

Εισαγωγή στις θετικές και αρνητικές αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής με προσομοίωση NetLogo.

Γκαράς Γεώργιος¹, Βλάσση Μαρία², Γιάτας Δημήτριος³

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

² Καθηγήτρια Χημείας, 1^ο Πρότυπο Πειραματικό Γ. Λ. Αθηνών Γεννάδειο
mvlassi@yahoo.com

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μαθητές της Β' τάξης του σχολείου μας εισήχθησαν στις έννοιες **θετική ανάδραση** και **αρνητική ανάδραση** και στο ρόλο τους στα Πολύπλοκα Συστήματα μέσα από το παράδειγμα της **Παγκόσμιας Κλιματικής Αλλαγής** στο πλαίσιο του μαθήματος Χημείας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ελεύθερο διαδικτυακό περιεχόμενο και μια προσομοίωση με το λογισμικό Πολλαπλών Πρακτόρων, Μοντελοποίησης και Οπτικής Αναπαράστασης **Netlogo**. Η κλιματική αλλαγή παρουσιάστηκε στους μαθητές μέσω ενός βίντεο – πτυχιακή εργασία φοιτητών του Πανεπιστημίου του Αιγαίου - και με άλλο υλικό από το διαδίκτυο. Οι μαθητές πειραματίστηκαν με το μοντέλο **Climate Change** της NetLogo μελετώντας τις επιπτώσεις των παραμέτρων **ηλιακή δράση, αέρια θερμοκηπίου, λευκαύγεια και νέφωση** στη μέση θερμοκρασία του πλανήτη. Στη συνέχεια υπέθεσαν την ύπαρξη διαφόρων θετικών και αρνητικών αναδράσεων τις οποίες κατέγραψαν μαζί με τις προβλέψεις τους για την εξέλιξη της θερμοκρασίας του πλανήτη και τις προσομοίωσαν χρησιμοποιώντας το μοντέλο. Οι αλλαγές στις γνώσεις και στις στάσεις των μαθητών ελέγχθηκαν με ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο το οποίο οι μαθητές συμπλήρωσαν πριν και μετά τα μαθήματα.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ: Εκπαιδευτική έρευνα ή Διδακτική μεθοδολογία και προτάσεις.

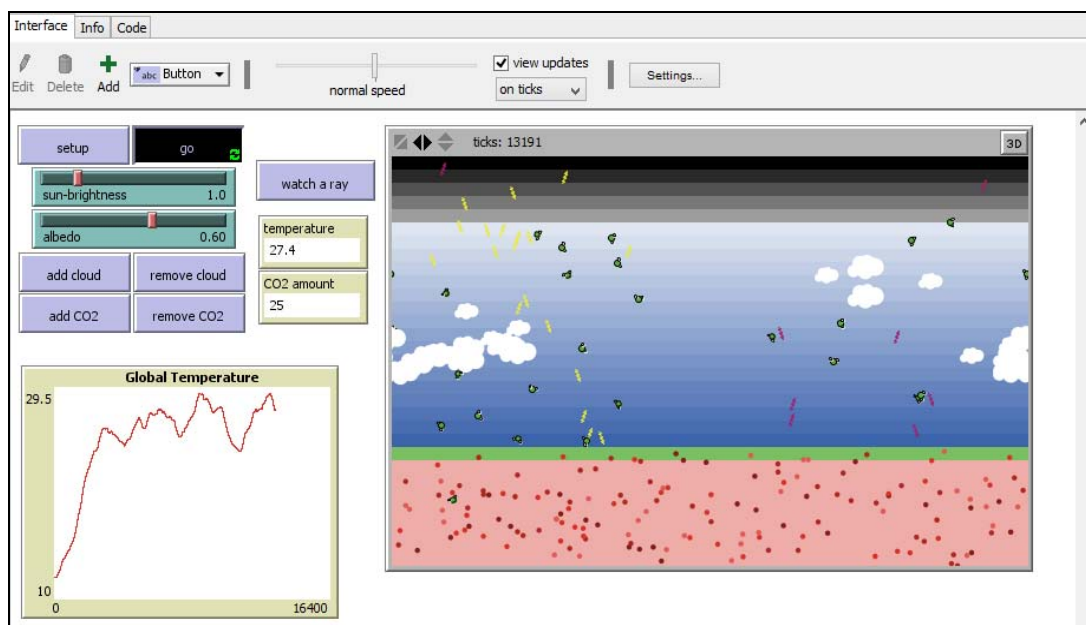
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή, λογισμικό Netlogo.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα εργασία γίνεται στο πλαίσιο της έρευνας που αναλάβαμε στο 1^ο Πρότυπο Πειραματικό ΓΕΛ Αθήνας σχετικά με τη δυνατότητα των μαθητών Λυκείου να αφομοιώνουν έννοιες από τη θεωρία των Πολύπλοκων Συστημάτων. Όπως έχουμε περιγράψει σε προηγούμενες δημοσιεύσεις μας η ανάγκη αυτή έχει επισημανθεί από διεθνή ιδρύματα τα οποία έχουν εκπονήσει σχετικά προγράμματα. Σε προηγούμενες δημοσιεύσεις έχουμε περιγράψει το λογισμικό **NetLogo** και πως αυτό και τα μοντέλα-προσομοιώσεις οπτικής αναπαράστασης, πολλαπλών πρακτόρων, που περιλαμβάνει,

μπορούν να αξιοποιηθούν για την ενεργή διδασκαλία εννοιών των Πολύπλοκων Συστημάτων στο σχολικό εργαστήριο (Γκαράς κ.α., 2014 α,β).

Η εικόνα που έχουν οι σύγχρονοι μαθητές για τον κόσμο είναι σαφώς διαφορετική από την εικόνα των γονέων τους διότι μεγάλωσαν εντός της εκρηκτικής επανάστασης των ηλεκτρονικών μέσων. Ο κόσμος φανερώθηκε σε αυτούς με έναν διαφορετικό τρόπο από αυτόν των προηγούμενων γενεών. Εκδηλώθηκε μέσα από την «οντοφάνεια» της οθόνης. Πιθανόν αυτό κάνει τους σύγχρονους μαθητές ιδιαίτερα δεκτικούς σε αλληλεπιδράσεις με τον κόσμο μέσα από γυάλινες διεπαφές και ηλεκτρονικές προσομοιώσεις. Σύμφωνα με μια άποψη οι προσομοιώσεις αυτού του τύπου αποτελούν μια εικονική (virtual) πραγματικότητα και ίσως διαστρέφουν την «αντικειμενική» πραγματικότητα. Σύμφωνα με μια άλλη άποψη πρόκειται απλώς για ένα είδος «μεσολαβημένης» (mediated) γνώσης της πραγματικότητας ή ακόμη και «επαυξημένης» γνώσης της πραγματικότητας (augmented reality). Άλλωστε η «αμεσολάβητη» γνώση του φυσικού κόσμου δεν είναι επαρκής όπως δείχνει και η αποτυχία του πατέρα των επιστημών να δώσει αξιόπιστες περιγραφές και εξηγήσεις του φυσικού κόσμου. Οι σύγχρονες φυσικές επιστήμες αναφέρονται σε όντα πολύ μικρά, αόρατα δια γυμνού οφθαλμού, όπως είναι π.χ. τα άτομα, χωρίς τα οποία είναι αδύνατη η κατανόηση του φυσικού κόσμου. Επίσης κάνουν αναφορά σε όντα τα οποία είναι επίσης «αόρατα» λόγω του τεράστιου μεγέθους τους, όπως π.χ. ο πλανήτης γη, αλλά και σε σχέσεις που είναι «αόρατες» ή δύσκολα κατανοητές όπως είναι π.χ. οι σχέσεις μεταξύ των μερών των συστημάτων (Vial, 2015). Την ανάγκη για «οντοφάνεια» αυτών των αόρατων όντων και σχέσεων καλύπτουν μεταξύ άλλων και οι προσομοιώσεις «οπτικής αναπαράστασης», πολλαπλών πρακτόρων, της NetLogo.



Σχήμα 1: Η διεπιφάνεια του κλιματικού μοντέλου.

Στο Σχήμα 1 βλέπουμε την διεπιφάνεια προγράμματος-χρήστη του μοντέλου «climate change» της NetLogo (Tinker and Wilensky 2007; Wilensky 1999). Ο χρήστης δίνει τιμές στις παραμέτρους “sun-brightness”, “albedo”, “cloud” και “CO₂” οι οποίες αντιστοιχούν στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, στη λευκαύγεια, στη νέφωση και στη δράση των αερίων του θερμοκηπίου αντίστοιχα. Ο χρήστης, στον «κόσμο» της προσομοίωσης, παρατηρεί την ακτινοβολία του ήλιου να

εισέρχεται, να απορροφάται και να ανακλάται, και στο διάγραμμα, τη μεταβολή της «μέσης θερμοκρασίας της γης». Η «μέση θερμοκρασία της γης» σταθεροποιείται, αν και με διακυμάνσεις, μετά από ένα χρονικό διάστημα. Τα γεγονότα που κάθε στιγμή παρατηρούμε εξελίσσονται «ταυτόχρονα». Ο ταυτοχρονισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω ενός πιθανοκρατικού αλγόριθμου ο οποίος επιτρέπει κάθε «ον» του κόσμου αυτού («turtles» και «patches» της NetLogo) να επηρεάσει τα γειτονικά του όντα. Δηλαδή ο χρόνος, εκτός από τη «διάρκεια», αποκτά και μια άλλη διάσταση, το «βάθος», σε ακολουθία με σύγχρονες και παλαιότερες φιλοσοφικές αντιλήψεις (Koehler, 2008). Αυτή η ταυτόχρονη αλληλεπίδραση μπορεί να οδηγήσει σε «ανάδυση» **πολύπλοκων ιδιοτήτων** σε αντιστοιχία με ότι συμβαίνει στον φυσικό κόσμο. Αν και η NetLogo χρησιμοποιείται με επιτυχία στην επιστημονική έρευνα (Thiele and Grimm, 2010) το μοντέλο «climate change» είναι πολύ απλοποιημένο και γι' αυτό το λόγο νομίζουμε ότι είναι περισσότερο κατάλληλο για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Το μοντέλο αντιδρά όπως και το προσομοιωμένο σύστημα και δείχνει πως η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επίσης δείχνει τον διπλό ρόλο που παίζει η νέφωση ανακλώντας την εισερχόμενη και κατακρατώντας την εξερχόμενη ακτινοβολία.

Στο πλαίσιο της εισαγωγής των μαθητών στα Πολύπλοκα Συστήματα σε μαθήματα κατά το περασμένο σχολικό έτος, είχαμε την ευκαιρία να εξετάσουμε τη δυνατότητα των μαθητών να μελετήσουν ιδιότητες των Πολύπλοκων Συστημάτων με τη βοήθεια του λογισμικού NetLogo (Γκαράς κ.α., 2014 α,β). Στο ίδιο πλαίσιο, κατά το τρέχον σχολικό έτος σχεδιάσαμε μια σειρά μαθημάτων στην οποία ανήκει και το μάθημα για την κλιματική αλλαγή, με σκοπό τη διερεύνηση αφενός των προηγούμενων γνώσεων των μαθητών για τη **θετική ανάδραση** και την **αρνητική ανάδραση**, αφετέρου της δυνατότητάς τους να διευρύνουν τις γνώσεις τους και να αποκτήσουν νέα γνώση σχετικά με τις **μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις** (Karamanos κ.α. 2012 & Gkiolmas κ.α. 2013). Οι μαθητές της Β' Λυκείου έχουν συναντηθεί με την αρνητική ανάδραση μέσα από την έννοια **ομοιόσταση** στο μάθημα της βιολογίας Γ' Γυμνασίου και μέσα από τον **θερμοστάτη** στο μάθημα της φυσικής Β' Γυμνασίου. Στη Γ' Λυκείου θα συναντηθούν και με τη θετική ανάδραση μέσα από την **αυτοκατάλυση** στο μάθημα της χημείας και την **αλυσιδωτή αντίδραση** στο μάθημα της φυσικής. Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής περιλαμβάνει ορισμένες εμφανείς και ορισμένες λιγότερο εμφανείς αναδράσεις και γι' αυτό αποτελεί κατάλληλο μαθησιακό μέσο για τη διδασκαλία των εννοιών αυτών. Στην περίπτωση θετικής ανάδρασης, αν μία διαταραχή προκαλεί αύξηση μίας μεταβλητής, αυτή η μεταβολή οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της μεταβλητής αυτής. Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την εξάτμιση του νερού, η οποία ενισχύει το φαινόμενο του θερμοκηπίου παγιδεύοντας τη γήινη ακτινοβολία και συμβάλλοντας σε πρόσθετη αύξηση της θερμοκρασίας. Άλλοι μηχανισμοί που προκαλούν θετική ανάδραση είναι το λιώσιμο των πάγων σε συνδυασμό με τη μείωση της λευκαύγειας, οι πυρκαγιές και η καταστροφή δασών, οι ηλιακές κηλίδες, η ηφαιστειακή δράση, η σήψη βιομάζας και η αύξηση της νέφωσης με συνέπεια την παγίδευση της ακτινοβολίας. Ο τελευταίος παράγοντας μπορεί να δράσει και αντίστροφα προκαλώντας αρνητική ανάδραση καθώς η αύξηση της νέφωσης έχει σαν αποτέλεσμα να αντανακλάται η ακτινοβολία προς το διάστημα συμβάλλοντας στη μείωση της θερμοκρασίας (Dessler, 2010). Τα παραπάνω συνηγορούν στο ότι το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αποτελεί ένα Πολύπλοκο Πρόβλημα το οποίο είναι κεντρικό για τον ανθρώπινο πολιτισμό, έχει ανθρωπιστικό, οικονομικό και πολιτικό ενδιαφέρον, απασχολεί ήδη τους επιστήμονες, την κοινή γνώμη και τις κυβερνήσεις και αναμένεται να απασχολήσει την

ανθρωπότητα ακόμη περισσότερο στο μέλλον. Η εξοικείωση των μαθητών με το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αποτέλεσε στόχο των μαθημάτων. Υπ' αυτή την έννοια τα παραπάνω μαθήματα αποτελούν πρόταση στο πλαίσιο της ενσωμάτωσης της ΠΕ στα Αναλυτικά Προγράμματα (Γκαρας 2000).

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ

Τα μοντέλα του λογισμικού NetLogo ενδείκνυται ιδιαίτερα για την εφαρμογή της **διερευνητικής μεθόδου** στη διδασκαλία (Ραγιαδάκος, 2011) κατά την οποία, μετά την παρουσίαση του θέματος, συνήθως τίθεται μια ερώτηση επιστημονικού χαρακτήρα. Ακολουθεί έρευνα από τους μαθητές και τελικά ανακοινώνονται και συζητούνται τα αποτελέσματα. Έγιναν έξι μαθήματα, δύο για κάθε ένα από τα τρία τμήματα της Β' Λυκείου με τη μορφή συνδιδασκαλίας στο εργαστήριο Πληροφορικής του σχολείου. Κάθε τμήμα αποτελείται από είκοσι έξι περίπου μαθητές. Πριν τα μαθήματα οι μαθητές συμπλήρωσαν ηλεκτρονικά διερευνητικό ερωτηματολόγιο (Google Docs) σχετικά με τις γνώσεις τους και τις απόψεις τους για έννοιες των πολύπλοκων συστημάτων και για ζητήματα που αφορούν στην κλιματική αλλαγή. Το ίδιο ερωτηματολόγιο συμπλήρωσαν και μετά το πέρας των μαθημάτων.

Στο πρώτο μάθημα παρουσιάστηκαν στους μαθητές στοιχεία για την κλιματική αλλαγή μέσω ενός βίντεο-ντοκιμαντέρ το οποίο γύρισαν στα πλαίσια εργασίας φοιτητές του Πανεπιστημίου του Αιγαίου (Ευαγγελόπουλος, 2012). Οι μαθητές κράτησαν σημειώσεις και ακολούθως τους ζητήθηκε να κάνουν μικρές εργασίες για το επόμενο μάθημα. Τους δόθηκε η επιλογή να εργαστούν και ομαδικά αν επιθυμούσαν στα πλαίσια πειραματικής εφαρμογής στο σχολείο μας της πλατφόρμας **office365** της Microsoft. Αρκετοί ανταποκρίθηκαν ως προς την εργασία και σχετικά λίγοι εργάστηκαν συνεργατικά μέσω της πλατφόρμας office365.

Στο δεύτερο μάθημα παρουσιάστηκε στους μαθητές το μοντέλο climate change της NetLogo και ακολούθως αυτοί κλήθηκαν να διερευνήσουν τον ρόλο των παραμέτρων με τη βοήθεια του φύλλου εργασίας. Στη συνέχεια ζητήθηκε από τους μαθητές να καταγράψουν πιθανές θετικές και αρνητικές αναδράσεις και να τις αναπαραστήσουν μέσω του μοντέλου. Τέλος οι μαθητές παρουσίασαν τις παρατηρήσεις τους και ακολούθησε συζήτηση.

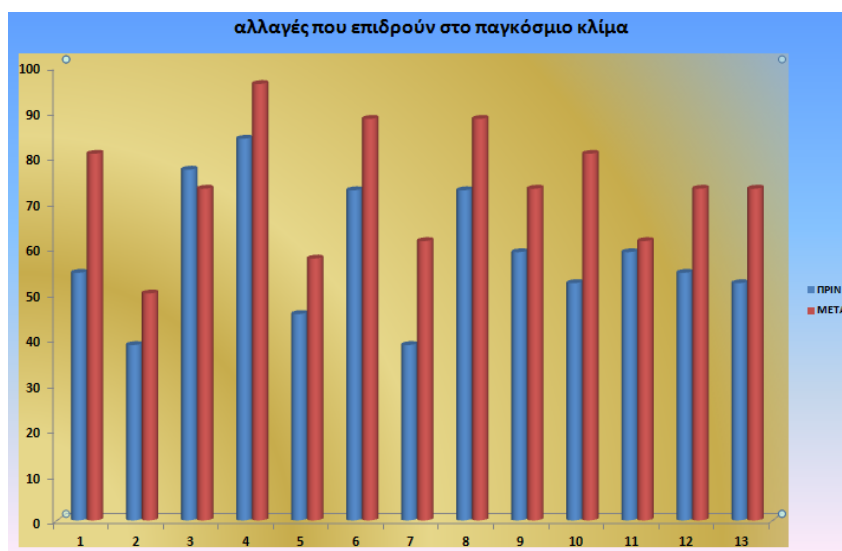
Ο σκοπός των μαθημάτων ήταν: να μελετήσουν οι μαθητές θετικές και αρνητικές αναδράσεις στην εξέλιξη του κλίματος με το λογισμικό Netlogo. Οι επιμέρους στόχοι ήταν: 1) να μελετήσουν πώς κάθε μεταβλητή επιδρά στο κλίμα 2) να διερευνήσουν την εξέλιξη του κλίματος για διάφορες τιμές των μεταβλητών 3) να μελετήσουν θετικές και αρνητικές αναδράσεις 4) να κάνουν προβλέψεις και να τις ελέγξουν μέσω του μοντέλου 5) να συζητήσουν και να ανταλλάξουν απόψεις. Παρότι δεν έγινε παρουσίαση των πιθανών αποτελεσμάτων και επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, ελέγχθηκαν πιθανές σχετικές γνωστικές αλλαγές και αλλαγές στάσεων για να διερευνήσουμε αν τα μαθήματα αυτά οδήγησαν σε αυτενεργό μάθηση.

Το φύλλο εργασίας είχε την ακόλουθη δομή: Ομάδα....1) Τρέξτε το μοντέλο αλλάζοντας κάθε φορά μία από τις παραμέτρους. Πώς επηρεάζουν οι παράμετροι το κλίμα όταν αυξάνονται: Α) Η ηλιακή ακτινοβολία..... Β) Η λευκαύγεια Γ) Η νέφωσηΔ) Το διοξείδιο του άνθρακα. 2) συζητήστε στην ομάδα σας πώς η μεταβολή μιας από τις παραπάνω παραμέτρους θα μπορούσε να επηρεάσει μια άλλη παράμετρο. Α) καταγράψτε την πρόβλεψή σαςΒ) Τώρα τρέξτε το

μοντέλο εισάγοντας στην εξέλιξή του την ανάδραση που περιγράψατε παραπάνω. Τι παρατηρείτε; 3) Επαναλάβετε για ένα άλλο ζευγάρι παραμέτρων Α) καταγράψτε την πρόβλεψή σας Β) Τώρα τρέξτε το μοντέλο εισάγοντας στην εξέλιξή του την ανάδραση που περιγράψατε παραπάνω. Τι παρατηρείτε; 4) Ανακοινώστε τα συμπεράσματά σας. Συζήτηση

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

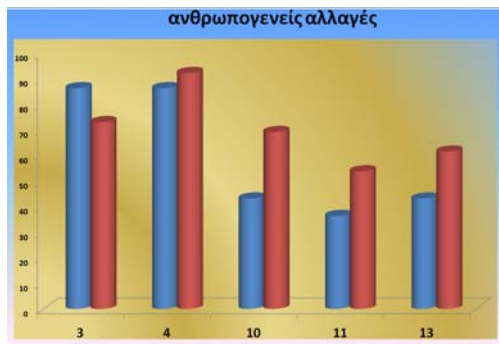
Τα μαθήματα με NetLogo κερδίζουν το ενδιαφέρον του μαθητή λόγω του ενδιαφέροντος των θεμάτων αλλά και του τρόπου με τον οποίο αυτά μελετώνται. Κατά τη διάρκεια των μαθημάτων σχεδόν όλοι οι μαθητές πειραματίστηκαν με το μοντέλο, οι περισσότεροι κατέγραψαν τις απαντήσεις τους στο φύλλο εργασίας και αρκετοί συμμετείχαν στη συζήτηση. Τα αποτελέσματα της έρευνας μετά από την επεξεργασία των ερωτηματολογίων και των φύλλων εργασίας φανερώνουν ότι επήλθαν αλλαγές στις γνώσεις και στο ενδιαφέρον των μαθητών για την κλιματική αλλαγή.



Σχήμα 2: Ποσοστά % των αποδεκτών απαντήσεων για το ποιες αλλαγές επιδρούν στο παγκόσμιο κλίμα, πριν και μετά τα πειραματικά μαθήματα.

Στο Σχήμα 2 βλέπουμε τα ποσοστά % των αποδεκτών απαντήσεων για το ποιες αλλαγές επιδρούν στο παγκόσμιο κλίμα πριν και μετά τα πειραματικά μαθήματα. Η ερώτηση στην οποία απάντησαν οι μαθητές ήταν: Ποιες από τις παρακάτω μεταβολές επιδρούν στη αλλαγή του κλίματος της γης; 1) στις ηλιακές κηλίδες 2) στην τροχιά της γης 3) στην ποσότητα του μεθανίου στην ατμόσφαιρα 4) στην ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα 5) στη κυκλοφορία των υδάτινων ρευμάτων 6) στη νέφωση 7) στην υγρασία του αέρα 8) στην επιφάνεια της γης που καλύπτεται από πάγο 9) στην επιφάνεια της γης που καλύπτεται από νερό 10) στην επιφάνεια της γης που καλύπτεται από δάση 11) στην ερημοποίηση 12) στην ηφαιστειακή δράση 13) στα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα. Παρατηρούμε βελτίωση όσον αφορά στον αριθμό των αποδεκτών απαντήσεων μετά τα μαθήματα. Εξάιρεση αποτελούν οι απαντήσεις στο ερώτημα 3 που αφορά στο ρόλο της συγκέντρωσης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Ίσως πολυπλοκότητα της απελευθέρωσης του μεθανίου σε σχέση με τον λίγο διαθέσιμο χρόνο προκάλεσε σύγχυση. Είναι γνωστό ότι η κατανόηση των Πολύπλοκων Συστημάτων αποτελεί

Πολύπλοκο Πρόβλημα από μόνο του. Οι αρχάριοι εστιάζουν σε ορατές δομές ενώ τα πολυπαραγοντικά φαινόμενα είναι αόρατα και αλληλοεξαρτώμενα (Sterman, 1994).

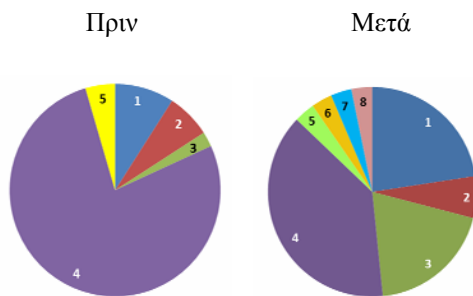


Σχήμα 3: Ποσοστά % των αποδεκτών απαντήσεων πριν και μετά τα πειραματικά μαθήματα για τις παραπάνω αλλαγές (δες Σχήμα 2) που επιδρούν στο παγκόσμιο κλίμα οι οποίες μπορεί να είναι και ανθρωπογενείς.

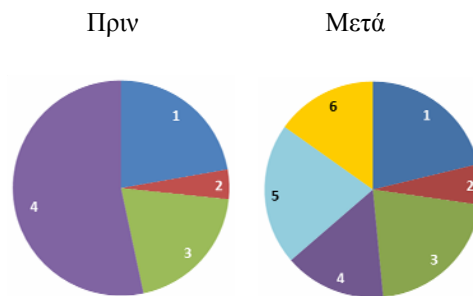


Σχήμα 4: Ποσοστά % των αποδεκτών απαντήσεων πριν και μετά τα πειραματικά μαθήματα για τις παραπάνω αλλαγές (δες Σχήμα 2) που επιδρούν αυξητικά στη θερμοκρασία όταν είναι αυξητικές.

Στο Σχήμα 3 βλέπουμε τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων πριν και μετά τα πειραματικά μαθήματα για τις παραπάνω αλλαγές (δες Σχήμα 2) που επιδρούν στο παγκόσμιο κλίμα οι οποίες μπορεί να είναι και ανθρωπογενείς. Η ερώτηση στην οποία απάντησαν οι μαθητές ήταν: Ποιες από αυτές τις μεταβολές μπορεί να είναι ανθρωπογενείς; Παρατηρούμε μια παρόμοια με την προαναφερθείσα βελτίωση των απαντήσεων μετά τα μαθήματα και μια εμμονή στη σχετική με το μεθάνιο παρανόηση. Στο Σχήμα 4 βλέπουμε τα ποσοστά των αποδεκτών απαντήσεων για τις παραπάνω αλλαγές (δες Σχήμα 2) που επιδρούν αυξητικά στη θερμοκρασία όταν είναι αυξητικές. Παρατηρούμε ξανά βελτίωση των απαντήσεων και σε σχέση με το μεθάνιο γεγονός που μάλλον τονίζει τη σύγχυση των μαθητών σχετικά με το θέμα αυτό.



Σχήμα 5: Μεταβολές στις οποίες αναφέρθηκαν οι μαθητές απαντώντας στην ανοιχτή ερώτηση «Περιγράψτε πιθανές θετικές αναδράσεις στην εξέλιξη του κλίματος που γνωρίζετε».

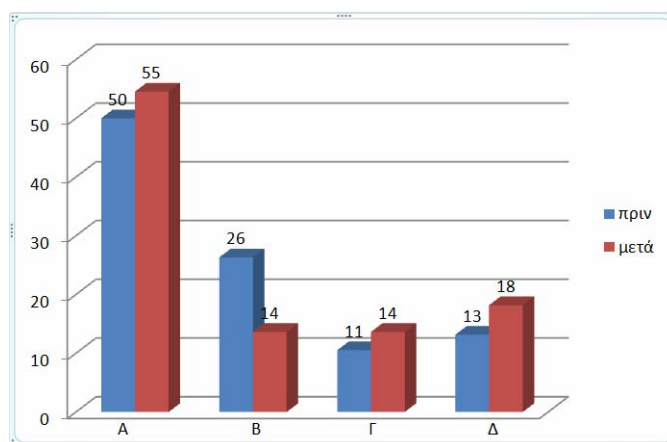


Σχήμα 6: Μεταβολές στις οποίες αναφέρθηκαν οι μαθητές απαντώντας στην ανοιχτή ερώτηση «Περιγράψτε πιθανές αρνητικές αναδράσεις στην εξέλιξη του κλίματος που γνωρίζετε».

Στο Σχήμα 5 βλέπουμε ποσοστά που αντιστοιχούν στις μεταβολές στις οποίες αναφέρθηκαν οι μαθητές απαντώντας στην ανοιχτή ερώτηση «Περιγράψτε πιθανές θετικές αναδράσεις στην εξέλιξη του κλίματος που γνωρίζετε». Οι μεταβολές αυτές ήταν 1. αύξηση διοξειδίου του άνθρακα 2. πυρκαγιές - καταστροφή δασών 3. λιώσιμο

πάγων - μείωση λευκαύγειας 4. Δεν απάντησαν - άσχετες απαντήσεις 5. (πριν) άλλα καυσαέρια και σπρέι 5. (μετά) ηλιακές κηλίδες 6. νέφωση - αύξηση διοξειδίου του άνθρακα 7. ηφαιστειακή δράση - αύξηση νέφους 8. σήψη βιομάζας.

Στο Σχήμα 6 βλέπουμε ποσοστά που αντιστοιχούν στις μεταβολές στις οποίες αναφέρθηκαν οι μαθητές απαντώντας στην ανοιχτή ερώτηση «Περιγράψτε πιθανές αρνητικές αναδράσεις στην εξέλιξη του κλίματος που γνωρίζετε». Οι μεταβολές αυτές ήταν 1. Λιώσιμο πάγων - εξάτμιση νερού – νέφωση 2. αύξηση βλάστησης 3. υπερθέρμανση πλανήτη - αύξηση βλάστησης 4. Δεν απάντησαν - άσχετες απαντήσεις. 5. αύξηση νέφωσης 6. αύξηση λευκαύγειας. Παρατηρούμε ότι τα ποσοστά των μαθητών που απάντησαν αυξήθηκαν σημαντικά μετά τα μαθήματα. Επίσης αυξήθηκαν σημαντικά οι έννοιες στις οποίες αναφέρθηκαν αν και δεν εκφράστηκε σαφής βελτίωση στην αναφορά ολοκληρωμένων αναδράσεων, γεγονός αναμενόμενο για λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω (σχόλια στο Σχήμα 2).



Σχήμα 7: Ποσοστά των απαντήσεων στην ερώτηση «Κατά την άποψή σου ο άνθρωπος πρέπει να ενδιαφερθεί για την κλιματική αλλαγή; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.»

Στο Σχήμα 7 καταγράφονται οι θετικές απαντήσεις στην ερώτηση διερεύνησης αλλαγής στάσης «Κατά την άποψή σου ο άνθρωπος πρέπει να ενδιαφερθεί για την κλιματική αλλαγή; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.» Καταγράφηκαν δικαιολογήσεις σχετικά με Α) διότι επηρεάζει την επιβίωσή του Β) καταστροφή του πλανήτη Γ) επηρεάζει τις επόμενες γενιές Δ) δεν απάντησαν. Παρατηρούμε αύξηση του ενδιαφέροντος για την κλιματική αλλαγή μετά τα μαθήματα. Η διαμόρφωση πιο αισιόδοξης άποψης ως προς την «καταστροφή του πλανήτη» πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι δεν αναφερθήκαμε στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αλλά και στο γεγονός ότι οι μαθητές δεν ενδιαφέρθηκαν να τις μάθουν από άλλες πηγές.

Συμπερασματικά, θεωρούμε ότι τα μαθήματα αυτά εισήγαγαν στοιχειωδώς τους μαθητές στις έννοιες θετική και αρνητική ανάδραση και στο Πολύπλοκο Πρόβλημα της Παγκόσμιας Κλιματικής Αλλαγής. Πρόκειται για ένα πρόβλημα το οποίο θα αντιμετωπίσουν στο μέλλον και τα μαθήματα αυτά συνέβαλλαν στο να αποκτήσουν τα εφόδια για να το κατανοήσουν και να συμβάλλουν σε αποφάσεις πιθανώς καθοριστικές για το μέλλον. Το ενδιαφέρον των μαθητών για τις παραμέτρους του κλίματος του πλανήτη αυξήθηκε και οποιεσδήποτε παρανοήσεις δημιουργήθηκαν αντιμετωπίστηκαν σε επόμενα μαθήματα. Τονίζουμε ότι η ίδια η μάθηση είναι Πολύπλοκο Πρόβλημα και βασική ιδιότητα της μάθησης είναι ότι στηρίζεται στην ανάδραση η οποία είναι επίσης βασική ιδιότητα των Πολύπλοκων Συστημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dessler A. E. (2010). A Determination of the Cloud Feedback from Climate Variations over the Past Decade. *Science*, 1523-1527
- Gkiolmas A., Karamanos K., Chalkidis A., 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* Vol.13 No.3 275-297.
- Karamanos K., Gkiolmas A., Chalkidis A., Papaconstantinou M. & Stavrou, D. (2012). Ecosystem food-webs as dynamic systems: Educating undergraduate teachers in conceptualizing aspects of food-webs' systemic nature and compartment, *Advances in Systems Science and Applications*. Vol.12 No.4 49-68.
- Koehler G. (2008). Computer Simulations as Hidden Time-Ecologies in Vrobel, S.; Rössler, O. E.; Marks-Tarlow, T. editors. "Temporal Structures and Observer Perspectives. Simultaneity", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. P.377.
- Sterman J. D. (1994). Learning in and about Complex Systems. *System Dynamics Review*, Vol 10 No 2-3 Summer-Fall.
- Thiele J. C. & Grimm V. (2010). NetLogo meets R: Linking agent-based models with a toolbox for their analysis. *Environmental Modelling and Software*, 25(8): 972 - 974.
- Tinker R. & Wilensky U. (2007). NetLogo Climate Change model. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University, Evanston, IL. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ClimateChange>.
- Vial S. (2015). There is no difference between the 'real' and the 'virtual': a brief phenomenology of digital revolution. <http://www.slideshare.net/reduplikation/vial-ttw13reloadedhigh>
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern Institute on Complex Systems, Northwestern University, Evanston, IL.
- Γκαράς Γ. (2000). Φυσική Γ' Γυμνασίου στο «Μελέτη για την ενσωμάτωση της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης στα Αναλυτικά Προγράμματα» 8^ο τόμος. Έκδοση Υπ.Ε.Π.&Θ. Διεύθυνση Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.
- Γκαράς Γ., Κωσταρίδης Π. & Γιάτας Δ. (2014β). *Πειραματική διδασκαλία με προσομοίωση σε Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo. Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση*. 3^ο Πανελλήνιο Εκπαιδευτικό Συνέδριο Ημαθίας. «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και Επικοινωνιών στη διδακτική πράξη». Απρίλιος 4-6. Ηλεκτρ. Πρακτικά, ISBN: 978-960-99301-1-6. Σελ. 175-188. http://hmathia14.ekped.gr/praktika14/VolC/VolC_175_188.pdf
- Γκαράς Γ., Πασχαλιώρη Σ. & Γιάτας Δ. (2014α). Μελέτη των Κοινωνικών Διαχωρισμών με Λογισμικό Πολλαπλών Πρακτόρων - Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση. ISBN: 978-960-99435-6-7 Τα Πρακτικά του Συνεδρίου: Η εκπαίδευση στην εποχή των Τ.Π.Ε. Αθήνα, 22 & 23 Νοεμβρίου 2014. σ. 837-844.
- Ευαγγελόπουλος Γ. (2012). Κλιματικές Αλλαγές - Ελληνικό Φοιτητικό Ντοκιμαντέρ. Πτυχιακή εργασία στα πλαίσια του οδηγού σπουδών του τμήματος Επιστημών της θάλασσας του Πανεπιστημίου του Αιγαίου. <https://www.youtube.com/watch?v=Z-8sZYGDLUQ>
- Ραγιαδάκος Χ. (2011). Βασικά Χαρακτηριστικά της Διερευνητικής Μεθόδου στη Μάθηση και τη Διδασκαλία. http://www.iep.edu.gr/pathway/files/dier_mathisi.pdf