ePublishing

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2013)

3ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Αξιοποίηση της NetLogo στη Διδασκαλία Δυο Ιδιοτήτων των Πολύπλοκων Συστημάτων στη Φύση.

Α. Γκιόλμας, Ά. Χαλκίδης, Μ. Παπακωνσταντίνου, Κ. Σκορδούλης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Γκιόλμας Α., Χαλκίδης Ά., Παπακωνσταντίνου Μ., & Σκορδούλης Κ. (2022). Αξιοποίηση της NetLogo στη Διδασκαλία Δυο Ιδιοτήτων των Πολύπλοκων Συστημάτων στη Φύση. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 041–048. ανακτήθηκε από https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/4368

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** EKT | **Πρόσβαση:** 22/02/2026 19:44:18

Αξιοποίηση της NetLogo στη Διδασκαλία Δυο Ιδιοτήτων των Πολύπλοκων Συστημάτων στη Φύση.

Α. Γκιόλμας[1], Ά. Χαλκίδης[1], Μ. Παπακωνσταντίνου[2] & Κ. Σκορδούλης[1]

1 Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, ΕΚΠΑ
2 Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
agkiolm@primedu.uoa.gr, achalkid@gmail.com, mpapakonstan@hotmail.com, kostas4skordoulis@gmail.com

Περίληψη

Τα πολύπλοκα συστήματα (complex systems) αποκτούν όλο και περισσότερη σημασία αλλά και πλήθος εφαρμογών σε πολλά επιστημονικά πεδία. Έχει υποστηριχθεί η σημασία της διδασκαλίας βασικών εννοιών σχετικά με τα πολύπλοκα συστήματα και σε φοιτητές μη θετικών επιστημών. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα τμήμα από τα ευρήματα μιας διδακτικής παρέμβασης με την αξιοποίηση του περιβάλλοντος της NetLogo (συγκεκριμένα κάποιες παραλλαγές του μοντέλου "Wolf-Sheep Predation") στη διδασκαλία των εννοιών της ευστάθειας και αστάθειας, καθώς και της ευαίσθητης εξάρτησης από τις αρχικές συνθήκες στα πολύπλοκα συστήματα, σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος. Τα ευρήματα από τη μελέτη περίπτωσης εκτιμάται ότι ενισχύουν, την εφαρμοσιμότητα της μεθοδολογίας της συνολικής διδακτικής παρέμβασης.

Λέξεις κλειδιά: *πολυπλοκότητα, NetLogo*

1. Εισαγωγή.

Το ενδιαφέρον για τα «πολύπλοκα» συστήματα (Complex Systems - ΠΣ) δεν περιορίζεται πλέον μόνο στο χώρου των θετικών επιστημών από τους οποίους προέρχονται, αλλά έχει επεκταθεί και σε άλλους επιστημονικούς κλάδους, όπως η Οικολογία και οι Κοινωνικές Επιστήμες (ενδεικτικά Mitchell, 2009). Αν και δεν έχει επικρατήσει ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός για το τι είναι «πολύπλοκο σύστημα», για τις ανάγκες της εκπαίδευσης, ως πολύπλοκα συστήματα αρκεί να χαρακτηριστούν αυτά που αποτελούνται από πολλά μέλη και των οποίων η συνολική συμπεριφορά είναι διαφορετική ή/και πιο σύνθετη από τη συμπεριφορά καθενός από τα μέλη που τα αποτελούν (Holland, 1996) και η χρονική τους εξέλιξη είναι συχνά μη ντετερμινιστική, ακόμη και με ίδιες ή πολύ παρόμοιες αρχικές συνθήκες, έστω και αν υπάρχουν κανόνες που μπορούν να την περιγράψουν. Στο φυσικό αλλά και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, όλο και περισσότερα συστήματα αποδεικνύονται ότι είναι «πολύπλοκα» ή ότι επιδεικνύουν «πολύπλοκη» συμπεριφορά (Flake, 1998).

Α. Λαδιάς, Α. Μικρόπουλος, Χ. Παναγιωτακόπουλος, Φ. Παρασκευά, Π. Πιντέλας, Π. Πολίτης, Σ. Ρετάλης, Δ. Σάμψων, Ν. Φαχαντίδης, Α. Χαλκίδης (επιμ.), Πρακτικά Εργασιών 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου «Ένταξη των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία» της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης ΤΠΕ στην Εκπαίδευση (ΕΤΠΕ), Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Πειραιάς, 10-12 Μαΐου 2013

Υπάρχει εκτεταμένη τεκμηρίωση (ειδικότερα τα τελευταία 15 περίπου χρόνια) για τη σημασία της γνώσης βασικών στοιχείων των πολύπλοκων συστημάτων σε σπουδαστές όλων των βαθμίδων αλλά και εκπαιδευτικών (ενδ. Jacobson & Wilensky, 2006). Θεωρείται ότι ο «διδασκόμενος» που μπορεί να αναγνωρίζει και να κατανοεί σε κάποιο βαθμό πολύπλοκα συστήματα, έξω από την περιγραφή της Φυσικής και το μαθηματικό τους φορμαλισμό, θα έχει πιο ανεπτυγμένη συστημική σκέψη (ενδ. d' Apollonia et al. 2004), θα σκέφτεται λιγότερο αναγωγιστικά και αιτιοκρατικά (ενδ. Lesh 2006), θα δίνει ερμηνείες των φαινομένων και της συμπεριφοράς των συστημάτων λιγότερο μηχανιστικές. Επιπλέον θεωρείται πολύ σημαντικό να διδάσκονται τις ιδιότητές των ΠΣ και φοιτητές που δεν προέρχονται από τις Θετικές Επιστήμες, (ενδ. Goldstone & Wilensky, 2008), καθώς αποτελούν ένα ευρείας έκτασης εξηγητικό πλαίσιο σε πολλά επιστημονικά πεδία και προάγεται η αποδεσμευμένη από συγκεκριμένες οντότητες γνώση (uninstantiated knowledge), την οποία ο διδασκόμενος μεταφέρει και εφαρμόζει παντού.

2. Το θεωρητικό υπόβαθρο της Διδακτικής Παρέμβασης.

Σε όλα τα περιβάλλοντα διδασκαλίας και μάθησης που στηρίζονται σε Logo like περιβάλλοντα, η θεωρία μάθησης που αποτελεί το γενικότερο πλαίσιο είναι ο κατασκευαστικός εποικοδομητισμός (Constructionism) (Papert,1991). Στη θεωρία μάθησης αυτή επικρατεί η λογική ο μαθητής να οικοδομεί μόνος του τη γνώση και μάλιστα δομώντας ένα αντικείμενο / τέχνημα (artifact) είτε πραγματικό είτε σε υπολογιστικό περιβάλλον (ενδ. Papert & Harel, 1991). Στην παρούσα διδακτική παρέμβαση επελέγη η NetLogo (Wilensky, 1999), ως η καταλληλότερη για τη διδασκαλία και μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων (Tisue & Wilensky, 2004).

Έτσι και στην παρούσα διδακτική παρέμβαση επικρατεί η λογική ο φοιτητής να δομεί, ως ένα βαθμό, αρχικά στην οθόνη του υπολογιστή το προς μελέτη «φυσικό σύστημα» ή «οικοσύστημα», όχι βέβαια προγραμματίζοντας σε NetLogo αλλά δοκιμάζοντας ποικίλες τιμές σε μεταβλητές που καθορίζουν τη λειτουργία των ελαφρά τροποποιημένων, από τους ερευνητές, μοντέλων της NetLogo. Επιπλέον, ζητάμε από τους φοιτητές να δουν τη δόμηση του μοντέλου να τρέξουν, χωρίς πάντα να γράφουν κώδικα σύμφωνα με ανάλογες ερευνητικές πρακτικές (ενδ Levy & Wilensky, 2011; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006).

3. Η Μελέτη Περίπτωσης. Το δείγμα και η μεθοδολογία.

Αξιοποιώντας το περιβάλλον της NetLogo, προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Πανεπιστημίου Αθηνών, διδάχτηκαν βασικές ιδιότητες των Φυσικών συστημάτων που χαρακτηρίζονται ως «Πολύπλοκα». Η συνολική έρευνα παρέχει μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία διδασκαλίας ορισμένων βασικών ιδιοτήτων των ΠΣ σε υποψήφιους εκπαιδευτικούς, με τη χρήση ΤΠΕ και κυρίως με αλληλεπίδραση με το

Πολύ-πρακτορικό Σύστημα Μοντελοποίησης της NetLogo. Ολόκληρη η διδακτική παρέμβαση περιελάμβανε: μια σειρά συναντήσεων, με τη χρήση τριών Φύλλων Εργασίας, συμπλήρωση Pre-test και Post-test, καθώς και συνεντεύξεις, μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Οι φοιτητές διαχωρίστηκαν σε Πειραματική Ομάδα (N=85) και σε μία Ομάδα Ελέγχου (N=30) η οποία διδασκόταν τα ίδια αντικείμενα χωρίς τη χρήση υπολογιστή.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται ευρήματα και συμπεράσματα από ένα μόνο τμήμα αυτής της έρευνας, στο οποίο οι διδακτικοί στόχοι επικεντρώθηκαν στην αναγνώριση και στη δυνατότητα περιγραφής από τον διδασκόμενο δύο βασικών ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων στη Φύση: *την τάση τους να καταλήγουν άλλοτε σε ευσταθή και άλλοτε σε ασταθή κατάσταση* και *την (συχνά) ευαίσθητη εξάρτηση που έχει η χρονική εξέλιξη στα συστήματα αυτά από τις αρχικές συνθήκες ή παραμέτρους και τις μεταβολές τους.* Επίσης διδακτικός στόχος ήταν το να μπορούν σε κάποιο βαθμό οι διδασκόμενοι να αναδεικνύουν αυτές τις δύο ιδιότητες καθορίζοντας ή ρυθμίζοντας τις παραμέτρους του συστήματος. Επιλέχθηκε η χρήση του μοντέλου *«Λύκοι που Θηρεύουν Πρόβατα» ("Wolf-Sheep Predation")* της NetLogo και παραλλαγές του, φτιαγμένες από την ερευνητική ομάδα., με εξελληνισμένη διεπαφή χρήσης. Το μοντέλο αυτό είναι από τα πλέον κατάλληλα για αυτούς τους διδακτικούς στόχους (Wilensky & Reisman, 2006).

4. Ευρήματα - Αποτελέσματα από τη Μελέτη Περίπτωσης.

Στην προσέγγιση που περιγράφουμε, εστιάζουμε σε επτά (7) επιλεγμένα σημεία, παραθέτοντας τα στοιχεία από τις αντίστοιχες τοποθετήσεις των μελών της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου. Σε κάθε ένα «σημείο» αντιστοιχεί μια ερώτηση για την πειραματική ομάδα και μια για την ομάδα ελέγχου.

Σημείο 1 *(ερώτηση 11 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 12 ομάδας ελέγχου)*

Ερωτάται αν **τ**ο οικοσύστημα «πρόβατα-χορτάρι», όπου το χορτάρι παίζει ρόλο, είναι ευσταθές ή ασταθές; Το σύνολο όσων απάντησαν στην ερώτηση στην πειραματική ομάδα (80/85) επέλεξαν ότι το σύστημα είναι ευσταθές, με την αιτιολόγηση ότι «κανένας πληθυσμός, ούτε τα πρόβατα, ούτε το χορτάρι δεν εξαφανίζεται». Στην ομάδα ελέγχου επεκράτησε επίσης το :[1- Θα είναι ευσταθές] (24 στους 30) και πιο λίγοι είπαν το [2- Ανάλογα με την περίπτωση] (5 στους 30). Οι επιλογές [3- Θα είναι μερικές φορές ασταθές και τα πρόβατα θα εξαφανίζονται] και [4- Αν δεν δοθούν ακραίες τιμές στις παραμέτρους (πληθυσμός προβάτων, χρόνος ανάπλασης για το γρασίδι κλπ) θα είναι ευσταθές.] των οποίων ο συνδυασμός είναι το πληρέστερο στο επιστημονικά ορθό, δεν επιλέχθηκαν από κανένα είτε συνδυασμένα είτε ανεξάρτητα.. Τέλος, μόνο ένας από την πειραματική ομάδα απάντησε ένα συνδυασμό από το 1,2,3 και το 4.

Σημείο 2 *(ερώτηση 13 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 13 ομάδας ελέγχου)*

Ζητείται, βάσει συγκεκριμένων αρχικών τιμών για τα πρόβατα και το γρασίδι, να δοθεί μια περιγραφή της χρονικής εξέλιξης που διαπιστώνουν ότι έχει το σύστημα. Και στις δυο ομάδες κυριαρχεί εμφανώς η επιλογή «*Υπάρχει αύξηση των προβάτων και μείωση της τροφής, κατόπιν αύξηση της τροφής και μείωση των προβάτων, κ.ο.κ., χωρίς ποτέ να σταματά το φαινόμενο αυτό, δηλ. δε χάνεται κάποιος πληθυσμός»* (70/85 στην πειραματική ομάδα, 23/30 στην ομάδα ελέγχου).

Σημείο 3 *(ερώτηση 14 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 14 ομάδας ελέγχου)*

Ερώτηση 14 στην Πειραματική Ομάδα**:** "Χαρακτηρίζετε το οικοσύστημα αυτό – στο οποίο έχουν πειραχτεί με συγκεκριμένο τρόπο οι αρχικές παράμετροι – ως «Ευσταθές» ή «Ασταθές»; - Αιτιολόγηση.". Όλοι απάντησαν το ίδιο (85/85) επιλέγοντας «Ασταθές» με αιτιολόγηση ότι «τα πρόβατα τελικά εξαφανίζονται». Στην αντίστοιχη ερώτηση για την ομάδα ελέγχου (ερώτηση 14) επίσης όλοι οι φοιτητές τοποθετήθηκαν σωστά (Ασταθές)

Σημείο 4 *(ερώτηση 16 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 17 ομάδας ελέγχου)*

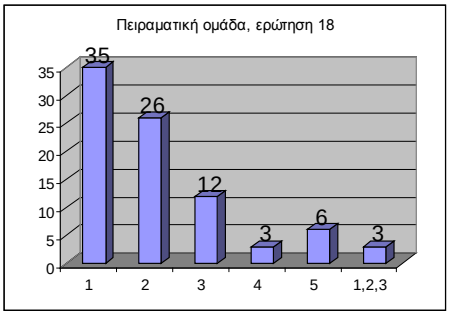
Το ζητούμενο είναι να προβλεφθεί τι θα συμβεί αν εισάγουμε μία ομάδα λύκων στο ήδη υπάρχον σύστημα (πρόβατα-γρασίδι). Στην πειραματική ομάδα κυριάρχησαν οι απαντήσεις με γενικό περιεχόμενο το: « α-Πιθανή ισορροπία . Δεν θα εξαφανιστούν οι πληθυσμοί κάνοντας έτσι ένα ευσταθές σύστημα» (53/85) ενώ στην ομάδα ελέγχου κυριάρχησε το σκεπτικό: «Οι λύκοι θα σταθεροποιηθούν, τα πρόβατα θα μειωθούν, το γρασίδι θα εξαφανιστεί» (26/30).

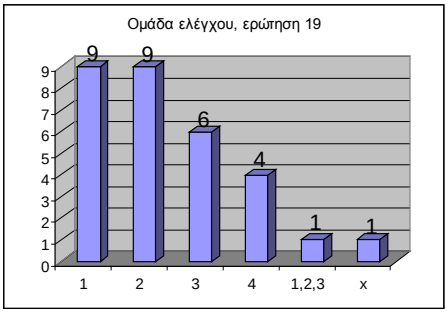
Σημείο 5 *(ερώτηση 18 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 19 ομάδας ελέγχου)*

Ζητείται η περιγραφή της χρονικής εξέλιξης του συστήματος των τριών πληθυσμών (λύκος – πρόβατο - χορτάρι), αφού γίνουν αρκετές δοκιμές στην προσομοίωση, και έχοντας εισαγάγει έναν πληθυσμό λύκων στο οικοσύστημα, με κάποιες προδιαγραφές που τέθηκαν σταδιακά. Αν προβλέπουν παραπάνω από μία πιθανές χρονικές εξελίξεις, ζητούμε να περιγραφούν χωριστά. Και στις δύο ομάδες (δες γραφήματα 1α & 1β) κυριάρχησαν οι απαντήσεις που υπάγονται από πλευράς εννοιολογικού περιεχομένου στις κατηγορίες:

1. Υπάρχουν μεταβολές όλων των πληθυσμών με μέτριο ρυθμό, άρα ευστάθεια (35 φοιτητές στην πειραματική ομάδα, 9 φοιτητές στην ομάδα ελέγχου) .

2. Στον αργό ρυθμό (μεγάλο χρόνο) επανάκαμψης για το χορτάρι, κάποια στιγμή έχουμε απότομη αύξηση των προβάτων και τελικά μένουν μόνο: χορτάρι – πρόβατα (26 φοιτητές στην πειραματική ομάδα, 9 φοιτητές στην ομάδα ελέγχου).



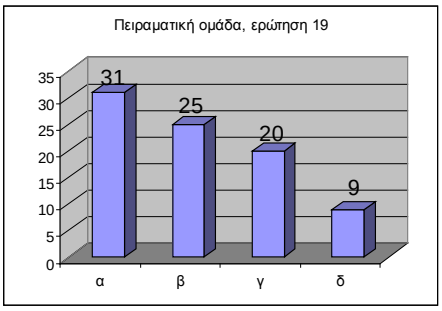


Γραφήματα 1α & 1β: *Οι τοποθετήσεις στις ερωτήσεις του σημείου 5.*

<u>Σημείο 6</u> *(ερώτηση 19 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 20 ομάδας ελέγχου)*

Η διατύπωση της ερώτησης ήταν κοινή για τις δυο ομάδες: «Το οικοσύστημα με τους τρείς πληθυσμούς ήταν ευσταθές, ασταθές ή άλλοτε ευσταθές και άλλοτε ασταθές; Μπορείτε να το ερμηνεύσετε;». Η κατανομή των απαντήσεων που ακολουθούν φαίνεται στα γραφήματα 2α &2β.

α. Ήταν γενικά ευσταθές. Εξήγηση: όλοι οι πληθυσμοί βρίσκουν τροφή, αφού όλοι ξαναγεννιούνται.
β. Ήταν συχνά ασταθές. Κάποιος πληθυσμός ή και δύο, κατέληγε να χαθεί.
γ. Είναι συχνότερα ευσταθές, εκτός από ακραίες τιμές των παραμέτρων
δ. Μπορεί να είναι και ασταθές αλλά και ευσταθές, το ίδιο συχνά. Εξαρτάται από τις αρχικές τιμές των παραμέτρων.



Γραφήματα 2α & 2β: *Οι τοποθετήσεις στις ερωτήσεις του σημείου 6.*

<u>Σημείο 7</u> *(ερώτηση 21 πειραματικής ομάδας, ερώτηση 22 ομάδας ελέγχου).*

Εδώ ζητούνται γενικά συμπεράσματα από τη μελέτη του μοντελοποιημένου συστήματος πληθυσμών. Στην πειραματική ομάδα κυριαρχεί η απάντηση που κωδικοποιείται ως: «Η φύση πρέπει να λειτουργεί από μόνη της» (59 στους 85), ενώ στην ομάδα ελέγχου κυριαρχεί ένας συνδυασμός των απαντήσεων «Οι παράμετροι

και οι συνθήκες επηρεάζουν την εξέλιξη των πληθυσμών» και «Να υπάρχει μέτρο στην παρέμβαση ανθρώπου στη Φύση» (12 στους 30).

5. Συζήτηση των αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα.

Για λόγους συνεκτικής αντιμετώπισης των προαναφερόμενων ευρημάτων αυτά κατηγοριοποιούνται, *σε τρείς κατηγορίες.*

Α. Ερωτήσεις στις οποίες και η πειραματική ομάδα και η ομάδα ελέγχου συγκλίνουν προς το «επιστημονικά ορθό», αμφότερες με πολύ ψηλά ποσοστά. Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν τα σημεία 3 και 5.

Το σημείο 3 αφορά *το χαρακτηρισμό ενός οικοσυστήματος, στο οποίο έχουν με συγκεκριμένο τρόπο πειραχτεί οι αρχικές παράμετροι, ως «ασταθές» ή «ευσταθές».* Το σημείο 5 αφορά *τη δυνατότητα περιγραφής της χρονικής εξέλιξης ενός πολύπλοκου συστήματος τριών πληθυσμών*, άρα κατανόησης της εξάρτησης από τις αρχικές τιμές των παραμέτρων. Η χρήση της NetLogo δεν φαίνεται να πλεονεκτεί εδώ των κλασικών μεθόδων διδασκαλίας. Αυτό πιθανόν γιατί στο Σ3 οι αρχικές παράμετροι είναι αυστηρά καθορισμένες, άρα λογισμικό και προφορική διδασκαλία έχουν περίπου το ίδιο αποτέλεσμα (δεν υπάρχει περιθώριο δοκιμών), ενώ στο Σ5 είναι πλέον υπερβολικά πολλές οι παράμετροι του συστήματος για να επιτευχθεί μάθηση και κατανόηση, έστω και με τη χρήση της NetLogo.

Β. Ερωτήσεις στις οποίες και η πειραματική ομάδα και η ομάδα ελέγχου συγκλίνουν προς το «επιστημονικά ορθό», αλλά η πειραματική ομάδα το προσεγγίζει με καλύτερα ποσοστά. Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν τα σημεία 1, 2 και 7.

Το σημείο 1, αφορά τον *χαρακτηρισμό* ενός «πολύπλοκου» οικοσυστήματος δύο πληθυσμών (θηρευτή και θηράματος) *ως ευσταθές ή ασταθές.* Το σημείο 2 αφορά την *λεκτική περιγραφή της χρονικής εξέλιξης* ενός τέτοιου οικοσυστήματος. Το σημείο 7, αφορά την *εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων* και ειδικότερα την ανατροπή αυτού που στην οικολογία αποτελεί συχνά ανεπιθύμητη «απόρροια» της γραμμικής αιτιακής σκέψης (“linear causal thinking”) (White, 1997), δηλ. όταν θέλουμε να μειώσουμε έναν πληθυσμό, αυξάνουμε τον άμεσο θηρευτή του ή μειώνουμε το άμεσο θήραμά του. Σε τέτοιες μορφές ερωτήσεων, αυτοί που μελέτησαν το μοντελοποιημένο «πολύπλοκο» φυσικό σύστημα μέσα από το περιβάλλον της NetLogo, φαίνεται να πλεονεκτούν ελαφρά ως προς το μαθησιακό αποτέλεσμα σε σχέση με αυτούς που το διδάχτηκαν χωρίς υπολογιστή.

Γ. Ερωτήσεις στις οποίες η πειραματική ομάδα συγκλίνει προς το «επιστημονικά ορθό», ενώ η ομάδα ελέγχου συγκλίνει προς κάτι που μπορεί να θεωρηθεί «επιστημονικά λάθος». Στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν τα σημεία 4 και 6.

Το σημείο 4 αφορά τη *δυνατότητα πρόβλεψης της μελλοντικής εξέλιξης ενός πολύπλοκου συστήματος*, χωρίς αυτή να έχει ακόμη τελεστεί, άρα προβλέπεται η όποια εξάρτηση από αρχικές συνθήκες, ενώ το σημείο 6 αφορά *χαρακτηρισμό ενός πολύ-παραμετρικού (σύνθετου) ΠΣ ως «ευσταθούς» ή «ασταθούς»*. Σε τέτοιου είδους ερωτήματα όπως αυτά, η διδασκαλία σε υπολογιστή με το πολυ-πρακτορικό σύστημα της NetLogo φαίνεται να πλεονεκτεί από τη συμβατική.

Συνοψίζοντας τα πορίσματα όλων των απαντήσεων, η διδασκαλία με NetLogo και υπολογιστή, φαίνεται – πάντα με τους περιορισμούς που έχει αυτή η έρευνα – να πλεονεκτεί της συμβατικής διδασκαλίας στην πειραματική ομάδα, στα εξής σημεία:

- Αναγνώριση πότε ένα – όχι ιδιαίτερα σύνθετο – πολύπλοκο σύστημα οδηγείται σε ευστάθεια ή αστάθεια. Ειδικότερα διαφαίνεται ότι τα ευσταθή συστήματα γίνονται πιο κατανοητά στη διδασκαλία με υπολογιστή, ενώ τα ασταθή – ως πιο απλά γενικά – είναι κατανοητά και με τους δύο τρόπους.
- Πρόβλεψη χρονικής εξέλιξης ενός μοντελοποιημένου ΠΣ, με βάση μεταβλητές αρχικές συνθήκες.
- Λεκτική αναλυτική περιγραφή του πώς εξελίσσεται χρονικά ένα ΠΣ, που έχει μεταβλητές αρχικές συνθήκες.
- Εξαγωγή πιο γενικευμένων συμπερασμάτων για όλα τα ΠΣ, πέραν του εκάστοτε μελετώμενου.

Σα μια συνολικότερη αποτίμηση της όλης έρευνας, με τους περιορισμούς της, θα λέγαμε ότι: από τη λεπτομερειακή θεμελίωση του Pre-test, του Post-test, των Φύλλων Εργασίας, των Συνεντεύξεων, αλλά και της Διδακτικής Παρέμβασης στην Ομάδα Ελέγχου, όλα στηριγμένα σε διεθνώς αποδεκτές γνωσιοθεωρητικές αρχές και διδακτικές στρατηγικές, αλλά και στηριγμένα στη βιβλιογραφία, πιστεύουμε ότι η μέθοδος αυτή αποτελεί μία εφαρμόσιμη πρόταση για τη διδασκαλία ιδιοτήτων πολύπλοκων συστημάτων, κυρίως σε φοιτητές προερχόμενους από χώρους εκτός Φυσικών επιστημών, αλλά και σε μέλλοντες εκπαιδευτικούς.

Βιβλιογραφία

d’ Apollonia, S., T., Charles, E., & Boyd, G., M. (2004). Acquisition of Complex Systemic Thinking: Mental Models of Evolution. *Educational Research and Evaluation*, Τόμος 10, Τεύχος 4-6, σελ. 499-521.

Flake, G., W. (1998) *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals,Chaos, Complex Systems and Adaptation*. Εκδόσεις: Bradrofd Books, MIT Press.

Goldstone, R. L. & Wilensky, U. (2008). Promoting Transfer by grounding Complex Systems Principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465-516.

Hmelo-Silver, C., E., & Azevedo, R. (2006). Understanding Complex Systems: some

core challenges. *Journal of the Learning Sciences*, Τόμος 15, Τεύχος 1, σελ. 53-61.

Holland, J. (1996). *Hidden Order: How Adaptation builds Complexity*. Εκδόσεις: Basic Books.

Jacobson, M., J. & Wilensky, U. (2006).Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences. *The Journal of the Learning Sciences,* 15(1), σελ. 11–34.

Lesh, R. (2006). Modeling students' modeling abilities: The teaching and learning of Complex Systems in Education. *The Journal of the Learning Sciences*, Τόμος 15, Τεύχος 1, σελ. 45-52.

Levy, S., T. & Wilensky, U. (2011). Mining Students' Inquiry Actions for Understanding of Complex Systems. *Computers & Education*, Τόμος 56, σελ. 556-573.

Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Εκδόσεις: Oxford University Press.

Papert, S. (1991). Situating Constructionism. Στο βιβλίο των S. Papert και I. Harel (Εκδότες): *Constructionism.* Σελ. 1-11. Εκδόσεις: Ablex, Norwood, New Jersey.

Papert, S., & Harel, I. (Εκδότες) (1991): *Constructionism.* Εκδόσεις: Ablex, Norwood, New Jersey.

Tisue, S. & Wilensky, U. (2004). NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. *Proceedings of the International Conference on Complex Systems*, May 2004, Boston, USA.

White, P., A. (1997) Naïve ecology: Causal judgments about a simple ecosystem. *British Journal of Psychology*, Τόμος 88, Τεύχος 2, σελ. 219-233.

Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. Ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα: http://ccl.northwestern.edu/netlogo, για τελευταία φορά στις 20 Ιανουαρίου 2013. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

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* 24(2), 171-209.