

Πειραματική διδασκαλία με προσομοίωση σε Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo. Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση

Γκαράς Γεώργιος¹, Κωσταρίδης Παναγιώτης², Γιάτας Δημήτριος³

¹ Καθηγητής Φυσικής, 1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γ. Λ. Αθηνών Γεννάδειο
ggkaras@gmail.com

² Καθηγητής Βιολογίας, 1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γ. Λ. Αθηνών Γεννάδειο
panakost1967@gmail.com

³ Καθηγητής Πληροφορικής, 1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γ. Λ. Αθηνών Γεννάδειο
dyiatas@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Με αφορμή ένα μάθημα Βιολογίας Γενικής Παιδείας της Γ' Λυκείου στο Κεφάλαιο της Οικολογίας, έγινε εισαγωγή των μαθητών του σχολείου μας στην προσομοίωση Πολύπλοκων Συστημάτων με το λογισμικό NetLogo. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο "Ants" όπου προσομοιώνεται το πρόβλημα «Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση» για μια αποικία μυρμηγκιών που συλλέγει την τροφή της. Ακολουθήσαμε τη "Διερευνητική Μέθοδο Διδασκαλίας", το μάθημα έγινε στο εργαστήριο Πληροφορικής και οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες. Με ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα διερευνήθηκαν οι απόψεις, οι στάσεις και οι γνώσεις των μαθητών. Το μάθημα παρατήρησαν και αξιολόγησαν συνάδελφοι διαφόρων ειδικοτήτων.

Οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να εξερευνήσουν το μοντέλο, να αντιμετωπίσουν ένα πρόβλημα, να διατυπώσουν μια πρόβλεψη, να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο για να πάρουν μια απάντηση, να αναστοχαστούν πάνω στην πρόβλεψή τους σε σχέση με την απάντηση που πήραν και να πειραματιστούν με τον κώδικα του προγράμματος. Έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον και εμπλούτισαν τις γνώσεις και τα ενδιαφέροντά τους.

Οι εκπαιδευτικοί που παρακολούθησαν, αν και άσκησαν αυστηρή κριτική κυρίως σε σχέση με την ένταξη του εν λόγω μαθήματος στο Αναλυτικό Πρόγραμμα, εξέφρασαν θετικές απόψεις, και μερικοί εκδήλωσαν την επιθυμία να χρησιμοποιήσουν και οι ίδιοι κάποιο από τα μοντέλα της NetLogo στο μάθημά τους.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Πολυπρακτορικό, NetLogo, Διερευνητική, αξιολόγηση, Εξερεύνηση-Εκμετάλλευση

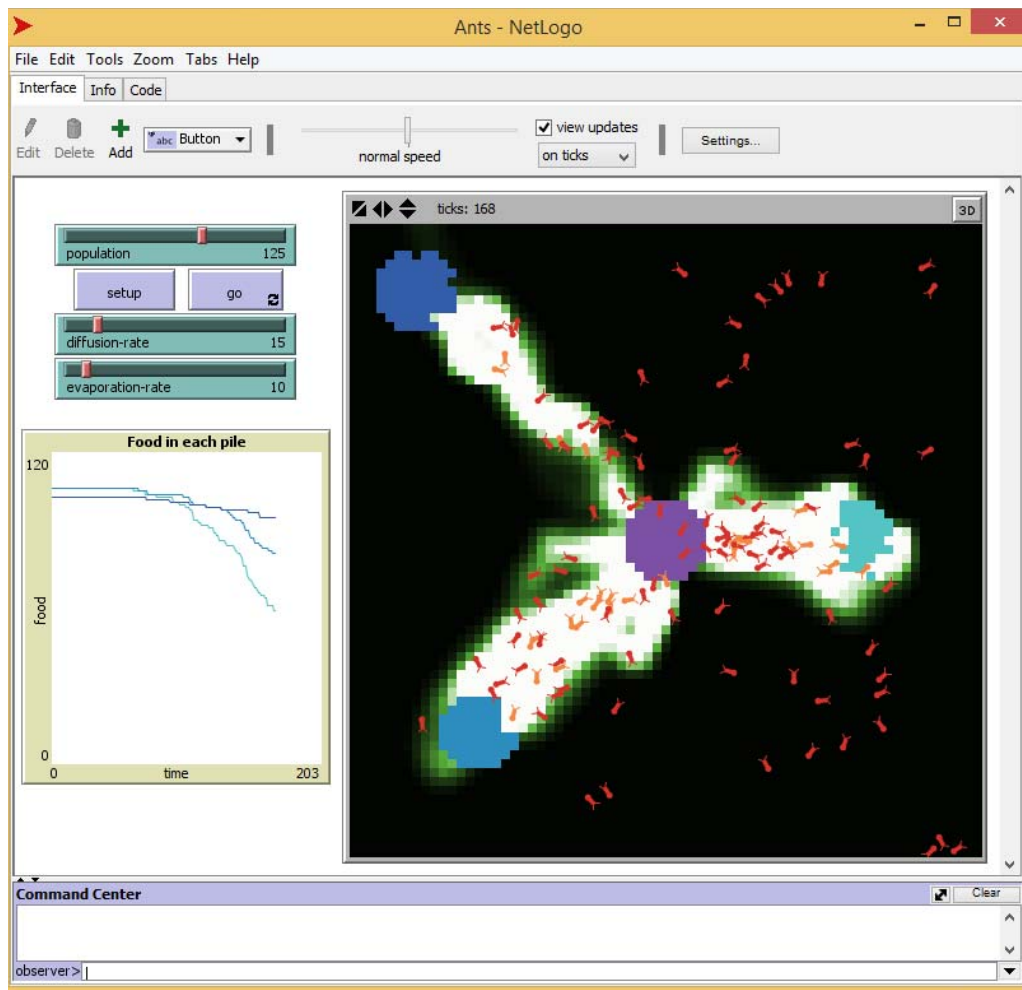
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια συζητείται διεθνώς η εισαγωγή στοιχείων από τα Πολύπλοκα Συστήματα στην στοιχειώδη και στη μέση εκπαίδευση (English, 2007). Στις ΗΠΑ το National Science Foundation έχει χρηματοδοτήσει πρόσφατα με ένα εκατομμύριο δολάρια το Indiana University για να ερευνήσει πώς αντιλαμβάνονται τα παιδιά τα Πολύπλοκα Συστήματα (Indiana University, 2013) ενώ και άλλα πανεπιστήμια

επενδύουν σε ανάλογες έρευνες (University of Chicago, 2011). Περισσότερο από όλους το Santa Fe Institute, που ειδικεύεται στα Πολύπλοκα Συστήματα, σε συνεργασία με άλλα ιδρύματα, στηρίζει το project GUTS (Growing Up Thinking Scientifically) που απευθύνεται σε μαθητές Μέσης Εκπαίδευσης και το οποίο μεταξύ άλλων προωθεί την εξερεύνηση των Πολύπλοκων Συστημάτων με τη βοήθεια πολυπρακτορικών προσομοιώσεων στο λογισμικό StarLogo, το οποίο αναπτύχθηκε από τους Mitchel Resnick και Eric Klopfer του MIT στο πλαίσιο προγράμματος εκπαίδευσης εκπαιδευτικών, και στο λογισμικό NetLogo, το οποίο σχεδιάστηκε από τον Uri Wilenski, διευθυντή του Center for Connecting Learning του πανεπιστημίου του Northwestern (Project GUTS, 2014).

Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό NetLogo και το μοντέλο “Ants” στην εκδοχή του “AntsNew” μετά από σχετική άδεια από το Santa Fe Institute, την οποία χρησιμοποιεί στα διαδικτυακά εκπαιδευτικά του προγράμματα, τα οποία σχεδιάζει η Melanie Mitchel, καθηγήτρια στην επιστήμη των υπολογιστών (Computer Science) στο Πανεπιστήμιο του Portland και μέλος της Επιστημονικής Επιτροπής του Santa Fe Institute (SFI, 2014). Όπως διαβάζουμε στην ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου Northwestern το “NetLogo είναι ένα Προγραμματιζόμενο Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων (Multi-Agent), Μοντελοποίησης και Οπτικής Αναπαράστασης, το οποίο χρησιμοποιείται από δεκάδες χιλιάδες μαθητές και δασκάλους σε όλον τον κόσμο. Το NetLogo επιτρέπει τη δημιουργία των συμμετοχικών προσομοιώσεων του HubNet. Είναι δημιουργία του Uri Wilensky, έχει αναπτυχθεί στο Center for Connected Learning (CCL) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα χωρίς κόστος (Wilensky, 1997; 1999). Έχουν αναπτυχθεί παρόμοια Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα, π.χ. τα Repast, Mason, Swarm, Flame αλλά και το StarLogo του MIT το οποίο έχει ένα περισσότερο γραφιστικό Προγραμματιστικό Περιβάλλον - ανάλογο ενός άλλου γνωστού προγράμματος, του Scratch - και απευθύνεται σε προγραμματιστές νεαρής ηλικίας (Petreska, 2013; Project GUTS, 2014).

Το NetLogo διαθέτει μία ιδιαίτερα δομημένη γλώσσα προγραμματισμού που επιτρέπει τη δημιουργία Οπτικοποιημένων Μοντέλων Πολλαπλών Πρακτόρων. Παρέχεται ένα πλούσιο μενού βασικών εντολών το οποίο υποστηρίζει δεκαδικούς αριθμούς κινητής υποδιαστολής, γεννήτριες τυχαίων αριθμών και γραφική αναπαράσταση. Κατάγεται από τη γλώσσα προγραμματισμού Logo, η οποία απευθύνεται κυρίως σε μαθητές και με την οποία οι μαθητές του Λυκείου είναι εξοικειωμένοι διότι τη διδάχτηκαν στο Γυμνάσιο. Εκτός από τη γνωστή «χελώνα» της logo, η οποία στο NetLogo μπορεί να ανήκει σε έναν πληθυσμό (breeds), υπάρχουν και οι οντότητες patches, καθώς και ο observer. Οι οντότητες patches είναι συστατικά του χώρου μέσα στον οποίο «ζουν» οι χελώνες. Ο observer είναι αυτός που ελέγχει το πείραμα και μπορεί να επιδράσει στα patches και turtles τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Υπάρχουν μεταβλητές «global» που ισχύουν σε ολόκληρη την εφαρμογή και μεταβλητές που ανήκουν αποκλειστικά σε κάποια patches, turtles ή breeds.



Σχήμα 1: Το interface του προγραμματιστικού περιβάλλοντος NetLogo καθώς τρέχει το μοντέλο Ants

Από τη διεπαφή (interface) του προγράμματος μπορεί να αρχικοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο με το κουμπί **setup** και να τρέξει με το κουμπί **go**. Ο «κόσμος» μέσα στον οποίο «ζουν» και αλληλεπιδρούν οι πράκτορες, κατέχοντες θέσεις με συντεταγμένες x,y, είναι ένας δισδιάστατος χώρος ο οποίος εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή. Υπάρχει επιλογέας (slider) με τον οποίο μπορεί να καθοριστεί η ταχύτητα της προσομοίωσης έτσι ώστε οι μεταβολές να μπορούν να παρατηρηθούν οπτικά. Επίσης υπάρχουν επιλογείς για τον καθορισμό αρχικών τιμών των μεταβλητών καθώς και η δυνατότητα να φαίνεται με γραφήματα, σε ειδικό παράθυρο, η εξέλιξη των μεταβλητών (Σχήμα 1). Υπάρχει ένας ικανός αριθμός έτοιμων μοντέλων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έχουν ή να τροποποιηθούν. Κάθε μοντέλο αποτελείται από τρεις καρτέλες, μια για τη διεπαφή, μια για τον κώδικα και μια για πληροφορίες σχετικά με το μοντέλο και τη χρήση του. Ο χρήστης μπορεί να δει χωριστά τις υπορουτίνες του προγράμματος σε συγκεκριμένο κατάλογο στην καρτέλα Procedures, καθώς και να δώσει κατευθείαν εντολές στο παράθυρο του παρατηρητή καθώς και να πάρει απαντήσεις (NetLogo User Manual, 2012).

Στο μοντέλο “Ants” που χρησιμοποιήσαμε σε αυτή την εργασία (Σχήμα 1) μια αποικία μυρμηγκιών «ψάχνει» για τροφή. Υπάρχει μια περιοχή του χώρου που αντιστοιχεί στη φωλιά των μυρμηγκιών. Εκεί δημιουργούνται «χελώνες», που εδώ είναι τα μυρμήγκια, οι οποίες κινούνται με τυχαίο τρόπο. Όταν κάποιο από αυτά φτάσει σε

κάποια ιδιαίτερα χρωματισμένη περιοχή του χώρου, στην οποία υπάρχει «τροφή», το μυρμήγκι παίρνει τροφή και κατευθύνεται προς τη φωλιά αφήνοντας ένα χημικό ίχνος. Τα κοντινά μυρμήγκια «μυρίζουν» τη χημική ουσία και πηγαίνουν και αυτά προς την τροφή. Παρότι κάθε μυρμήγκι χωριστά ακολουθεί απλούς κανόνες συμπεριφοράς, τελικά η όλη αποικία λειτουργεί σύνθετα και μη γραμμικά. Όσο περισσότερα μυρμήγκια μεταφέρουν τροφή τόσο περισσότερο ενισχύεται το «χημικό» ίχνος. Για την μακρινή τροφή είναι δύσκολο να σχηματίσουν τα μυρμήγκια ένα σταθερό ίχνος, γι' αυτό πρώτα εξαντλούν την κοντινότερη.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει μέσω της διεπαφής τρεις μεταβλητές: τον αριθμό των μυρμηγκιών, τον ρυθμό εξάτμισης του χημικού ίχνους και τον ρυθμό διάχυσης του χημικού ίχνους. Αν το ίχνος εξατμίζεται γρήγορα, δε δημιουργούνται ουρές μυρμηγκιών εύκολα. Αν πάλι εξατμίζεται αργά, τότε είναι πιθανόν όλα τα μυρμήγκια να σχηματίσουν ουρά προς την πρώτη τροφή που βρήκαν και έτσι να μην ανακαλύψουν άλλες πηγές τροφής. Παιζει ρόλο και το πόσο μακριά διαχέεται η «οσμή» της χημικής ουσίας (ρυθμός διάχυσης).

Εδώ προκύπτει το περίφημο πρόβλημα «Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση» (Exploitation vs. Exploration), χαρακτηριστικό των Πολύπλοκων Συστημάτων, γνωστό και ως «Δίλημμα της Καινοτομίας» (Gupta et al., 2006). Συμφέρει τα μυρμήγκια να εξαντλήσουν την πρώτη τροφή που βρήκαν ή μήπως πρέπει ταυτόχρονα να εξερευνούν για την ύπαρξη και άλλης τροφής; Και τι μέρος του πλήθους των μυρμηγκιών συμφέρει να αφιερωθεί στην εξερεύνηση; Φυσικά το πρόβλημα δεν αφορά μόνο στα μυρμήγκια αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και σε άλλους τελείως διαφορετικούς τομείς και πεδία. Συμφέρει να εξαντλήσουμε την πετρελαιοπηγή ή να ψάχνουμε ταυτόχρονα και για άλλες; Και τι ποσοστό του κεφαλαίου συμφέρει να δαπανήσουμε για αποδοτικότερη εκμετάλλευση της πετρελαιοπηγής σε σχέση με το ποσοστό που θα δαπανήσουμε για ανεύρεση νέων κοιτασμάτων; Συμφέρει να αγοράσουμε νέες τεχνολογίες ή μήπως είναι προτιμότερο να εκμεταλλευτούμε αυτές που ήδη έχουμε; Συμφέρει να μάθουμε νέους τρόπους διδασκαλίας ή μήπως είναι προτιμότερο να συνεχίσουμε να διδάσκουμε με τον τρόπο που ξέρουμε καλά; Έχουμε δανειστεί την ιδέα να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο της NetLogo "Ants" για να μελετήσουμε το πρόβλημα Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση από τα διαδικτυακά μαθήματα της Melanie Mitchel του Santa Fe Institute (SFI, 2014).

Αν και δεν υπάρχει ευρέως αποδεκτός ορισμός της πολυπλοκότητας, γενικώς συμφωνείται ότι αυτή σχετίζεται με την αυτοοργάνωση, την ανάδυση (emergence), την ύπαρξη βρόχων ανάδρασης (feedback loops), την αυτοποίηση (autopoiesis) και την αυτοανακλαστικότητα (self-reflexivity). Υπάρχουν Πολύπλοκα Συστήματα των οποίων και τα μέρη από τα οποία αποτελούνται είναι Πολύπλοκα Συστήματα και άλλα των οποίων τα μέρη δεν είναι Πολύπλοκα Συστήματα, αλληλεπιδρούν με καθορισμένο τρόπο, αλλά το τελικό αποτέλεσμα οδηγεί σε Πολύπλοκη Συμπεριφορά και γεννά Πολύπλοκα Προβλήματα. Τέτοια συστήματα μπορούν να προσεγγιστούν με λογισμικά Πολλαπλών Πρακτόρων όπως είναι το NetLogo. Το μοντέλο που χρησιμοποιούμε, το οποίο στην αρχική του μορφή χρησιμοποιήθηκε για άλλους λόγους και από άλλους ερευνητές (Gkiolmas et al., 2013) προφανώς είναι μια απλοποίηση του οικοσυστήματος των μυρμηγκιών η οποία έχει σαν σκοπό όχι τόσο τη μελέτη του συγκεκριμένου οικοσυστήματος στο οποίο τα μυρμήγκια ζουν, αλλά των Πολύπλοκων Συστημάτων γενικώς και του συγκεκριμένου Πολύπλοκου Προβλήματος ειδικότερα.

Τα Πολύπλοκα Συστήματα αποτελούν ουσιώδες μέρος του φυσικού και του κοινωνικού κόσμου. Ο καιρός, το κλίμα, η οικονομία, η οικογένεια, το οικοσύστημα, αποτελούν Πολύπλοκα Συστήματα. Η μελέτη των Πολύπλοκων Συστημάτων είναι πραγματική πρόκληση για την επιστήμη και τον άνθρωπο. Στα αναλυτικά προγράμματα του ελληνικού εκπαιδευτικού συστήματος, όσον αφορά στις φυσικές επιστήμες, η πολυπλοκότητα εμφανίζεται στο Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών της βιολογίας για το Γυμνάσιο. Η προσέγγιση των Πολύπλοκων Συστημάτων μέσω υπολογιστών αφαιρεί ένα μέρος του δέους που αισθανόμαστε για αυτά και τα κάνει πιο προβλέψιμα. Ο μαθητής στην πρώτη του επαφή με τα Πολύπλοκα Συστήματα θα συναντηθεί για πρώτη φορά με νέα προβλήματα και νέους τρόπους σκέψης. Θα μάθει πιθανόν για την ανάδραση, την ανάδυση, το χάος και τις προσομοιώσεις με πιθανοκρατικά μοντέλα τα οποία είναι πιο κοντά στα πραγματικά Πολύπλοκα Συστήματα σε αντίθεση με τις προσομοιώσεις μέσω ντετερμινιστικών αλγεβρικών μεθόδων που υπάρχουν στο διαδίκτυο και έχουν σχέση κυρίως με τη σχολική φυσική, με τις οποίες είναι πιθανώς ήδη εξοικειωμένος.

Το πιθανό κέρδος από αυτή την προσέγγιση θα είναι η ανάπτυξη ενός άλλου τρόπου σκέψης, πέραν του γραμμικού αναγωγικού τύπου στον οποίο εθίζεται ο μαθητής με την συμβατική διδασκαλία των φυσικομαθηματικών επιστημών στο σχολείο. Ο νέος τρόπος σκέψης, είναι προσανατολισμένος στη συνολικότερη, πολυεπίπεδη αντίληψη του κόσμου και στην ανίχνευση μη γραμμικών αιτιωδών σχέσεων και φαινομένων. Κέρδος θα είναι επίσης η αναγνώριση της αξίας των διαφορετικών συντελεστών, των διαφορετικών προοπτικών και της αναγκαστικής πολλές φορές εμπλοκής του παρατηρητή στο υπό παρατήρηση σύστημα. Αυτό πιθανόν να αλλάξει στο μέλλον την στάση του μαθητή και μελλοντικού πολίτη απέναντι σε κρίσιμα πολύπλοκα κοινωνικά και κοινωνικο-φυσικά ζητήματα της εποχής μας, όπως είναι π.χ. το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος και το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Γκιόλμας κ.α., 2008).

Η ΜΕΘΟΔΟΣ

Για την πρώτη προσέγγιση των Πολύπλοκων Συστημάτων επιλέξαμε τη Διερευνητική Μέθοδος η οποία πιστεύουμε ότι είναι ιδιαίτερα κατάλληλη όταν κάποιος έχει ένα τόσο ενδιαφέρον εργαλείο διερεύνησης όπως είναι η προσομοίωση Ants στο λογισμικό NetLogo. Η Διερευνητική Μάθηση και Διδασκαλία προσιδιάζουν στον φυσικό τρόπο με τον οποίο τα παιδιά ερευνούν και μαθαίνουν τον κόσμο και μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα επίπεδα εκπαίδευσης είτε αυτή είναι η τυπική είτε η άτυπη. Κατά τη Διερευνητική μέθοδο, μετά την παρουσίαση του θέματος από τον καθηγητή, με τρόπο που να διεγείρει την περιέργεια των παιδιών, συνήθως τίθεται μια ερώτηση επιστημονικού χαρακτήρα, από τον καθηγητή ή και κάποιον μαθητή. Κατόπιν γίνεται έρευνα, με τη χρήση ή όχι πειραμάτων και εργαλείων, και τελικά ο μαθητής ανακοινώνει τα αποτελέσματά του και κάνει μια περιγραφή-εξήγηση του προβλήματος.

Έχουν προταθεί διάφορα διδακτικά μοντέλα που προσπαθούν να «τυποποιήσουν» την Διερευνητική Μέθοδο (Ραγιαδάκος, 2011). Στην έρευνα αυτή το μοντέλο που ακολουθήσαμε είναι περισσότερο κοντά στο μοντέλο Διερευνητικής Διδασκαλίας (Inquiry Based Teaching). Αφού χωρίστηκαν οι μαθητές σε ομάδες, δύο ή τριών ατόμων, ο καθηγητής παρουσίασε το θέμα σύντομα και με ελάχιστες ελκυστικές διαφάνειες σε Power Point. Οι στόχοι του μαθήματος έγιναν γνωστοί από την πρώτη

διαφάνεια. Έγινε εισαγωγή στα Πολύπλοκα Συστήματα με ένα παράδειγμα από τη βιολογία (μια αποικία μυρμηγκιών), που είχε άμεση σχέση με το συγκεκριμένο μάθημα, και στη συνέχεια εισαγωγή στο πρόβλημα Εξερεύνηση ή Εκμετάλλευση (Exploration vs. Exploitation) μέσω του ίδιου παραδείγματος. Έγινε γενίκευση με αναφορά σε παραδείγματα από τη ζωή των μαθητών, προσωπική και σχολική. Στη συνέχεια έγινε εισαγωγή στο πρόγραμμα NetLogo με ανάκληση γνώσεων, σχετικών με τη γλώσσα προγραμματισμού Logo, την οποία διδάχτηκαν στο Γυμνάσιο. Κατόπιν παρουσιάστηκε το συγκεκριμένο μοντέλο - προσομοίωση και αφού ο καθηγητής το έτρεξε και εξήγησε τον τρόπο χρήσης του, οι μαθητές αφέθησαν να το εξερευνήσουν με την παρουσία και την βοήθεια των καθηγητών, επιλέγοντας ελεύθερα τιμές για τις μεταβλητές και καταγράφοντας τα αποτελέσματα στο φύλλο εργασίας. Μετά το πέρας της αρχικής εξερεύνησης, τους ζητήθηκε να μελετήσουν το μοντέλο για τρία συγκεκριμένα σετ τιμών των μεταβλητών, παίρνοντας περισσότερες από μια μετρήσεις και βρίσκοντας μέσες τιμές. Τους ζητήθηκε πριν αρχίσουν το «πείραμα» να κάνουν μια υπόθεση, για το πιο από τα τρία σετ είναι κατά τη γνώμη τους το πιο αποτελεσματικό, όσον αφορά την ταχύτητα αποκομιδής της τροφής από τα μυρμηγκία. Αφού κατέγραψαν την εκτίμησή τους πειραματίστηκαν με τα τρία σετ τιμών τρεις φορές για το καθένα. Όταν τελείωσαν ανακοίνωσαν στην ολομέλεια πιο σετ ήταν το αποτελεσματικότερο και αν πέτυχαν ή όχι στην πρόβλεψη. Μετά ακολούθησε συζήτηση πάνω στα πιθανά αίτια και τους λόγους που ένα συγκεκριμένο σετ τιμών ήταν καλύτερο από τα άλλα. Μετά το πέρας της συζήτησης κλήθηκαν οι μαθητές να επέμβουν στον κώδικα της προσομοίωσης ώστε να πετύχουν έναν συγκεκριμένο αποτέλεσμα.

Το πειραματικό αυτό μάθημα έγινε στα πλαίσια της Αυτοαξιολόγησης και της Ενδοσχολικής Επιμόρφωσης και πριν την έκδοση από την ΔΕΠΠΣ της εγκυκλίου για το πρόγραμμα της Ετεροπαρατήρησης στα Πρότυπα Πειραματικά Σχολεία. Η παρουσία των εκπαιδευτικών παρατηρητών στο μάθημα οπωσδήποτε το επηρέασε αφού είναι γνωστή η επίδραση του παρατηρητή στα κοινωνικά συστήματα. Ίσως όμως αυτή η επιρροή να μην ήταν ιδιαίτερα σημαντική, διότι ήταν τέτοια η απορρόφηση των μαθητών στο πείραμα και στη συζήτηση που ακολούθησε, που είναι ζήτημα αν διαπίστωσαν την ύπαρξη των καθηγητών παρατηρητών-αξιολογητών στην τάξη!

ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

Το μάθημα έγινε στο εργαστήριο Πληροφορικής του 1^{ου} ΠΠ ΓΕΛ Αθήνας. Έγιναν τρία μαθήματα, ένα για κάθε τμήμα Γενικής Παιδείας τη Γ' Λυκείου. Κάθε τμήμα αποτελείται από είκοσι τρεις μαθητές. Αποτελούσε συνδιδασκαλία – εργαστηριακή μορφή - όπου ένας καθηγητής παρουσίαζε το θέμα και οι άλλοι δύο βοηθούσαν τις ομάδες στη χρήση του λογισμικού. Λόγω της διαθεματικότητας της διδασκαλίας και των απαιτήσεων της σε γνωστικό όσο και τεχνικό επίπεδο, κρίναμε ότι έπρεπε να είναι παρόντες στο μάθημα και οι τρεις εκπαιδευτικοί οι οποίοι είχαν συμπληρωματικούς ρόλους και στη διαμόρφωση αυτής της εργασίας, λόγω των διαφορετικών ειδικοτήτων και των συμπληρωματικών ερευνητικών ενδιαφερόντων.

Οι στόχοι του μαθήματος όπως καταγράφονταν στο σχέδιο μαθήματος το οποίο δόθηκε στους καθηγητές-παρατηρητές-αξιολογητές ήταν οι εξής:

1) Να εισαχθούν οι μαθητές στην προσομοίωση Πολύπλοκων Συστημάτων με Πολυπρακτορικό Λογισμικό μέσω της μελέτης ενός οικοσυστήματος σε περιβάλλον του λογισμικού **NetLogo**. Να συνδέσουν την νέα γνώση με την γλώσσα προγραμματισμού **logo** που διδάχτηκαν στο Γυμνάσιο.

2) Να πειραματιστούν μελετώντας μια τροφική αλυσίδα, να κάνουν μια υπόθεση και να προσπαθήσουν να την διερευνήσουν χρησιμοποιώντας την προσομοίωση και ένα λογιστικό φύλλο για υπολογισμούς.

3) Να αναστοχαστούν με βάση τα αποτελέσματα της έρευνάς τους και να γενικεύσουν.

4) Να επέμβουν στον κώδικα του προγράμματος για να αποκτήσουν μια ενθαρρυντική προγραμματιστική εμπειρία.

Το δε χρονοδιάγραμμα του μαθήματος το οποίο επίσης δόθηκε στους παρατηρητές ήταν το ακόλουθο:

1) Παρουσίαση ενός οικοσυστήματος ως πολύπλοκου συστήματος (5 λεπτά).

2) Παρουσίαση του λογισμικού NetLogo και της προσομοίωσης του οικοσυστήματος (5λεπτά).

3) Ελεύθερος πειραματισμός με το μοντέλο (5 λεπτά).

4) Γραπτή πρόβλεψη συμπεριφοράς σε συγκεκριμένες τιμές μεταβλητών που θα δοθούν από τον καθηγητή (2 λεπτά).

5) Πειραματισμός των μαθητών στις συγκεκριμένες τιμές μεταβλητών. Χρήση Excel για υπολογισμό μέσων τιμών. Καταχώρηση αποτελεσμάτων στο φύλλο εργασίας (15 λεπτά).

6) Επαληθεύτηκαν οι προβλέψεις; Γιατί; Συζήτηση-γενίκευση (10 λεπτά).

7) Επέμβαση στον κώδικα (3 λεπτά).

Η παρουσίαση του θέματος έγινε με με λίγες, αλλά ελκυστικές διαφάνειες, και οι ομάδες «έτρεξαν» το πρόγραμμα στον υπολογιστή τους ενώ συμπλήρωναν φύλλο εργασίας. Το χρονοδιάγραμμα κρατήθηκε αρκετά πιστά – οι μαθητές είχαν ειδοποιηθεί και βρισκόταν από την αρχή στο εργαστήριο - με εξαίρεση τη χρήση του Excel, η οποία κρίθηκε ότι θα ήταν χρονοβόρα. Άλλωστε ήταν εύκολο για τους μαθητές να εξαγάουν ασφαλή συμπεράσματα εκτιμώντας τον μέσο όρο. Οι μαθητές έδειξαν ενδιαφέρον τόσο κατά τη διάρκεια του πειράματος όσο και κατά τη διάρκεια της παρουσίασης των αποτελεσμάτων και της συζήτησης και ήταν πρόθυμοι να εξηγήσουν θεωρητικά τα αποτελέσματα.

Οι παρατηρητές-αξιολογητές καθηγητές παρακολουθούσαν το μάθημα χωρίς να επεμβαίνουν. Σε μια όμως περίπτωση προτίμησαν να σχηματίσουν ομάδα και να πάρουν μέρος στο μάθημα αφού υπήρχε ελεύθερος υπολογιστής. Είχαμε δηλαδή και συμμετοχική παρατήρηση!

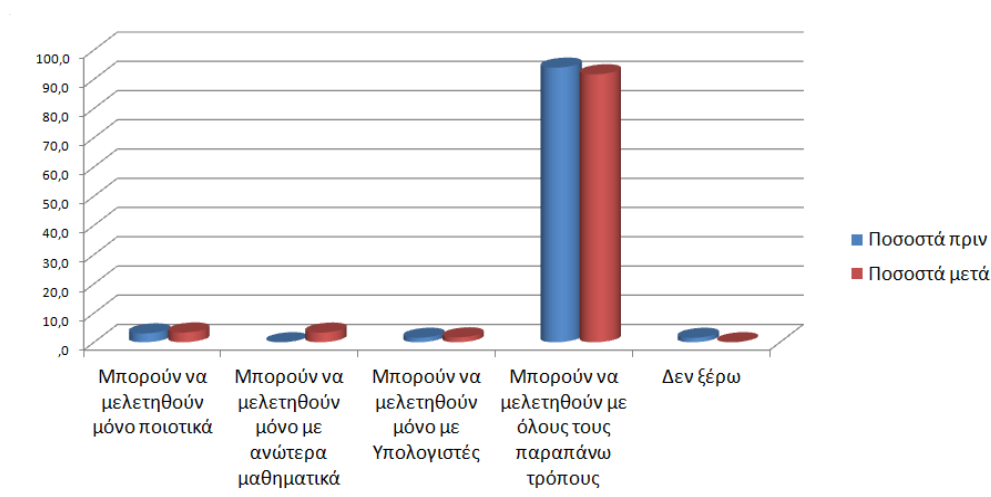
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κάθε εκπαιδευτικός που διδάσκει μάθημα Γενικής Παιδείας στη Γ' τάξη ξέρει πόσο δύσκολο είναι να κερδίσεις τη συμμετοχή των μαθητών σε ένα μάθημα στο οποίο δεν έχουν πρόθεση να εξεταστούν στις Πανελλαδικές Εξετάσεις. Το μάθημα της Βιολογίας Γενικής Παιδείας δεν αποτελεί εξαίρεση, ακόμη και αν αρκετοί μαθητές επιλέγουν να το εξεταστούν πανελλαδικά – ακόμη και της θεωρητικής κατεύθυνσης - επειδή το θεωρούν «ευκολότερο» από το μάθημα Ιστορία Γενικής Παιδείας. Όμως στα μαθήματα με NetLogo οι περισσότεροι μαθητές εκδήλωσαν ενδιαφέρον και μεγάλη συμμετοχή. Κατά την άποψή μας αυτό οφείλεται τόσο στη χρήση του υπολογιστή όσο και στο θέμα.

Οι απόψεις των μαθητών καταγράφηκαν σε ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα. Τα αποτελέσματα από την στατιστική επεξεργασία των ερωτηματολογίων, αρχικά μας εξέπληξαν αρνητικά, αφού δεν εμφάνιζαν μεγάλες διαφορές στις γνώσεις

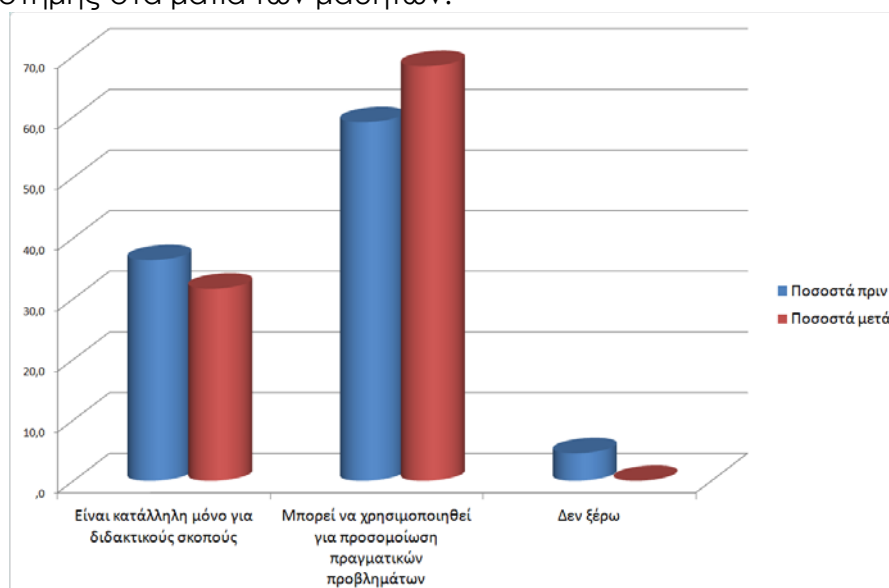
και στις στάσεις των μαθητών πριν και μετά το μάθημα. Αυτό κάθε άλλο παρά μη αναμενόμενο είναι, όπως θα δούμε παρακάτω.

Στο Σχήμα 2 παρατηρούμε ότι οι μαθητές τόσο πριν όσο και μετά το μάθημα δείχνουν να γνωρίζουν ότι η μελέτη των Πολύπλοκων Συστημάτων μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Κατά την άποψή μας αυτό δε σημαίνει υποχρεωτικά ότι οι μαθητές έχουν ιδιαίτερες γνώσεις για τα Πολύπλοκα Συστήματα. Νομίζουμε ότι στην συγκεκριμένη περίπτωση η ίδια η γλώσσα περιέχει γνώση. Είναι αναμενόμενο ένα «πολύπλοκο πρόβλημα» να μπορεί να προσεγγιστεί από διαφορετικές σκοπιές.



Σχήμα 2: Τα οικοσυστήματα και τα άλλα Πολύπλοκα Συστήματα...

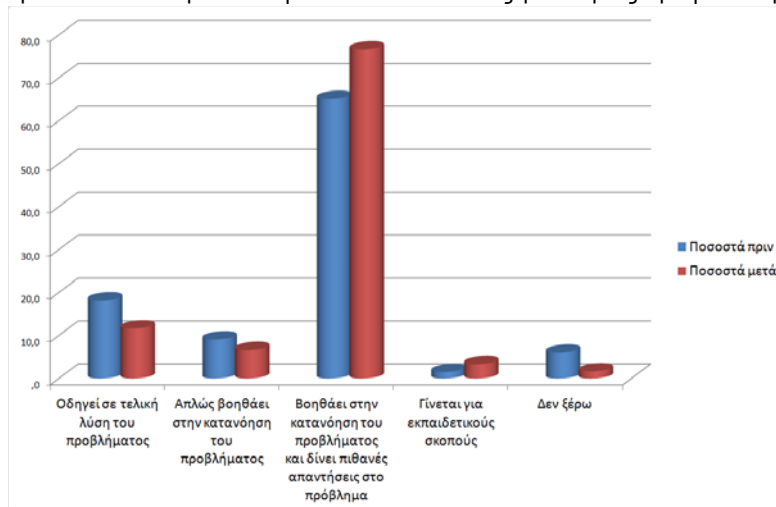
Στο Σχήμα 3 παρατηρούμε ότι διαπιστώνεται μια μικρή αλλαγή όσον αφορά την άποψη που συχνά έχουν οι μαθητές ότι: «αυτά που κάνουμε στο σχολείο δεν έχουν σχέση με την πραγματική ζωή». Η επαφή των μαθητών με τα Πολύπλοκα Συστήματα μέσω αυτού του μαθήματος πιθανόν να έχει συνεισφέρει στη δικαίωση του σχολείου και της επιστήμης στα μάτια των μαθητών.



Σχήμα 3: Η γλώσσα *logo* που διδάχτηκε στο Γυμνάσιο...

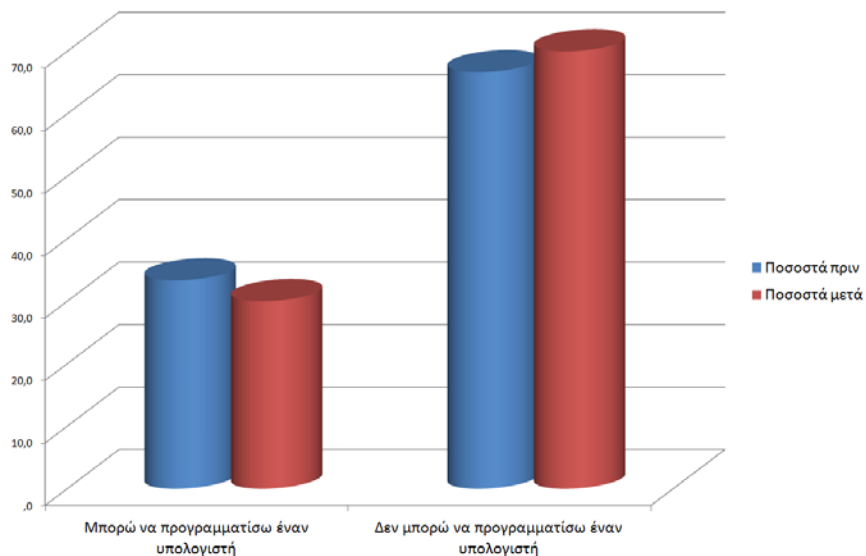
Στο Σχήμα 4 παρατηρούμε ότι διαπιστώνεται μια θετική αλλαγή στην άποψη των μαθητών όσον αφορά την δυνατότητα των προσομοιώσεων να βοηθούν στην

κατανόηση των Πολύπλοκων Συστημάτων και δίνουν πιθανές λύσεις. Αυτό συνιστά μια μικρή συνεισφορά του μαθήματος στην ενίσχυση του τεχνολογικού αλφαριθμητισμού που τόσο απαραίτητος είναι στην εποχή μας. Το γεγονός ότι έχουμε αύξηση στη συχνότητα της άποψης ότι οι προσομοιώσεις οδηγούν σε τελικές απαντήσεις πιθανόν να οφείλεται στην εντύπωση που προκάλεσε στους μαθητές η προσομοίωση.



Σχήμα 4: Μια πολυπρακτορική προσομοίωση σε **logo...**

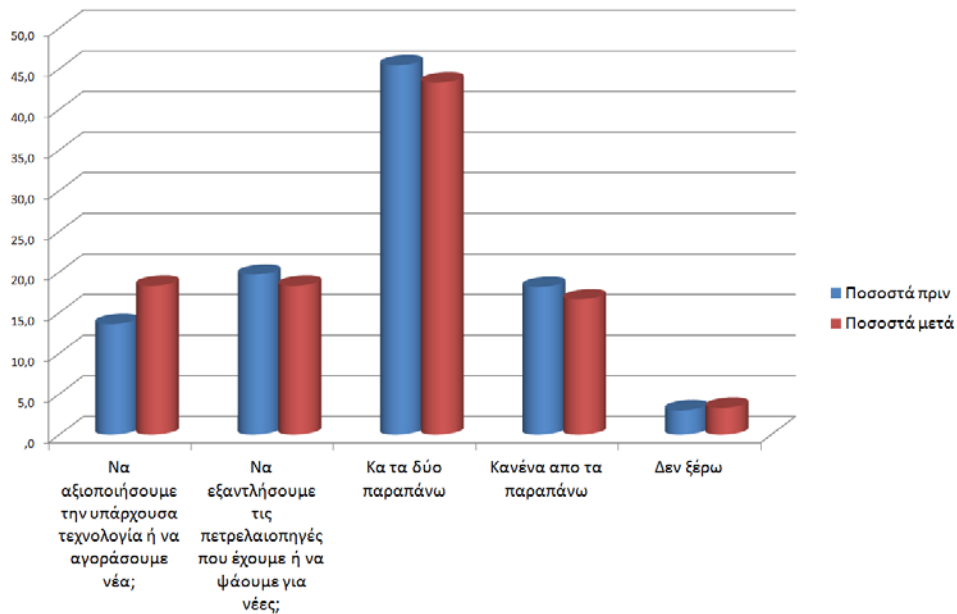
Στο Σχήμα 5 παρατηρούμε ότι δε διαπιστώνουμε σημαντική αλλαγή στην αυτοπεποίθηση των μαθητών σε σχέση με την ικανότητά τους να προγραμματίζουν έναν υπολογιστή ή ίσως και να διαφαίνεται ότι αποκτούν μια πιο απαισιόδοξη στάση. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γνωστό εγγενές πρόβλημα της στατιστικής να αντιμετωπίζει με όμοιο τρόπο ανόμοια πράγματα. Η άποψή μας αυτή στηρίζεται στο γεγονός ότι, τις αμέσως επόμενες ημέρες, ομάδες μαθητών πειραματίστηκαν συστηματικά στο εργαστήριο της πληροφορικής, στα πλαίσια του μαθήματος των πολυμέσων, τόσο με το συγκεκριμένο μοντέλο όσο και με άλλα μοντέλα της Netlogo σε επίπεδο διεπαφής αλλά και με τον κώδικα. Φαίνεται λοιπόν ότι κάποιοι άλλοι μαθητές αποφάσισαν ότι ο προγραμματισμός δεν τους αφορά. Αυτό δεν είναι παράξενο για τους μαθητές της Γ' Λυκείου οι οποίοι βρίσκονται στην ηλικία που θα πάρουν σημαντικές αποφάσεις για την πορεία τους μετά το σχολείο. Ο προγραμματισμός σε επίπεδο κώδικα αποτελεί εξειδίκευση που ξεπερνά την εξοικείωση με τις ΤΠΕ η οποία στην εποχή μας αποτελεί μέρος του απαραίτητου για τον καθένα γραμματισμού.



Σχήμα 5: Εγώ (ο μαθητής/ η μαθήτρια) ...

Στο Σχήμα 6 παρατηρούμε ότι δε διαπιστώνουμε κάποια σημαντική αλλαγή στην γνώμη των μαθητών για το τι σημαίνει το πρόβλημα «Εξερεύνηση ή Εκμετάλλευση», εύρημα που αποτέλεσε δυσάρεστη έκπληξη για την ερευνητική ομάδα αφού το πρόβλημα αυτό ήταν το επίκεντρο του μαθήματος. Τι συμβαίνει λοιπόν; Το μάθημα πήγε χαμένο αφού οι μαθητές φαίνεται να μην έμαθαν τίποτα - ίσως και να μπερδεύτηκαν ακόμη περισσότερο;

Σύμφωνα με επισταμένες έρευνες, τα Πολύπλοκα Συστήματα προβάλλουν σοβαρά εμπόδια σε αυτούς που προσπαθούν να τα κατανοήσουν, ιδιαίτερα δε σε αυτούς που έρχονται για πρώτη φορά σε επαφή μαζί τους. Η κατανόηση των Πολύπλοκων Συστημάτων αποτελεί Πολύπλοκο Πρόβλημα από μόνο του (Sternan, 1994). Οι κατανόηση των Πολύπλοκων Συστημάτων από τους αρχάριους εστιάζει σε ορατές δομές. Τα πολυπαραγοντικά φαινόμενα που είναι αόρατα και αλληλοεξαρτώμενα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να κατανοηθούν. Ένας λόγος είναι η υπερβολική μνήμη εργασίας (working memory) και τα νέα νοητικά μοντέλα (mental models) που απαιτούνται. Επίσης τα πράγματα δυσκολεύονται ακόμη περισσότερο από το γεγονός ότι στα Πολύπλοκα Φαινόμενα δεν υπάρχει απλή ευθύγραμμη αιτιότητα και το αποτέλεσμα εμφανίζεται ως «ανάδυση» (emergence) εξαιτίας της ταυτόχρονης αλληλεπίδρασης πολλών παραγόντων (Hmelo-Silver κ.α., 2007).



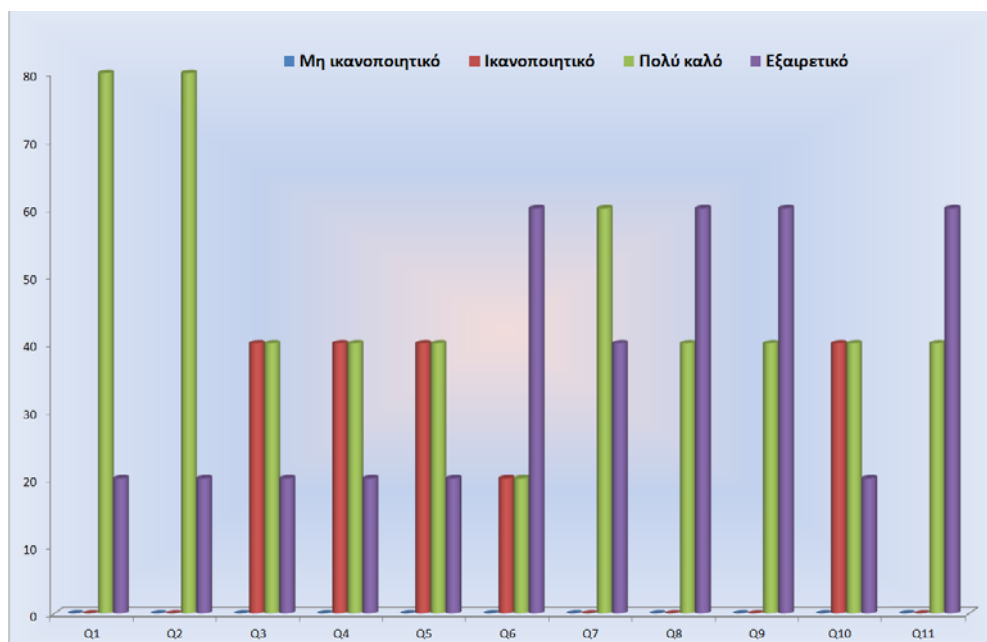
Σχήμα 6: Ποια από τα δυο πολύπλοκα προβλήματα ανήκουν στην κατηγορία **Εξερεύνηση ή Εκμετάλλευση;**

Αλλά υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι σχετίζονται με το συγκεκριμένο μάθημα, που συνέβαλλαν στο φτωχό αυτό αποτέλεσμα. Πρώτος ανάμεσά τους είναι νομίζουμε το γεγονός ότι εισήχθησαν στο μάθημα πολλές νέες έννοιες οι οποίες δεν ήταν εύκολο να αφομοιωθούν στα πλαίσια ενός μαθήματος μιας ώρας. Δεύτερος λόγος είναι ότι οι μαθητές αναγκάστηκαν να γνωρίσουν ταυτόχρονα έναν νέο μέσο και ένα νέο πρόβλημα. Αυτό νομίζουμε είναι γενικότερο πρόβλημα με την ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη διδασκαλία γι' αυτό άλλωστε η εξοικείωση με αυτές αποτελεί χωριστό διδακτικό αντικείμενο (Γιάτας, 2012). Τρίτος λόγος είναι ίσως το γεγονός ότι τα ερωτηματολόγια μετά το μάθημα απαντήθηκαν μια εβδομάδα μετά. Είναι γνωστό ότι οι νέες έννοιες δε «ιδιώνουν» πάντοτε αυτές που πρόκειται να αντικαταστήσουν αλλά πολλές φορές συμβιώνουν και αναδύονται ανάλογα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά (Γκαράς, 2008).

Για την αξιολόγηση του μαθήματος από τους καθηγητές –παρατηρητές χρησιμοποιήθηκε η φόρμα, βάσει της οποίας έγινε η μοριοδότηση της παρατήρησης των διδασκαλιών του εκπαιδευτικού από τον Σχολικό Σύμβουλο κατά τη διάρκεια των αξιολογήσεων-κρίσεων των Πρότυπων Πειραματικών Σχολείων. Οι καθηγητές του σχολείου μας έχουν εμπειρία ετεροπαρατήρησης και αξιολόγησης, ήταν όμως η πρώτη φορά που αυτό γινόταν από συναδέλφους.

Στο Σχήμα 7 βλέπουμε τη στατιστική της αποτίμησης του μαθήματος από τους παρατηρητές. Παρατηρούμε ότι το «σχέδιο μαθήματος» (1) κρίθηκε κατά βάση «πολύ καλό», η «οργάνωση της τάξης» (2) πολύ καλή ενώ οι «μορφές διδασκαλίας-διδακτικά εργαλεία και στρατηγικές» (3) πήραν και πολλές αξιολογήσεις στη βαθμίδα «ικανοποιητικό». Αυτό ίσως απηχεί το γεγονός ότι αρκετοί συνάδελφοι αμφισβητούν τη χρήση ή θεωρούν υπερβολική τη χρήση των Νέων Τεχνολογιών στην τάξη. Επίσης στη βαθμίδα «ικανοποιητικό» είχαμε αρκετές βαθμολογίες στην ερώτηση «γνωστική επάρκεια του εκπαιδευτικού» (4) το οποίο βέβαια είναι αναμενόμενο αφού κανείς από τους τρεις συνδιδάσκοντες δεν έχει ειδικευση στα Πολύπλοκα Συστήματα. Επίσης στην ίδια βαθμίδα είχαμε αρκετές βαθμολογίες στην κατηγορία «αξιολόγηση των

μαθητών σε όλες τις φάσεις της διδασκαλίας» (10) το οποίο επίσης είναι αναμενόμενο διότι δεν είναι εύκολο να αξιολογήσει κανείς τους μαθητές σε ένα εισαγωγικό μάθημα σε ένα τόσο δύσκολο θέμα. Πολύ καλή έως άριστη βαθμολογία είχαμε στις κατηγορίες (7) «διδασκτική ευελιξία», (8) «παιδαγωγικό/μαθησιακό κλίμα», (9) «διαχείριση της τάξης», (11) «εσωτερική συνοχή της διδασκαλίας και διαχείριση του διδακτικού χρόνου». Κατά την άποψή μας αυτές οι καλές βαθμολογίες αντανακλούν το ενδιαφέρον και την αφοσίωση που έδειξαν οι μαθητές κάνοντας το μάθημα να φαίνεται οργανωμένο και με συνοχή. Σε ένα βαθμό οι βαθμολογίες αυτές ίσως επηρεάστηκαν από το αίσθημα συναδελφικότητας και από το γεγονός ότι ο ένας των συνδιδασκόντων ήταν ο διευθυντής του σχολείου.



Σχήμα 7: Η βαθμολογία των καθηγητών-παρατηρητών: 1) Σχέδιο μαθήματος 2) Οργάνωση της τάξης 3) Μορφές διδασκαλίας, διδακτικά εργαλεία και στρατηγικές 4) Γνωστική επάρκεια του εκπαιδευτικού 5) Εμπλοκή/συμμετοχή των μαθητών στο μάθημα 6) Σαφήνεια στην επικοινωνία 7) Διδακτική ευελιξία 8) Παιδαγωγικό/μαθησιακό κλίμα 9) Διαχείριση της τάξης 10) Αξιολόγηση των μαθητών σε όλες τις φάσεις της διδασκαλίας 11) Εσωτερική συνοχή της διδασκαλίας και διαχείριση του διδακτικού χρόνου.

Ενδιαφέρουσες ήταν και οι γραπτές παρατηρήσεις των καθηγητών. Ορισμένοι έγραψαν ότι σε συνθήκες κανονικού μαθήματος, χωρίς παρατηρητές, τα πράγματα μπορεί να ήταν πολύ διαφορετικά, το οποίο βέβαια ναι μεν θεωρητικά έχει βάση, στην ουσία όμως πιστεύουμε ότι το μάθημα πάλι θα κέρδιζε τους μαθητές, διότι κατά τη διάρκεια αυτού του μαθήματος ήταν τόσο απορροφημένοι που δε φαινόταν να αντιλαμβάνονται την παρουσία των παρατηρητών. Μια άλλη παρατήρηση είχε σχέση με τη σύνδεση του μαθήματος με το Αναλυτικό Πρόγραμμα. Παρότι μέχρι στιγμής υπάρχει μερική σύνδεση, και μόνο με το αντικείμενο της βιολογίας, το πειραματικό αυτό μάθημά μας και άλλες πιο συστηματικές ερευνητικές εργασίες που θα γίνουν στο μέλλον, θα μπορούσαν να γίνουν η αρχή για μια ευρύτερη εισδοχή των Πολύπλοκων Συστημάτων στο Διαθεματικό Πλαίσιο. Μερικοί καθηγητές των φυσικών επιστημών μας δήλωσαν ότι βρίσκουν το πρόγραμμα NetLogo ενδιαφέρον και ότι το μελετούν με σκοπό να το χρησιμοποιήσουν στην τάξη. Αλλά και καθηγητές άλλων ειδικοτήτων έδειξαν ενδιαφέρον με απτό αποτέλεσμα την απόφαση για συνεργατικό σχεδιασμό μαθημάτων. Συγκεκριμένα ετοιμάζουμε μάθημα με το μοντέλο της NetLogo

'segregation' στην Κοινωνιολογία Γενικής Παιδείας της Γ' Λυκείου. Το γεγονός ότι αυτό, το επίσης πειραματικό, μάθημα θα γίνει με τους ίδιους μαθητές της Γ' Λυκείου θα μας δώσει την ευκαιρία να διορθώσουμε λάθη που κάναμε.

Συμπερασματικά, το πειραματικό αυτό μάθημα, αν και δε γνωρίζουμε τι ακριβώς δίδαξε στους μαθητές, έμαθε σε εμάς ορισμένα καινούργια πράγματα. 1) Μπορεί να κινηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών για τα Πολύπλοκα Συστήματα και τις προσομοιώσεις τους. 2) Τόσο τα Πολύπλοκα Συστήματα όσο και οι προσομοιώσεις τους απαιτούν συστηματικό τρόπο διδασκαλίας ο οποίος θα έπρεπε να αρχίζει από το Δημοτικό Σχολείο – όπως άλλωστε γίνεται και αλλού, όπως έχουμε περιγράψει παραπάνω. 3) Η Ετεροπαράτηρηση στη διδασκαλία μπορεί να αποβεί εργαλείο όχι μόνο για τη βελτίωση της διδασκαλίας του καθενός μας αλλά και για τη βελτίωση του ίδιου του Α.Π.

Τελειώνοντας, τονίζουμε ότι τα Πολύπλοκα Συστήματα υπάρχουν παντού γύρω μας, στη φύση, στην κοινωνία και σε όλες τις εκφάνσεις τους: στο νου, στην ψυχή, στη γνώση, στη γλώσσα, στην επικοινωνία και στα μαθηματικά. Το ίδιο και τα Πολύπλοκα Προβλήματα. Η σχολική τάξη είναι ένα Πολύπλοκο Σύστημα και η μάθηση ένα Πολύπλοκο Πρόβλημα. Βασική ιδιότητα της μάθησης είναι ότι στηρίζεται στην ανάδραση η οποία είναι επίσης βασική ιδιότητα των Πολύπλοκων Συστημάτων. Μια ανάδραση η οποία δεν επηρεάζει μόνο τη γνώση – δε δημιουργεί απλώς νέα γνώση – αλλά αλλάζει και τα νοητικά μοντέλα και τους νοητικούς χάρτες με τους οποίους μαθαίνουμε (Sterman, 1994). Τι περισσότερο ενδιαφέρον από την ανάδραση που οφείλεται στους ανθρώπους με τους οποίους συνεργαζόμαστε καθημερινά στο σχολείο; Δηλαδή στους μαθητές και στους καθηγητές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

English, L. D. (2007). Complex Systems in the Elementary and Middle School Mathematics Curriculum: A Focus on Modeling. *The Montana Mathematics Enthusiast*, Monograph 3, pp.139-156.

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 Applications* 13(3): 275-297.

Gupta, A. K., Smith, K. J. & Shalley, C. E. (2006). The Interplay between Exploitation and Exoloration. *Akademy of Management Journal*, Vol. 49, No 4, 693-706. <http://engema.org.br/upload/827-67.pdf> [Προσπέλαση 21-2-2014].

Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S. & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*. 16(3) pp. 307-31.

Indiana Univ. (2013). Federal grant funding IU project to understand how children learn about complex systems. <http://newsinfo.iu.edu/news/page/normal/24568.html> [Προσπέλαση 21-2-2014].

NetLogo User Manual (2012).<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/> [Προσπέλαση 21-2-2014].

Petreska, I., Stamatopouloy, I. (2013). A Comparative Study of Tools for Visualisation of State-Based Spatial Multi-Agent Models. Proc. of the 6th Balkan Conference in Informatics, Pg. 53-60.

Project GUTS (2014). Growing Up Thinking Scientifically. <http://www.projectguts.org/> [Προσπέλαση 21-2-2014].

SFI (2014). Complexity Explorer. <http://www.complexityexplorer.org/> Προσπέλαση 21-2-2014.

Sterman, J., D. (1994). Learning in and about Complex Systems. *System Dynamics Review* Vol 10 No 2-3 Summer-Fall.

University of Chicago (2011). Collaborative Research: Learning About Complex Systems in Middle School by Constructing Structure-Behavior-Function Models. <https://arc.uchicago.edu/reese/projects/collaborative-research-learning-about-complex-systems-middle-school-constructing-st-0> [Προσπέλαση 21-2-2014].

Wilensky, U. (1997). NetLogo Ants model. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants> [Προσπέλαση 21-2-2014].

Wilensky, U. (1999). NetLogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/> [Προσπέλαση 21-2-2014].

Γιάτας, Δ. (2012). Διερευνώντας το προφίλ του καθηγητή πληροφορικής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση: επιμορφωτικές ανάγκες και πολιτικές. Ημερίδα: Σύγχρονα ερευνητικά προβλήματα στο πεδίο της ηλεκτρονικής μάθησης: Τάσεις και μεθοδολογίες μελέτης. Μάιος. Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμ. Κοινωνικής και Εκπαιδευτικής Πολιτικής, Ερ. Ομάδα Ηλεκτρονικής Μάθησης .

Γκαράς, Γ. (2008). Επιστήμη στο παιδικό βιβλίο. Πώς τα εικονογραφημένα βιβλία βοηθούν τα παιδιά να αναπτύξουν επιστημονική σκέψη. 2^ο Διεθνές Διεπιστημονικό Συνέδριο «Επιστήμη και Τέχνη: Κοινή Πορεία προς το Ωραίο και την Αλήθεια;» Ε.Ε.Φ, Αθήνα, Ιανουάριος. <http://users.sch.gr/ggaras/> (Επιστήμη στο Παιδικό Βιβλίο) [Προσπέλαση 21-2-2014].

Γκιόλμας Α., Χαλκίδης Α., Σταύρου Δ. & Σκορδούλης Κ. (2008). Το Περιεχόμενο της Έννοιας «Πολυπλοκότητα» ως \Χαρακτηριστικό των Οικοσυστημάτων. Η Εκπαιδευτική Αξία και οι Στόχοι της Διδασκαλίας της. Στο: Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου της ΠΕΕΚΠΕ «Προς την Αειφόρο Ανάπτυξη: Φυσικοί Πόροι, Κοινωνία, Περιβαλλοντική Εκπαίδευση», Ναύπλιο, Δεκέμβριος.

Ραγιαδάκος, Χ. (2011). Βασικά Χαρακτηριστικά της Διερευνητικής Μεθόδου στη Μάθηση και τη Διδασκαλία. Υλικό που μοιράστηκε σε σεμινάρια επιμόρφωσης εκπαιδευτικών.