

Η ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΑΝΑΔΕΙΞΗΣ ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ (CLD)

Μαρία Ρέλλου¹, Νίκος Λαμπρινός²

¹Δασκάλα, M.ed., Υποψήφια Διδάκτορας ΠΤΔΕ, ΑΠΘ, pinakas01@gmail.com

²Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΤΔΕ, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 54124, labrinos@eled.auth.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα έρευνας σχετικά με την αποτύπωση ενός μοντέλου του κύκλου του νερού με τη μορφή διαγράμματος ανάδειξης αιτιολογικών σχέσεων (CLD). Η έρευνα έγινε σε φοιτητές /υποψηφίους δασκάλους του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης ΑΠΘ. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ένα μοντέλο του κύκλου του νερού μπορεί να αναπαρασταθεί με τη χρήση διαγραμμάτων Causal Loop Diagram (CLD).

Οι κανόνες διαγραμματικής απεικόνισης με CLD μπορούν να διδαχθούν και να εφαρμοστούν από τους φοιτητές στο μετασχηματισμό ενός τυπικού διαγράμματος του κύκλου του νερού χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Abstract

University students have limited and disjointed knowledge about the water cycle. They do not perceive it as a system that can synthesize all the knowledge they possess and to understand the dynamic interactions that occur within it.

A typical diagram of the water cycle found in books and on the Internet is insufficient for teaching the water cycle as a system.

In this paper we present the results of a survey conducted with the assistance of 20 students of the Department of Primary Education, Aristotle University of Thessaloniki, Greece, and refers to the representation of the water cycle using causal loop diagrams (CLD).

A CLD is a methodology and a quality way of representation that visualizes the connections and the potential of feedback loops that exist in a system.

The main research question was whether a typical diagram of the water cycle can be transformed into a CLD in order to highlight the interactive relationships developed within the system and be sufficient for teaching about the hydrological system.

The innovation of the research lies in the fact that it suggests a certain way of transformation of classical diagrams of the hydrological system used in teaching the water cycle in nature to highlight the interrelationships which exist within it and that could contribute to an alternative teaching of the water cycle in primary schools.

The key question is broken down into sub-questions as follows:

What information and which procedures of the hydrological system do the students choose to show the relationships developed within the system?

Do the students follow the rules relating to the construction of the CLD;

Do they show, in their CLD, the loops that exist in the hydrological system that was given to them?

Are there any other loops depicted on their CLD, which are not perceived directly on the diagram that was given to them?

For the purpose of the research an instructional series was designed and implemented on how a CLD is constructed. Then the students were asked to work in pairs and reconstruct a diagram of the hydrologic system according to the rules of making a CLD.

The analysis of the diagrams leads to the following conclusions:

A typical water cycle diagram can be presented using a CLD.

The rules of making a CLD can be taught and applied by students to transform a typical water cycle diagram with no difficulties.

Students had difficulty to depict all the loops of the hydrological system that can be readily understood from the diagram given to them because they had not included in their charts, the data and procedures which are necessary to afford these loops.

The students put loops in their CLD which are not directly shown in the water cycle diagram that was given to them.

Λέξεις κλειδιά: διαγράμματα ανάδειξης αιτιολογικών σχέσεων, συστημική σκέψη, κύκλος νερού

Key words: Causal Loop Diagrams, water cycle, system thinking

Εισαγωγή

Αποδίδουμε τον αγγλικό όρο "system thinking" στην ελληνική γλώσσα ως «συστημική σκέψη» εννοώντας να σκέφτεται κανείς με όρους συστημάτων και υποσυστημάτων (Richmond, 1993) που σημαίνει ότι κάθε τμήμα του συστήματος γίνεται κατανοητό μόνο σε σχέση με το υπόλοιπο τμήμα του (Benchmarks for Science Literacy, 2000).

Τα συστήματα αναγνωρίζονται ως μια σημαντική και ενιαία έννοια στην επιστήμη, ως βασικό στοιχείο επιστημονικού εγγραμματισμού (Benchmarks for Science Literacy, 2000) που παρέχει στους μαθητές την μεγάλη εικόνα των επιστημονικών εννοιών και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα πλαίσιο για την εκμάθηση επιστημονικών εννοιών και αρχών (National Research Council, 1996), η ανάπτυξή δε της συστημικής σκέψης προτείνεται να ξεκινά από το νηπιαγωγείο (Rutherford & Ahigren, 1990).

Οι έννοιες σύστημα, αλληλεξάρτηση, μεταβολή αναγνωρίζονται ως κορυφαίες διαθεματικές έννοιες που πρέπει να διδαχθούν σύμφωνα με το ισχύον ΔΕΠΠΣ (ΦΕΚ 304/2003) που εφαρμόζεται στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση, αλλά δεν διδάσκονται μέσα σε ένα πλαίσιο τέτοιο που να προάγει τη συστημική σκέψη.

Ένα σύστημα μπορεί να οριστεί ως μια ομάδα στοιχείων που λειτουργούν μαζί σαν μια ενιαία λειτουργική μονάδα (Ossimitz, 2000), ως οντότητα που διατηρεί την ύπαρξη και τη λειτουργία της ως όλο μέσω της αλληλεπίδρασης των τμημάτων του, έχει ένα συγκεκριμένο σκοπό και για να λειτουργεί επιτυχώς πρέπει όλα τα τμήματά του να είναι παρόντα (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005). Κάθε σύστημα αποτελείται από σχέσεις κλειστού βρόγχου και όσοι σκέπτονται με βάση τη συστημική σκέψη χρησιμοποιούν τη γλώσσα των διαγραμμάτων και μια συγκεκριμένη μεθοδολογία για να αναπαριστούν οπτικά τις σχέσεις και τις αναδραστικές δομές που υπάρχουν μέσα στο σύστημα (Richmond, 1993).

Τα δυναμικά συστήματα αναπτύχθηκαν στο πεδίο της μοντελοποίησης με τη βοήθεια υπολογιστών (Forrester, 1994), αποτελούν το θεμέλιο λίθο της συστημικής σκέψης και είναι ένα εργαλείο που βοηθά στην οικοδόμησή της.

Στην παρούσα εργασία διερευνούμε τον κύκλο του νερού ως σύστημα προσεγγίζοντάς τον με ένα από τα εργαλεία των δυναμικών συστημάτων που είναι τα διαγράμματα ανάδειξης αιτιολογικών σχέσεων (Causal Loop Diagrams) και που εφεξής στο κείμενο θα αναφέρονται ως διαγράμματα CLD

Ο κύκλος του νερού

Οι περισσότερες έρευνες συγκλίνουν στο ότι οι μαθητές έχουν μια ατελή αντίληψη για τον κύκλο του νερού και δεν μπορούν να αντιληφθούν τις σχέσεις μεταξύ των γήινων σφαιρών ατμόσφαιρα, βιόσφαιρα, γεώσφαιρα (Λαμπρινός & Ρέλλου, 2011).

Σύμφωνα με την Kastens (2010), τα περισσότερα διαγράμματα που είναι αναρτημένα στο διαδίκτυο και που απεικονίζουν τον κύκλο του νερού στη φύση δείχνουν ότι η εξάτμιση συμβαίνει μόνο πάνω από τους ωκεανούς, τα κατακρημνίσματα πέφτουν μόνο στο έδαφος

και συνήθως μόνο πάνω στα βουνά, ενώ η θάλασσα τοποθετείτε στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος και το έδαφος στην αριστερή.

Ένα τυπικό διάγραμμα του κύκλου και μαζί και τα κείμενα που το συνοδεύουν δείχνει τον κύκλο ως στατικό και μη μεταβαλλόμενο μέσα στο χρόνο, είναι παθητικό και μη προκλητικό για τους μαθητές, δεν θέτει ερωτήματα, ούτε προβλήματα προς επίλυση και οι μαθητές δεν εμπλέκονται (Snow, 2006). Δεν προκαλεί τη διερεύνηση λεπτομερειών π.χ. το ρόλο των ωκεανών ή τις πιθανές συνέπειες του κύκλου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Εστιάζει στη μεταβολή του νερού παρά στην κίνηση του νερού μεταξύ της επιφάνειας, του εδάφους της ατμόσφαιρας, και της μεταφοράς του με πολλούς δρόμους. Ο κύκλος του νερού προσεγγίζεται κυρίως από την πλευρά της φυσικής ενώ περικλείει και γεωγραφικές έννοιες (π.χ. λεκάνες απορροής, το ανάγλυφο του εδάφους, αστικό περιβάλλον).

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω θεωρούμε ότι τα διαγράμματα που βρίσκονται στα βιβλία αλλά και στο διαδίκτυο από μόνα τους δεν επαρκούν για τη διδασκαλία του κύκλου του νερού ως σύστημα.

Ερωτήματα της έρευνας

Βασικό ερώτημα της έρευνας ήταν αν ένα τυπικό διάγραμμα του κύκλου του νερού μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα διάγραμμα CLD, το οποίο να αναδεικνύει τις αλληλεπιδραστικές σχέσεις που αναπτύσσονται μέσα στο σύστημα και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διδασκαλία του υδρολογικού συστήματος.

Η καινοτομία της έρευνας έγκειται στο γεγονός ότι προτείνει ένα συγκεκριμένο τρόπο μετασχηματισμού των κλασικών διαγραμμάτων του υδρολογικού συστήματος που χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία του κύκλου του νερού στη φύση για να αναδείξει τις σχέσεις αλληλεπίδρασης που δημιουργούνται μέσα σε αυτό και που θα μπορούσαν επικουρικά να συνεισφέρουν στη διδασκαλία του κύκλου του νερού στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Το βασικό ερώτημα αναλύεται σε επιμέρους υποερωτήματα ως εξής:

Ποιά στοιχεία και ποιές διαδικασίες του υδρολογικού συστήματος επιλέγουν οι φοιτητές για να αποδώσουν τις σχέσεις που αναπτύσσονται μέσα στο σύστημα;

Ακολουθούν τους κανόνες που αφορούν στην κατασκευή διαγραμμάτων CLD;

Μέσα από τα διαγράμματά τους απεικονίζονται οι βρόγχοι του υδρολογικού συστήματος που υπάρχουν στο διάγραμμα που τους δόθηκε;

Μέσα στα διαγράμματα CLD που κατασκεύασαν αναγνωρίζονται και άλλοι βρόγχοι του συστήματος που δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί από το διάγραμμα που τους δόθηκε;

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Δείγμα

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 20 φοιτητές του Ε' εξαμήνου του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του ΑΠΘ κατά το έτος 2013-14. Οι φοιτητές συμμετείχαν οικειοθελώς αφού πρώτα τους γνωστοποιήθηκε ο σκοπός, οι στόχοι και η μεθοδολογία της έρευνας. Δεν γνώριζαν καθόλου για τις αρχές και τα εργαλεία της συστημικής σκέψης και οι γνώσεις τους για τα συστήματα και τον κύκλο του νερού περιορίζονταν σε αυτές που απέκτησαν κατά τη διάρκεια της βασικής τους εκπαίδευσης.

Υλικά

Για τις ανάγκες της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν ένα διάγραμμα που περιγράφει τον κύκλο του νερού στη φύση και η τεχνική κατασκευής διαγραμμάτων ανάδειξης αιτιολογικών σχέσεων.

Τα κριτήρια επιλογής διαγράμματος του κύκλου του νερού στη φύση

Σύμφωνα με τους Perlman, et al, (2005) και Covitt, et al, (2009) τα περιβαλλοντικά συστήματα και ειδικότερα ο κύκλος του νερού στη φύση περιλαμβάνουν: α) δομές/συστατικά στοιχεία που μπορούν να οριστούν ως οι βασικές αποθήκες του συστήματος και περιλαμβάνουν το νερό που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, το νερό που κινείται στην επιφάνεια του εδάφους (επιφανειακό νερό), το υπόγειο νερό και το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο στους ζωντανούς οργανισμούς.

β) Διαδικασίες (που μπορούν να οριστούν ως ροές του συστήματος) οι οποίες κινούν το νερό μέσα στο σύστημα και περιλαμβάνουν την κατακρήμνιση (run-off) και την κατείδυση (infiltration)

γ) Διαδικασίες που αλλάζουν την ποιότητα του νερού όπως είναι η διάλυση (dissolution), η διήθηση (filtration), η διάβρωση (erosion) και η εναιώρηση (suspension)

δ) Διαδικασίες που κινούν και αλλάζουν την ποιότητα του νερού όπως είναι η εξάτμιση (evaporation), η υγροποίηση (condensation), η κατακρήμνιση (precipitation) και η διαπνοή (transpiration).

Οι Ben-Zvi Assaraf & Orion, (2005) βασιζόμενοι σε εργασίες άλλων ερευνητών θεωρούν ότι η ανάπτυξη της συστημικής σκέψης στο πλαίσιο των επιστημών της γης αποτελείται από οκτώ διαδοχικά στάδια που κλιμακώνονται σε ένα ιεραρχικά δομημένο πλαίσιο. Οι γνωστικές δεξιότητες που αναπτύσσονται σε κάθε στάδιο αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη των επόμενων σταδίων.

Εξειδίκευσαν τα χαρακτηριστικά της συστημικής σκέψης στα πλαίσια του υδρολογικού συστήματος ως την ικανότητα να:

1) αναγνωρίζει τα συστατικά στοιχεία που αποτελούν το σύστημα και τις διαδικασίες μέσα σε αυτό

2) αναγνωρίζει σχέσεις μεταξύ των συστατικών στοιχείων του συστήματος

3) οργανώνει τα συστατικά στοιχεία και τις διαδικασίες του συστήματος σε ένα πλαίσιο σχέσεων

4) κάνει γενικεύσεις

5) αναγνωρίζει δυναμικές σχέσεις μέσα στο σύστημα

6) κατανοεί τις κρυφές διαστάσεις του συστήματος

7) κατανοεί την κυκλική φύση των συστημάτων

β) την κατακρήμνιση και τη σύνδεσή της μέσω ποταμών από το έδαφος στη θάλασσα

γ) την κατείδυση και τη σύνδεσή της μέσω της υπόγειας ροής του νερού ή της διαπνοής των φυτών

8) τη σκέψη στη διάσταση του χρόνου: ανασκόπηση και πρόβλεψη π.χ. η παρούσα ποιότητα του πόσιμου νερού μιας περιοχής ως αποτέλεσμα παρελθόντων διαδικασιών και η πρόβλεψη των συνεπειών που θα υπάρξουν σε περίπτωση εκβιομηχάνισής της.

Για τις ανάγκες της έρευνας αρχικά επιλέχθηκε από το διαδίκτυο (http://5nriptrip.blogspot.gr/2012/10/blog-post_18.html)

να διάγραμμα του κύκλου του νερού (εικ. 1) με δεδομένο ότι το διαδίκτυο περιλαμβάνει ένα τεράστιο σύνολο πληροφοριών, όλα τα σχολεία της υποχρεωτικής εκπαίδευσης έχουν ελεύθερη πρόσβαση σε αυτό, και οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί έχουν εκπαιδευτεί από την πολιτεία μέσω αντίστοιχων προγραμμάτων να το αξιοποιούν για τις ανάγκες της διδασκαλίας τους.

Εικόνα1 Ο κύκλος του νερού στη φύση με μορφή μοντέλου-διαγράμματος



Βασικοί περιορισμοί που τέθηκαν για την επιλογή του διαγράμματος και σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο που αναφέρθηκε παραπάνω ήταν να: α) περιλαμβάνει όσες περισσότερες

από τις βασικές έννοιες που να είναι συμβατές με το ισχύον πρόγραμμα σπουδών και να διδάσκονται στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση και να β) απεικονίζει όσο το δυνατόν περισσότερους από τους κύριους βρόγχους του συστήματος. Ακόμη θα έπρεπε οι έννοιες που απεικονίζονται στο διάγραμμα να είναι στην ελληνική γλώσσα και το διάγραμμα (ως γράφημα) να έχει ωραία σχήματα και χρώματα. Η επιλογή του διαγράμματος υπόκειται στους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή σχετικά με τα διαγράμματα του κύκλου του νερού που περιλαμβάνονται στα σχολικά βιβλία ή βρίσκονται αναρτημένα στο διαδίκτυο (Shepardson, et al, 2009, Kastens, 2010, Stillings, 2012).

Διαγράμματα απεικόνισης αιτιολογικών σχέσεων (Causal loops diagram)

Τα διαγράμματα cld είναι μια μεθοδολογία και ένας ποιοτικός τρόπος αναπαράστασης που οπτικοποιεί τις διασυνδέσεις που αναδεικνύουν τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος και τους πιθανούς αναδραστικούς βρόγχους που υπάρχουν σε ένα σύστημα (Haraldsson, 2000, Lane, 2000, Creative Learning Exchange, 2012).

Σε ένα διάγραμμα CLD διακρίνουμε τα εξής:

Λέξεις που αναπαριστούν τις μεταβλητές του συστήματος και βέλη που συνδέουν τις μεταβλητές μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδεικνύουν τις σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος που υπάρχουν μεταξύ τους. Τα βέλη σχεδιάζονται με κυκλικό τρόπο ώστε ακολουθώντας τη φορά τους να σχηματίζουν μια κλειστή αλυσίδα, έναν βρόγχο.

Οι λέξεις που επιλέγονται για να αναπαραστήσουν μια μεταβλητή μπορεί να είναι ποιοτικές αλλά υποστηρίζεται πως είναι καλύτερο να επιλέγονται λέξεις που δείχνουν μεταβλητότητα (π.χ. αύξηση ή μείωση μιας κατάστασης).

Οι μεταβλητές μπορεί να είναι:

Οι αποθήκες ενός συστήματος (stocks). Οι αποθήκες αναπαριστούν τις συνθήκες μέσα σε ένα σύστημα και μπορεί να είναι πράγματα που αυξάνονται ή ελαττώνονται, π.χ. το νερό στα σύννεφα.

Οι Ροές (flows) μέσα σε ένα σύστημα που αναπαριστούν τις δραστηριότητες που προκαλούν τις συνθήκες για αλλαγή (π.χ. εξάτμιση).

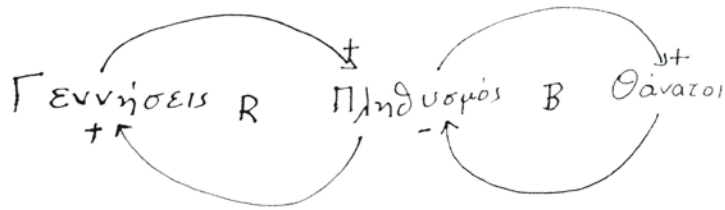
Η σύνδεση μεταξύ δύο μεταβλητών αναδεικνύει τη σχέση αιτίας-αποτελέσματος και αναπαριστάται με βέλη. Η μεταβλητή που βρίσκεται στην ουρά του βέλους (αιτία) έχει μια επίδραση στη μεταβλητή που βρίσκεται στο κεφάλι του βέλους (αποτέλεσμα). Η επίδραση αυτή χαρακτηρίζεται ως θετική ή αρνητική και δείχνει πως επιδρά η μια μεταβλητή στην άλλη. Η επίδραση χαρακτηρίζεται θετική (+) όταν επιδρώντας η μια μεταβλητή στην άλλη αλλάζουν και οι δύο προς την ίδια κατεύθυνση (και οι δύο αυξάνονται ή και οι δύο μειώνονται). Η επίδραση χαρακτηρίζεται ως αρνητική (-) όταν επιδρώντας η μια μεταβλητή στην άλλη οι δύο μεταβλητές αλλάζουν προς αντίθετη κατεύθυνση (όταν αυξάνεται η μια μειώνεται η άλλη). Η επίδραση αυτή απεικονίζεται στο διάγραμμα με τη χρήση των συμβόλων (+) και (-) τα οποία τοποθετούνται στην κεφαλή του βέλους.

Ένας βρόγχος χαρακτηρίζεται ενισχυτικά (reinforcing) εκθετικός όταν ο αριθμός των αρνητικών επιδράσεων (-) που μπορεί να υπάρχουν μέσα στο βρόγχο είναι άρτιος. Η εκθετική αυτή διαδικασία περιλαμβάνει την αλλαγή σε μια κατεύθυνση με περισσότερες αλλαγές προς την ίδια κατεύθυνση δημιουργώντας εκθετική ανάπτυξη ή κατάρρευση του συστήματος.

Ένας βρόγχος χαρακτηρίζεται σταθεροποιητικός (balancing) όταν ο αριθμός των αρνητικών επιδράσεων (-) που υπάρχουν μέσα στο βρόγχο είναι περιττός αριθμός. Ανταγωνιστικές επιρροές εξισορροπούνται η μια ενάντια στην άλλη. Η εξισορροπιστική διαδικασία ψάχνει την ισορροπία - στοχεύει στο να φέρει το σύστημα σε μια επιθυμητή κατάσταση και να τη διατηρήσει.

Οι πιθανές αυτές συμπεριφορές αναπαρίστανται στο διάγραμμα τοποθετώντας στο κέντρο του βρόγχου που σχηματίζεται, το σύμβολο (R) για τον ενισχυτικά εκθετικό βρόγχο ή το σύμβολο (B) για τον σταθεροποιητικό βρόγχο (εικ. 2).

Εικόνα 2. Παράδειγμα διαγράμματος απεικόνισης αιτιολογικών σχέσεων (CLD)



Μεθοδολογία

Ο σχεδιασμός της έρευνας έγινε σύμφωνα με τον Wilhite, (2008) και εφαρμόστηκε μια διδακτική σειρά που αφορά στη διδασκαλία σε εισαγωγικό επίπεδο της συστημικής σκέψης και των διαγραμμάτων CLD, με δεδομένο ότι η συστημική σκέψη και τα εργαλεία των δυναμικών συστημάτων δεν έχουν εισαχθεί ακόμη στα προγράμματα σπουδών της βασικής εκπαίδευσης.

Η διάρκεια της διδακτικής σειράς ήταν 12 διδακτικές ώρες και περιελάμβανε:

α) μια εισαγωγή στην έννοια των επιστημονικών μοντέλων και της αξιοποίησής τους στη διδασκαλία,

β) μια εισαγωγή στην έννοια των συστημάτων και της συστημικής σκέψης επικεντρώνοντας στον κύκλο του νερού ως σύστημα,

γ) παρουσίαση από την ερευνήτρια των διαγραμμάτων cld μέσω παραδειγμάτων (τι είναι) και μη παραδειγμάτων (τι δεν είναι), τον στόχο τους, και τον τρόπο κατασκευής τους,

δ) πρακτική εξάσκηση των φοιτητών στην κατασκευή διαγραμμάτων cld από κείμενο. Από αυτή τη φάση και μετά και σε όλες τις επόμενες φάσεις οι φοιτητές εργάστηκαν ανά ζεύγη.

Σε αυτή την αρχική φάση της πρακτικής εξάσκησης δόθηκε ένα γραπτό κείμενο στους φοιτητές που περιέγραφε τις σχέσεις που αναπτύσσονται μέσα σε ένα σύστημα και το οποίο τους ζητήθηκε να το παρουσιάσουν και να το ερμηνεύσουν απεικονίζοντάς το με ένα διάγραμμα CLD,

ε) πρακτική εξάσκηση των φοιτητών στην κατασκευή διαγράμματος CLD από διάγραμμα. Στη φάση αυτή τους ζητήθηκε να μετασχηματίσουν ένα κλασικό διάγραμμα που απεικονίζει τις σχέσεις που αναπτύσσονται μέσα σε ένα οικοσύστημα σε ένα διάγραμμα CLD και να το περιγράψουν και

στ) στην κατασκευή ενός διαγράμματος CLD που να απεικονίζει τον κύκλο του νερού στη φύση μετασχηματίζοντας ένα κλασικό διάγραμμα του κύκλου του νερού που επιλέχθηκε από το διαδίκτυο.

Κύριος στόχος της διδασκαλίας ήταν οι φοιτητές, μετά την ολοκλήρωσή της, να είναι ικανοί να αναγνωρίζουν έναν αλληλεπιδραστικό βρόγχο σε ένα σύστημα, να ορίζουν αν αυτό είναι B ή R και να το δείχνουν οπτικά και αφηγηματικά.

Οι φοιτητές εκπαιδεύτηκαν στην αναγνώριση και στην επιχειρηματολογία της δυναμικής αλληλεπίδρασης που υπάρχει μέσα σε ένα σύστημα και στην κατασκευή διαγραμμάτων CLD.

Σωκρατικοί διάλογοι, συζήτηση στις ομάδες και στην ολομέλεια, φύλλα εργασίας, είναι μερικές από τις στρατηγικές που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια της διδασκαλίας.

Για τις ανάγκες της κατασκευής των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν λευκός πίνακας μαρκαδόρου, λευκό χαρτί A4, και απλά στυλό ή μολύβια.

Η ερευνήτρια ανακοίνωνε τους στόχους της κάθε ενότητας και τον τρόπο με τον οποίο θα έπρεπε να εργαστούν οι φοιτητές σε κάθε φάση της διδασκαλίας τα οποία περιγράφονταν με ακρίβεια σε φύλλα οδηγιών που τους δόθηκαν.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ένα από τα βασικά ερωτήματα της έρευνας ήταν αν οι φοιτητές θα μπορούσαν να ακολουθήσουν τους κανόνες κατασκευής των διαγραμμάτων CLD.

Το παραπάνω ερώτημα αναλύεται στα παρακάτω υποερωτήματα:

Χρησιμοποιούν οι φοιτητές στα διαγράμματα που κατασκεύασαν καμπύλα βέλη για να συνδέσουν μεταξύ τους τις μεταβλητές του συστήματος που επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν;

Τοποθέτησαν πάνω στα βέλη και στην πλευρά που είναι το βέλος το δείκτη πολικότητας (+) ή (-) που δείχνει με ποιον τρόπο αρνητικό (προς αντίθετη κατεύθυνση) ή θετικό (προς την ίδια κατεύθυνση) επιδρά η μια μεταβλητή στην άλλη;

Χαρακτήρισαν κάθε βρόγχο του συστήματος που συμπεριέλαβαν στα διαγράμματα που κατασκεύασαν χρησιμοποιώντας τα σύμβολα R (εκθετική ανάπτυξη) ή B (ταλάντευση του συστήματος προς αναζήτηση ισορροπίας);

Χαρακτήρισαν και συμβόλισαν ως βρόγχους τους πιθανούς ψευδοβρόγχους που μπορεί να υπάρχουν στα διαγράμματα που κατασκεύασαν;

Μεταβλητές

Στους πίνακες 1 και 2 φαίνεται το σύνολο των συστατικών στοιχείων και των διαδικασιών που αποτυπώνονται στο διάγραμμα του κύκλου του νερού που δόθηκε για τις ανάγκες της έρευνας.

Από τους (πίν. 1, 2) φαίνεται ότι όλες οι ομάδες δεν συμπεριέλαβαν όλα τα συστατικά στοιχεία και όλες τις διαδικασίες που αναφέρονται στο διάγραμμα. Η υγρασία εδάφους, τα ποτάμια και οι λίμνες, ο πάγος και το χιόνι, το λιώσιμο των πάγων και η απορροή ποταμών στη θάλασσα είναι οι λιγότερο χρησιμοποιημένες. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ομάδες στα διαγράμματά τους χρησιμοποίησαν πιο περιεκτικούς όρους για να συμπεριλάβουν τις έννοιες αυτές.

Έτσι, η μεταβλητή «κατακρήμνιση» που χρησιμοποιείται στα διαγράμματα συμπεριλαμβάνει εκτός από τη βροχή και το χιόνι.

Πολλές από τις μεταβλητές που υπάρχουν στο διάγραμμα που τους δόθηκε για τις ανάγκες της διαγραμματικής απεικόνισης μετασχηματίστηκαν έτσι ώστε να δείχνουν μεταβλητότητα, ακολουθώντας τους κανόνες κατασκευής διαγραμμάτων CLD. Οι ομάδες στα διαγράμματα που κατασκεύασαν αναφέρονται σε «ποσότητα νερού στην ατμόσφαιρα», σε «ποσότητα νερού στο έδαφος», «ποσότητα υπόγειου νερού», «ποσότητα κατακρημνισμένου νερού». Ο ήλιος μετασχηματίζεται σε «ηλιοφάνεια» ή «επίπεδο ηλιοφάνειας». Στα περισσότερα διαγράμματα η εξάτμιση και η διαπνοή χρησιμοποιούνται αυτούσιες και δεν μετασχηματίζονται.

Βέλη

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3 όλες οι ομάδες για τις ανάγκες της διαγραμματικής απεικόνισης χρησιμοποίησαν καμπύλα βέλη για να αναπαραστήσουν τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος. Επίσης τοποθέτησαν στη σωστή θέση πάνω στα βέλη τους δείκτες πολικότητας των διαγραμμάτων.

Εξάιρεση αποτελούν τα διαγράμματα της 4^{ης} και της 6^{ης} ομάδας που συμπεριέλαβαν εκτός από καμπύλα και ευθύγραμμα βέλη στα διαγράμματά τους.

Η 4^η ομάδα, στην προσπάθειά της να προσδιορίσει το τι ακριβώς εννοεί όταν αναφέρεται στο «νερό στο έδαφος» (ποτάμια, λίμνες, πάγοι) παρενέβαλε μέσα στο διάγραμμα, μια ιεραρχική διαγραμματική αποτύπωση, που παραπέμπει στην εννοιολογική χαρτογράφηση.

Η 10^η ομάδα θεωρούμε ότι χρησιμοποίησε τρία ευθύγραμμα βέλη περισσότερο από συνήθεια παρά από αγνόηση των κανόνων που διέπουν την κατασκευή διαγραμμάτων.

Πολικότητα

Οι ομάδες σχεδόν στο σύνολό τους (πίν.3) δεν είχαν ιδιαίτερη δυσκολία στο να ανακαλύψουν λογικές αιτιακές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών που επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν και να τις αποδώσουν με σωστή πολικότητα. Εξάιρεση αποτελούν η 3^η 4^η και 6^η ομάδα.

Η 3^η ομάδα θεώρησε ότι υπάρχει αντιθετική σχέση μεταξύ της εξάτμισης και της ποσότητας των ατμοσφαιρικών υδάτων και γι αυτό χαρακτήρισε με (-) τη σχέση αυτή παρόλο που οι δύο αυτές μεταβλητές κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση μέσα στο σύστημα. Οι υδρατμοί που παράγονται από την εξάτμιση συμπεριλαμβάνονται στο νερό της ατμόσφαιρας γιατί είναι

νερό σε αέρια μορφή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η ομάδα να χαρακτηρίσει λανθασμένα δύο βρόγχους του συστήματος που συμπεριλαμβάνουν αυτή τη σχέση.

Η 4^η ομάδα σύνδεσε την ηλιοφάνεια με το νερό που υπάρχει στη θάλασσα θεωρώντας τη σχέση αυτή αιτιακή και αγνοώντας ότι η αιτία που προκαλεί την ελάττωση του νερού της θάλασσας είναι η εξάτμιση.

Η 6^η ομάδα θεώρησε ότι η σχέση ηλιοφάνειας και ποσότητας νερού σε μορφή πάγου βρίσκεται προς την ίδια κατεύθυνση και χρησιμοποίησε το σύμβολο (+) για να αποτυπώσει αυτή τη σχέση στο διάγραμμα ενώ θα έπρεπε να τοποθετήσει το (-) πάνω στο βέλος μιας και οι δύο αυτές μεταβλητές δρουν σε αντίθετη κατεύθυνση μεταξύ τους. Θεώρησε ακόμη ότι υπάρχει άμεση σχέση αιτίας αποτελέσματος μεταξύ των μεταβλητών ποσότητα νερού σε μορφή πάγου και ποσότητας κατακρήμνισεων χαρακτηρίζοντας τη σχέση αυτή με το σύμβολο (+). Ίσως να θεώρησε ότι το λιώσιμο του πάγου οδηγεί έμμεσα μέσω της εξάτμισης σε αύξηση της κατακρήμνισης, δεν αποτύπωσε όμως σωστά αυτή τη σχέση. Η αποτύπωση της σχέσης αυτής πάνω στο διάγραμμα οδήγησε στην κατασκευή ενός ψευδοβρόγχου ο οποίος αναγνωρίστηκε λανθασμένα ως βρόγχος και χαρακτηρίστηκε ως R.

Πίνακας 1. Στοιχεία του συστήματος που περιέλαβαν οι φοιτητές με βάση το διάγραμμα του κύκλου του νερού

	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	ΟΜΑΔΕΣ										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	ΣΥΝΟΛΟ
	ΗΛΙΟΣ		+	+	+	+	+	+	+	+	+	9
	ΥΔΡΑΤΜΟΙ					+	+	+		+		4
	ΣΥΝΝΕΦΑ	+	+		+	+	+	+		+	+	8
	ΒΡΟΧΗ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
	ΧΙΟΝΙ				+					+		2
	ΕΔΑΦΟΣ	+		+	+	+	+	+	+	+	+	9
	ΠΑΓΟΣ		+		+							2
	ΠΟΤΑΜΙΑ	+			+					+		3
	ΛΙΜΝΕΣ				+					+		2
	ΥΓΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ						+	+				2
	ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	+	+	+		+	+	+	+	+	+	9
	ΘΑΛΑΣΣΑ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
	ΦΥΤΑ	+	+	+		+	+	+		+	+	8
ΣΥΝΟΛΟ/ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ	Από τα 13 συνολικά συστατικά αναφέρονται ανά ομάδα τα	7	7	6	9	8	9	9	5	11	7	

Πίνακας 2. Διαδικασίες του συστήματος που περιέλαβαν οι φοιτητές με βάση το διάγραμμα του κύκλου του νερού

	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	ΟΜΑΔΕΣ										ΣΥΝΟΛΟ
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	ΕΞΑΤΜΙΣΗ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	+		+		+	+		+		+	6
	ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΥΝΝΕΦΩΝ											0
	ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	10
	ΛΙΩΣΙΜΟ ΠΑΓΩΝ		+									1
	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΡΟΗ	+				+		+		+		4
	ΡΟΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΙΜΝΕΣ											0
	ΡΕΥΜΑ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ											0
	ΑΠΟΡΡΟΗ ΠΟΤΑΜΩΝ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ						+					1
	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	+				+	+				+	4
	ΥΠΟΓΕΙΑ ΡΟΗ	+				+	+	+				4
	ΔΙΑΠΝΟΗ	+	+	+		+	+	+		+	+	8
ΣΥΝΟΛΟ/ΑΝΑ ΟΜΑΔΑ	Από τις 12 συνολικά διαδικασίες αναφέρονται ανά ομάδα οι	7	4	4	2	7	7	5	3	4	5	

Βρόγχοι

Η 1^η ομάδα (πίν. 3) παρά του ότι αναγνώρισε 13 βρόγχους στο διάγραμμα του κύκλου του νερού χαρακτήρισε μόνο τους 8. Οι 5 που δεν χαρακτηρίστηκαν αναφέρονται στους κύριους βρόγχους του συστήματος που αναγνώρισε η ομάδα. Οι 8 βρόγχοι που χαρακτήρισε η ομάδα αναφέρονται στις εσωτερικές αλληλεπιδραστικές σχέσεις που αναπτύσσονται εντός των κύριων βρόγχων του συστήματος.

Η 3^η ομάδα χαρακτήρισε 7 από τους 8 βρόγχους που αναγνώρισε ότι υπάρχουν μέσα στο σύστημα. Ο βρόγχος που δεν χαρακτηρίστηκε καθώς και οι δύο βρόγχοι που χαρακτηρίστηκαν λανθασμένα ανήκουν στους κύριους βρόγχους του συστήματος. Οι δύο βρόγχοι με το λανθασμένο χαρακτηρισμό συμπεριλαμβάνουν τη σχέση λανθασμένης πολικότητας που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η 4^η ομάδα χαρακτήρισε 2 από τους 3 βρόγχους του συστήματος που αναγνώρισε. Ο βρόγχος που δεν χαρακτηρίστηκε αποτυπώνει την αλληλεπιδραστική σχέση μεταξύ της ηλιοφάνειας και των συννέφων.

Ψευδοβρόγχοι

Οι ομάδες 3, 6, 7 και 10 χαρακτήρισαν ως βρόγχους τους ψευδοβρόγχους (πίν.3) που δημιουργήθηκαν εντός της διαγραμματικής απεικόνισης. Οι ψευδοβρόγχοι σχηματίζονται όταν συμπεριλαμβάνουν ένα ή περισσότερα βέλη με αντίθετη φορά από αυτή που ακολουθείτε.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4 όλες οι ομάδες αναγνώρισαν έναν από τους κύριους βρόγχους του συστήματος που είναι η εξάτμιση και η σύνδεσή του μέσω των κατακρημνίσεων στο έδαφος. Αυτός ο βρόγχος αναπαριστά και την κύρια αντίληψη που έχουν οι μαθητές για τον κύκλο του νερού μιας και αποτυπώνεται σε όλα τα διαγράμματα του κύκλου του νερού που υπάρχουν στα σχολικά βιβλία.

Πίνακας 3. Πολικότητα

ΟΜΑΔΑ		ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ		ΒΡΟΓΧΟΙ							ΒΕΛΗ	
	ΣΥΝΟΛΟ ΣΧΕΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΩΣΤΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΒΡΟΓΧΩΝ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΒΡΟΓΧΩΝ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑΝ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΙ ΒΡΟΓΧΩΝ		ΨΕΥΔΟΒΡΟΓΧΟΙ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑΝ		ΚΑΜΠΥΛΑ	ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΑ
					R	B	ΣΩΣΤΟΣ	ΛΑΘΟΣ	R	B		
1	25	25		13		8	8				25	
2	22	22		10	6	4	10				22	
3	19	18	1	8	1	6	5	2	1		19	
4	9	8	1	3	1	1	2				6	3
5	20	20		8	4	4	8				20	
6	25	23	2	7	3	4	7		1		25	
7	13	13		5	3	2	5		1		13	
8	12	12		5	3	2	5				12	
9	15	15		6	3	3	6				15	
10	19	19		6	3	3	6		1		16	3

Η συμβολή των ποταμών στον κύκλο του νερού στη φύση αποτυπώθηκε μόνο στα διαγράμματα δύο ομάδων (1η και 9η) παρόλο που αντιπροσωπεύει ένα από τα κυρίαρχα νοητικά μοντέλα που έχουν οι μαθητές για τον κύκλο του νερού στη φύση και κυριαρχεί στις αναπαραστάσεις του κύκλου του νερού που συμπεριλαμβάνονται στα σχολικά βιβλία. Μια πρώτη εκτίμηση είναι ότι όλες οι υπόλοιπες ομάδες δεν συμπεριέλαβαν το βασικό συστατικό στοιχείο του κύκλου του νερού που είναι τα ποτάμια στα διαγράμματά τους για να μπορέσουν να αποτυπώσουν αυτή τη σχέση.

Θεωρούμε όμως ότι αυτή η σχέση δεν αγνοείται αλλά αποτυπώνεται στα διαγράμματα που κατασκεύασαν οι φοιτητές αν τη δούμε σε συνδυασμό με το γεγονός ότι 6 ομάδες επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν πιο συμπεριληπτικές έννοιες όπως «ποσότητα νερού στο έδαφος», «ποσότητα επιφανειακού νερού», «επιφανειακή ροή» για να αποτυπώσουν τη μεταφορά του νερού από το έδαφος στη θάλασσα.

Η 4^η και η 8^η ομάδα δεν αποτύπωσαν αυτή τη σχέση ούτε με τον έναν ούτε με τον άλλο τρόπο.

Οκτώ (8) ομάδες συμπεριέλαβαν στα διαγράμματά τους τα υπόγεια νερά. Η 3^η ομάδα ενώ αναφέρει τα υπόγεια νερά στο διάγραμμα που κατασκεύασε θεωρώντας το ως βασικό δομικό στοιχείο του κύκλου του νερού στη φύση δεν τα συνδέει με το νερό που υπάρχει στη θάλασσα ώστε να ολοκληρώσει τον βρόγχο.

Η 4^η ομάδα δεν συμπεριέλαβε τα υπόγεια νερά στο διάγραμμα που κατασκεύασε με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αναγνωριστεί η σχέση του υπόγειου νερού με τον κύκλο του νερού παρόλο που ο κύκλος αυτός είναι αναγνωρίσιμος στο διάγραμμα που τους δόθηκε.

Η 9^η όπως και η 3^η ομάδα συμπεριέλαβε τα υπόγεια νερά στο διάγραμμα που κατασκεύασε αλλά θεώρησε ότι αυτά αποδίδονται στην ατμόσφαιρα μόνο μέσω της διαπνοής των φυτών.

Οι ομάδες 2, 7, 8 αναγνώρισαν τη μεταφορά του υπόγειου νερού στη θάλασσα και συμπεριέλαβαν αυτό τον βρόγχο στα διαγράμματα που κατασκεύασαν χωρίς να παρεμβάλουν μέσα στο βρόγχο τη διαδικασία της απορρόφησης από το έδαφος που είναι η αιτία της δημιουργίας του υπόγειου νερού.

Όλες οι ομάδες με εξαίρεση την 4^η και την 9^η αναγνωρίζουν τη συνεισφορά των φυτών στον κύκλο του νερού μέσω της διαπνοής.

Οι 1^η, 5^η, 6^η, 7^η και 10^η ομάδα θεωρεί ότι το νερό που αποβάλλουν τα φυτά μέσω της διαπνοής τους προέρχεται από το επιφανειακό νερό και όχι από το νερό που απορροφάται από το έδαφος.

Η 1^η, η 5^η, η 6^η και η 10^η ομάδα συμπεριλαμβάνουν στα διαγράμματά τους τη μεταβλητή της απορρόφησης από το έδαφος παρόλ' αυτά θεωρούν ότι τα φυτά χρησιμοποιούν για τις ανάγκες τους το επιφανειακό νερό.

Η 7^η ομάδα δεν συμπεριλαμβάνει την απορρόφηση του νερού από το έδαφος για να μπορέσει να αποδώσει με ακρίβεια αυτή τη σχέση.

Η 2^η ομάδα δεν έχει ξεκαθαρίσει από πού προέρχεται το νερό που χρησιμοποιούν τα φυτά και το συνδέει τόσο με το επιφανειακό όσο και με το υπόγειο νερό και επίσης δεν συμπεριλαμβάνει στο διάγραμμά της τη μεταβλητή της απορρόφησης από το έδαφος.

Αυτό το στοιχείο της έρευνάς μας είναι δείγμα μιας παρανόησης που μπορεί να υπάρχει σχετικά με το από πού προέρχεται το νερό που χρησιμοποιούν τα φυτά.

Η παρανόηση αυτή μπορεί να οφείλεται στην αδυναμία του ίδιου του διαγράμματος που υπονοεί χωρίς να αναδεικνύει τον βρόγχο του συστήματος που συνδέεται με τη διαπνοή των φυτών. Στο διάγραμμα που τους δόθηκε φαίνεται ότι η απορρόφηση του νερού από το έδαφος οδηγεί μόνο στην δημιουργία του υπόγειου νερού και δεν συνδέεται με τα φυτά.

Άλλη πιθανοί παράγοντες είναι οι εικόνες που συμπεριλαμβάνουν τα σχολικά βιβλία και ο τρόπος με τον οποίο διαπραγματεύονται τα θέματα που αφορούν την ανάπτυξη των φυτών. Αναφέρονται στη σημασία που έχει το νερό για την ανάπτυξη των φυτών αποκομμένα χωρίς να το συνδέουν με τον κύκλο του νερού.

Πέντε ομάδες (1^η 2^η 3^η 5^η και 7^η) αναγνωρίζουν ότι το νερό δεν εξατμίζεται μόνο από την επιφάνεια της θάλασσας αλλά και του εδάφους.

ΟΜΑΔΕΣ	Πίνακας 4. Βρόγχοι που αναγνωρίζονται στα διαγράμματα των ομάδων								
	ΒΡΟΓΧΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ			ΒΡΟΓΧΟΙ ΠΟΥ ΥΠΟΝΟΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ			ΒΡΟΓΧΟΙ ΠΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΑΝ ΟΙ ΟΜΑΔΕΣ		
	ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΔΙΑΠΝΟΗΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΡΟΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΣΥΝΝΕΦΩΝ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ
1	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
2	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
3	✓			✓		✓		✓	
4	✓								✓
5	✓		✓	✓	✓	✓			✓
6	✓		✓	✓		✓			✓
7	✓		✓	✓	✓	✓			
8	✓		✓				✓		
9	✓	✓		✓					
10	✓		✓	✓		✓			

Η 5^η και η 7^η ομάδα για να αναδείξει αυτό το βρόγχο του συστήματος συμπεριέλαβε τη μεταβλητή της «υγρασίας του εδάφους» στο διάγραμμα που κατασκεύασε. Η 1^η, 2^η και 3^η το ανέδειξε μέσω τις απευθείας σύνδεσης του νερού που υπάρχει στην επιφάνεια της γης με την εξάτμιση.

Τρεις ομάδες (1^η, 2^η και 8^η) αναγνώρισαν τον ατμοσφαιρικό κύκλο μέσα στον κύκλο του νερού με την απευθείας κατακρήμνιση στη θάλασσα παρόλο που αυτός ο βρόγχος δεν αναγνωρίζεται ούτε υπονοείται στο διάγραμμα που τους δόθηκε.

Η 4^η, 5^η και 6^η ομάδα ανακάλυψαν μια κρυφή αλληλεπιδραστική σχέση μεταξύ της ηλιοφάνειας και των συννέφων.

Συμπεράσματα

Η ανάλυση των διαγραμμάτων που κατασκεύασαν οι φοιτητές οδηγεί στα παρακάτω συμπεράσματα:

Ένα τυπικό διάγραμμα του κύκλου του νερού μπορεί να αναπαρασταθεί με τη χρήση διαγραμμάτων CLD.

Οι κανόνες διαγραμματικής απεικόνισης με CLD μπορούν να διδαχθούν και να εφαρμοστούν από τους φοιτητές στο μετασχηματισμό ενός τυπικού διαγράμματος του κύκλου του νερού χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Οι φοιτητές είχαν δυσκολία στο να αποτυπώσουν όλους τους βρόγχους του υδρολογικού συστήματος που μπορούν να γίνουν άμεσα αντιληπτοί από το διάγραμμα που τους δόθηκε γιατί δεν συμπεριέλαβαν στα διαγράμματά τους τα στοιχεία και τις διαδικασίες εκείνες που είναι απαραίτητες για να αποδοθούν αυτοί οι βρόγχοι.

Στα διαγράμματα που κατασκεύασαν οι φοιτητές αναγνωρίζονται και βρόγχοι του συστήματος που δεν γίνονται άμεσα αντιληπτοί στο διάγραμμα που τους δόθηκε.

Οι περισσότερες ομάδες αποτύπωσαν είτε άμεσα είτε έμμεσα χρησιμοποιώντας συμπεριληπτικές έννοιες τους κύριους βρόγχους του συστήματος που αναγνωρίζονται ή υπονοούνται στο διάγραμμα.

Ανακάλυψαν κρυφές σχέσεις μέσα στο σύστημα καθώς και βρόγχους που δεν αναγνωρίζονται στο διάγραμμα που τους δόθηκε.

Συμπεριέλαβαν τις κύριες αποθήκες νερού (ατμόσφαιρα, έδαφος, υπόγεια νερά, θάλασσα) και τις κυριότερες εισροές και εκροές του συστήματος όπως είναι η εξάτμιση η διαπνοή, η κατακρήμνιση και η απορρόφηση νερού από το έδαφος καθώς και η απορροή προς τη θάλασσα.

Η αναζήτηση αιτιακών σχέσεων για τις ανάγκες της διαγραμματικής απεικόνισης ώθησε τους φοιτητές στο να αναζητήσουν και να χρησιμοποιήσουν και άλλες μεταβλητές του συστήματος που δεν αναφέρονται π.χ. απορρόφηση από τις ρίζες των φυτών για να αποδώσουν καλύτερα αυτές τις σχέσεις.

Τα διαγράμματα CLD βοήθησαν στο να αναδειχθούν πιθανές παρανοήσεις που μπορεί να υπάρχουν και θεωρούμε ότι μπορούν να αξιοποιηθούν και ως τέτοιο εργαλείο σε διάφορες γνωστικές περιοχές και όχι μόνο στον κύκλο του νερού.

Τα διαγράμματα του κύκλου του νερού έχουν κατασκευαστικές αδυναμίες που μπορούν να οδηγήσουν σε παρανοήσεις αλλά και δεν μπορούν να αναδείξουν τις αλληλεπιδραστικές σχέσεις που δημιουργούνται μέσα στο σύστημα. Θεωρούμε ότι οι αδυναμίες αυτές μπορούν να υπερκεραστούν με την επικουρική χρήση των διαγραμμάτων CLD.

Θεωρούμε ακόμη ότι η εκμάθηση της κατασκευής τους δεν είναι δύσκολη και μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στην πρωτοβάθμια όσο και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση για να προωθηθεί η ανάπτυξη της συστημικής σκέψης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

Benchmarks for Science Literacy (2000) <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/bolintro.htm> πρόσβαση στις 18/8/2014.

- Covitt, B.A., Gunkel, K.L., Anderson, Ch. W (2009). Students Developing Understanding of Water in Environmental Systems The Journal of Environmental Education, 40 (3), 37-51.
- Creative Learning Exchange, (2012). Introduction to System Dynamics Tools Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα www.clexchange.org, πρόσβαση 10/3/ 2013.
- Forrester, J. W. (1994). Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, June 27-29, 1994 at Concord Academy Concord, MA, USA.
- Haraldsson, H. V. (2000). Introduction to Systems and Causal Loop Diagrams System Analysis course LUMES, Lund University. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://dev.crs.org.pl:4444>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης, 29/7/20014.
- Kastens, K., (2010). Teaching Complex Earth Systems using visualizations. In: Cutting Edge Workshop on “Developing Student Understanding of Complex Earth Systems” Carleton College, Northfield, MN, April 18-20, Workshop Conveners: Manduca, C., Mogk, D., Bice, D., Pyle, E., Slotta, J. In: <http://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/complexsystems/workshop2010/program.html>, τελευταία ημερομηνία πρόσβασης: 19/4/2015.
- Lane, D. C. (2000). Diagramming Conventions in System Dynamics, The Journal of the Operational Research Society, 51(2), 241-245.
- National Research Council. (1996). National science education standards. Washington, DC.: National Academy Press.
- Ossimitz, G. (2000). Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany. Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society, Bergen, Norway. 1-17.
- Perlman, H., Makropoulos, C., Koutsogiannis, D. (2005). The water cycle. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://ga.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>, 19 pages, United States, Geological Survey, πρόσβαση στις 20/2/14.
- Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. System Dynamics Review, 9(2), 113-133.
- Rutherford, F. J. & Ahigren, A. (1990). *Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Shepardson, D., Wee, B., Priddy, M., Schellenberger, L., Harbor, J. (2009). Water Transformation and Storage in the Mountains and at the Coast: Midwest students’ disconnected conceptions of the hydrologic cycle. *International Journal of Science Education*, 31(11), 1447–1471.
- Snow, J. (2006). STELLA Models in the classroom from static images to dynamic, interactive models, presentation. In: Unidata Users Workshop “*Expanding the use of models as educational tools in the atmospheric & related sciences*”, Boulder Colorado, 10-14 July.
- Stillings, N. (2012). Complex Systems in the geosciences learning. In: Kastens, K.A. and Manduca, C.A. (eds), *Earth and Mind II: A synthesis of Research on thinking and Learning in the Geoscience*. Geological Society of America, Special Paper 486.
- Wilhite, S. (2008). Project I: Concept Learning Feedback Loops R521: Instructional Design and Development I. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://www.clexchange.org/curriculum/doc_search.asp?category=alldocs&searchstring=Steve%20Wilhite, ημερομηνία πρόσβασης 29/7/2014.

Ελληνική

- Διάγραμμα του κύκλου του νερού, διαθέσιμο στο: http://5niptrip.blogspot.gr/2012/10/blog-post_18.html, ημερομηνία πρόσβασης 29/7/2014
- Λαμπρινός Ν., Ρέλλου Μ. (2011). Η εξάτμιση και υγροποίηση ως φαινόμενα του κύκλου του νερού στη φύση. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της ΚοΔιΦΕΕΤ, με θέμα «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση», σελ. 958-966, 15-18 Απριλίου 2010, Αλεξανδρούπολη.
- ΦΕΚ 304, τ. Β, 13-3-2003. Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ.) και Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών (Α.Π.Σ.) Δημοτικού – Γυμνασίου: Μουσικής, Ξένων Γλωσσών, Οικιακής Οικονομίας, Πληροφορικής, Σχολικού

Επαγγελματικού Προσανατολισμού, Τεχνολογίας, Φυσικών Επιστημών (Βιολογίας, Γεωλογίας, Γεωγραφίας, Ερευνώ το Φυσικό Κόσμο, Φυσικής, Χημείας), Φυσικής Αγωγής, Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ.) και Αναλυτικά Προγράμματα Σπουδών (Α.Π.Σ.) Προσχολικής Αγωγής, Προγράμματα σχεδιασμού και ανάπτυξης διαθεματικών δραστηριοτήτων (Ευέλικτη Ζώνη, Αγωγή Υγείας, Ολυμπιακή Παιδεία, Περιβαλλοντική Εκπαίδευση) και Παράρτημα: Οδηγίες προς τους συγγραφείς των σχολικών βιβλίων, προδιαγραφές σχολικών βιβλίων. Εθνικό Τυπογραφείο.