

Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 1 (2018)

9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική της Πληροφορικής



Διδασκαλία Βασικών Εννοιών Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων σε Μαθητές Γυμνασίου με τη NetLogo

Αρχοντία Σαββιδάκη, Γεώργιος Φεσάκης

Βιβλιογραφική αναφορά:

Σαββιδάκη Α., & Φεσάκης Γ. (2022). Διδασκαλία Βασικών Εννοιών Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων σε Μαθητές Γυμνασίου με τη NetLogo. *Συνέδρια της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας & Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση*, 1, 46–53. ανακτήθηκε από <https://eproceedings.epublishing.ekt.gr/index.php/cetpe/article/view/4023>

Διδασκαλία Βασικών Εννοιών Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων σε Μαθητές Γυμνασίου με τη NetLogo

Σαββιδάκη Αρχοντία¹, Φεσάκης Γεώργιος²
asavidaki@gmail.com, gfesakis@rhodes.aegean.gr

¹ Β΄ Τοσίτσειο-Αρσάκειο Γυμνάσιο Εκάλης,

² Αναπληρωτής Καθηγητής Τ.Ε.Π.Α.Ε.Σ. - Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Περίληψη

Στην εργασία, διερευνάται η επίδραση ειδικά σχεδιασμένης Διδακτικής Παρέμβασης σε συνδυασμό με το προγραμματιστικό περιβάλλον NetLogo σε μαθητές Γυμνασίου (ηλικίας 14-15) όσον αφορά στην κατανόηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων. Η Διδακτική Παρέμβαση και το συνοδευτικό εκπαιδευτικό υλικό, σχεδιάστηκε με κεντρικό θέμα τη διερεύνηση ενός έτοιμου μοντέλου για τη μελέτη της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η παρέμβαση αξιοποιεί την ομαδοσυνεργατική προσέγγιση και εντάσσεται στο πλαίσιο του κοινωνικού εποικοδομητισμού σε συνδυασμό με τη διερευνητική μάθηση, όπου αξιοποιούνται οι εμπειρικο-βιωματικές γνώσεις των μαθητών και προωθείται η συνεργασία είτε μεταξύ των μαθητών, είτε μεταξύ μαθητών-δασκάλου. Οι μαθητές πριν και μετά την παρέμβαση απάντησαν ένα ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων. Από τα ερευνητικά ευρήματα ενισχύεται η άποψη για θετική επίδραση της παρέμβασης και του περιβάλλοντος NetLogo στους μαθητές του δείγματος σε σχέση με την κατανόηση των χαρακτηριστικών των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και την ανάπτυξη Συστημικής και Υπολογιστικής σκέψης γενικότερα.

Λέξεις κλειδιά: Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα, NetLogo, Γυμνάσιο, Υπολογιστική Σκέψη, Διδακτική Παρέμβαση

Εισαγωγή

Τα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα (ΠΔΣ-Complex Dynamic Systems) χαρακτηρίζονται από δυσκολία στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους από τον ανθρώπινο νου, η οποία έχει ως αποτέλεσμα να προκαλούνται δυσκολίες στην κατανόησή τους. Ως ΠΔΣ θεωρούμε, άτυπα, *κάθε σύστημα που αποτελείται από ένα σύμπλεγμα οντοτήτων/αντικειμένων/δομικών στοιχείων, που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους ή/και με το περιβάλλον του συστήματος, επηρεάζοντας την εξέλιξή τους και την εξέλιξη όλου του συστήματος κατά την πάροδο του χρόνου με μη αναλυτικά προβλέψιμο τρόπο.*

Σύμφωνα με τον Sterman (2001) (στο Φεσάκης & Λαζακίδου, 2017) η πολυπλοκότητα των συστημάτων πηγάζει από μια σειρά χαρακτηριστικών τους, τα οποία δεν είναι απαραίτητο να εμφανίζονται όλα στο ίδιο πολύπλοκο σύστημα. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων μεγάλο αριθμό αλληλεπιδρώντων στοιχείων, ισχυρή διασύνδεση, ανατροφοδότηση, μη γραμμικότητα, αντι-διαισθητική συμπεριφορά, ευαισθησία στις αρχικές συνθήκες και έλλειψη κεντρικού ελέγχου. Τις τελευταίες δεκαετίες, για την αντιμετώπιση των δυσκολιών στη μελέτη των ΠΔΣ, έχουν αναπτυχθεί υπολογιστικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης, τα οποία χρησιμοποιούνται βασικά ως επιστημολογικά εργαλεία. Παράλληλα, πιο πρόσφατα, εμφανίστηκαν εκπαιδευτικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης ΠΔΣ, όπως το STELLA, η StarLogo (Klopfer et al, 1994 & Colella et al, 2001 στο Κυροδήμου, Φεσάκης & Φλογαίτη 2015), και η NetLogo (Wilensky, 1997; 1999), με τα οποία οι μαθητές μπορούν να διερευνήσουν ΠΔΣ. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας το περιβάλλον NetLogo

επιλέχθηκε για να αξιοποιηθεί ως κατάλληλο για τη διδασκαλία πολύπλοκων, φυσικών ή κατασκευασμένων από άνθρωπο συστημάτων.

Στο επίπεδο της σύγχρονης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, βάσει των επίσημων αναλυτικών προγραμμάτων, λίγα διδάσκονται για τα ΠΔΣ και τη συστημική προσέγγιση. Το πρόβλημα επιτείνεται επειδή στη δομή των αναλυτικών προγραμμάτων επικρατεί σε μεγάλο ποσοστό η αυστηρή οριοθέτηση των κλάδων και σπανίζει η διεπιστημονική προσέγγιση προβλημάτων. Έτσι οι μαθητές αποκτούν, στην καλύτερη περίπτωση, ένα οριοθετημένο σώμα ασύνδετης γνώσης.

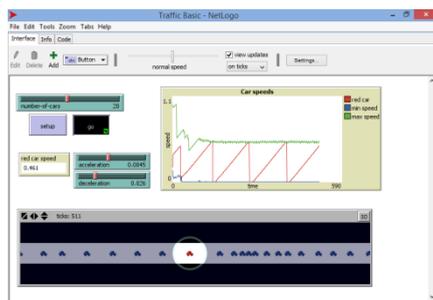
Ο Jay Forrester (1992) έχει προτείνει τη δυναμική συστημάτων (system dynamics) σε συνδυασμό με τη μαθητοκεντρική προσέγγιση (learner centered learning) ως πλαίσιο για επίτευξη συνοχής, νοήματος και κινητήρων στη σύγχρονη εκπαίδευση όλων των βαθμίδων (Forrester, 1992 στο Φεσάκης & Λαζακίδου, 2017). Η σημασία της ανάπτυξης της Συστημικής Σκέψης μέσα από την υπολογιστική μοντελοποίηση γίνεται περισσότερο φανερή αν λάβει κανείς υπόψη ότι η Συστημική Σκέψη (ΣΣ) και η μελέτη των ΠΣΔ θεωρούνται βασικές διαστάσεις της Υπολογιστικής Σκέψης (Fesakis, Komis, Mavroudi & Prantsoudi, 2018).

Οι σχετικές προσπάθειες είναι διεθνώς σχετικά λίγες και στην Ελλάδα ακόμα σε αρχικό στάδιο (Χαλκίδης, Γκιόλμας, Στούμπα, Κονταξή, & Σκορδούλης, 2016). Προς την κατεύθυνση της διερεύνησης της δυνατότητας διεπιστημονικής προσέγγισης της ΣΣ από μαθητές Γυμνασίου εκπονήθηκε μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία (Σαββιδάκη, 2016) της πρώτης συγγραφέως με την επίβλεψη του δεύτερου στο πλαίσιο της οποίας, σχεδιάστηκε και δοκιμάστηκε πειραματικά Διδακτική Παρέμβαση (ΔΠ) που αξιοποιεί την NetLogo. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν μέσω της ΔΠ να γίνει διερεύνηση της επίδρασης του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Γυμνασίου, όσον αφορά α) στην κατανόηση της έννοιας «Πολύπλοκο Δυναμικό Σύστημα» και χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των ΠΔΣ (Serman, 2001), β) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων ΣΣ (Assaraf & Orion, 2005) και γ) στην εξέλιξη της ιδέας του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί συνήθως η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν ΠΔΣ (Resnick, 1994). Τα θετικά αποτελέσματα για τα σχετικά με την κατανόηση της έννοιας ΠΔΣ, την ανάπτυξη της ΣΣ και την παρανόηση του κεντρικού ελέγχου αναλύονται στο Σαββιδάκη & Φεσάκης (2017). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η διερεύνηση της επίδρασης της ΔΠ σε συνδυασμό με τη NetLogo στους μαθητές, όσον αφορά την κατανόηση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των ΠΔΣ.

Η διδακτική παρέμβαση

Στη ΔΠ χρησιμοποιήθηκε το έτοιμο μοντέλο «Traffic Basic» (Wilensky, 1997) (σχήμα 1), που βρίσκεται στο φάκελο Social Science της βιβλιοθήκης της NetLogo (Έκδοση 5.3.1.), προκειμένου να διερευνηθεί το ΠΔΣ, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση. Το μοντέλο αναπαριστά την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μια κατεύθυνση. Κάθε αυτοκίνητο ακολουθεί ένα απλό σύνολο κανόνων: α) *επιβραδύνει (φρενάρει) εάν «βλέπει» ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και β) τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), εάν δεν «δει» ένα αυτοκίνητο μπροστά του. Η μελέτη του μοντέλου δείχνει ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να προκληθεί ακόμα και χωρίς ατυχήματα, γκρεμισμένες γέφυρες, ή φορτηγά που έχουν ανατραπεί, χωρίς να είναι απαραίτητο να υπάρχει μια «κεντρική αιτία». Στο πλαίσιο της ΔΠ οι μαθητές με τη βοήθεια ενός Φύλλου Εργασίας με τίτλο «Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic» (διαθέσιμο στη δ/ση <https://goo.gl/rretvB>) καθοδηγούνται από την εξοικείωση με το μοντέλο και τις παραμέτρους του στη συστηματική διερεύνηση της συμπεριφοράς του υπό διάφορες συνθήκες ώστε να ανακαλύψουν τα αναδυόμενα μοτίβα της συμπεριφοράς του και τελικά να διατυπώσουν τις απόψεις τους για το πως δημιουργείται η κυκλοφοριακή συμφόρηση στο σύστημα. Για τη σχεδίασή του Φύλλου*

Εργασίας χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 5E (Ενεργοποίηση/ Engagement, Διερεύνηση-Εξερεύνηση/Exploration, Ερμηνεία-Εξήγηση/Explanation, Επεξεργασία - Εφαρμογή/Elaboration και Αξιολόγηση/Evaluation) (Bybee et. Al., 2006). Το Διδακτικό αυτό Μοντέλο υποστηρίζει τη μάθηση που βασίζεται στην διερεύνηση (Inquiry-Based Learning) σύμφωνα με το οποίο οι μαθητές μαθαίνουν μέσα και γύρω από την επιστημονική έρευνα και όχι από την παρουσίαση της επιστημονικής γνώσης από τους εκπαιδευτικούς (IBSE, 2011). Λειπομέρειες για τα βήματα της ΔΠ και το εκπαιδευτικό υλικό στο (Σαββιδάκη, 2016).



Σχήμα 3. Στιγμιότυπο από την διεπαφή χρήστη του μοντέλου «Traffic Basic» στη NetLogo

Οι μαθησιακοί στόχοι της Διδακτικής Παρέμβασης

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή η ΔΠ είχε μια σειρά μαθησιακών και ερευνητικών στόχων η αναλυτική παρουσίαση των οποίων δεν είναι εφικτή στον περιορισμένο χώρο της παρούσας εργασίας. Στον πίνακα 1 καταγράφονται οι Μαθησιακοί Στόχοι (ΜΣ) της ΔΠ που σχετίζονται με βασικά χαρακτηριστικά των ΠΔΣ. Η επίδραση της ΔΠ στην κατανόηση των στόχων του πίνακα 1 από τους μαθητές είναι το ζήτημα που αναλύεται στην εργασία.

Πίνακας 1. Μαθησιακοί στόχοι της Διδακτικής Παρέμβασης

A/A	Περιγραφή	Κεντρική Έννοια
ΜΣ1	Να συμπεραίνουν ότι τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά.	Ανατροφοδότηση
ΜΣ2	Να συμπεραίνουν ότι τα αποτελέσματα είναι συχνά δυσανάλογα με τα αίτια. Ότι συμβαίνει τοπικά σε κάποια περιοχή του συστήματος δεν προδικάζει τι θα συμβεί σε απομακρυσμένες περιοχές ή άλλες περιστάσεις.	Μη γραμμικότητα
ΜΣ3	Να παρατηρούν ότι η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή.	Αυτό-οργάνωση
ΜΣ4	Να παρατηρούν ότι οι ικανότητες και οι κανόνες λειτουργίας των στοιχείων των πολύπλοκων συστημάτων μεταβάλλονται με το χρόνο καθώς εξελίσσονται και προσαρμόζονται ανάλογα με την αλληλεπίδραση του συστήματος με το περιβάλλον του και την αντιμετώπιση προβλημάτων.	Προσαρμοστικότητα
ΜΣ5	Να συμπεραίνουν ότι πολλές φορές τα πολύπλοκα συστήματα εμφανίζουν συμπεριφορά αντίθετη από αυτή, που θα προέβλεπε κανείς με την κοινή λογική ως αντίδραση σε κάποια μεταβολή.	Αντι-διαισθητική συμπεριφορά & γνωστική σύγκρουση

Ερευνητική μεθοδολογία και ερευνητικές συνθήκες

Η έρευνα αποτελεί μεθοδολογικά μια έρευνα με σχεδιασμό με βασικό παραδοτέο την προτεινόμενη ΔΠ για την αξιολόγηση της οποίας εφαρμόστηκε μελέτη περίπτωσης. Η εκπαιδευτικός-ερευνητρια συμμετείχε ενεργά στην υλοποίηση της παρέμβασης και ανέλαβε

τον ρόλο του ενεργού παρατηρητή. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Πληροφορικής του Ιδιωτικού Σχολείου-Β' Αρσακείου-Τοισιτσείου Γυμνασίου Εκάλης, στο Νομό Αττικής. Το δείγμα που έλαβε μέρος στην έρευνα ήταν 47 μαθήτριες/τές (διαφόρων επιδόσεων) των τμημάτων Β1' (26) και Γ2' (21) του Γυμνασίου (ηλικίας 14-15 ετών), το σχολικό έτος 2016-2017. Οι μαθητές σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της ΔΠ, εργάστηκαν ομαδοσυνεργατικά, σε ομάδες που δημιούργησαν οι ίδιοι. Κάθε ομάδα χρησιμοποιούσε κάθε φορά τον ίδιο από τους 14 υπολογιστές του εργαστηρίου και εργαζόταν με βάση το Φύλλο Εργασίας το οποίο αποτέλεσε τον πυρήνα της ΔΠ. Ατομικά συμπλήρωσαν ένα *Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων*, (διαθέσιμο στη δ/ση <https://goo.gl/yb5Wu1>) πριν και μετά από τη ΔΠ. Η ΔΠ υλοποιήθηκε, στο πλαίσιο του μαθήματος της Πληροφορικής, τις 3 τελευταίες εβδομάδες του Νοεμβρίου του 2016 και για την ολοκλήρωσή της χρειάστηκαν 11 διδακτικές ώρες, ξεχωριστά για κάθε τμήμα. Η ΔΠ εντάχθηκε στο υπάρχον αναλυτικό πρόγραμμα, στην ενότητα *Διερευνώ, ανακαλύπτω και λύνω προβλήματα* για τη Β' Τάξη και *Διερευνώ, σχεδιάζω και λύνω προβλήματα* για τη Γ' Τάξη (ΠΣΓ, 2011). Δεν υπήρχαν προ-απαιτούμενες γνώσεις.

Οι μαθητές διερεύνησαν το μοντέλο «Traffic Basic» προκειμένου να αναγνωρίσουν μοτίβα στη συμπεριφορά του και να διατυπώσουν πως αυτά σχετίζονται με τις ρυθμίσεις των μεταβλητών, *ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ* και *ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ*, που είναι οι βασικές παράμετροι του μοντέλου. Παράλληλα προσπάθησαν να δώσουν απάντηση στο πρόβλημα, που τέθηκε στο Φύλλο Εργασίας: *Ποια είναι η αιτία που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση-κατάρρευση;*. Προκειμένου να απαντήσουν, καθοδηγήθηκαν να διερευνήσουν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις τιμών των παραμέτρων, καταγράφοντας σε κάθε μια από αυτές τον ελάχιστο και τον μέγιστο αριθμό αυτοκινήτων που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Κατά την διαδικασία αυτή οι μαθητές εξοικειώνονται με την συμπεριφορά του συγκεκριμένου ΠΣΔ και αρχίζουν να παρατηρούν τις ιδιότητες του, που διαφέρουν από τα συνήθη αναλυτικά αιτιοκρατικά συστήματα που μελετούν συνήθως. Η έκθεση αυτή των μαθητών στην συμπεριφορά των ΠΔΣ αναμένεται να βοηθήσει στην ανάπτυξη της κατανόησης των βασικών ιδιοτήτων των ΠΔΣ που έχουν ενταχθεί στους Μαθησιακούς Στόχους της Δ/κης Παρέμβασης (πίνακας 1).

Ερευνητικά Ερωτήματα

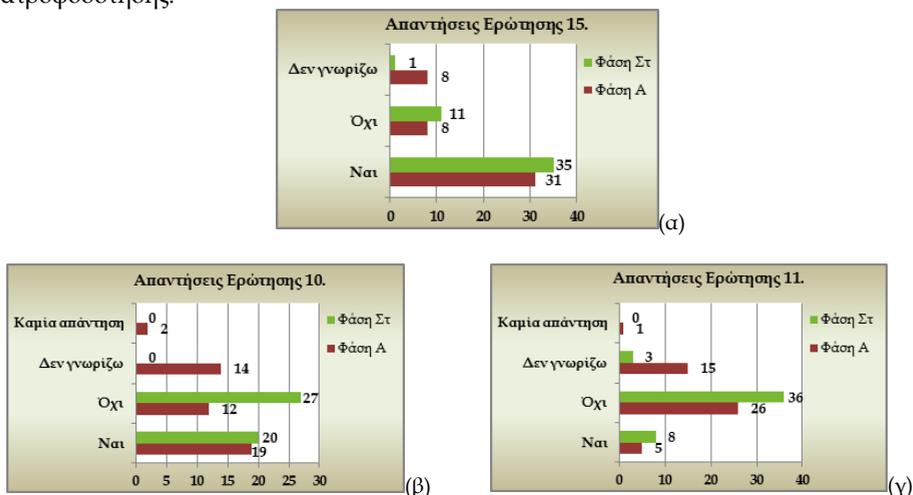
Το ερευνητικό ερώτημα, στην παρούσα εργασία, είναι κατά πόσο η προτεινόμενη Διδακτική Παρέμβαση σε συνδυασμό με το περιβάλλον NetLogo μπορεί να επιδράσει στην ανάπτυξη της κατανόησης των βασικών χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων που εμφανίζονται στον πίνακα 1 από μαθητές Γυμνασίου.

Ανάλυση ερευνητικών δεδομένων

Στην ενότητα αυτή αναλύονται τα ευρήματα της έρευνας που προέκυψαν από τις απαντήσεις των μαθητών στο *Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων*.

Παρατηρώντας το σχήμα 2α), που αφορά στις απαντήσεις της Ερώτησης 15 «*Η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους;*», διαπιστώνουμε ότι, η πλειονότητα των μαθητών και πριν (31/47), αλλά και μετά τη ΔΠ (35/47), αντιλαμβάνεται, ότι η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική τους συμπεριφορά. Επομένως οι μαθητές αναγνωρίζουν την **Ανατροφοδότηση** ως χαρακτηριστικό του ΠΔΣ της κυκλοφοριακής συμφόρησης (**στόχος ΜΣ1**). Ταυτόχρονα ένας σημαντικός αριθμός μαθητών εξακολουθεί, μετά την Παρέμβαση, να

απαντά Όχι (11/47) αντιμετωπίζοντας δυσκολίες να αντιληφθεί τη σημασία της ανατροφοδότησης.



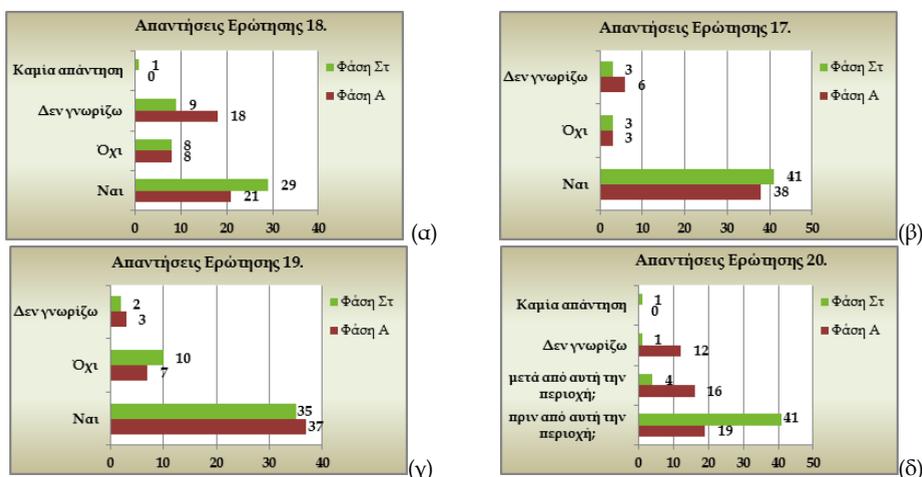
Σχήμα 4α, 2β, 2γ. Απαντήσεις Ερωτήσεων 15, 10 και 11

Στα σχήματα 2β) και 2γ) συνοψίζονται οι απαντήσεις των Ερωτήσεων 10 και 11 αντίστοιχα, που αφορούν στην αντίληψη της στοχαστικότητας των ΠΣΔ. Στο σχήμα 2β), στην Ερώτηση 10: «Αν εκτελέσουμε δυο φορές το ίδιο μοντέλο στον υπολογιστή, αν οι αρχικές συνθήκες είναι ίδιες, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα;» ένας σημαντικός αριθμός μαθητών απαντά *Ναι* ή *Δεν γνωρίζω*, τόσο πριν (Φάση Α) όσο και μετά (Φάση Στ) τη ΔΠ, ενώ παρατηρείται σημαντική αύξηση των μαθητών που απάντησαν *Όχι* μετά τη ΔΠ (πριν 12/47-μετά 27/47). Παρόμοια είναι η κατάσταση στο σχήμα 2γ) όπου παρατηρούμε, ότι στην Ερώτηση 11: «Αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες που αφορούν ένα φαινόμενο που αφορά σε σύστημα που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος (π.χ. κυκλοφοριακή συμφόρηση) είναι ίδιες, το ίδιο φαινόμενο θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη;», αυξάνεται ο αριθμός των μαθητών που απάντησαν *Όχι* μετά την ΔΠ (πριν 26/47-μετά 36/47), αλλά ένα σημαντικό ποσοστό απαντά *Ναι* (πριν 5/47-μετά 8/47). Οι μαθητές λοιπόν, σε μεγάλο ποσοστό με τη βοήθεια της ΔΠ αντιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά της **Μη γραμμικότητας (στόχος ΜΣ2)** των ΠΔΣ, αν και ένα ποσοστό πιστεύει ότι με ίδιες αρχικές συνθήκες τόσο το μοντέλο όσο και τα πραγματικά συστήματα πρέπει να εμφανίζουν ίδια εξέλιξη στη συμπεριφορά. Οι μαθητές αυτοί είναι πιθανό να αντιμετωπίζουν μια γνωστική δυσκολία σχετικά με τα ΠΔΣ επειδή εκτελώντας το μοντέλο «Traffic Basic» επανειλημμένες φορές με ίδιες αρχικές συνθήκες παρατήρησαν ότι, η εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων ήταν κάθε φορά διαφορετική, τα μοτίβα της οποίας, μάλιστα, είχαν κληθεί κάποιες φορές να τα σχεδιάσουν, αλλά παρόλα αυτά απάντησαν *Ναι*.

Στο σχήμα 3α) συνοψίζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 18 «*Τα μοτίβα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων*»;». Παρατηρούμε ότι το ποσοστό των μαθητών που απάντησε *Ναι* τόσο πριν (21/47), όσο και μετά τη ΔΠ (29/47) είναι υψηλό, με μια μικρή αύξηση μετά τη ΔΠ, που υιοθετεί την άποψη αυτή. Επίσης, παρατηρούμε ότι ένας σημαντικός αριθμός μαθητών απαντά *Όχι* (8/47) ή *Δεν Γνωρίζω* (9/47) ακόμα και μετά τη ΔΠ. Οι συγκεκριμένοι μαθητές είναι πιθανόν να μην έχουν εμπειρία οδήγησης για να απαντήσουν, ή/και να μην κατανοούν την έννοια της *Αυτό-οργάνωσης* σύμφωνα με την οποία η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή και συχνά μικρές τυχαίες διαταραχές

ενισχύονται και διαμορφώνονται από την ανατροφοδότηση, δημιουργώντας μοναδικά μοτίβα στο χώρο και στο χρόνο (**Αυτό-οργάνωση**), όπως τα μοτίβα, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης, τα οποία οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων (**στόχος ΜΣ3**).

Το σχήμα 3β) αφορά στις απαντήσεις της Ερώτησης 17 «Κατά τη γνώμη σου κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις που δημιουργούνται;». Παρατηρούμε ότι οι συντριπτική πλειονότητα των μαθητών απαντούν *Ναι* και πριν και μετά την ΔΠ (πριν 38/47-μετά 41/47). Οι μαθητές αν και σε επίπεδο μοντέλου δυσκολεύτηκαν περισσότερο να κατανοήσουν την έννοια της ανατροφοδότησης (όπως δείχνουν στις απαντήσεις τους στην Ερώτηση 15) σε επίπεδο ανθρώπινης συμπεριφοράς φαίνεται να κατανοούν περισσότερο ότι οι ικανότητες και οι κανόνες λειτουργίας των στοιχείων των πολύπλοκων συστημάτων μεταβάλλονται με το χρόνο καθώς **εξελισσονται** και **προσαρμόζονται** ανάλογα με την αλληλεπίδραση του συστήματος με το περιβάλλον του και την αντιμετώπιση προβλημάτων (**στόχος ΜΣ4**).



Σχήμα 5α, 3β, 3γ, 3δ. Απαντήσεις Ερωτήσεων 18, 17, 19 και 20

Αντιφατικά είναι τα συμπεράσματα που αφορούν στο χαρακτηριστικό των ΠΔΣ, που σχετίζεται με την *Αντί-διαισθητική συμπεριφορά* (**στόχος ΣΜ5**). Από τις απαντήσεις της Ερώτησης 19: «Υπάρχει περίπτωση ενώ όλοι οι οδηγοί προσπαθούν να οδηγούν σωστά τα αυτοκίνητα, να δημιουργηθούν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα χωρίς να υπάρχει προφανής λόγος, όπως π.χ. ένα ατύχημα;», φαίνεται ότι, η ΔΠ δεν βοήθησε όλους τους μαθητές να κατανοήσουν ότι, ενδέχεται να προκύψουν καταστάσεις «σταμάτα-ξεκίνα», παρά τις προσπάθειες των οδηγών να κινούνται μπροστά και ομαλά και κατά συνέπεια να συμπεράνουν ότι πολλές φορές τα πολύπλοκα συστήματα εμφανίζουν συμπεριφορά αντίθετη από αυτή που θα προέβλεπε κανείς με την κοινή λογική (σχήμα 3γ). Αντίθετα από τις απαντήσεις της Ερώτησης 20: «Όταν κάποια στιγμή δημιουργηθεί σε μια περιοχή κυκλοφοριακή συμφόρηση, η συμφόρηση αυτή συμβαίνει», φαίνεται ότι, η όλη διαδικασία βοήθησε τους μαθητές τους να συμπεράνουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν συμβαίνει στην περιοχή της συμφόρησης αλλά πριν από αυτή (σχήμα 3δ).

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Συνοψίζοντας διαπιστώνουμε ότι, αρκετά χρόνια αφότου ο Forrester (1992) πρότεινε τη ΣΣ ως έναν τρόπο εξέλιξης της προσέγγισης των επιστημών στην γενική εκπαίδευση με την αξιοποίηση της ολιστικής διεπιστημονικής προσέγγισης και της υπολογιστικής μοντελοποίησης, διαμορφώνονται οι συνθήκες για την πρακτική της έρευνα και εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα. Βασικός λόγος της ωρίμανσης αυτής είναι η εξάπλωση των Η/Υ στην εκπαίδευση και η ανάπτυξη εκπαιδευτικών υπολογιστικών περιβαλλόντων μοντελοποίησης κατάλληλων για μαθητές. Όπως είναι επόμενο, οι σχετικές έρευνες αρχίζουν να πληθαίνουν όπως π.χ. η έρευνα για την έννοια της «κρίσιμης συμπεριφοράς» ή «κρίσιμης κατάστασης» (Scheffer, 2009, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016) που τόσο στην απλή της μορφή, όσο και στην αυτο-οργανωμένη μορφή της (Self Organised Criticality), απασχολεί τη βιβλιογραφία (Bak, Chen, & Tang, 1990; Bak, 2008, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016). Στην κατεύθυνση αυτή σχεδιάστηκε και η παρούσα έρευνα με σκοπό να διερευνήσει κατά πόσο οι μαθητές με ειδικά σχεδιασμένη ΔΠ και το περιβάλλον NetLogo μπορούν να κατανοήσουν βασικές ιδιότητες των ΠΔΣ. Από τα ερευνητικά ευρήματα φαίνεται ότι η ΔΠ και το περιβάλλον NetLogo συνέβαλαν στο να διαμορφώσει η πλειονότητα των μαθητών βελτιωμένες απόψεις για βασικά χαρακτηριστικά των ΠΔΣ. Επομένως οι ΔΠ αυτού του τύπου μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη της ΣΣ για την κατανόηση της πολυπλοκότητας, των κυκλικών σχέσεων αιτίας-αποτελέσματος και των αλληλεξαρτήσεων των γεγονότων, που συμβαίνουν γύρω μας και να κατανοούν καλύτερα πώς λειτουργεί ο «κόσμος». Σημαντική είναι επίσης η διαπίστωση ότι, είναι εφικτή η αξιοποίηση των λογισμικών περιβαλλόντων μοντελοποίησης ΠΔΣ από τους μαθητές ως επιστημολογικών εργαλείων και η χρήση τους για επίλυση προβλημάτων εφαρμόζοντας Υπολογιστική Σκέψη (Fessakis et al., 2018). Παρόλο που το δείγμα, που έλαβε μέρος στην έρευνα αυτή, είναι ευκαιριακό και περιορισμένο, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι είναι ενδεικτικό του τι μπορεί να πετύχει η συγκεκριμένη ΔΠ σε σχέση με τον σκοπό της.

Συμπεράσματα-Μελλοντικά σχέδια

Τα αποτελέσματα της έρευνας συμφωνούν με άλλες παρόμοιες (Χαλκίδης κ.ά., 2016) ότι δηλαδή, μαθητές Γυμνασίου φαίνεται να μπορούν να εμπλακούν με επιτυχία σε διερευνήσεις ΠΔΣ με το περιβάλλον NetLogo. Αξιοποιώντας το καινοτόμο περιβάλλον της NetLogo και αναπτύσσοντας κατάλληλο εκπαιδευτικό υλικό φαίνεται ότι δίνουμε στους μαθητές τη δυνατότητα να διερευνήσουν πολύπλοκα φαινόμενα και προβλήματα, που τους αφορούν και τους ενδιαφέρουν, εμπλεκόμενοι ενεργά στη διαδικασία της μάθησης, συνεργαζόμενοι με τους συμμαθητές τους, κάνοντας υποθέσεις, προβλέψεις, πειραματισμούς και ελέγχους και τους βοηθάμε να τα προσεγγίσουν με ένα διαφορετικούς τρόπους σκέψης, όπως η ΣΣ και η ΥΣ. Με τον τρόπο αυτό οικοδομούν γνώσεις, καλλιεργώντας μια σειρά από δεξιότητες και αξιοποιώντας παράλληλα τον προγραμματισμό Η/Υ ως επιστημολογικό εργαλείο για επίλυση διεπιστημονικών προβλημάτων. Η ΔΠ θα μπορούσε να επανασχεδιαστεί βελτιωμένη βάσει της εμπειρίας της πρώτης εφαρμογής της, να λυθούν ίσως προβλήματα, που παρουσιάστηκαν κατά την εφαρμογή της και να πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο δείγμα με βελτιωμένη μεθοδολογία και παράλληλα σε άλλες έννοιες, που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα και τη συστημική και Υπολογιστική Σκέψη.

Αναφορές

Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earthscience system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560.

- 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.
- Bybee et. al. (2006). The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness. Report for the Office of Science Education National Institutes of Health.
- Colella, V., Klopfer, E., & Resnick, M. (2001). *Adventures in Modeling: Exploring Complex, Dynamic Systems with StarLogo*. New York Teachers College Press.
- Fessakis, G., Komis, V., Mavroudi, E., Prantsoudi, S. (2018). Exploring the scope and the conceptualization of Computational Thinking at the K-12 classroom level curriculum, In M.S. Khine (Ed.) (2018). *Computational Thinking in the STEM Disciplines: Foundations and Research Highlights*. Switzerland: Springer
- Forrester, J. W. (1992). System dynamics and learner-centered-learning in kindergarten through 12th grade education. Text of remarks delivered December, 12, 1992.
- Inquiry Based Science Education (IBSE), (2011). The Pathway to Inquiry Based Science Teaching. PATHWAY/D2.1 The Features of Inquiry Learning: theory, research and practice <http://creations-project.eu/wp-content/uploads/2016/09/Download-3.pdf>
- Klopfer, E. (2003). Technologies to support the creation of complex systems models—using StarLogo software with students. *Biosystems*, 71(1-2), 111-122. Ανακτήθηκε 13 Δεκεμβρίου, 2015 από <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14568212>
- Resnick, M. (1994). *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Scheffer, M. (2009). *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review*, 43(4), pp. 8-27.
- Wilensky, U. (1997). NetLogo Traffic Basic model. 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.
- Κυροδήμου, Ε., Φεσάκης, Γ., & Φλογαίτη, Ε. (2015). Η Συστημική Δυναμική στην Εκπαίδευση για το Περιβάλλον και την Αειφορία Μια διδακτική πρόταση. Παρουσιάστηκε στο 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Βόλος.
- ΠΣΓ, (2011). Πρόγραμμα Σπουδών για τον Πληροφορικό Γραμματισμό στο Γυμνάσιο. Ανακτήθηκε 30 Ιουλίου, 2016, από http://digitalschool.minedu.gov.gr/info/newps/Νέο_Π.Σ._Πληροφορικής
- Σαββιδάκη, Α. (2016). Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Διπλωματική Εργασία στο ΠΜΣ "Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική προσέγγιση". Ρόδος.
- Σαββιδάκη, Α. & Φεσάκης, Γ. (2017). Αξιοποίηση του Πολυπρακτορικού Περιβάλλοντος της NetLogo στη Διδασκαλία Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Παρουσιάστηκε στο 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ, Σύρος
- Φεσάκης, Γ., Λαζακίδου, Γ. (2017). *Τεχνολογίες Πληροφορίας & Επικοινωνίας (ΤΠΕ) και Διακυβέρνηση Εκπαιδευτικών Οργανισμών*, Εκδόσεις Διάδραση, ISBN:978-618-5059-65-1
- Χαλκίδης, Α., Γκιόλιας, Α., Στούμπα, Α., Κονταξή, Μ., & Σκορδούλης, Κ. (2016). Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση. Στο Τ. Α. Mikropoulos, et al. (eds.), *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference "ICT in Education"*, Ioannina: HAICTE. 23-25 September 2016.