ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2016)

10ο Πανελλήνιο και Διεθνές Συνέδριο «Οι ΤΠΕ στην Εκπαίδευση»

Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση

Άνθιμος Χαλκίδης, Αριστοτέλης Γκιόλμας, Αρτεμησία Στούμπα, Μαρία Κονταξή, Κωνσταντίνος Σκορδούλης

doi: 10.12681/cetpe.3849

Βιβλιογραφική αναφορά:

Χαλκίδης Ά., Γκιόλμας Α., Στούμπα Α., Κονταξή Μ., & Σκορδούλης Κ. (2022). Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, *1*, 419–426. https://doi.org/10.12681/cetpe.3849

Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση

Άνθιμος Χαλκίδης[1,2], Αριστοτέλης Γκιόλμας[1,3], Αρτεμησία Στούμπα[1,2], Μαρία Κονταξή[2], Κωνσταντίνος Σκορδούλης[1]
achalkid@gmail.com, agkiolm@primedu.uoa.gr, artemis.stoumpa@gmail.com, mkontaxi@sch.gr, kostas4skordoulis@gmail.com
[1]Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
[2]2ο Πειραματικό Γυμνάσιο Αθήνας
[3]4ο Γυμνάσιο Βύρωνα

Περίληψη

Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και τα ευρήματα, από μια διδακτική παρέμβαση στη Β' Γυμνασίου, με στόχο τη διδασκαλία βασικών εννοιών των πολύπλοκων συστημάτων, όπως είναι η «κρίσιμη κατάσταση» και η «μη προβλέψιμη συμπεριφορά». Χρησιμοποιήθηκε μια διαφοροποιημένη εκδοχή του μοντέλου «Fire» από τη βιβλιοθήκη μοντέλων της «NetLogo». Διαπιστώθηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα και επιπλέον η παρέμβαση πήρε θετική ανατροφοδότηση από τους μαθητές. Παράλληλα, διαγνώστηκαν σχετικές αδυναμίες των μαθητών καθώς και σημεία στα οποία μπορεί να βελτιωθεί το εκπαιδευτικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε και η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

Λέξεις κλειδιά: πολύπλοκα συστήματα, NetLogo, κρίσιμη κατάσταση, μη προβλέψιμη συμπεριφορά, Γυμνάσιο

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια αναδεικνύεται όλο και περισσότερο η σημασία της ένταξης της διδασκαλίας των πολύπλοκων συστημάτων (complex systems) στην εκπαίδευση (Jacobson & Wilensky, 2006; Wilensky & Reisman, 2006; Wilkerson-Jerde & Wilensky, 2015). Από την πληθώρα των ορισμών που υπάρχουν για τα πολύπλοκα συστήματα (Cilliers, 1998; Nicolis & Prigogine, 1989), η εστίαση εδώ γίνεται στο ότι αναφερόμαστε σε συστήματα που ένα χαρακτηριστικό τους μπορεί να είναι η μη επαναλήψιμη και προβλέψιμη συμπεριφορά και ένα δεύτερο ότι μικρές αλλαγές στο αίτιο μπορούν να επιφέρουν από πολύ μικρές έως τεράστιες (και γενικά απρόβλεπτες) αλλαγές στο άμεσα σχετιζόμενο αποτέλεσμα (Cilliers, 1998; Jensen, 1998; Jørgensen, 2009). Η δεύτερη ιδιότητα αφορά μία συγκεκριμένη πτυχή των πολυπλόκων συστημάτων, την «κρίσιμη συμπεριφορά» ή «κρίσιμη κατάσταση» (Scheffer, 2009) που τόσο στην απλή της μορφή, όσο και στην αυτο-οργανούμενη μορφή της (Self Organised Criticality), απασχολεί τη βιβλιογραφία (Bak, Chen, & Tang, 1990; Bak, 2008).

Η διδακτική αυτή παρέμβαση σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε με δυο βασικούς γενικούς στόχους - ερωτήματα. Αφενός να διερευνηθεί η δυνατότητα να αντιληφθούν οι μαθητές κάποιες βασικές έννοιες της πολυπλοκότητας, όπως είναι αυτή της «κρίσιμης κατάστασης» και της «μη προβλέψιμης συμπεριφοράς» μέσα από διερευνητικού τύπου προσέγγιση και σε πραγματικές σχολικές συνθήκες. Αφετέρου να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής μιας

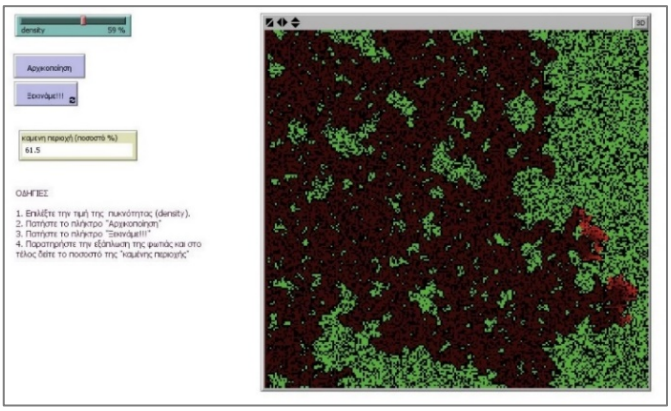
T. A. Mikropoulos, N. Papachristos, A. Tsiara, P. Chalki (eds.), *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference "ICT in Education"*, Ioannina: HAICTE. 23-25 September 2016. ISSN 2529-0916, ISBN 978-960-88359-8-6.

τροποποιημένης εκδοχής μέρους του υλικού που σχεδιάστηκε για μεγαλύτερες ηλικίες, στην εκπαιδευτική διαδικασία του Γυμνασίου, καθώς η μέχρι τώρα ερευνητική εμπειρία προέρχεται από εφαρμογές σε μεγαλύτερες ηλικίες (Gkiolmas et al., 2012; 2013; 2016).

Διαδικασία - μεθοδολογία

Το καταλληλότερο υπολογιστικό περιβάλλον για τη διδασκαλία τέτοιων ιδιοτήτων των πολυπλόκων συστήματων έχει καταδειχτεί ότι είναι το πολυ-πρακτορικό περιβάλλον της NetLogo (Tisue & Wilensky, 2004). Η NetLogo (Wilensky, 1999; Wilensky & Rand, 2015) ανήκει στην οικογένεια των Logo-like γλωσσών προγραμματισμού και είναι ένα περιβάλλον προσομοίωσης, μοντελοποίησης και προγραμματισμού που χρησιμοποιείται ευρέως στην εκπαίδευση. Ειδικά για συστήματα με συλλογική συμπεριφορά, όπως τα οικοσυστήματα, θεωρείται πολύ κατάλληλο περιβάλλον για μάθηση (Railsback & Grimm, 2012).

Για τη διδακτική παρέμβαση, χρησιμοποιήθηκε μια ελαφρά τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου «Fire» (Wilensky, 1997) από τη βιβλιοθήκη μοντέλων της «NetLogo». Στην αρχική θεωρητική του μορφή, ως μοντέλο πολύπλοκης συμπεριφοράς, το μοντέλο είχε δομηθεί από τον Per Bak (Bak, Chen & Tang, 1990). Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε αναπαριστά ένα δάσος που καίγεται (αρχίζοντας από ένα μέτωπο φωτιάς στην αριστερή του πλευρά). Ο χρήστης μεταβάλει την πυκνότητα δασοκάλυψης (μεταβλητή εισόδου), παρατηρεί την εξέλιξη του φαινομένου, την τελική χωροταξία της καμένης περιοχής του δάσους και τελικά το μοντέλο επιστρέφει, ως μεταβλητή εξόδου, το ποσοστό του καμένου δάσους (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Στιγμιότυπο από την εκτέλεση του μοντέλου «Φωτιά στο Δάσος»

Οι μαθητές εργάζονται σε μικρές ομάδες (2-3 ατόμων) ακολουθώντας οδηγίες και συμπληρώνοντας τα φύλλα εργασίας που δημιουργήθηκαν για τη διδακτική παρέμβαση. Το πρώτο (εκτενέστερο) φύλλο εργασίας είναι ομαδικό και τα υπόλοιπα ατομικά. Στα φύλλα εργασίας που χρησιμοποιήθηκαν εντοπίζονται οι φάσεις της διδακτικής παρέμβασης ως ακολούθως.

Φάση 1 (ομαδική): Αποσκοπεί στην αρχική αποτύπωση προϋπαρχουσών ιδεών/απόψεων των μαθητών. Περιλαμβάνει τέσσερις κλειστές ερωτήσεις και μια ανοιχτή.

Φάση 2 (ομαδική): Αφορά την πρώτη επαφή με το λογισμικό, τη διερεύνηση της κατανόησης της λειτουργίας του μοντέλου και την αποτύπωση της βασικής ιδέας των μαθητών για την

σχέση πυκνότητας βλάστησης – ποσοστού καμένου δάσους. Περιλαμβάνει δυο κλειστές ερωτήσεις, δυο ανοιχτές, τρεις αποτυπώσεις στιγμιοτύπων από την εκτέλεση του λογισμικού και τη σχεδίαση ενός γραφήματος (πρόβλεψη).
Φάση 3 (ομαδική): Αφορά τη λήψη μετρήσεων σε μικρές και μεγάλες τιμές πυκνότητας δασοκάλυψης και περιλαμβάνει δυο ανοιχτές ερωτήσεις.
Φάση 4 (ομαδική): Αφορά τη λήψη μετρήσεων σε όλο το εύρος τιμών πυκνότητας δασοκάλυψης, τη δημιουργία γραφικής παράστασης σε Excel και ζητείται ένας πρώτος επανέλεγχος της αρχικής πρόβλεψης των μαθητών. Περιλαμβάνει μια ανοιχτή ερώτηση.
Φάση 5 (ομαδική): Αφορά τη λήψη μετρήσεων σε ενδιάμεσες τιμές πυκνότητας δασοκάλυψης (στην περιοχή εμφάνισης κρίσιμης συμπεριφοράς) και την πιθανή αναγνώριση κρίσιμης συμπεριφοράς. Περιλαμβάνει τρεις ανοιχτές ερωτήσεις και αποτύπωση μιας γραφικής παράστασης.
Φάση 6 (ατομική): Αποσκοπεί στην αποτύπωση της γνώμης κάθε μαθητή, την ανίχνευση διάκρισης τριών περιοχών διαφορετικής συμπεριφοράς του μοντέλου και την πιθανή αντίληψη μη προβλεψιμότητας. Περιλαμβάνει μια κλειστή και τρεις ανοιχτές ερωτήσεις. Με αυτήν ολοκληρώνεται η βασική διαδικασία.
Φάση 7 (ατομική): Χαρακτηρίστηκε ως «Ανατροφοδότηση» και επιδιώκει την άντληση στοιχείων για την αίσθηση που αποκόμισαν οι μαθητές από τη διαδικασία. Υλοποιείται με συμπλήρωση σύντομου ερωτηματολόγιου σε google form (πέντε κλειστές ερωτήσεις).
Φάση 8 (ατομική): Χαρακτηρίστηκε ως «Επέκταση». Είναι ουσιαστικά μια προαιρετική φάση για όσους μαθητές ολοκλήρωσαν τη διαδικασία νωρίτερα από τους άλλους. Αφορά μια σύντομη διερεύνηση της τεκμηρίωσης του μοντέλου, του πηγαίου του κώδικα και της βιβλιοθήκης μοντέλων της NetLogo. Επιπλέον, επιχειρείται μια πρώτη διερεύνηση για πιθανή γενίκευση των συμπερασμάτων των μαθητών.
Οι φάσεις 1-8 υλοποιούνται συνολικά σε δυο δίωρα, ένα ανά εβδομάδα.
Φάση 9: (ατομική) Μια εβδομάδα μετά οι μαθητές βλέπουν συγκεντρωτικά όλες τις μετρήσεις του τμήματος (σε γράφημα) και τοποθετούνται με στόχο να εκμαιευτεί έμμεσα αν διακρίνουν: φάσεις στο φαινόμενο, κρίσιμη κατάσταση, μη προβλεψιμότητα.
Η υλοποίηση της παρέμβασης έγινε στο εργαστήριο Πληροφορικής του 2ου Πειραματικού Γυμνασίου Αθήνας κατά το χρόνο διδασκαλίας του μαθήματος της Πληροφορικής. Αξιοποιήθηκε το γεγονός της δίωρης συνεχόμενης διδασκαλίας του μαθήματος ανά εβδομάδα, σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη στο σχολείο πρακτική των διαθεματικών συνεργασιών εντός διδακτικού ωραρίου. Στην περίπτωση που αναφερόμαστε θεωρήθηκε διαθεματική συνεργασία «Πληροφορικής και Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης». Ο ρόλος των εκπαιδευτικών ήταν κυρίως υποστηρικτικός και διευκολυντικός, χωρίς να παρεμβαίνουν πέρα από τα διαδικαστικά και χωρίς να υποβάλλουν ιδέες στους μαθητές. Ενθαρρύνουν τους μαθητές να εκφράσουν ελεύθερα τη γνώμη τους όπου ζητείται από το φύλλο εργασίας.
Οι μαθητές (συνολικά 27) εργάστηκαν με το μοντέλο της NetLogo σε δώδεκα ομάδες των δυο ή τριών ατόμων, ακολουθώντας - με το δικό της ρυθμό η κάθε μια - το φύλλο εργασίας. Στις φάσεις 1-5 συμπλήρωναν από κοινού το φύλλο εργασίας, ενώ από τη φάση 6 και μετά συμπλήρωναν ατομικό φύλλο εργασίας. Όλες οι μετρήσεις που λήφθηκαν από τη χρήση του μοντέλου, συμπληρώθηκαν από τους μαθητές και σε προκατασκευασμένα αρχεία του Excel ώστε να έχουν άμεσα οπτικοποιημένες τις μετρήσεις τους σε γραφική παράσταση (με άξονες: πυκνότητα βλάστησης – ποσοστό καμένου δάσους). Τα συμπληρωμένα αρχεία τα ανάρτησαν επίσης στην «η-τάξη» του Πανελλήνιου Σχολικού Δικτύου στο αντίστοιχο μάθημα Πληροφορικής. Μετά την ολοκλήρωση των δύο δίωρων (και ανεξάρτητα από το βαθμό στον οποίο είχαν ολοκληρώσει τη διαδικασία) συμπλήρωσαν τη διαδικτυακή φόρμα ανατροφοδότησης σχετικά με την αίσθηση που αποκόμισαν από τη διαδικασία. Μια

εβδομάδα μετά από την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης συμπλήρωσαν μια σύντομη φόρμα (ατομικό φύλλο εργασίας) έχοντας μπροστά τους σε ένα κοινό γράφημα, όλες τις μετρήσεις που έγιναν, από όλες τις ομάδες κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης.

Ευρήματα

Συγκεντρώθηκαν 12 ομαδικά φύλλα εργασίας (φάσεις 1-5), 23 ατομικά φύλλα από τη φάση 6, 19 ανταποκρίσεις από την ανατροφοδότηση (Φάση 7), 13 ατομικά φύλλα από την προαιρετική φάση 8 και 25 ατομικά φύλλα από τη Φάση 9. Τα ερωτήματα και γενικότερα τα σημεία που συμπλήρωσαν οι μαθητές χαρακτηρίστηκαν κατά τη διάρκεια της αποδελτίωσης του υλικού από τους ερευνητές ως «ερωτήσεις» και με αυτή την ορολογία αναφέρονται στην παρούσα εισήγηση. Σε κάθε ερωτηματολόγιο / φύλλο εργασίας έχουμε ελαφρά διαφορετικό αριθμό «συμπληρωμένων ερωτήσεων» που οφείλεται στο γεγονός ότι υπήρχαν διαφορετικοί απόντες κάθε φορά μαθητές και κυρίως διαφορετικός ρυθμός στην υλοποίηση της διδακτικής παρέμβασης από κάθε ομάδα μαθητών και κατά συνέπεια διαφορετικός βαθμός ολοκλήρωσης της διαδικασίας. Ακολούθως παρουσιάζονται λίγα επιλεγμένα σημεία από τα ευρήματα για λόγους οικονομίας χώρου.
Στον τομέα της αποτύπωσης των προαντιλήψειων των μαθητών (Φάση 1) δεν υπήρχαν ιδιαίτερες εκπλήξεις (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Οι απαντήσεις των 12 ομάδων στις ερωτήσεις 1-3

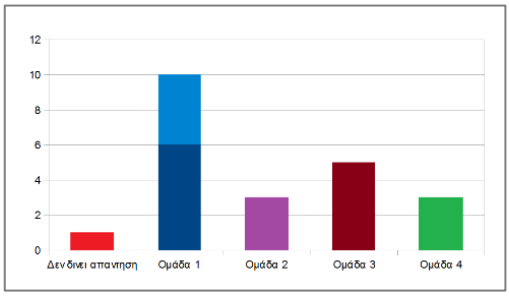
Ερωτήσεις 1 – 3	Ναι	Όχι	ΔΓ
Τα φαινόμενα στη φύση διέπονται από σταθερούς νόμους, που εκφράζονται από συγκεκριμένες μαθηματικές σχέσεις / τύπους	8	4	0
Αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες που αφορούν ένα φαινόμενο στη φύση (π.χ. η εξάπλωση μιας φωτιάς στο δάσος) είναι ίδιες, το ίδιο φυσικό φαινόμενο θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη	3	8	1
Αν εκτελέσουμε δυο φορές το ίδιο μοντέλο στον υπολογιστή (δηλαδή μια εφαρμογή λογισμικού) αν οι αρχικές συνθήκες είναι ίδιες, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα	10	1	1

Στην αναγνώριση του τρόπου λειτουργίας του μοντέλου (Φάση 2), οι μαθητές έδειξαν γενικά ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά τη σχεδίαση στιγμιοτύπων από την εκτέλεση του λογισμικού. Στην ανοιχτή ερώτηση 9 *(«Αφού έχετε κάνει τις παραπάνω δοκιμές, ας σκεφτούμε και ας απαντηθεί μετά από μεταξύ σας συζήτηση: Τι σχέση περιμένετε να συνδέει την πυκνότητα βλάστησης (όσο αυξάνεται), με το πόσο μακριά φτάνουν οι φλόγες προς τα δεξιά και με το τι ποσοστό του δάσους καίγεται;»)* οι μαθητές γενικά τοποθετήθηκαν αναφερόμενοι άμεσα ή έμμεσα σε γραμμική σχέση εξάρτησης των δυο μεγεθών. Τέλος, σχεδιάζοντας τη μορφή της αναμενόμενης σχέσης (ερώτημα 10) οι 8 στις 12 ομάδες αποτύπωσαν μια απλή γραμμική σχέση, μία μόνο ομάδα αποτύπωσε μια μη γραμμική σχέση και μάλιστα αρκετά κοντά στη λογική της κρίσιμης κατάστασης ενώ οι 3 υπόλοιπες αποτύπωσαν απλά συγκεκριμένες μεμονωμένες μετρήσεις.
Στη Φάση 3 δεν εντοπίστηκαν αξιόλογα ευρήματα. Μετά τη Φάση 4, που θα μπορούσε να τους δημιουργήσει αμφιβολίες για τις αρχικές τους αυθόρμητες προβλέψεις, οι μαθητές καλούνται να επανεξετάσουν την τοποθέτησή τους στην ερώτηση 9 απαντώντας στην

ανοιχτή ερώτηση 13 *(«Ας ξαναδούμε την απάντησή σας στο τέλος της 2ης σελίδας. Με βάση αυτά που βλέπετε στη γραφική παράσταση, τα όσα προβλέψατε εκεί επαληθεύονται; Πώς εξηγείτε τη συμφωνία ή την ασυμφωνία; Ας το συζητήσετε πρώτα μεταξύ σας και μετά να δώσετε μια απάντηση»).*
Οι 7 από τις 12 ομάδες δηλώνουν ότι δεν εντοπίζουν αναντιστοιχίες και διατηρούν την αρχική τους τοποθέτηση για γραμμική εξάρτηση. Σε αυτές περιλαμβάνονται και οι τρεις ομάδες που δεν είχαν σχεδιάσει τη σχετική γραφική παράσταση στην ερώτηση 10. Τέσσερις άλλες ομάδες αλλάζουν την τοποθέτησή τους καθώς διακρίνουν ότι τα μεγέθη δεν είναι ανάλογα. Μια ομάδα που είχε διαβλέψει (με το σχήμα της στην ερώτηση 10) τη μη αναλογία των μεγεθών, παραμένει στην πρόβλεψή της.
Μετά τη Φάση 5 (που περιλαμβάνει αρκετές μετρήσεις στην κρίσιμη περιοχή) οι μαθητές καλούνται να αποτυπώσουν σε γράφημα, τις μετρήσεις που έχουν πάρει και που βλέπουν οπτικοποιημένες στο αντίστοιχο γράφημα του Excel.
Στις ερωτήσεις 16 *(«Μήπως μπορείτε να διαβλέψετε, αν υπάρχει μία συγκεκριμένη «τιμή» ή μία ακόμη πιο στενή «περιοχή τιμών» για την πυκνότητα βλάστησης, όπου η φωτιά επιδεικνύει μία ιδιαίτερη συμπεριφορά; Ποια τιμή (ή ζώνη τιμών) είναι αυτή και τι παθαίνει εκεί το δάσος που καίγεται;»)* και 17 *(«Ποια απάντηση δίνετε στο αρχικό πρόβλημα που έχει τεθεί. Ποια είναι – αν υπάρχει – και γιατί, η «βέλτιστη» τιμή δενδροκάλυψης, ώστε η φωτιά να μη φτάνει δεξιά;»)* που διερευνούν την κατανόηση της κρίσιμης συμπεριφοράς, οι μαθητές τοποθετούνται ως ακολούθως. Όλες οι ομάδες διέκριναν εύλογες περιοχές με «ιδιαίτερη συμπεριφορά», με λογικές εξηγήσεις αλλά με διαφορετικές επιλογές στις τιμές ή στο εύρος τιμών. Σχετικά με τη βέλτιστη τιμή δενδροκάλυψης τέσσερις ομάδες επέλεξαν την τιμή 57%, έξι την τιμή 58%, μια την τιμή 59% (όλες εύλογες) ενώ μια ομάδα δήλωσε σχετική αδυναμία.
Από τα ατομικά φύλλα εργασίας (συμπληρώθηκαν από 23 μαθητές) εντοπίζουμε ότι στις ερωτήσεις που διερευνούν τη διάκριση τριών φάσεων (με μεσαία αυτή της κρίσιμης κατάστασης) οι περισσότεροι (14) δηλώνουν ότι διακρίνουν τρεις φάσεις, 4 δηλώνουν ότι διακρίνουν δυο φάσεις και 5 δεν απαντούν. Από τις εξηγήσεις που δίνουν προκύπτει ότι όσοι διακρίνουν δυο φάσεις αναφέρονται στο αν το δάσος καίγεται «πλήρως» ή όχι, ενώ αρκετοί διακρίνουν τις φάσεις αλλά δεν αναφέρονται σαφώς σε κριτήριο που να παραπέμπει σε «κρίσιμη κατάσταση».
Στην ανοιχτή ερώτηση 21 *(«Με βάση τα όσα είδατε στους πίνακες, αλλά και στη δόμηση του μοντέλου, με στόχο την επίλυση του προβλήματος, περιγράψτε: Ποια σχέση πιστεύετε ότι συνδέει τις μικρές, σταδιακές μεταβολές του αιτίου σε ένα φυσικό σύστημα, με τις αντίστοιχες μεταβολές στο αποτέλεσμα;»)* αναλύθηκαν οι 22 απαντήσεις και ομαδοποιήθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών σε τέσσερις διακριτές ομάδες (Σχήμα 2):

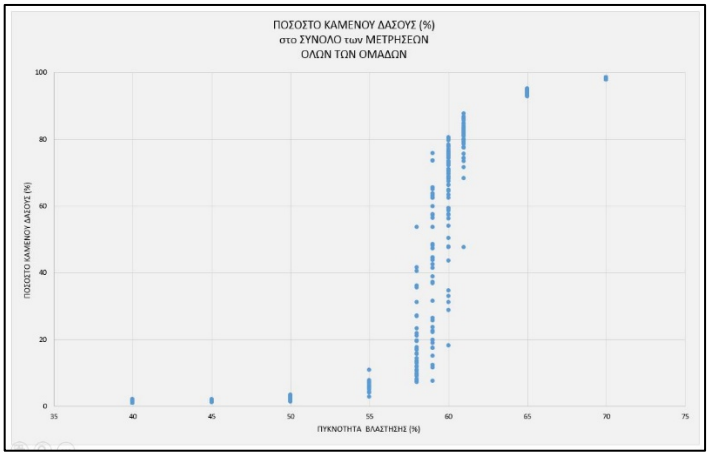
- Στην πρώτη ομάδα οι μαθητές μιλάνε για αναλογία («τόσο – όσο») ανάμεσα στην πυκνότητα του δάσους και καταστροφή που επέρχεται σε περίπτωση πυρκαγιάς. Εδώ διακρίθηκε όμως ένας αριθμός απαντήσεων που παρόλο που οι μαθητές μιλάνε για αναλογία, αναφέρουν επίσης ότι η ίδια τιμή πυκνότητας δεν δίνει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα. Διακρίνουμε έτσι αυτές τις απαντήσεις ως 1β ενώ τις υπόλοιπες ως 1α.
- Στην δεύτερη ομάδα οι μαθητές απαντάνε ότι τα ποσά δεν είναι ανάλογα. Περιγράφουν ότι υπάρχει μια κρίσιμη τιμή ή ζώνη τιμών για την πυκνότητα, πάνω από την οποία η καταστροφή γίνεται πολύ μεγάλη / ολοκληρωτική κάτι το οποίο δεν συμβαίνει κάτω από αυτή την τιμή / ζώνη τιμών.
- Στην τρίτη ομάδα, επίσης οι μαθητές απαντάνε ότι τα ποσά δεν είναι ανάλογα και εξηγούν ότι μικρές μεταβολές στην πυκνότητα του δάσους μπορούν να φέρουν μεγάλες μεταβολές στο αποτέλεσμα (το ποσοστό καταστροφής από την πυρκαγιά), χωρίς όμως να διακρίνουν διαφορετικές ζώνες τιμών όπου η συμπεριφορά μεταβάλλεται καθοριστικά.

- Στην τέταρτη ομάδα οι μαθητές επίσης απαντάνε ότι τα ποσά δεν είναι ανάλογα. Προσδιορίζουν το κρίσιμο σημείο ή τη ζώνη τιμών στην οποία η συμπεριφορά του συστήματος αλλάζει καθοριστικά, ενώ πριν και μετά από αυτό το σημείο / ζώνη οι μεταβολές στην τιμή της πυκνότητας φέρνουν αντίστοιχες (όχι ανάλογες) μεταβολές στην καταστροφή του οικοσυστήματος. Ακόμη περιγράφουν ότι μπορεί να προκύπτουν διαφορετικές τιμές αποτελέσματος (μέγεθος καταστροφής) για ίδια τιμή αιτίου (πυκνότητας βλάστησης) ή ότι μπορεί να προκύπτει και μεγαλύτερη καταστροφή για μικρότερες τιμές πυκνότητας.



Σχήμα 2. Κατανομή απαντήσεων στην ερώτηση 21

Στο φύλλο εργασίας που συμπλήρωσαν 25 μαθητές μια εβδομάδα μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης, διερευνήθηκε με τρεις σειρές τοποθετήσεων ο εντοπισμός της ιδιότητας της ύπαρξης κρίσιμης τιμής και περιοχής αδυναμίας πρόβλεψης, έχοντας εικόνα (Σχήμα 3) από όλα τα σετ μετρήσεων όλων των ομάδων.



Σχήμα 3. Συνολικά δεδομένα από όλες τις μετρήσεις

Στο φύλλο αυτό ζητήθηκε από τους μαθητές να τοποθετηθούν σε τρία σημεία (ερωτήσεις 29, 30, 31) και για μια σειρά συγκεκριμένων τιμών δενδροκάλυψης (από 40% ως 70%). Η σύμφωνη με την κατανόηση της «πολύπλοκης συμπεριφοράς» ανταπόκριση των μαθητών ανά ερώτημα ήταν 17 μαθητές στο ερώτημα 29, 22 στο ερώτημα 30 και 14 στο ερώτημα 31. Στο τελευταίο αυτό ερώτημα εμφανίστηκε μια σύγχυση στο τι ζητούσε η ερώτηση που

ερμηνεύτηκε ως δυσκολία κατανόησης της ερώτησης. Βλέποντας τις απαντήσεις ανά μαθητή εντοπίστηκαν 10 να έχουν τοποθετηθεί «σωστά» και στα τρία ερωτήματα, 10 στα δυο από τα τρία και 5 σε ένα ή κανένα.
Η αίσθηση από την ανατροφοδότηση (19 απαντήσεις) είναι γενικά ικανοποιητικά ενθαρρυντική καθώς οι μαθητές επέλεξαν σε όλες τις ερωτήσεις σε σημαντικό βαθμό θετικές κρίσεις (Πίνακας 2). Ενδιαφέρον έχει ότι παρά το μονότονο της διαδικασίας (καθώς πήραν συστηματικά δεκάδες μετρήσεις από την επανάληψη του ίδιου μοντέλου) η θετικότερη τοποθέτηση υπήρξε στο θέμα της «ευχάριστης εργασίας».

Πίνακας 2. Οι τοποθετήσεις των μαθητών στις ερωτήσεις της φόρμας ανατροφοδότησης

Θέμα	Πολύ αρνητική τοποθέτηση	Αρνητική τοποθέτηση	Ουδέτερη τοποθέτηση	Θετική τοποθέτηση	Πολύ θετική τοποθέτηση
Σημασία διαδικασίας	0	0	7	10	2
Ευχάριστη διαδικασία	0	1	0	13	5
Νέες γνώσεις	0	2	1	14	2
Νέες δεξιότητες	0	1	3	11	4

Συμπεράσματα

Από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης και την πρώτη διερεύνηση των ευρημάτων προκύπτουν, ικανοποιητικά θετικά στοιχεία που σχετίζονται και με τα δυο βασικά ερωτήματα – άξονες της έρευνας.
Οι μαθητές ανταποκρίθηκαν στις απαιτήσεις της διαδικασίας. Αναγνώρισαν τη λειτουργία και επέδειξαν επάρκεια στο χειρισμό της εφαρμογής. Επιβεβαιώθηκε η λειτουργικότητα της συνεργασίας σε ομάδες και η φάνηκε η ορθότητα της επιλογής για συζήτηση μέσα στην ομάδα. Επιπλέον, η επιλεγμένη μεθοδολογία άφησε θετική αίσθηση, όπως δήλωσαν ότι αποκόμισαν οι μαθητές στη διαδικασία ανατροφοδότησης.
Αρχικά, ανιχνεύτηκε όπως ήταν αναμενόμενο πως «αυθορμήτως» οι μαθητές περιμένουν μια (εσφαλμένη) γραμμική εξάρτηση των δυο παραμέτρων που εξετάστηκαν. Εξαιρετικά λίγοι έχουν προδιάθεση για αναγνώριση κρίσιμης συμπεριφοράς. Αρκετοί μαθητές διατηρούν για αρκετό διάστημα τις λανθασμένες προαντιλήψεις. Εν τέλει όμως οι μαθητές σε σημαντικό βαθμό συγκρότησαν και αποκόμισαν σωστή αίσθηση για τα θέματα πολυπλοκότητας με τα οποία ασχολήθηκαν. Είναι εύλογο να υποθέσουμε ότι η όλη διαδικασία τροποποίησε ή τουλάχιστον άφησε ικανοποιητικά ίχνη «αμφιβολίας» σε σχέση με τις αρχικές αυθόρμητες πεποιθήσεις των μαθητών.
Εντοπίστηκαν δυσκολίες στην κατανόηση κάποιων σημείων στα ερωτηματολόγια, στην ανάγνωση και ερμηνεία δεδομένων από γραφικές παραστάσεις (και μάλιστα από γραφικές παραστάσεις μόνο με τιμές μετρήσεων) που θα αντιμετωπιστούν με τροποποιήσεις (γλωσσικές, διευκρινήσεις κ.α.) στο εκπαιδευτικό υλικό και τη μεθοδολογία εφαρμογής.
Επομένως, επιβεβαιώνεται πως έχει νόημα η επέκταση της έρευνας σε αυτή την ηλικιακή ομάδα και σε έκταση (μεγαλύτερο δείγμα με επανασχεδιασμένη – βελτιωμένη μεθοδολογία) και παράλληλα σε άλλες έννοιες που σχετίζονται με τη θεματική της πολυπλοκότητας.

Αναφορές

Bak, P., Chen, K., & Tang, C., (1990). A forest-fire model and some thoughts on turbulence. *Physics Letters, A, 147,* 297–300.

Bak, P. (2008). *Πώς λειτουργεί η Φύση: Η Επιστήμη της Αυτοοργανούμενης Κρισιμότητας.* Κάτοπτρο. Αθήνα.

Cilliers, P. (1998). *Complexity and Postmodernism.* Routledge, London.

Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Karamanos, K., Papaconstantinou, M., & Skordoulis, C. (2012). A Constructionist Method for Teaching Teachers about Basic Properties of Complex Systems, using a NetLogo Model, in *Proceedings of Constructionism 2012*, Athens, pp. 270-280.

Gkiolmas, A., Karamanos, K., Chalkidis, A., Skordoulis, C., Papaconstantinou, M., & Stavrou, D. (2013). Using Simulations of NetLogo as a Tool for Introducing Greek High-School Students to Eco-Systemic Thinking. *Advances in Systems Science and Application (2013) Vol.13, n. 3,* pp. 275-297.

Gkiolmas, A., Papaconstantinou, M., Chalkidis, A., & Skordoulis, C. (2016). Multi-Agent Models, Made in NetLogo, for Teaching Simple Properties of Complex Natural Systems, and their Instructional Use, in *Smyrnaiou Z., Riopel M. & Sotiriou M. (eds) Recent Advances in Science and Technology Education, Ranging from Modern Pedagogies to Neuroeducation and Assessment*, Cambridge Scholars Publishing, pp. 146-157.

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),* 11–34.

Jensen, H.J. (1998). *Self-Organized Criticality: Emergent Complex Behavior in Physical and Biological Systems.* Cambridge University Press, New York, USA

Jørgensen, S. E. (2009). *Ecosystem Ecology*. Copenhagen: Elsevier.

Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity*. W. H. Freeman and Co., NY

Railsback, S. F., & Grimm, V. (2012). *Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Resnick, M. (1997). *Turtles, termites, and traffic jams: Explorations in massively parallel microworlds*. Cambridge, MA: MIT Press.

Scheffer, M. (2009). *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.

Tisue, S., & Wilensky, U. (2004). NetLogo: A simple environment for modeling complexity. *Paper presented at the International Conference on Complex Systems (ICCS 2004)*, Boston, MA, May 16-21, 2004.

Wilensky, U. (1997). *NetLogo Fire model.* http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Fire. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Wilensky, U. (1999). *NetLogo.* http://ccl.northwestern.edu/netlogo/. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo.* MIT Press, Cambridge Massachusetts.

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.

Wilkerson-Jerde, MH., & Wilensky, U. (2015). Patterns, probabilities, and people: making sense of quantitative change in complex systems. *Journal of the Learning Sciences 24(2),* 204–251.