με τους οργανισμούς που ζουν σε αυτό και τις σχέσεις μεταξύ τους. Θεωρώ ότι σε αυτό συνέβαλλε σημαντικά η δραστηριότητα με τις κατηγορίες των οργανισμών.



Εικόνα 6. Ροή της ενέργειας μεταξύ των οργανισμών (foodweb)

Συμπεράσματα από την εφαρμογή του σεναρίου

Η εφαρμογή του σεναρίου τόσο στη σύγχρονη όσο και στην ασύγχρονη μορφή του κατέδειξε τα εξής θετικά στοιχεία στη μαθησιακή διαδικασία:

- Οι μαθητές έδειξαν έντονο ενδιαφέρον λόγω των παιγνιωδών στοιχείων και των ελκυστικών γραφικών.
- Διευκολύνθηκε η εκμάθηση εννοιών χλωρίδας και πανίδας και του οικοσυστήματος.
- Πραγματοποιήθηκε μάθηση μέσω εξερεύνησης.
- Οι μαθητές κατανόησαν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραγόντων –οργανισμών ενός οικοσυστήματος.
- Σημειώθηκε προσέλκυση ενδιαφέροντος και των μαθητών χαμηλότερων επιδόσεων, αφού τα φύλλα εργασίας απαντήθηκαν και υποβλήθηκαν από αρκετούς μαθητές κάθε επιπέδου.
- Οι μαθητές στην πλειοψηφία τους εξοικειώθηκαν γρήγορα με την εφαρμογή. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στα παιγνιώδη στοιχεία του EcoMUVe, κάτι που είναι ήδη οικείο στους μαθητές από μικρή ηλικία λόγω της ενασχόλησής τους με ηλεκτρονικά παιχνίδια.
- Οι μαθητές βελτίωσαν τη δεξιότητα επίλυσης προβλημάτων, αφού οι δραστηριότητες του σεναρίου ήταν δομημένες με σαφείς οδηγίες για την εκπλήρωσή τους.
- Η επιτυχής υποβολή των φύλλων εργασίας και οι εύστοχες απαντήσεις από μια μεγάλη μερίδα μαθητών καταδεικνύει ότι είναι καταλληλότερος ο συνδυασμός σύγχρονης και ασύγχρονης μορφής διδασκαλίας παρά η αξιοποίηση μιας μόνο από τις 2 μορφές στην εξ αποστάσεως εκπαίδευση.

Σημειώθηκαν όμως και αρνητικά στοιχεία, όπως εντοπίστηκαν και από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για το EcoMUVE:

- Παρέχονται λίγες επιλογές για παραμετροποίηση της εφαρμογής, όπως καθορισμός ειδών οργανισμών και μεταβολή των παραμέτρων του οικοσυστήματος (π.χ. θεροκρασία).
- Απαιτείται εξειδικευμένη επιμόρφωση των εκπαιδευτικών. Κρίνεται απαραίτητη μια επιμόρφωση των εκπαιδευτικών πριν να το αξιοποιήσουν στη διδασκαλία, ώστε να είναι εξοικειωμένοι με τις λειτουργίες και τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής.

- Μικρή διαθεσιμότητα σε πλατφόρμες για κινητές συσκευές.
- Μικρή Προσβασιμότητα και χρήση μέσω διαδικτύου.
- Παροχή μόνο 2 οικοσυστημάτων για πειραματισμό. Θα ήταν καλό να παρέχονται περισσότερα είδη οικοσυστημάτων.
- Μικρής έκτασης περιοχή (κόσμος) για εξερεύνηση.
- Απαιτήσεις εφαρμογής σε υπολογιστική ισχύ. Από αρκετούς μαθητές αναφέρθηκαν προβλήματα υπερθέρμανσης τους υπολογιστή τους κατά τη διάρκεια χρήσης της εφαρμογής.
- Η εφαρμογή αξιοποιεί μόνο την Αγγλική γλώσσα. Θεωρώ ότι αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα, αφού κάποιοι μαθητές που δεν γνώριζαν επαρκώς τη γλώσσα δυσκολεύτηκαν να ανταποκριθούν στις δραστηριότητες.

Αξιοποίηση του EcoMUVE στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση

Στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση, το επίπεδο γνώσης της Αγγλικής γλώσσας δεν είναι ακόμη επαρκές σε λεξιλόγιο. Επιπλέον, οι μαθητές της βαθμίδας αυτής δεν είναι αρκετά εξοικειωμένοι με το έννοιες που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον και το οικοσύστημα και ειδικά κάποιοι μαθητές μικρής ηλικίας δεν έχουν ευχέρεια στη χρήση των νέων τεχνολογιών. Επομένως, κρίνεται δύσκολη η εφαρμογή της ασύγχρονης μορφής του σεναρίου και είναι πιο εφικτή η εφαρμογή της σύγχρονης και της δια ζώσης μορφής του σεναρίου υπό την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε το ΕΠΠΧ ecoMUVE και οι βασικές λειτουργίες του. Περιγράφηκε η εφαρμογή και αξιολόγηση ενός σεναρίου που περιλαμβάνει το ecoMUVE σε σύγχρονη και ασύγχρονη εξ αποστάσεως μορφή. Εντοπίστηκαν αρκετά θετικά στοιχεία για μαθητές και εκπαιδευτικούς, όπως αυξημένα κίνητρα για μάθηση, διευκόλυνση απόκτησης γνώσεων μέσω εξερεύνησης και βελτίωση ψηφιακών δεξιοτήτων. Εντοπίστηκαν όμως και αρνητικά στοιχεία, όπως η αποκλειστική χρήση της Αγγλικής γλώσσας και οι υψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Ακόμη, έγιναν προτάσεις για την προσαρμογή του σεναρίου, ώστε να εφαρμοστεί στην Πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Το ΕΠΠΧ ecoMUVE έχει τη δυναμική ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί στα πλαίσια σεναρίων με διαφορετικούς μαθησιακούς στόχους κάθε φορά. Για την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων στη συμβολή της εφαρμογής στη βελτίωση της μαθησιακής διαδικασίας κρίνεται απαραίτητη η αξιοποίηση σχετικών σεναρίων σε μεγαλύτερο πλήθος μαθητών.

Αναφορές

Dalgarno, B., & Lee, M. J. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology, 41*(1), 10-32.

Dede, C., Kamarainen, A., Metcalf, S.,Tutwiler, M., S., &Grotzer, T. (2011).Ecosystem Science Learning via Multi-User Virtual Environments. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations, 3*(1), 86-90. https://doi.org/10.4018/jgcms.2011010107

Grotzer, T.A., Dede. C., Metcalf, S., & Clarke, J. (2009, April). *Addressing the challenges in understanding ecosystems: Why getting kids outside may not beenough*. Paper presented at the National Association of Research in Science Teaching (NARST) Conference, Orange Grove, CA.

Kamarainen, A., Metcalf, S., Grotzer, T., & Dede, C. J. (2015). Exploring ecosystems from the inside: How immersion in a multi-user virtual environment supports epistemologically grounded practices in

ecosystem science instruction. *Journal of Science Education and Technology, 24(2)*, 148–167. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9531-7.

Kamarainen, A., Metcalf, S., Dede, C., &Grotzer, T. (2010). *Ecomuve - promoting ecosystems science learning via multi-user virtual environments.* Paper presented at the 95th Ecological Society of America Annual Meeting, Pittsburgh, PA. https://doi.org/10.4018/jgcms.2011010107

Kavtaradze, D. (2006). "Green Backpack" toolkit: simulations and games for education for sustainable development. *Nature of Success: Success for Nature. BGCI's 6th International Congress on Education in Botanic Gardens.* The University Oxford Botanic Garden, Oxford, UK.

Ketelhut, D. J., Nelson, B. C., Clarke, J. E., & Dede, C. (2010). A multi-user virtual environment for building and assessing higher order inquiry skills in science. *British Journal of Education Technology, 41*(1), 56-68. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01036.x

Ketelhut, D. J., Clarke, J., Dede, C., Nelson, B., & Bowman, C. (2005). *Inquiry teaching for depth and coverage via multi-user virtual environments*. Paper presented at the National Association for Research in Science Teaching, Dallas.

Merchant, Z., E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, and T. J. Davis, (2014). "*Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis,*" Computers & Education 70: 29-40 (doi: 10.1016/j.compedu.2013.07.033).

Quinn, F., & Lyons, T. (2013). Educating for sustainability in virtual worlds: Does the virtual have value? *Strand 9 Environmental, Health andOutdoor Science Education, 118.*

Taylor, J. (1983). *Guide on simulation and gaming for environmental education*. Unesco-UNEP, IEEP EES 2. Λήψη στις 25 Ιουνίου από http://unesdoc.unesco.org/images/0005/000569/056905eo.pdf