

# Το Περιεχόμενο Της Έννοιας «Πολυπλοκότητα» (Complexity) ως Χαρακτηριστικό των Οικοσυστημάτων. Η Εκπαιδευτική Αξία, και οι Στόχοι της Διδασκαλίας της

Αριστοτέλης Γκιόλιας<sup>1</sup>, Ανθimos Χαλκίδης<sup>2</sup>, Δημήτριος Σταύρου<sup>3</sup>,  
Κωνσταντίνος Σκορδούλης<sup>4</sup>.

1. Υποψήφιος Διδάκτορας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
Πανεπιστημίου Αθήνας, [agkiolm@primedu.uoa.gr](mailto:agkiolm@primedu.uoa.gr)

2, 3. Επιστημονικοί Συνεργάτες, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
Πανεπιστημίου Αθήνας

4. Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Πανεπιστημίου Αθήνας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι η Πολυπλοκότητα (Complexity) αποτελεί μία συμπεριφορά που εκδηλώνουν πολλά φυσικά συστήματα. Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθεί το περιεχόμενο, άρα και η δυνατότητα διδασκαλίας της πολυπλοκότητας ως μία ιδιότητα των οικοσυστημάτων, με στόχο να απευθυνθεί κανείς σε μαθητές – κυρίως – Λυκείου. Τα οικοσυστήματα εκδηλώνουν πολύπλοκη συμπεριφορά, η οποία θα αναδειχθεί μέσα από πέντε βασικές ιδιότητες οι οποίες τα χαρακτηρίζουν: την εξάρτησή τους από την παρατήρηση / τον παρατηρητή (observation-dependence ή observer-dependence, ήτοι την «απόσταση» από την οποία παρατηρούνται και το χρόνο παρατήρησης), την αυτο-οργάνωση (self-organisation), την ανάδυση (emergence), την ύπαρξη βρόχων ανάδρασης (feedback loops) και την αυτοαναπαραγωγή (autopoiesis). Αφού αναλυθούν οι ιδιότητες αυτές, διερευνώνται τα πιθανά εκπαιδευτικά οφέλη και οι διδακτικοί στόχοι της διδασκαλίας της πολυπλοκότητας ως χαρακτηριστικό των οικοσυστημάτων, σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:** Πολυπλοκότητα, οικοσυστήματα, εκπαιδευτική

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως **Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems)** ορίζονται εκείνα τα συστήματα που αποτελούνται από πολλά απλά και σε μεγάλο βαθμό όμοια μέρη, αλλά ενώ συχνά η συμπεριφορά καθενός από τα μέρη τους είναι εύκολο να ερμηνευθεί, η συμπεριφορά του συστήματος σαν σύνολο δεν επιδέχεται απλής ερμηνείας και περιγραφής (Flake, 1998). Μία από τις αιτίες για τις οποίες τα πολύπλοκα συστήματα συμπεριφέρονται κατά τον τρόπο αυτό, είναι ότι ορισμένες συνολικές καταστάσεις τους είναι αποδεδειγμένο ότι όντως μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια ως προς τη γενική τους εξέλιξη, αν συγκεκριμένες παράμετροι του συστήματος λάβουν κάποια τιμή. Ταυτόχρονα όμως, άλλες συνολικές καταστάσεις των πολύπλοκων συστημάτων είναι αδύνατο να προβλεφθούν ως προς τη χρονική τους εξέλιξη, αν οι παράμετροι αυτές λάβουν κάποιες άλλες τιμές. Ειδικότερα, αν μεταβληθεί ο τύπος ή και η μορφή των αλληλεπιδράσεων που υπάρχουν ανάμεσα στα μέρη ενός πολύπλοκου συστήματος, η συνολική συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να μεταβληθεί με τέτοιο τρόπο ώστε το συνολικό σύστημα να δείχνει ότι λειτουργεί με κάποιο ενιαίο σκοπό, παρόλο που τα μέρη του δείχνουν να ανταλλάσσουν πληροφορία μόνο σε πολύ τοπικό επίπεδο. Άμεση συνέπεια του τελευταίου είναι ότι

μπορεί να υπάρξει συνολικός και αναλυτικός υπολογισμός της συμπεριφοράς του συστήματος, χωρίς απαραίτητα να υφίσταται ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος.

Σύμφωνα με την Karsten (2004) η πολυπλοκότητα είναι μία ιδιότητα ενός συστήματος από την οποία είναι δυνατόν να χαρακτηρίζεται και κάθε μέρος του συστήματος χωριστά και η οποία είναι ειδικότερα κατάλληλη για να αποδοθεί σε εκείνα τα χαρακτηριστικά του συστήματος που είναι δύσκολο να περιγραφούν και αποτελεσματικά αλλά και με συνέπεια. Η δυσκολία στην περιγραφή των χαρακτηριστικών αυτών έγκειται στην κατά περίπτωση ασυνήθιστη συμπεριφορά τους, συμπεριφορά που δύσκολα επιδέχεται πιο απλουστευμένη ερμηνεία ή κατανόηση ή περιγραφή. Η συμπεριφορά αυτή δεν μπορεί ούτως ή άλλως να περιγραφεί με τη χρήση αναγωγιστικών μοντέλων ή μοντέλων αιτίου-αποτελέσματος ή ακόμη βασικών μηχανιστικών μεταφορικών σχημάτων (Karsten, 2004).

Ως εκ τούτου πολύπλοκο μπορεί να είναι ένα σύστημα ή και ένα χαρακτηριστικό / ιδιότητα του συστήματος, εφ' όσον αυτό είναι δύσκολο να περιγραφεί από έναν παρατηρητή αποτελεσματικά και συνεκτικά ταυτόχρονα. Συνεπώς αναδεικνύονται δύο διαστάσεις της έννοιας «πολύπλοκο»: (i) Ένα σύστημα μπορεί να χαρακτηρίζεται συνολικά ως πολύπλοκο, όπου η πολυπλοκότητα είναι μία ιδιότητά του ή (ii) μία ή περισσότερες από τις ιδιότητες του συστήματος εμφανίζουν πολύπλοκη συμπεριφορά.

Τα *οικοσυστήματα* είναι συστήματα τα οποία εμφανίζουν πολυπλοκότητα (May, 2001). Η πολυπλοκότητα αυτή αφορά τόσο τη *διαμόρφωσή* τους (constitution), η οποία αναλύεται σε δύο επιμέρους συνιστώσες, τη *σύστασή* τους (composition) και τη *δομή* τους (structure), όσο και τη *συμπεριφορά τους στην εξέλιξη του χρόνου* (compartment). Ταυτόχρονα υπάρχουν και συγκεκριμένες ιδιότητες των οικοσυστημάτων που εμφανίζουν πολυπλοκότητα (May, 2001), όπως είναι οι πληθυσμοί των έμβιων ειδών τους (θηρευτές και θηράματα, παραγωγοί και καταναλωτές διαφόρων τάξεων), οι ανταλλαγές ενέργειας μέσα στο οικοσύστημα, οι κατασκευές των θώκων και των ενδιαιτημάτων από τους ίδιους τους *αντιπροσώπους* (agents) των πληθυσμών, οι μετακινήσεις των πληθυσμών κ.α.

## **ΟΙ ΠΕΝΤΕ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ Η΄ ΕΚΔΗΛΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ**

Στη μελέτη αυτή μελετώνται πέντε συγκεκριμένες ιδιότητες των οικοσυστημάτων που δύνανται να τους προσδώσουν πολύπλοκη συμπεριφορά, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Οι ιδιότητες αυτές είναι: η εξάρτησή τους από την παρατήρηση (observation-dependence, ήτοι την «απόσταση» από την οποία παρατηρούνται και το χρόνο παρατήρησης), η αυτο-οργάνωση (self-organisation), η ανάδυση (emergence), η ύπαρξη βρόχων ανάδρασης (feedback loops) και η αυτοαναπαραγωγή (autopoiesis) (η τελευταία αφορά μόνο τα έμβια μέρη του οικοσυστήματος).

### **A. Η εξάρτηση από την παρατήρηση.**

Ένα χαρακτηριστικό των πολύπλοκων συστημάτων ή των χαρακτηριστικών εκείνων των συστημάτων που δύνανται να έχουν πολύπλοκη συμπεριφορά, είναι η εξάρτησή τους από την παρατήρηση και τον παρατηρητή (observation-dependence, observer-dependence) (Gell-Mann, 1995; Standish, 2008). Εδώ υπεισέρχεται ο ανθρωπίνος υποκειμενικός παράγων, δηλ. προκύπτει αυτό που ο Murray Gell-Mann

ονομάζει *ουσιαστική πολυπλοκότητα (effective complexity)* (Gell-Mann, 1995), υπό την έννοια ότι η πολυπλοκότητα είναι αυξημένη για συστήματα που περιγράφονται από τον άνθρωπο με «πολύπλοκο τρόπο» και ελαττωμένη για συστήματα που περιγράφονται με «εμφανώς τετριμμένο» (obviously regular) τρόπο ή χαρακτηρίζονται ως «τυχαία» (random) στη συμπεριφορά τους. Για την περίπτωση του μαθητή-παρατηρητή που παρατηρεί ένα οικοσύστημα, η εξάρτηση από τον παρατηρητή και την παρατήρηση σημαίνει αφενός ότι η «απόστασή» του από το παρατηρούμενο σύστημα ή από το παρατηρούμενο χαρακτηριστικό μπορεί να το καθιστά «πολύπλοκο» ή «μη πολύπλοκο» και αφετέρου ότι ο χρόνος παρατήρησης μπορεί να επηρεάζει αν το σύστημα θα είναι πολύπλοκο ή όχι. Άρα ένας από τους μετα-μαθησιακούς στόχους της έρευνας είναι να αντιληφθεί ο μαθητής ότι: το κατά πόσον είναι ικανός ο παρατηρητής να ερμηνεύσει και να περιγράψει ό,τι παρατήρησε σε ένα (οικο)σύστημα αποτελεί μία βασική παράμετρο στον καθορισμό του επιπέδου της πολυπλοκότητας αυτού.

## **B. Η αυτο-οργάνωση (self-organization).**

Με τον όρο αυτο-οργάνωση εννοούμε την ιδιότητα ενός πολύπλοκου συστήματος να αλλάζει την εσωτερική του δομή, ώστε να αλληλεπιδρά κατά καλύτερο τρόπο με το περιβάλλον του (Manson, 2001). Κατά μία έννοια η αυτο-οργάνωση είναι που επιτρέπει σε ένα σύστημα να «μανθάνει» μέσα από μικρές, τμηματικές αλλαγές στην εσωτερική του δομή.

Στα οικοσυστήματα η αυτο-οργάνωση προκύπτει κυρίως ως *χωρική αυτο-οργάνωση (spatial self-organization)*. Την παρατηρεί κανείς σε πολύ συνηθισμένα μέρη κάποιων οικοσυστημάτων, όπως είναι ένα κοπάδι από ψάρια ή ένα σμήνος από μεταναστευτικά πουλιά. Παρατηρείται π.χ. ένα σμήνος από πουλιά να αλλάζει ξαφνικά και συλλογικά κατεύθυνση κατά την πτήση του και η κίνηση αυτή παρερμηνεύεται ως ανταπόκριση σε μία αλλαγή κατεύθυνσης του «αρχηγού» τους ή ως συλλογική αντίδραση σε ένα εξωτερικό ερέθισμα όπως είναι ένας κίνδυνος. Στην ουσία πρόκειται για φαινόμενο αυτο-οργάνωσης που προκύπτει από στοιχεία / «πληροφορία», που ανταλλάσσει κάθε μέλος της ομάδας μόνο με τα γειτονικά του μέλη (Colella, Klopfer & Resnick, 2001).

## **Γ. Η ανάδυση (emergence).**

Η ανάδυση αποτελεί επίσης χαρακτηριστικό ενός συστήματος που μπορεί να του προσδώσει πολύπλοκη συμπεριφορά. Η ανάδυση ορίζεται ως μία μορφή *συνεργίας (synergism)* κατά την οποία χαρακτηριστικά ή συμπεριφορές του συστήματος ως σύνολο δεν προκύπτουν από την υπέρθεση των χαρακτηριστικών ή των συμπεριφορών των μερών του, αθροιστικά, αλλά προκύπτουν ως επιπλέον ιδιότητες μέσα από τις *αλληλεπιδράσεις* των μερών του συστήματος (Baas & Emmeche, 1997). Άρα ένα πολύπλοκο σύστημα εμφανίζει ανάδυση όταν η συμπεριφορά του δεν μπορεί να συναχθεί αναλυτικά από την συμπεριφορά των μερών που το αποτελούν.

Σε σχέση με τα οικοσυστήματα η ανάδυση εκδηλώνεται ως η εμφάνιση καινούργιων, αναγνωρίσιμων και οργανωμένων *μορφών / σχηματισμών (patterns)*, που δεν προέκυπταν αρχικά από τα τμήματα του συστήματος που τις δημιουργήσε (Crutchfield, 1994). Σε ότι αφορά τα οικοσυστήματα είναι χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα η δημιουργία λόφων από τα μυρμήγκια, που τα διευκολύνουν στο να μεταφέρουν υλικά ή ο σταδιακός σχηματισμός ενός σχήματος V από ένα σμήνος

χήνες που πετούν, πράγμα που τους δίνει καλύτερη αεροδυναμική και άρα λιγότερη δαπανώμενη ενέργεια.

#### **Δ. Η ύπαρξη βρόχων ανάδρασης (feedback loops).**

Οι βρόχοι ανάδρασης είναι στοιχείο που μπορεί να αποτελέσει αίτιο πολύπλοκης συμπεριφοράς σε ένα σύστημα και ειδικότερα σε ένα οικοσύστημα. Ας θεωρήσουμε λόγω χάριν τη γνωστή *λογιστική εξίσωση διαφορών* που δίνει το μέγεθος  $X$  του πληθυσμού κάποιου είδους μέσα σε ένα οικοσύστημα:

$$X_{N+1} = a X_N (1 - X_N) \quad (1)$$

Το  $X_N$  είναι ο πληθυσμός της  $N$ -οστής γενιάς κάποιου είδους μέσα στο οικοσύστημα (π.χ. τα ελάφια σε ένα δάσος). Το  $X_{N+1}$  είναι ο πληθυσμός της αμέσως επόμενης γενιάς, ενώ το  $a$  είναι μία παράμετρος πληθυσμιακής αύξησης που επηρεάζεται από ποικίλα στοιχεία, όπως είναι ο ρυθμός γεννήσεων του πληθυσμού, ο ρυθμός θανάτων από φυσικά αίτια, το αν αλληλο-επικαλύπτονται ή όχι οι γενεές ηλικιακά και, βέβαια, τους θανάτους λόγω ενός *θηρευτή* (π.χ. ενός λύκου) που είναι ένα άλλο είδος. Το  $a$  παίρνει πάντοτε θετικές τιμές. Σε αυτή την απλή εξίσωση για τους πληθυσμούς που έχει εμφανή την ιδιότητα της ανάδρασης, αφού ο πληθυσμός της  $N+1$ -οστής γενιάς εξαρτάται και από τον πληθυσμό της  $N$ -οστής γενιάς, ο May (May, 1976), ανακάλυψε εκδηλώσεις πολύπλοκης συμπεριφοράς και μάλιστα αυτής που ονομάζεται *αιτιοκρατική πολυπλοκότητα (deterministic complexity)*. Αν, επί παραδείγματι, δώσουμε στο  $a$  μία οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 1 και 3, ο πληθυσμός του είδους (εδώ των ελαφιών) θα συγκλίνει στο  $1 - 1/a$ , οσοδήποτε και αν είναι το αρχικό μέγεθος του πληθυσμού (το συμβολίζουμε με  $X_0$ ). Άρα η τιμή  $1 - 1/a$  αποτελεί αυτό που λέμε *ελκυστή (attractor)* και αυτό είναι προϊόν αρνητικής ανάδρασης. Για τιμές του  $a < 1$ , ο πληθυσμός  $X$  σταδιακά εξαφανίζεται, ενώ για τιμές  $a > 4$  ο πληθυσμός  $X$  αυξάνεται ανεξέλεγκτα και αυτά τα δύο είναι αποτελέσματα θετικής ανάδρασης. Ειδικότερο ενδιαφέρον ως προς την πολυπλοκότητα παρουσιάζουν οι τιμές του  $a$  μεταξύ 3 και 4, όπου για ορισμένες εξ αυτών, ο πληθυσμός μπορεί να καταλήξει σε 2 (ή σε 4 ή σε 8 κοκ) *ισοπίθανες αλλά σταθερές* τιμές (άρα ελκυστές) και τα φαινόμενα αυτά λέγονται *διχαλώσεις (bifurcations)*.

Η λογιστική εξίσωση αποτελεί μία από τις πιο γνωστές περιπτώσεις εμφάνισης αιτιοκρατικού χάους (deterministic chaos) υπό την έννοια ότι οι λύσεις της εμφανίζουν χαοτική συμπεριφορά, παρ' όλο που πρόκειται για μία σαφώς προσδιορισμένη μαθηματική σχέση.

#### **Ε. Η αυτοαναπαραγωγή (autopoiesis).**

Η έννοια της αυτοαναπαραγωγής (autopoiesis ή και self-regeneration) πρωτοεισάγεται για τα έμβια συστήματα από τους Maturana και Varela (Maturana & Varela, 1980). Την εισάγουν ως μία μορφή συμπεριφοράς των έμβιων συστημάτων, κατά την οποία οι τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών ενός έμβιου συστήματος συνδυάζονται ώστε να ανανεώνουν συνεχώς το ολικό σύστημα του οποίου αποτελούν τμήματα. Για την ακρίβεια, όπως το διατυπώνουν :

*«μία αυτοποιητική μηχανή είναι μία μηχανή οργανωμένη (αν οριστεί ως κάτι ενιαίο) υπό τη μορφή ενός δικτύου από διαδικασίες παραγωγής (και μετασχηματισμού και καταστροφής) των μερών της, τα οποία μέρη : (i) μέσω των αλληλεπιδράσεων και των μετασχηματισμών τους συνεχώς αναπαράγουν και μορφοποιούν το δίκτυο των διαδικασιών (σχέσεων) που τα παρήγαγαν και (ii) μορφοποιούν αυτήν (τη μηχανή) ως μία συγκεκριμένη ενιαία οντότητα στο χώρο που αυτά (τα μέρη) υπάρχουν, με το να*

*καθορίζουν τον τοπολογικό τομέα της υλοποίησής της ως ένα τέτοιο δίκτυο.» (Maturana & Varela, 1980, σελ. 78).*

Μέσα από αυτό τον ορισμό τα οικοσυστήματα είναι αυτοποιητικά συστήματα γιατί οι πληθυσμοί των ειδών μέσα σε αυτά έχουν την τάση να αναγεννώνται και να φτάνουν σε νέες μετα-ευσταθείς καταστάσεις ισορροπίας, εάν υποστούν μία ισχυρή μεταβολή (Green, 1994). Μία πυρκαγιά π.χ. σε ένα βροχοδάσος θα αντιμετωπιστεί από ένα πληθυσμό κάποιου είδους δέντρων σταδιακά με το να ξαναφθάσει στο επίπεδο που ήταν πριν. Αλλά και ο πληθυσμός ενός είδους φυτών στο οικοσύστημα ενός αγρού θεωρείται ότι εκδηλώνει αυτοποιητική συμπεριφορά αλλά και μόνο με το να δείχνει μία σταθερότητα, έστω και περνώντας μέσα από κύκλους που οφείλονται σε αυξομειώσεις των μελών του λόγω φυσικών αιτιών («θανάτων») ή λόγω παρουσίας άλλου φυτοφάγου είδους σταθερά στο οικοσύστημα. (Parrott & Kok, 2005).

Η αυτοαναπαραγωγή είναι χαρακτηριστικό πολυπλοκότητας των συστημάτων γενικότερα και άρα και των οικοσυστημάτων, αφού σχετίζεται με υψηλότερο επίπεδο οργάνωσης και συνεργασίας μεταξύ των μερών τους, εν σχέσει με τη δράση και τις ιδιότητες κάθε μέρους χωριστά. Δεν θα πρέπει όμως να συγχέεται με την αυτοοργάνωση ούτε με την ανάδυση, γιατί η μεν πρώτη αφορά μόνο στενά τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μερών και δημιουργεί νέες συμπεριφορές ή ιδιότητες κι όχι νέα μέλη ενώ η δεύτερη δίνει μόνο μορφές που ουδέποτε προϋπήρχαν, εν αντιθέσει με την αυτοαναπαραγωγή που δίνει νέα μέρη και προσπαθεί να αποκαταστήσει ένα προϋπάρχον μέγεθος ή ιδιότητα.

## **Η ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΟΙΚΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

Με βάση τις πέντε προαναφερθείσες παραμέτρους για το χαρακτηρισμό ενός οικοσυστήματος ως «πολύπλοκο», θα εξεταστούν τα εκπαιδευτικά οφέλη αλλά και οι διδακτικοί στόχοι της διδασκαλίας της πολυπλοκότητας μέσα στο εννοιολογικό πλαίσιο του «οικοσυστήματος».

Κατ' αρχήν είναι πλέον καθολικά αποδεκτό ότι δεν υπήρξε ποτέ εποχή στην ιστορία ως τώρα που η σε βάθος κατανόηση των οικοσυστημάτων να είναι τόσο κρίσιμης σημασίας όσο σήμερα (Haury, 2002). Παίρνοντας σαν παράδειγμα τα οικοσυστήματα των πόσιμων υδάτων, βλέπει κανείς ότι είναι συχνά τόσο υποβαθμισμένα πλέον στον πλανήτη μας που πρακτικά χάνεται η δυνατότητά τους να υποστηρίξουν κάθε είδους ζωή, άρα και την ανθρώπινη (Revenga, Brunner, Henninger, Kassem, & Payne, 2000). Συνεπώς η μάθηση πάνω στα οικοσυστήματα δεν είναι απλά μία επιδίωξη του μαθήματος της Βιολογίας. Είναι μία μελέτη πάνω στην επιβίωση (Haury, 2002).

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, το να διδαχτούν οι μαθητές τα περί πολυπλοκότητας στα οικοσυστήματα είναι μία διαδικασία που καλλιεργεί τον ολιστικό (έναντι του αναγωγικού) τρόπο σκέψης και τη συστημική αντιμετώπιση του κόσμου που τους περιβάλλει και των φαινομένων αυτού (Westra, 2008). Η μάθηση για την πολυπλοκότητα στα οικοσυστήματα προσδίδει στο μαθητή συνείδηση του ότι δεν υπάρχουν πάντα μονοδιάστατες λύσεις στα οικολογικά προβλήματα, όπως παραδείγματος χάριν ότι δεν υπάρχει άμεση συσχέτιση ανάμεσα στη βιοποικιλότητα και την ευστάθεια του οικοσυστήματος, όπως επίσης και ό,τι οι προβλέψεις περί της

συμπεριφοράς ενός οικοσυστήματος σε συγκεκριμένες συνθήκες, συχνά δεν επαληθεύονται (Westra, 2008). Ο μαθητής μέσα από τις παραμέτρους της πολυπλοκότητας στα οικοσυστήματα μαθαίνει να αναγνωρίζει σχέσεις διαφόρων επιπέδων, να κινείται σε ποικίλες κλίμακες μεγέθους μελέτης του οικοσυστήματος και να αναγνωρίζει «σκοπούς» συνεργιστικών δράσεων των μερών του συστήματος.

Επιπλέον, στο επίπεδο των «στάσεων» του κάθε ατόμου απέναντι στο φυσικό περιβάλλον, είναι παρατηρημένη συχνά η μη συμβατότητα ανάμεσα στο τι «αισθάνονται» οι άνθρωποι για το περιβάλλον και στο καθεαυτό σύστημα αξιών και συμπεριφοράς που έχουν (Mankoff, 2002). Άρα θεωρείται ότι (Karsten, 2004) πιθανόν η χρήση της πολυπλοκότητας ως ένα νέο εννοιολογικό πλαίσιο για τη συνειδητοποίηση της σχέσης ανθρώπου – φυσικού περιβάλλοντος, μπορεί να βοηθήσει στο να αντιμετωπιστεί η παραπάνω ασυμβατότητα, υπό την έννοια της εκπαίδευσης πάνω στην υιοθέτηση πολλαπλών προοπτικών, την επίγνωση του πώς το οικοσύστημα αντιδρά στις παρεμβάσεις και την μελέτη του υπό πολλαπλά επίπεδα «αποστασιοποίησης».

Ακόμη θα πρέπει να τονιστεί ότι η κατανόηση και μελέτη της πολυπλοκότητας στα οικοσυστήματα και τους έμβιους οργανισμούς γενικά, αποτελεί έναν εκπεφρασμένο στόχο που εκφράζεται ρητά και συχνά και στο καινούργιο ελληνικό Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών (ΔΕΠΠΣ) για το Γυμνάσιο, κυρίως στο μάθημα της Βιολογίας (<http://www.pi-schools.gr/programs/depps>).

Η διδακτική παρέμβαση, η οποία βρίσκεται στη φάση του σχεδιασμού, προβλέπει την κατ' αρχήν διδασκαλία σε μικρές ομάδες μαθητών του Λυκείου, πάνω στο θέμα της πολυπλοκότητας, όπως αυτή εκδηλώνεται ως ιδιότητα των οικοσυστημάτων. Η διδασκαλία θα στηριχτεί στις πέντε παραμέτρους της πολυπλοκότητας που εκθέσαμε στο θεωρητικό μέρος. Κατόπιν, και αφού στους μαθητές θα έχουν διανεμηθεί ερωτηματολόγια που να αναδεικνύουν τα όσα έχουν κατανοήσει για την πολυπλοκότητα στα οικοσυστήματα στα προαναφερθέντα πλαίσια, θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό από τους ίδιους τους μαθητές, υπό την επίβλεψη του διδάσκοντα. Μικρά «μοντελοποιημένα» οικοσυστήματα, θα ξεκινούν από μία αρχική κατάσταση, στην οποία θα μπορεί να παρεμβαίνει και ο μαθητής συχνά, και θα παρακολουθούνται στον υπολογιστή κατά τη χρονική τους εξέλιξη. Εκεί θα αναδεικνύεται η πολύπλοκη συμπεριφορά τους, υπό το πρίσμα των πέντε ιδιοτήτων που αναφέραμε. Επίσης ο μαθητής θα μπορεί να παρεμβαίνει και στη ρύθμιση των τιμών συγκεκριμένων παραμέτρων των οικοσυστημάτων-μοντέλων αυτών, πράγμα που θα έχει ως συνέπεια την εκδήλωση ή τη μη εκδήλωση πολύπλοκης συμπεριφοράς συν τω χρόνω.

Μετά την εμπλοκή και αλληλεπίδραση των μαθητών με το λογισμικό, θα τους διανέμονται εκ νέου ερωτηματολόγια, με σκοπό την καταγραφή του κατά πόσο έγιναν αντιληπτές οι έννοιες / ιδιότητες της πολυπλοκότητας στα οικοσυστήματα που επιδιωκόταν να διδαχθούν.

Στα πλαίσια αυτά θεωρούμε ότι η εργασία αυτή και η μεθοδολογία που προτείνεται μπορεί να συμβάλλει στο να τεθούν οι θεωρητικές και διδακτικές βάσεις για τη διδασκαλία της πολυπλοκότητας υπό μορφή ιδιότητας των οικοσυστημάτων, μία διδασκαλία που να στηρίζεται σε συγκεκριμένες πλατφόρμες λογισμικού (Dimitracopoulou, Komis, Apostolopoulos & Politis, 1999; Resnick, 1994) ή σε άλλα

πιθανά υπολογιστικά εργαλεία που ο εκπαιδευτικός της (ύστερης κυρίως) δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης καλείται να επινοήσει και εφαρμόσει.

#### **ΑΝΑΦΟΡΕΣ.**

- Baas, N., A. & Emmeche, C. (1997). *On Emergence and Explanation*. Santa Fe : Santa Fe Institute, NM
- Colella, V., Klopfer, E., & Resnick, M. (2001). *Adventures in modeling: Exploring complex dynamic systems with StarLogo*. New York/London: Teachers College Press.
- Crutchfield, J. (1994). Is Anything Ever New? Considering Emergence. In Cowan, G., Pines, D., & Melzner, D. (eds.) *SFI series in the Sciences of Complexity XIX* (σελ. 479-497). Redwood City: Addison-Wesley.
- Dimitracopoulou, A., Komis, V., Apostolopoulos, P., & Politis, P. (1999). Design principles of a new modelling environment for young students, supporting various types of reasoning and interdisciplinary approaches. *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Artificial Intelligence in Education, Le Mans, France*, σελ. 109-120.
- Flake, G., W. (1998). *The Computational Beauty of Nature*. Cambridge Massachusetts: The MIT Press.
- Gell – Mann, M. (1995). *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York: Henry Holt and Company, LLC.
- Green, D. (1994). Connectivity and complexity in landscapes and ecosystems. *Pacific Conservation Biology Vol. 1, No 3*, σελ. 194-200.
- Haur, D., L. (2002). Teaching about Ecosystems. *ERIC Digest*. Columbus, OH: Eric Clearinghouse for Science, Mathematics and Environmental Education (on-line article).
- Karsten, J. (2004). *Teaching about Complexity in Primary and Secondary Schools: An Exploration of New Approaches to Ecosystem Education*. PhD Thesis: Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada.
- Mankoff, C., & Albert, D. (2002). *A case study of the role of environmental values in conservation: The Roanoke river project*. Lewiston NY: Edwin Mellen Press.
- Manson, S., M. (2001). Simplifying complexity: A review of Complexity Theory. *Geoforum, Vol. 32*, σελ. 405-414.
- Maturana, H., R., & Varela, F., J. (1980). *Autopoiesis and Cognition: the Realization of the Living*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- May, R. (1976). Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature Vol. 261*, σελ. 459-467
- May, R. (2001). *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Parrott, L. & Kok, R. (2007). Use of an object-based model to represent complex features of ecosystems. In Minai A., A., & Ban-Yam, Y. (eds.) *Unifying Themes in Complex Systems, Vol. IIIB: New Research*, σελ. 169-180. Cambridge, Massachusetts: Springer.
- Parrott, L. (2000). Learning to engineer life: Development of a generally configurable model for the simulation of artificial ecosystems. Ph. D. Dissertation, McGill University, Montreal.

- Resnick, M. (1994). *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Revenge, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., & Payne, R. (2000). Pilot analysis of global ecosystems: Freshwater systems. Washington, DC: World Resources Institute. (Available on line at: [http://www.wri.org/wr2000/freshwater\\_page.html](http://www.wri.org/wr2000/freshwater_page.html))
- Standish, R., K. (2008). Concept and Definition of Complexity. In Ang Yang & Yin Shun (eds.) *Intelligent Complex Adaptive Systems*. Hershey, PA: IGI Publishing.
- Westra, R., H., V. (2008). *Learning and Teaching Ecosystem Behaviour in Secondary Education*". PhD Dissertation. Utrecht: Utrecht University.