

Χρήση απλών μορφών πολυ-πρακτορικών συστημάτων για τη διδασκαλία βασικών ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων

Α. Γκιόλμας¹, Α. Χαλκίδης², Α. Παπακωνσταντίνου³ & Κ. Σκορδούλης⁴

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, ΕΚΠΑ

¹agkiolm@primedu.uoa.gr, ²achalkid@gmail.com, ³apapas.techie@gmail.com, ⁴kskordul@primedu.uoa.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η χρήση πολυ-πρακτορικών συστημάτων (multi-agent-based systems) ως εργαλείο διδασκαλίας για την κατανόηση και εμπέδωση, από μέρους των διδασκομένων, κάποιων βασικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τα οικολογικά συστήματα ως Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems). Το πολυ-πρακτορικό σύστημα προσομοίωσης και μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό της NetLogo (version 4.0.4) και από αυτό επελέγησαν συγκεκριμένα μοντέλα από τη Βιβλιοθήκη Μοντέλων (Models' Library) που διαθέτει, τα οποία τροποποιήθηκαν κατάλληλα και δημιουργήθηκαν παραλλαγές τους οι οποίες εξυπηρετούσαν τους διδακτικούς σκοπούς της έρευνας. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια συνεντεύξεων που έδωσαν προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθήνας, σε συνδυασμό με αλληλεπίδραση με κάθε μοντέλο στον υπολογιστή.

Λέξεις κλειδιά: πολύπλοκα συστήματα, NetLogo

1. Εισαγωγή – Θεωρητικό Μέρος

Υπάρχει εκτενής διεθνής βιβλιογραφία που αφορά τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν για μαθητές και εκπαιδευτικούς από την εκπαίδευσή τους πάνω στα Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems) (Jacobson & Wilensky, 2006; Wilensky & Reisman, 2006; Resnick & Wilensky, 1997). Μεταξύ άλλων θεωρείται ότι ένας μαθητής / εκπαιδευτικός με εκπαίδευση πάνω στα πολύπλοκα συστήματα αποκτά ολιστική και όχι αναγωγική σκέψη, αναγνωρίζει τη συστημική συμπεριφορά σε πολλές εκφάνσεις της ζωής, αποκτά αντίληψη του μη κεντροποιημένου (decentralized) ελέγχου σε πολλές φυσικές και κοινωνικές δραστηριότητες και σκέφτεται λιγότερο ντετερμινιστικά ή/και γραμμικά αιτιακά περνώντας περισσότερο σε στοχαστικές θεωρήσεις των φαινομένων (Goldstone & Wilensky, 2008). Ειδικότερα, η εκπαίδευση μελλοντικών ή εν ενεργεία εκπαιδευτικών πάνω σε ιδιότητες των Πολύπλοκων Συστημάτων, έχει πολλαπλά οφέλη γιατί οι αποκτούμενες γνώσεις και αντιλήψεις είναι εφικτό μέσα από πολλές δράσεις να μεταφερθούν και στους μαθητές τους στη Στοιχειώδη ή τη Μέση Εκπαίδευση (Dresner, 2008).

Επιπρόσθετα έχει αποδειχτεί ότι η αισθητοποίηση εννοιών και ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων, τόσο σε εννοιολογικό επίπεδο (Complexity Conceptual

Approach, CCA), όσο και σε πρακτικό επίπεδο (Complexity Practical Approach, CPA) – δηλαδή πρόβλεψη συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων, «μετρήσεις» επ’ αυτών, αναγνώριση και ταυτοποίησή τους κλπ – επιτυγχάνεται σχεδόν μονοσήμαντα με χρήση ΤΠΕ στην διαδικασία της εκπαίδευσης και μάθησης (Karsten, 2004).

Ένα γενικά αποδεκτό περιβάλλον προσομοίωσης και μοντελοποίησης για την εκμάθηση στοιχείων των πολυπλόκων συστημάτων, είναι το πολύ-πρακτορικό περιβάλλον της NetLogo (Wilensky, 1999), συνέχεια και επέκταση παλαιότερων γλωσσών / περιβαλλόντων προγραμματισμού, όπως η StarLogo, και η StarLogo T. Δουλεύοντας σε έναν μικρόκοσμο (microworld) με πολλούς «πράκτορες» (agents), ο εκπαιδευτικός που προγραμματίζει ή διδάσκει με NetLogo, μπορεί πολύ ικανοποιητικά να προσομοιώνει πολύπλοκα συστήματα και να διδάσκει παραμέτρους και χαρακτηριστικά αυτών (Tisue & Wilensky, 2004).

2. Η Ερευνητική διαδικασία και τα Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν

Το κομμάτι της έρευνας που περιγράφεται στην εργασία αυτή, αφορά τη συνέχεια της βασικής έρευνας που έγινε σε 85 προπτυχιακούς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Αθήνας, οι οποίοι παρακολουθούσαν το μάθημα «Φυσικές Επιστήμες και Περιβάλλον: Εργαστηριακή Προσέγγιση», το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010 (Gkiolmas et al., 2010a). Όλο αυτό το δείγμα είχε κατηγοριοποιηθεί με βάση τέσσερις παραμέτρους, ως εξής:

- Το έτος σπουδών (ουσιαστικά η ηλικία). Η παράμετρος παίρνει τέσσερις τιμές: Α, Β, Γ, και Δ (δεν υπήρχαν τελειόφοιτοι μεγαλύτερων ετών).
- Το αν επέλεξαν τη Βιολογία Γενικής Παιδείας ως πανελλαδικά εξεταζόμενο μάθημα (η παράμετρος σχετίζεται με την ύπαρξη ή μη κάποιας προϋπάρχουσας υποδομής και θετικής προδιάθεσης στη Βιολογία / Οικολογία). Η παράμετρος παίρνει δύο τιμές: ΒΙΟΛ-ΝΑΙ και ΒΙΟΛ-ΟΧΙ.
- Το από ποια κατεύθυνση σπουδών εισήχθησαν στο Παιδαγωγικό Τμήμα. Η παράμετρος παίρνει τρεις τιμές: ΘΕΤ, ΘΕΩΡ και ΤΕΧΝ.
- Το αν επέλεξαν ως τώρα επιπλέον επιλεγόμενα μαθήματα Πληροφορικής στην διάρκεια της Δευτεροβάθμιας ή Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης. Η παράμετρος παίρνει δύο τιμές ΠΛ-ΝΑΙ και ΠΛ-ΟΧΙ.

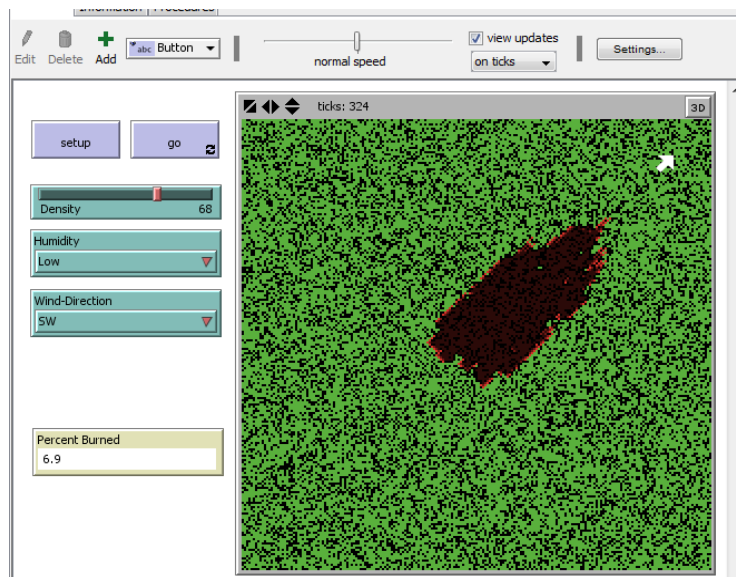
Κατόπιν (και αυτό αφορά η παρούσα εργασία) επελέγησαν 17 από τους 85 αυτούς φοιτητές (ποσοστό 20%) που έδωσαν ατομικές συνεντεύξεις διάρκειας 2 ωρών ο καθένας με χρήση και υπολογιστή στον οποίο ήταν εγκατεστημένα και διαθέσιμα κατά τη διάρκεια της συνέντευξης, τα μοντέλα της NetLogo. Το δείγμα των 17 ατόμων που έδωσαν συνέντευξη έχει επιλεγεί με στρωματοποιημένη δειγματοληψία ώστε να καλύπτονται ισότιμα (κατά το δυνατόν), όλες οι τιμές των τεσσάρων προαναφερθεισών παραμέτρων με βάση τις οποίες διακρίνουμε τους συνεντευξιαζόμενους. Σε κάποιες περιπτώσεις ήταν αδύνατη η ισορροπημένη

κατανομή, π.χ. το ολικό δείγμα είχε ελάχιστους τεταρτοετείς και ελάχιστους από Θετική Κατεύθυνση. Η κατανομή των μελών του δείγματος από τους οποίους λήφθηκαν συνεντεύξεις, φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Η κατανομή των 17 φοιτητών του δείγματος που έδωσε συνεντεύξεις, ως προς τις διάφορες τιμές των παραμέτρων

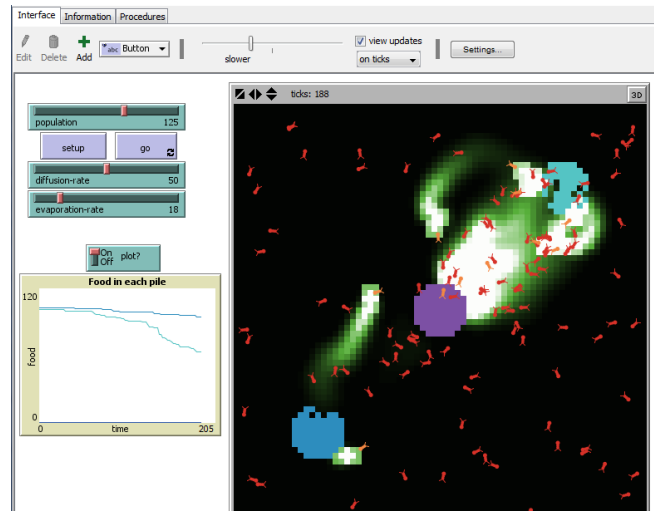
έτος σπουδών	A	B	Γ	Δ	σύνολο
	4	5	7	1	17
επέλεξαν Βιολογία	ναι	όχι			σύνολο
	7	10			17
κατεύθυνση σπουδών	Θετική	Θεωρητική	Τεχνολογική		σύνολο
	2	10	5		17
επέλεξαν Πληροφορική	ναι	όχι			σύνολο
	8	9			17

Οι φοιτητές αυτοί κατά τη διάρκεια της συνέντευξης ερωτήθηκαν πάνω σε μοντέλα της NetLogo που αναπτύχθηκαν από την ερευνητική ομάδα ως προεκτάσεις μοντέλων που ήδη υπήρχαν στη Βιβλιοθήκη μοντέλων (Models' Library). Συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε, στηριγμένοι στο Μοντέλο "Fire" της NetLogo, ένα άλλο στο οποίο η εστία της «φωτιάς» είναι (πιο ρεαλιστικά) στο κέντρο του «δάσους». Επιπλέον μπορεί να καθοριστεί η «διεύθυνση του ανέμου» αλλά και το αν το «δάσος» θα έχει «υψηλή» ή «χαμηλή υγρασία» (εικόνα 1).

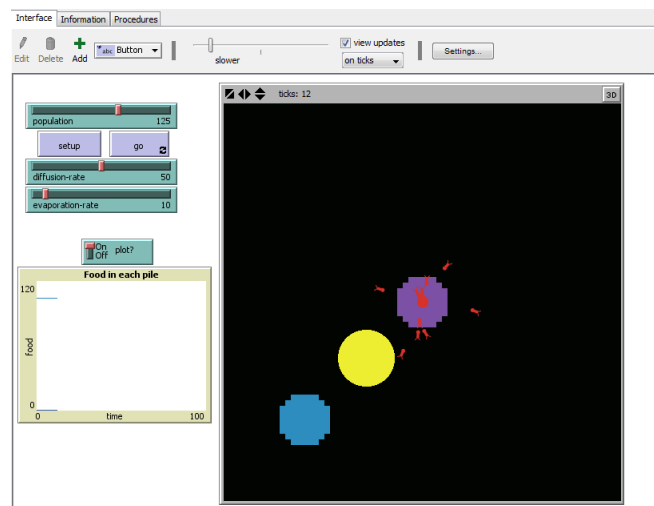


Εικόνα 1: Στιγμιότυπο οθόνης από το μοντέλο που δομήθηκε με βάση το Μοντέλο "Fire" της NetLogo

Στηριγμένοι, στο μοντέλο “Ants” της NetLogo, δημιουργήσαμε, δύο παραλλαγές του: Στη μία τα μυρμήγκια αναζητούν τροφή από δύο μόνο, ολόιδιες, αλλά και ισαπέχουσες από τη φωλιά εστίες τροφής. Στην άλλη υπάρχει μια μόνο εστία τροφής, αλλά μεσολαβεί εμπόδιο ανάμεσα στη φωλιά και την εστία τροφής. Τα δύο αυτά μοντέλα (παραλλαγές του μοντέλου “Ants”), απεικονίζονται στις εικόνες 2 και 3 αντίστοιχα.



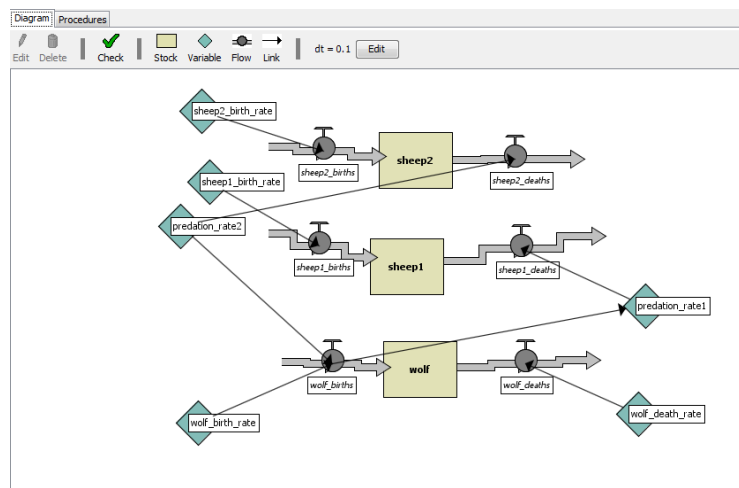
Εικόνα 2: Στιγμιότυπο οθόνης από το μοντέλο που δομήθηκε με βάση το Μοντέλο “Ants” της NetLogo, με δύο ισαπέχουσες εστίες τροφής



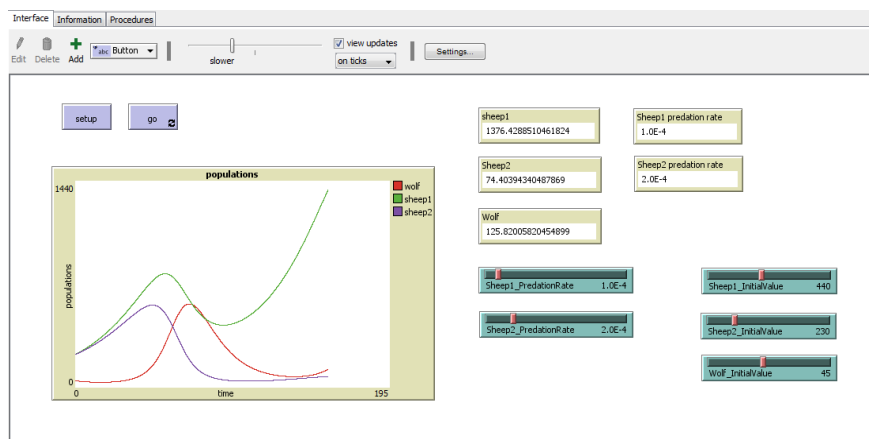
Εικόνα 3: Στιγμιότυπο οθόνης από το μοντέλο που δομήθηκε με βάση το Μοντέλο “Ants” της NetLogo, με μία εστία τροφής και εμπόδιο

Τέλος σε μία παραλλαγή του Μοντέλου “Wolf Sheep Predation (System Dynamics)” της NetLogo που αναπτύχθηκε υπάρχει όχι ένα αλλά δύο είδη προβάτων με

διαφορετικό ρυθμό θήρευσης από το λύκο. Στην Εικόνα 4 απεικονίζεται η Δυναμική του Συστήματος αυτού όπως τη δίνει η NetLogo, ενώ στην εικόνα 5, η γραφική παράσταση των πληθυσμών του συστήματος αυτού, στο περιβάλλον στο οποίο αλληλεπιδρούν οι μαθητές.



Εικόνα 4: Στιγμιότυπο οθόνης από το μοντέλο που δομήθηκε με βάση το Μοντέλο “Wolf Sheep Predation (System Dynamics)” της NetLogo, όπου απεικονίζεται η δυναμική του συστήματος



Εικόνα 5: Στιγμιότυπο οθόνης από το μοντέλο που δομήθηκε με βάση το Μοντέλο “Wolf Sheep Predation (System Dynamics)”, όπου απεικονίζεται η γραφική παράσταση της χρονικής εξέλιξης των πληθυσμών και το περιβάλλον χειρισμού

Με τα μοντέλα αυτά που περιγράφηκαν σύντομα παραπάνω, οι φοιτητές είχαν την ευκαιρία να αλληλεπιδρούν σε όλη τη διάρκεια της συνέντευξης, παράλληλα με τις απαντήσεις τους στις ερωτήσεις του ερευνητή. Σε κάποιες περιπτώσεις δόθηκε η ευκαιρία να γίνουν σε συνεργασία με τον ερευνητή, μικρές αλλά κρίσιμες αλλαγές

στον κώδικα της NetLogo και να ελέγξουν οι φοιτητές τα αποτελέσματα των αλλαγών στη συμπεριφορά του μοντέλου, παράλληλα με την κατανόηση σε πρώτο επίπεδο της λογικής του προγραμματισμού του μοντέλου. Όλες οι συνεντεύξεις μαγνητοφωνήθηκαν.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Η εκ των υστέρων αποκωδικοποίηση των συνεντεύξεων έδειξε ότι οι 17 προπτυχιακοί φοιτητές ήταν σε θέση να κατανοήσουν και να εντοπίσουν σε μεγάλο ποσοστό τις βασικές ιδιότητες των Πολύπλοκων Συστημάτων και ειδικότερα τις προεκτάσεις των ιδιοτήτων αυτών, όπως αυτές αναδεικνύονται από την αλληλεπίδραση των φοιτητών με τα παραλλαγμένα μοντέλα της NetLogo.

3.1 Ευρήματα από τη χρήση του μοντέλου «Φωτιάς στο Δάσος»

Πιο συγκεκριμένα στο μοντέλο της «Φωτιάς στο Δάσος» (“Fire”), με την εστία όμως της πυρκαγιάς στο κέντρο του μικρόκοσμου, με οκτώ δυνατές διευθύνσεις ανέμου και με δυνατότητα για ύπαρξη «χαμηλής» ή «υψηλής» υγρασίας, παρατίθενται τα κυριότερα ευρήματα που αφορούν τις απαντήσεις των φοιτητών, πριν ή/και μετά από εκτεταμένη αλληλεπίδραση με το μοντέλο στον υπολογιστή, στις βασικές ερωτήσεις της συνέντευξης. Να σημειωθεί ότι όταν μία ερώτηση έχει την ένδειξη [ΠΡ], σημαίνει ότι ήταν ερώτημα πρόβλεψης, δηλαδή τίθεται στον φοιτητή *πριν αλληλεπιδράσει* με το μοντέλο. Ενώ αν έχει την ένδειξη [Μ.Α.], σημαίνει ότι τίθεται στον φοιτητή *μετά την αλληλεπίδραση* με το λογισμικό της NetLogo.

Ερώτηση αριθμός 7 (Q7) [Μ.Α.]: «Πιστεύεις ότι η κρίσιμη τιμή στην εκδήλωση του φαινομένου, που στο αρχικό μοντέλο ήταν 59%, αλλάζει ανάλογα με τη διεύθυνση που έχει ο άνεμος και πώς;», 15 φοιτητές απαντούν : «ΝΑΙ αλλάζει» και 2 φοιτητές απαντούν « ΟΧΙ δεν αλλάζει». Από τους δύο που απαντούν «όχι δεν αλλάζει», ο ένας απαντά ότι η κρίσιμη τιμή είναι *περίπου η ίδια* με το αρχικό μοντέλο Fire της NetLogo (λέει συγκεκριμένα 58-59%), ενώ ο άλλος λέει ότι υπάρχει *άλλη* κρίσιμη τιμή, γύρω στο 52%, *ίδια* όμως για όλες τις οκτώ διευθύνσεις που μπορούν να αποδοθούν στον άνεμο. Από τους δεκαπέντε φοιτητές που βλέπουν *αλλαγή* στην κρίσιμη τιμή της πυκνότητας δέντρων ή δενδροκάλυψης (tree density) *ανάλογα με τη διεύθυνση που «πνέει ο άνεμος»*, οι 11 παρατηρούν ότι στις τέσσερις «κατακόρυφες διευθύνσεις» (N, S, E και W) υπάρχει μία περίπου ενιαία τιμή κρίσιμης πυκνότητας δέντρων και την τοποθετούν περίπου στο 57-60%, ενώ ταυτόχρονα μία άλλη ενιαία κρίσιμη τιμή (περίπου 52-53%), αφορά τις «διαγώνιες διευθύνσεις του ανέμου, οι 4 θεωρούν ότι σε κάθε μία από τις οκτώ διευθύνσεις που μπορεί να πνέει ο άνεμος αντιστοιχεί και μία άλλη κρίσιμη τιμή πυκνότητας δέντρων, την οποία και ο καθένας τους προσδιορίζει για κάθε περίπτωση. Διαπιστώνεται λοιπόν ότι οι 15 από τους 17 ερωτώμενους απαντούν κάτι πολύ κοντά στο «επιστημονικά αποδεκτό» και από αυτούς οι 11 εκφράζουν την βέλτιστη επιστημονικά αποδεκτή απάντηση (Resnick , 1999). Ο αλγόριθμος αυτός της NetLogo ουσιαστικά προσομοιώνει *φαινόμενο διαγωγιμότητας ή διήθησης (percolation)* και η εξέλιξη τέτοιων φαινομένων στα

Πολύπλοκα Συστήματα είναι ευκολότερη – άρα και οι κρίσιμες τιμές χαμηλότερες – όταν ευνοείται το «άλμα» του «πράκτορα» (agent) και προς διαγώνια patches (τα pixels του μικρόκοσμου της NetLogo).

Ερώτηση αριθμός 9 (Q9) [M.A.]: «Πώς πιστεύεις ότι επηρεάζει –αν επηρεάζει– τελικά η υψηλή ή χαμηλή υγρασία την κρίσιμη τιμή της δενδροκάλυψης στο μοντέλο αυτό και ποια η εξήγηση που δίνεις από πλευράς κατασκευής του μοντέλου;» Και οι 17 ερωτώμενοι απαντούν μέσα στο γενικό πλαίσιο ότι η υψηλή υγρασία στο μοντέλο έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερες κρίσιμες τιμές, ήτοι καθίσταται πιο δύσκολο για τη φωτιά να φτάσει σε «κρίσιμη κατάσταση». Από τους 17, οι 6 πιστεύουν ότι υψηλή υγρασία σημαίνει αφαίρεση της δυνατότητας των agents (που εδώ είναι οι «σπίθες» τις φωτιάς) να μεταπηδούν σε συγκεκριμένα από τα οκτώ γειτονικά τους patches. Οι οκτώ δεν κατάφεραν να δουν κάποια εξήγηση από πλευράς αλγορίθμου για το πώς επετεύχθη αυτό και μόνο τρεις αντιλαμβάνονται ότι η υψηλή υγρασία «μπλοκάρει» την εξέλιξη της φωτιάς σε σχέση με το χρόνο (ticks της NetLogo). Συγκεκριμένα απαντούν π.χ. ότι: “στην υψηλή υγρασία, η φωτιά μοιάζει να εγκλωβίζεται και να είναι ανεξάρτητη της κατεύθυνσης του ανέμου, για ίδιες τιμές πυκνότητας δέντρων που πριν έφτανε στην άκρη του δάσους” (Σάρα, Β, ΒΙΟΛ-ΝΑΙ, ΘΕΩΡ, ΠΑ-ΟΧΙ). Η απάντηση αυτή είναι πολύ κοντά στην «ορθή», όπου από πλευράς αλγορίθμου, όταν τα patches έχουν υψηλή τιμή υγρασίας (σαν «υψηλή») αποδώσαμε την τιμή 60, εννοώντας 60%), ο agent/φλόγα σε κάθε τρίτο tick, μπορεί να μεταπηδήσει μόνο στα τέσσερα από τα οκτώ γειτονικά του patches – εφόσον βέβαια δεν είναι καμένα ή χωρίς δέντρο – όποια κι αν είναι η διεύθυνση του ανέμου.

3.2 Ευρήματα από τη χρήση των μοντέλων «Μυρμήγκια»

Στο πρώτο από τα δύο μοντέλα με τα μυρμήγκια που βγαίνουν προς αναζήτηση και συλλογή τροφής, εκεί δηλαδή όπου υπάρχουν μόνο δύο εστίες τροφής και ισαπέχουν από τη φωλιά, οι απαντήσεις στις βασικές ερωτήσεις της συνέντευξης κατανομούνται ως εξής:

Ερώτηση αριθμός 2 (Q2)[M.A.]: «Τα μυρμήγκια καταναλώνουν τη μία τροφή πρώτη με αισθητή διαφορά από την άλλη (Q2-ΝΑΙ) ή περίπου και τις δύο συγχρόνως (Q2-ΟΧΙ);» και *ερώτηση αριθμός 3 (Q3):* «Η τροφή που καταναλώνουν πρώτη τα μυρμήγκια, είναι πάντα η ίδια (Q3-ΝΑΙ) ή όχι (Q3-ΟΧΙ); Αν είναι πάντα η ίδια, πρόκειται για την τροφή που είναι “προς τα πάνω (Q3-ΝΑΙ-ΠΑΝΩ)” ή “προς τα κάτω” (Q3-ΝΑΙ-ΚΑΤΩ) από τη φωλιά και γιατί κατά τη γνώμη σου; Στον πίνακα 2 συνοψίζονται οι απαντήσεις στα Q2 και Q3.

Πίνακας 2: Οι απαντήσεις στις ερωτήσεις Q2 και Q3 (μοντέλο “ants” με δυο ισαπέχουσες εστίες τροφής

Q2-ΝΑΙ	Q2-ΟΧΙ	Q3-ΝΑΙ	Q3-ΝΑΙ-ΠΑΝΩ	Q3-ΝΑΙ-ΚΑΤΩ	Q3-ΟΧΙ
14	3	4	(1)	(3)	13

Είναι φανερό ότι μετά από αλληπάλληλες δοκιμές και αλληλεπιδράσεις με το μοντέλο στον υπολογιστή, του τύπου «υπόθεση – δοκιμή – λάθος – νέα υπόθεση – νέα δοκιμή κλπ» που είναι τυπική στην *κατασκευαστική εποικοδομητική (ή κονστρουκσιονιστική) διδασκαλία* (Kafai & Resnick, 1996), όπως την εισάγει η NetLogo και όλες οι εκδοχές της Logo, οι απαντήσεις των διδασκόμενων στη συνέντευξη έχουν αρκετά συγκλίνει προς τις επιστημονικά ορθές που είναι η Q2-ΝΑΙ, γιατί βέβαια η προσομοίωση αφορά φαινόμενο αυτό-οργάνωσης, καθώς και η Q3-ΟΧΙ, γιατί το φαινόμενο είναι *στοχαστικό και όχι αιτιοκρατικό*.

Ερώτηση αριθμός 4 (Q4) [M.A.]: «Πώς επηρεάζει η παράμετρος «πληθυσμός μυρμηγκιών» του μοντέλου την *αυτό-οργάνωση (self-organization)* των μυρμηγκιών, δηλ. τον συντονισμό τους στο να εξαλειφθεί πρώτα η μία εστία τροφής;». Σε ότι αφορά την ερώτηση 4, οι 15 από τους 17 φοιτητές ισχυρίζονται ότι υπάρχει καλύτερη αυτό-οργάνωση σε χαμηλούς πληθυσμούς μυρμηγκιών, πράγμα ορθό διότι εκεί επιτυγχάνεται καλύτερη αυτό-οργάνωση, μόνο 5 όμως διευκρινίζουν με διάφορους τρόπους ότι, η παράμετρος «πληθυσμός» έχει βέλτιστη / κρίσιμη τιμή, διότι σε πολύ μικρούς πληθυσμούς το φαινόμενο επιβραδύνεται και μόλις υπερβούμε ένα όριο, πάλι η αυτό-οργάνωση ελαττώνεται.

Στο δεύτερο από τα δύο μοντέλα με τα μυρμηγκία που βγαίνουν προς αναζήτηση και συλλογή τροφής, σε αυτό δηλαδή όπου υπάρχει μόνο μία εστία τροφής, αλλά ανάμεσα σε αυτή και στη φωλιά μεσολαβεί εμπόδιο (περιοχή από patches, όπου οι agents/Μυρμηγκία δεν μπορούν να «πατήσουν»), η βασική ερώτηση της συνέντευξης αφορά το πώς αντιλαμβάνονται οι φοιτητές την αυτό-οργάνωση και τη «νοημοσύνη της ομάδας» (swarm intelligence), και είναι η *ερώτηση 5 (Q5)[ΠΠ]*: «Πώς φαντάζεσαι την εικόνα της αποικίας των μυρμηγκιών και της διαχεόμενης φερομόνης (τροχιά φερομόνης, άσπρη στην οθόνη) όσο προχωράει η συλλογή τροφής από τη φωλιά προς την εστία και πίσω, με την παρεμβολή του εμποδίου;» Με βάση την ανάλυση του περιεχομένου των απαντήσεών τους, οι απαντήσεις κατηγοριοποιούνται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Οι απαντήσεις στο ερώτημα πρόβλεψης για τα μυρμηγκία και το εμπόδιο

ΓΕΝΙΚΟ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΠΑΝΤΗΣΗΣ	ΠΛΗΘΟΣ ΦΟΙΤΗΤΩΝ (N)
A. «πολλές γραμμές φερομόνης και όσες συναντούν το εμπόδιο χάνονται»	5
B. «μία βασική τροχιά φερομόνης που παρακάμπτει το εμπόδιο σε τυχαία απόσταση»	6
Γ. «δύο τροχιές φερομόνης που παρακάμπτουν το εμπόδιο σε τυχαία απόσταση, εκατέρωθεν»	4
Δ. «δύο τροχιές φερομόνης που παρακάμπτουν το εμπόδιο εφαπτομενικά, εκατέρωθεν»	2

Παρατηρείται ότι μόνο 2 από τους φοιτητές δίνουν σαν πρόβλεψη, βάσει του

φαινομένου της αυτό-οργάνωσης, αυτό που είναι το επιστημονικά αναμενόμενο. Αντίθετα, μετά την ολοκλήρωση της αλληλεπίδρασης με τον υπολογιστή όλοι έχουν πειστεί και αισθητοποιήσει ότι η εξέλιξη Δ είναι η τυπική εξέλιξη στο χρόνο για ένα πολύπλοκο σύστημα με αυτό-οργάνωση. Μάλιστα 3 από τους 17 προσθέτουν –το ορθό– ότι για να μην υπάρξουν παρεκκλίσεις από το Δ πρέπει ο αριθμός των μυρμηγκιών να μην είναι πολύ μικρός.

3.3 Ευρήματα από τη χρήση του μοντέλου «θηράματος-θηρευτή»

Σε ό,τι αφορά το μοντέλο της δυναμικής / μαθηματικής απεικόνισης του συστήματος με ένα “λύκο – θηρευτή”, αλλά με δύο είδη “προβάτου – θηράματος”, που διαφοροποιήσαμε σε σχέση με το αρχικό μοντέλο με ένα είδος θηράματος της NetLogo (το ‘Wolf Sheep Predation – System Dynamics”), η βασική ερώτηση που ετίθετο στη συνέντευξη πριν την αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή ήταν η *ερώτηση 4 (Q4)[M.A.]*: «Εντόπισε κατάλληλες τιμές των sliders που αντιστοιχούν σε πληθυσμούς λύκου ή πληθυσμούς προβάτων (είδος 1 ή είδος 2) ή σε κατάλληλες τιμές ρυθμών θήρευσης, τέτοιες ώστε το σύστημα να «οδηγείται σε αστάθεια». Να σταματούν δηλαδή εντελώς οι πληθυσμιακές ταλαντώσεις Lotka-Volterra και ένας ή δύο ή και οι τρεις πληθυσμοί να εξαλείφονται τελείως.»

Τα αποτελέσματα στην Q4 ήταν ότι: 14 φοιτητές απέτυχαν τελείως – μετά από πάρα πολλές δοκιμές – να βρουν μία τιμή ή ένα συνδυασμό τιμών των παραμέτρων ώστε να συμβαίνει αυτό, 2 φοιτητές κατάφεραν μία φορά να το πετύχουν, με ένα συνδυασμό τιμών και ένας φοιτητής κατάφερε να το πετύχει με δύο διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών.

Απόρροια των παραπάνω αποτελεσμάτων ήταν ότι όταν τίθεται η *ερώτηση 9 (Q9)[M.A.]*: «Συμφωνείς ή διαφωνείς με την παρακάτω δήλωση: “Όσο πιο πολύπλοκο είναι ένα τροφικό δίκτυο, τόσο πιο σταθερό είναι”; Εξήγησε.», οι 16 από τους 17 ερωτηθέντες δηλώνουν ότι *συμφωνούν*, πράγμα που είναι και το επιστημονικά αποδεκτό (Mac Arthur, 1955; McCann, 2000; Gkiolmas et al, 2010b).

4. Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται από τα προαναφερόμενα ευρήματα, η χρήση προεκτάσεων των μοντέλων της NetLogo θεωρούμε ότι βοηθάει τους διδασκόμενους (εδώ υποψήφιους εκπαιδευτικούς) να συλλάβουν και να αισθητοποιήσουν καλύτερα βασικές ιδιότητες των πολύπλοκων συστημάτων στη Φύση. Συγκεκριμένα η επεξεργασία των συνεντεύξεων, που αναλύθηκε προηγούμενα, θεωρούμε ότι οδηγεί στα εξής συμπεράσματα:

α) με τη χρήση των τροποποιημένων μοντέλων της NetLogo και αλληλεπίδραση με αυτά σε υπολογιστή οι προπτυχιακοί φοιτητές και μελλοντικοί εκπαιδευτικοί κατορθώνουν να συλλάβουν σε σημαντικό βαθμό σημαντικές πτυχές και ιδιότητες των πολυπλόκων συστημάτων και συγκεκριμένα i) το ότι η συλλογική συμπεριφορά του συστήματος διαφέρει και είναι πιο σύνθετη από την απλή επαλληλία των

συμπεριφορών των επιμέρους μελών του, ii) ότι τα συστήματα αυτά στη Φύση συνήθως διέρχονται από μία **κρίσιμη φάση**, όπου η συμπεριφορά τους αλλάζει άρδην αλλά και είναι μη προβλέψιμη, iii) ότι σε ένα πολύπλοκο σύστημα ενυπάρχουν ως δυνατές εξελίξεις η *ευστάθεια* και η *αστάθεια* και τέλος iv) ότι η αύξηση του βαθμού πολυπλοκότητας σε ένα οικολογικό σύστημα (όπως ένα τροφικό δίκτυο) το καθιστά κατά κανόνα πιο *ευσταθές*,

β) έχοντας τη δυνατότητα να προτείνουν μικρές αλλαγές στον προγραμματισμό ενός πολυ-πρακτορικού μοντέλου και να προβλέψουν και κατόπιν να ελέγξουν τις επιδράσεις αυτών των μικρών αλλαγών οι φοιτητές αποκτούν δυνατότητες κατανόησης του τρόπου με τον οποίο τα πολυ-πρακτορικά υπολογιστικά μοντέλα μοντελοποιούν φυσικά φαινόμενα

γ) εισάγονται στην πράξη σε διδασκαλίες συμβατές με θεωρίες μάθησης και τεχνικές όπως ο κατασκευαστικός εποικοδομητισμός (constructionism), η διερευνητική μάθηση, η «δοκιμή-και-λάθος» (“trial-and-error”) κλπ, κάτι που εκτιμάται ότι θα τους φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο στη μελλοντική τους σταδιοδρομία ως εκπαιδευτικών, ειδικότερα αν επιθυμούν να εντάξουν τις ΤΠΕ μέσα στη διδασκαλία τους στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση.

Βιβλιογραφία

- Dresner, M. (2008). Using research projects and qualitative conceptual modeling to increase novice scientists' understanding of ecological complexity. *Ecological Complexity* 5(3), 216-221.
- Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Papaconstantinou, A., Stavrou, D., Karamanos, K. & Skordoulis C. (2010a). Teaching concepts of Complex Systems to prospective Greek Primary School teachers, with the use of NetLogo models, *MAPS2 Conference, Teaching of/with Agent-Based Models in the Social Science*, April 8th-9th, 2010, ENS ULM, Paris, France
- Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Papaconstantinou, A., Stavrou, D., Karamanos, K. & Skordoulis C. (2010b). Ecosystem Food Webs as Dynamic Systems: Educating Undergraduate Teachers in Conceptualizing Aspects of Food Webs' Systemic Nature and Compartment, *Proceedings of the 6th HSSS Conference*, Hellenic Society for Systemic Studies (HSSS) & Univ. of the Aegean, Mytilene, June
- Goldstone, R. L. & Wilensky, U. (2008). Promoting Transfer by grounding Complex Systems Principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465-516.
- Jacobson, M. & 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), 11-34.
- Kafai, Y.B. & Resnick, M. (Eds) (1996). *Constructionism in Practice: Designing, Thinking and Learning in a Digital World*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Karsten, J. (2004). *Teaching about Complexity in Primary and Secondary Schools: An Exploration of New Approaches to Ecosystem Education*. PhD Thesis, Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada.
- MacArthur, R. (1955). Fluctuations of Animal Populations and a Measure of Community Stability. *Ecology*, 36, 533-536.
- McCann, K. S. (2000). The diversity-stability debate. *Nature*, 405, 228-233.
- Resnick, M. (1999). *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. The MIT Press.
- Resnick, M. & Wilensky, U. (1997). Diving into Complexity: Developing Probabilistic Decentralized Thinking, through Role-Playing Activities. *Journal of the Learning Sciences*, 7 (2), 153-172.
- Tisue, S. & Wilensky, U. (2004). NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. *Proceedings of the International Conference on Complex Systems*, May 2004, Boston, USA.
- 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.
- Wilensky, U. (1999). *NetLogo*. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL

