

Εκπαιδευτικές Δράσεις στις Φυσικές Επιστήμες με Χρήση ΤΠΕ

Αντώνιος Τρίμης

Καθηγητής Β'θμιας Εκπαίδευσης και Μεταπτ.
Φοιτητής ΚΦΕ/ΣΘΕΤ, ΕΑΠ

trimisant@gmail.com

Κωνσταντίνος Σκορδούλης

Καθηγητής Φυσικής & Επιστημολογίας, ΕΚΠΑ
και Μέλος ΣΕΠ ΚΦΕ/ΣΘΕΤ ΕΑΠ

k.skordoulis@gmail.com

Περίληψη –*Τα φυσικά συστήματα που απαρτίζονται από μεγάλο αριθμό μελών αναπτύσσουν μια δύσκολα προβλέψιμη - μη αιτιοκρατική συμπεριφορά και χαρακτηρίζονται ως πολύπλοκα (complex systems). Η παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφει την εφαρμογή της διδασκαλίας τέτοιων συστημάτων σε μαθητές Λυκείου με τη χρήση Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας (ΤΠΕ). Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δύο διδακτικές παρεμβάσεις με χρήση του λογισμικού NetLogo, το οποίο έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης τέτοιων συστημάτων. Η πρώτη αφορά τη μελέτη οικοσυστήματος με έναν θηρευτή και ένα θήραμα και η δεύτερη τη διάδοση ιού σε έναν πληθυσμό ανθρώπων. Οι δύο παρεμβάσεις σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν στα πλαίσια της θεωρίας μάθησης του κατασκευαστικού εποικοδομητισμού (constructionism). Ο διδακτικός στόχος είναι η ενίσχυση της ικανότητας των μαθητών στο να αντιλαμβάνονται και να κατανοούν τις βασικές παραμέτρους ενός πολύπλοκου συστήματος καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αυτές επηρεάζουν την εξέλιξη του.*

Λέξεις-Κλειδιά: Πολύπλοκα συστήματα, NetLogo

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως πολύπλοκα χαρακτηρίζονται τα συστήματα που εμφανίζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Mitchell, 2009· Vattam et al, 2011· Goldstone, 2008· Cilliers, 2002· Levin, 1998· Zellmer, 2006· Solé 2006· Levy & Wilensky, 2008· Gkiolmas, 2012):

- Παρουσιάζουν δομές οι οποίες αποτελούνται από υποσύνολα ή από μεγάλο πλήθος μεμονωμένων και ετερογενών συστατικών **χωρίς να υπάρχει κάποια προεξάρχουσα αρχή**.
- Κάθε μεμονωμένο συστατικό του συστήματος δεν αλληλεπιδρά με όλα τα υπόλοιπα αλλά με κάποια «κοντινά» σε αυτό «αγνοώντας» τη συνολική συμπεριφορά του συστήματος.

- Είναι συνήθως «ανοιχτά» συστήματα που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον με αποτέλεσμα να εμφανίζουν προσαρμοστικότητα μεταβάλλοντας την εν γένει συμπεριφορά τους «μαθαίνοντας» από τις συνθήκες.
- Η λειτουργία τους εμπλέκει πολλαπλά και διακριτά επίπεδα οργάνωσης.
- Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών του συστήματος είναι **μη-γραμμικές**, δηλαδή μικρές διαφοροποιήσεις στις αρχικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν εντελώς διαφορετικές συμπεριφορές, περιλαμβάνοντας **θετικούς ή αρνητικούς βρόγχους ανάδρασης**.
- Η συνολική συμπεριφορά του συστήματος είναι γενικά **μη επαναλήψιμη** και διαφορετική από το άθροισμα των συμπεριφορών των επιμέρους συστατικών του.
- Τα πολύπλοκα συστήματα εξελίσσονται σε συνθήκες οι οποίες είναι μακριά από αυτό που ονομάζεται «ισορροπία» και μπορούν να παρουσιάζουν **ευστάθεια ή αστάθεια**.
Η ικανότητα του ατόμου να αντιλαμβάνεται και να περιγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πολύπλοκου συστήματος ονομάζεται **συστημική σκέψη**.

A. Κατασκευαστικός Εποικοδομητισμός (Constructionism)

Ο κατασκευαστικός εποικοδομητισμός, θεμελιώθηκε από τον S. Papert και συνιστά μια θεωρία μάθησης η οποία εστιάζει στην ικανότητα του μαθητή να οικοδομεί τη νέα γνώση εμπλεκόμενος με **τεχνήματα** (artifacts), δικά του ή άλλων (Papert, 1991). Η διαδικασία της μάθησης πραγματοποιείται με διάφορα μέσα π.χ. υπολογιστές και «απαιτεί» τη συνεργασία των μαθητών και τη δράση τους σε ομάδες. Με τον τρόπο αυτό ενισχύεται τόσο η αλληλεπίδραση μεταξύ τους όσο και με το αντικείμενο της μάθησης (Thompson, 2006). Η εκπαιδευτική διαδικασία αποκτά ένα δυναμικό χαρακτήρα με τον μαθητή στο επίκεντρο και τον καθηγητή στο ρόλο του καθοδηγητή.

B. NetLogo-Ένα Λογισμικό Προσομοίωσης Πολύπλοκων Συστημάτων

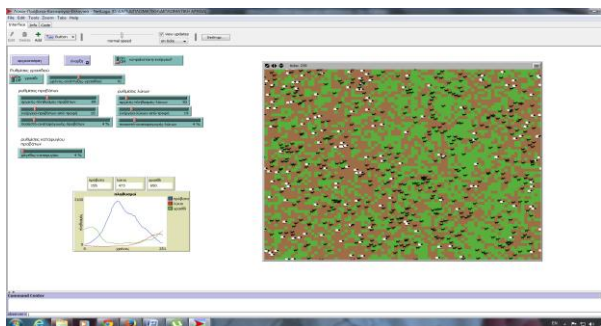
Το λογισμικό NetLogo, το οποίο δημιουργήθηκε από τον Wilenski το 1999, είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού μοντέλων τα οποία προσομοιώνουν πολύπλοκα συστήματα. Αποτελεί μια αυτόνομη εφαρμογή γραμμένη σε Java και μπορεί να λειτουργήσει σχεδόν σε όλα τα λειτουργικά συστήματα (Wilensky, 2006). Το λογισμικό NetLogo παρέχει το απαραίτητο πλαίσιο στο χρήστη ώστε να αναπαραστήσει τα βασικά στοιχεία που αποτελούν ένα σύστημα, τα οποία ονομάζονται «πράκτορες» (agents), όπως και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Οι «πράκτορες» χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Οι κινούμενοι «πράκτορες» ονομάζονται «χελώνες» (turtles) και κινούνται μέσα σε ένα πλέγμα από ακίνητους «πράκτορες», που ονομάζονται «τμήματα εδάφους» (“patches”). Οι δύο αυτές κατηγορίες μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (Wilensky, 2001· Wilensky 2006· Tisue, 2004).

II. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σχεδιάστηκαν δύο διδακτικές παρεμβάσεις με τη βοήθεια αντίστοιχων μοντέλων από τη βιβλιοθήκη του λογισμικού NetLogo.

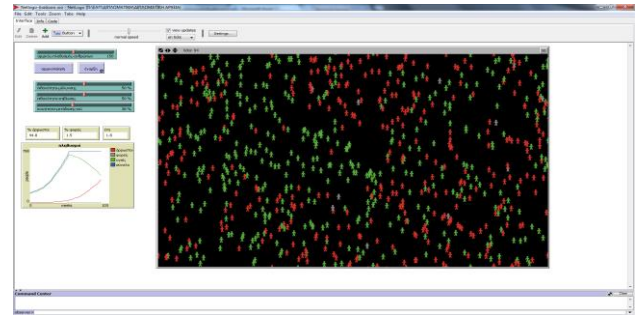
Το πρώτο μοντέλο «**Λύκοι που θηρεύουν πρόβατα-καταφύγιο**» (wolf-sheep predation), αφορά τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός οικοσυστήματος το οποίο αποτελείται από έναν θηρευτή και ένα θήραμα. Εφαρμόστηκε σε δείγμα 22 μαθητών της Γ' τάξης του Γενικού Λυκείου Μήλου. Έχει ήδη εφαρμοστεί σε ομάδες φοιτητών στην τριτοβάθμια εκπαίδευση (Gkiolmas, 2013).

Το δεύτερο μοντέλο «**Διάδοση ιού**» (virus), αφορά τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός πληθυσμού ανθρώπων στον οποίο ένα ποσοστό ατόμων έχει μολυνθεί από ιό. Η παρέμβαση αυτή πραγματοποιήθηκε σε δείγμα 13 μαθητών της Β' τάξης του Γενικού Λυκείου Μήλου. Στα σχήματα 1 και 2 παρουσιάζονται οι εξελληνισμένες επιφάνειες διεπαφής (interfaces) των μοντέλων.



Σχήμα 1: Εξελληνισμένη επιφάνεια διεπαφής του μοντέλου "Λύκοι που θηρεύουν πρόβατα-καταφύγιο"

Τα μοντέλα επελέγησαν προκειμένου να αναδειχθούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των πολύπλοκων συστημάτων τα οποία βιβλιογραφικά θεωρούνται πολύ σημαντικά όπως (Gkiolmas, 2012):



Σχήμα 2: Εξελληνισμένη επιφάνεια διεπαφής του μοντέλου "Διάδοση ιού"

- Η ευστάθεια και αστάθεια.
- Οι βρόγχοι ανάδρασης, θετικοί και αρνητικοί
- Η κρίσιμη συμπεριφορά - μη γραμμικότητα.
- Η μη επαναληψιμότητα.

Και στις δύο πειραματικές ομάδες χρησιμοποιήθηκαν φύλλα εργασίας τα οποία αποτελούνταν από δύο μέρη. Στο 1^ο μέρος υπήρχε μια αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού και των παραμέτρων που είναι δυνατόν να καθοριστούν σε κάθε προσομοίωση και στη συνέχεια ακολουθούσαν ερωτήσεις σχετικές με την εξέλιξη της προσομοίωσης. Το 2^ο μέρος είχε ως στόχο να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το μαθησιακό αποτέλεσμα των προσομοιώσεων. Και στις δύο περιπτώσεις των φύλλων εργασίας προηγήθηκε φύλλο ερωτήσεων (pre-test) με στόχο τη διερεύνηση των ιδεών των μαθητών για τα πολύπλοκα συστήματα. Ο σχεδιασμός και η διάρθρωση των δύο φύλλων εργασίας βασίστηκε στις αρχές του κατασκευαστικού εποικοδομητισμού.

A. Κύρια Σημεία Φύλλου εργασίας «Λύκοι που θηρεύουν Πρόβατα-Καταφύγιο»

Οι μαθητές «κατασκεύασαν» ένα μοντέλο οικοσυστήματος το οποίο αρχικά είχε έναν πληθυσμό (τα πρόβατα) με απεριόριστο χορτάρι, στη συνέχεια δύο πληθυσμούς (πρόβατα-χορτάρι), μετά τρεις πληθυσμούς (πρόβατα-χορτάρι-λύκους). Τέλος εισάγουν στο οικοσύστημα περιορισμούς και συγκεκριμένα **ένα καταφύγιο** προστασίας των προβάτων. Οι μαθητές, μέσα από την εξερεύνηση του λογισμικού, έπρεπε:

- να εξετάσουν σε κάθε περίπτωση **την ευστάθεια ή την αστάθεια** του οικοσυστήματος.
- να παρέμβουν στο οικοσύστημα, **μέσω των επιλογών** του λογισμικού («χρόνος ανάπτυξης χορταριού», «ποσοστό αναπαραγωγής» λύκων και προβάτων) και να πετύχουν **ευστάθεια** σε ένα οικοσύστημα με δύο ή τρεις πληθυσμούς καθώς και να παρέμβουν με τη δημιουργία του καταφυγίου ώστε να πετύχουν ευστάθεια στην περίπτωση που το οικοσύστημα τείνει προς την αστάθεια δημιουργώντας **θετικούς ή αρνητικούς βρόγχους ανάδρασης**.

B. Κύρια Σημεία Φύλλου εργασίας «Διάδοση Ιού»

Οι ομάδες των μαθητών ήρθαν σε επαφή με μοντέλο το οποίο απεικόνιζε έναν πληθυσμό ανθρώπων στον οποίο εξαπλώνεται ένας ιός (πχ. ιός του κοινού κρυολογήματος, HIV κλπ). Οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν την εξέλιξη του συστήματος, να την καταγράψουν και να την επαληθεύσουν (ή όχι) εκτελώντας την διαδικασία της προσομοίωσης.

Οι μαθητές έπρεπε να εστιάσουν την προσοχή τους στα εξής:

- να εξετάσουν σε κάθε περίπτωση την **ευστάθεια ή την αστάθεια** του συστήματος.
- να προσεγγίσουν την έννοια της **κρίσιμης συμπεριφοράς** και να αντιληφθούν τον μη-αιτιοκρατικό χαρακτήρα του φαινομένου και τη μη-γραμμικότητα που το χαρακτηρίζει.

Μετά το τέλος των προσομοιώσεων οι μαθητές κλήθηκαν να συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο αξιολόγησης (post-test).

III. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Α. «Λύκοι που Θηρεύουν Πρόβατα-Καταφύγιο»

Στάδιο 1: Οικοσύστημα με έναν πληθυσμό (τα πρόβατα) και απεριόριστη τροφή (χορτάρι)

- 22 στους 22 μαθητές παρατηρούν την συνεχή αύξηση του πληθυσμού και συμφωνούν ότι αυτό δεν είναι πάντα θεμιτό για ένα οικοσύστημα και σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ευστάθεια του οικοσυστήματος.

- Συγγέουν τις έννοιες μεταβολή και ρυθμός μεταβολής, αντικείμενα που διδάσκονται από την Α' Λυκείου στη φυσική και εκτενώς στη Γ' Λυκείου στα μαθηματικά και τη φυσική.

Στάδιο 2: Οικοσύστημα με έναν πληθυσμό (τα πρόβατα) και ελεγχόμενη ποσότητα τροφής (χορτάρι)

- 15 μαθητές στους 22 αναγνωρίζουν τη μη γραμμικότητα των αποτελεσμάτων.

- 20 μαθητές στους 22 αντιλαμβάνονται τις έννοιες ευστάθεια και αστάθεια και τις συσχετίζουν με τις παραμέτρους που επηρεάζουν το σύστημα.

Στάδιο 3: Οικοσύστημα με έναν θηρευτή (λύκοι) και ένα θήραμα (πρόβατα)

- 19 μαθητές στους 22 δεν ανέμεναν την αστάθεια του συστήματος. Μετά την προσομοίωση αυτό αλλάζει.

- Δεν γνωρίζουν την έννοια του θετικού-αρνητικού βρόγχου ανάδρασης.

Στάδιο 4: Οικοσύστημα με έναν θηρευτή, ένα θήραμα και ανθρώπινη παρέμβαση (καταφύγιο)

- 17 μαθητές στους 18 αναγνωρίζουν ότι η ύπαρξη του καταφυγίου θα οδηγήσει σε ευστάθεια του συστήματος (αν και αποτελεί ανθρώπινη παρέμβαση).

Αξιολόγηση

Η πλειοψηφία των μαθητών αντιλαμβάνεται τις αρχές της συστημικής σκέψης και αναγνωρίζει ομοιότητες του συστήματος που μελετήθηκε με άλλα φυσικά συστήματα. Σημαντικό ποσοστό μαθητών υποστηρίζει παράλληλα και τον γραμμικό-αιτιακό τρόπο ρύθμισης του συστήματος.

Β. «Διάδοση Ιού»

Στάδιο 1: Ιός του κοινού κρυολογήματος

- Όλοι οι μαθητές συμφωνούν στο εύρος των τιμών που πρέπει να θέσουν στους επιλογείς της προσομοίωσης.

- Οι 12 μαθητές στους 13 προέβλεψαν με επιτυχία την εξέλιξη της προσομοίωσης.

Στάδιο 2-3-4: Ιός HIV - Ιός Ebola – Ελεύθερες δοκιμές παραμέτρων

- Οι 12 μαθητές στους 13 αναγνωρίζουν πότε το σύστημα είναι ευσταθές (ή ασταθές).

- 10 μαθητές στους 13 αντιλήφθηκαν ότι η χρονική εξέλιξη μιας ίωσης δεν εξαρτάται μόνο από έναν παράγοντα.

Αξιολόγηση

Οι μαθητές έχουν δυσκολία στην αποτίμηση της χρονικής εξέλιξης της συμπεριφοράς του συστήματος όταν οι πληθυσμοί υγιών και νοσούντων εναλλάσσονται περιοδικά. Έγινε κατανοητό ότι το σύστημα παρουσιάζει μη προβλέψιμη συμπεριφορά. Επίσης, η έννοια της αιτιοκρατίας είναι άγνωστη στην πλειοψηφία των μαθητών με δυσκολίες στην αναγνώριση της σχέσης μεταξύ αιτίου και αποτελέσματος.

IV. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πλειονότητα των μαθητών αντιλαμβάνεται ένα δυναμικό σύστημα με όρους στατικότητας απομονώνοντας τη συμπεριφορά μεμονωμένων συστατικών του συστήματος.

Οι μαθητές είναι σε θέση να περιγράψουν ιδιότητες οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα πολύπλοκο σύστημα και αντιλαμβάνονται τη μη επαναληψιμότητα της συμπεριφοράς των συστημάτων που μελετήθηκαν και κατ' επέκταση των πολύπλοκων συστημάτων.

Σημαντικό ποσοστό μαθητών διατυπώνει την άποψη ότι υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα πρόβλεψης της εξέλιξης ενός φυσικού συστήματος, παρόλο που στα φυσικά συστήματα που διδάσκονται στο σχολείο η πρόβλεψη των αποτελεσμάτων είναι απόλυτη. Οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα όρια πρόβλεψης ενός φαινομένου σε μια διαδικασία προσομοίωσης. Στη φύση όμως τα πράγματα είναι περισσότερο σύνθετα και υπάρχουν παράμετροι που είναι άγνωστοι ή αφανείς στα εποπτικά μέσα.

Η διδακτική προσέγγιση που περιγράφηκε προκάλεσε το ενδιαφέρον και τη συμμετοχή μαθητών και της θεωρητικής κατεύθυνσης. Η συμβατική διδακτική προσέγγιση των φυσικών συστημάτων με τη χρήση μαθηματικού φορμαλισμού αποτρέπει τους μαθητές που δεν έχουν δεξιότητες στα μαθηματικά, από τη συστηματική ενασχόληση με το αντικείμενο. Είναι σημαντικό ότι μαθητές που θεωρούνται «αδύναμοι», σύμφωνα με το σύστημα αξιολόγησης στο Λύκειο, αναλαμβάνουν ενεργό ρόλο στη διαδικασία της προσομοίωσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Blikstein, P., & Wilensky, U. (2009). An atom is known by the company it keeps: A Constructionist Learning Environment for Materials Science Using Agent-Based Modeling. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 14 (1), 81–119.
- Cilliers, P. (2002). *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. Routledge, London.
- Gkiolmas, A., Karamanos, K., Chalkidis A., Skordoulis C., Papaconstantinou A., Stavrou D. (2012). Ecosystem Food Webs as Dynamic Systems: Educating Undergraduate Teachers in Conceptualizing Aspects of Food Webs' Systemic Nature and Comportment", *Advances in Systems and Applications*, 12(4), 49-68
- Goldstone, R. L., & Wilensky, U. (2008). Promoting Transfer by Grounding Complex Systems Principles. *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 17, Issue 4, p. 465-516.
- Hmelo, C. E., Holton, D. L., & Kolodner, J. L. (2000). Designing to Learn about Complex Systems. *The Journal of the Learning Sciences*, Vol. 9, Issue 3, pp. 247-298.
- Levin, S. A. (1998). Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems*, Vol. 1, p. 431–436.
- Levy, S. T., & Wilensky, U. (2008). Inventing a “Mid-Level” to make Ends meet: Reasoning between the Levels of Complexity. *Cognition and Instruction*, Vol. 26 (1), pp. 1-47.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. New York: Oxford University Press.
- Papert, S. (1980). *“Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas”*. New York: Basic Books, 1st Edition.
- Papert, S. & Harel, I. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing Corporation, Norwood, New Jersey.
- Solé, R. V. & Bascompte, J. (2006). *Self-Organization in Complex Ecosystems*. Princeton University Press
- Tissue, S., & Wilensky, U. (2004). “NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment. Swarm Fest, Ann Arbor, May 2004.
- Thompson, K. & Reimann, P. (2006) “Do school students learn more about the environment from a system dynamics model by themselves or with a partner?” *The Faculty of Education and Social Work*. The University of Sydney, Australia
- Vattam, S. S, Goel, K. A., Rugaber, S., Hmelo-Silver, E. C., Jordan, R., Gray, S. & Sinha, S. (2011). Understanding Complex Natural Systems by Articulating Structure-Behavior-Function Models. *Journal of Educational Technology & Society* Vol. 14, No 1, pp. 66-81.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking Like a Wolf, a Sheep, or a Firefly: Learning Biology Through Constructing and Testing Computational Theories. — An Embodied Modeling Approach. *Cognition and Instruction*, Vol. 24, Issue 2, pp.171-209.
- Wilensky, U. (2001). “Modeling nature’s emergent patterns with multi-agent languages”. *Paper presented at the “Eurologo” Conference*, Augoust 2001, Linz, Austria.
- Zellmer, A. J., Allen, T. F. H. & K. Kesseboehmer, K. (2006). The nature of ecological complexity: A protocol for building the narrative. *Ecological Complexity*, Vol. 3, Issue 3, pp. 171–1