



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΠΡΟΣΧΟΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ**  
**ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ**  
**ΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ: ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

από την  
**Αρχοντία Σαββιδάκη**  
(Α.Μ. 4282014035)

**ΘΕΜΑ: «Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ**  
**στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση»**

**ΜΕΛΗ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Γεώργιος Φεσάκης	Αναπληρωτής Καθηγητής	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ	Επιβλέπων
Αγγελική Δημητρακοπούλου	Καθηγήτρια	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ	Μέλος
Αναστάσιος Κοντάκος	Καθηγητής	ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ	Μέλος

**ΡΟΔΟΣ, 2016**

Η έγκριση της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας στο πλαίσιο του Π.Μ.Σ. «Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική Προσέγγιση» του Τμήματος Επιστημών της Προσχολικής Αγωγής και του Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού του Πανεπιστημίου Αιγαίου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως.

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές των μαθημάτων του ΠΜΣ "Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική προσέγγιση", που μου έδωσαν τη δυνατότητα να ζήσω αυτή την εκπαιδευτική και τεχνολογική περιπέτεια, μέσα από τις προσεγγίσεις του προγράμματος, προσθέτοντάς μου μια δημιουργική και ευχάριστη ακαδημαϊκή εμπειρία.

Ειδικότερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γεώργιο Φεσάκη, που μου εμπιστεύτηκε ένα τόσο ενδιαφέρον, πρωτοποριακό, απαιτητικό και επίκαιρο θέμα. Επίσης τον ευχαριστώ για την άριστη και σωστή καθοδήγηση και συνεργασία μας, για τη χρήσιμη βιβλιογραφία, που μου παρείχε, αλλά και για τη συνεχή επιστημονική και ηθική υποστήριξη.

Ευχαριστώ πολύ τους μαθητές μου, της Β΄ Τάξης του τμήματος Β1΄ και της Γ΄ Τάξης του τμήματος Γ2΄, του Β΄ Αρσακείου-Τοσιτσειού Γυμνασίου Εκάλης, του σχολικού έτους 2016-2017, για τη συμμετοχή τους στην έρευνα και την άριστη συνεργασία μας.

Επίσης ευχαριστώ τη Διευθύντριά μου, Ευδοκία Γιαννικοπούλου, για τη συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια του ΠΜΣ. Την ευχαριστώ επίσης και για την ευκαιρία, που μου έδωσε να εφαρμόσω στο Σχολείο τη Διδακτική Παρέμβαση, που ήταν απαραίτητη για την ολοκλήρωση της Μεταπτυχιακής Διπλωματικής μου Εργασίας.

Δεν θα μπορούσα να ξεχάσω τους αγαπημένους μου συναδέλφους, που με προθυμία με στήριξαν, δίνοντάς μου ώρες από τα μαθήματά τους, προκειμένου να υλοποιηθεί και ολοκληρωθεί με επιτυχία η Διδακτική Παρέμβαση.

Τέλος εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στους δικούς μου ανθρώπους, τη μητέρα μου Δέσποινα, τον σύντροφο και συζυγό μου Αλκιβιάδη και τα τρία μου παιδιά Δέσποινα, Φρόσω και Γιώργο, που με υποστήριξαν όλο αυτό το περιπετειώδες διάστημα και πρακτικά και ψυχολογικά.

Αφιερώνω την εργασία στους γονείς μου και ιδιαίτερα στη μνήμη του Πατέρα μου Γιώργου, που πάντοτε πίστευε σε μένα έχοντας υψηλές προσδοκίες.

Γενάρης, 2017



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	13
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	15
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	19
Εισαγωγή.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	25
1.1 Σύστημα – Ιστορική αναδρομή.....	25
1.2 Συστημική θεωρία.....	26
1.2.1 Κλειστά και ανοικτά συστήματα.....	28
1.2.2 Συστημική Θεωρία και Σχολείο.....	29
1.3 Συστημική Δυναμική (System Dynamics).....	34
1.3.1 Συστημική Δυναμική και Jay Forrester.....	35
1.3.2 Gordon S. Brown-B' Παγκόσμιος Πόλεμος.....	35
1.3.3 WHIRLWIND I and SAGE-1950.....	36
1.3.4 Συστημική Δυναμική (System Dynamics)-1957.....	37
1.3.5 Forrester-Bennett-1958.....	37
1.3.6 Συστημική Δυναμική - Gert von Korfzleisch-1968.....	38
1.3.7 Urban Dynamics-1968.....	38
1.3.8. World Dynamics-1970.....	38
1.3.9 System Dynamics National Model-1976.....	39
1.3.10 System Dynamics Society.....	40
1.3.11 Συστημική Δυναμική και πολυπλοκότητα.....	41
1.3.12 Διεπιστημονικότητα και Συστημική Δυναμική (Systems Dynamic).....	41
1.4 Συστημική Σκέψη - Systems Thinking (ST).....	42
1.4.1 Jay Forrester, Barry Richmond και Συστημική Σκέψη.....	42
1.4.2 Τι είναι τελικά η Συστημική Σκέψη (Systems Thinking);.....	46
1.4.3 Η Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) ως προοπτική.....	47
1.4.4 Η Γλώσσα της Συστημικής Σκέψης (Systems Thinking).....	50
1.4.5 Τα εργαλεία της Συστημικής Σκέψης.....	50
1.4.6 Μεθοδολογίες Συστημάτων υπό το πρίσμα της Συστημικής Σκέψης.....	51
1.4.7 Μοντελοποίηση συστημάτων - Στοχαστές της Συστημικής.....	52
1.4.8 Αντίσταση πολιτικής (policy resistance).....	53
1.5 Συστημική Ανάλυση και Εκπαίδευση.....	57

1.5.1 Gordon Brown και Εκπαίδευση .....	57
1.5.2 Jay Forrester και Εκπαίδευση – Μια πορεία από τον 20ο στον 21ο αιώνα ..	58
1.6 Μάθηση μέσα από έρευνα/ «Μάθηση τριών διαστάσεων» .....	63
1.6.1 Έρευνα - Μάθηση μέσα από έρευνα - Inquiry Based Science Education .....	63
1.6.2 Inquiry Based Science Education (IBSE) .....	64
1.6.3 Μαθησιακό μοντέλο 5E .....	66
1.6.4 Οι τρεις διαστάσεις της μάθησης .....	67
1.7 Θεωρίες Μάθησης και ΤΠΕ .....	70
1.7.1 Θεωρίες μάθησης, ΤΠΕ και εκπαίδευση .....	70
1.8 Τρόποι εμπλοκής των υπολογιστών στην εκπαιδευτική διαδικασία .....	72
1.8.1 Οπτικοποίηση (visualization) .....	72
1.8.2 Προσομοίωση (simulation) .....	73
1.8.3 Μοντελοποίηση (modelling) .....	75
1.8.4 Τρόπος διάκρισης των μοντέλων σε σχέση με την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου .....	78
1.8.5 Μοντελοποίηση βασισμένη σε πράκτορες vs βασισμένη σε εξισώσεις .....	79
1.8.6 Υπολογιστική Μοντελοποίηση και πολυπλοκότητα .....	80
1.8.7 Μαθητές πολύπλοκα δυναμικά συστήματα και Μοντελοποίηση .....	80
1.8.8 Τρόποι εμπλοκής των μαθητών σε δραστηριότητες μοντελοποίησης .....	82
1.9 Logo-Like περιβάλλοντα μοντελοποίησης .....	83
1.9.1 Το περιβάλλον μοντελοποίησης της StarLogo .....	84
1.9.2 Resnick και StarLogo .....	85
1.9.3 Διεπιστημονική φύση του περιβάλλοντος της StarLogo .....	90
1.9.4 Εκδόσεις της StarLogo .....	90
1.10 Αντιλήψεις των μαθητών για τα πολύπλοκα συστήματα .....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> : ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ .....	93
2.1 Προβληματική και αναγκαιότητα της έρευνας .....	93
2.1.1 Κριτήρια επιλογής του θέματος .....	94
2.1.2 Επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον της έρευνας .....	94
2.1.3 Διεπιστημονική διάσταση της έρευνας .....	95
2.2 Σκοπός της έρευνας .....	95
2.3 Στόχοι της έρευνας .....	98
2.4 Υποκείμενη Έρευνα και Νέο Πρόγραμμα Σπουδών (Π.Σ.) Γυμνασίου για τον Πληροφορικό Γραμματισμό .....	100
2.5 Αντικείμενο της Έρευνας: Κυκλοφοριακή συμφόρηση ένα πρόβλημα του χτες και του σήμερα .....	102

2.5.1 Πηγές κυκλοφοριακής συμφόρησης.....	104
2.5.2 Χαρακτηριστικά κυκλοφοριακής ροής.....	104
2.5.3 Συστημική προσέγγιση του προβλήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης .....	106
2.5.4 Μοντελοποίηση κυκλοφοριακής συμφόρησης.....	108
2.6 Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα και τη Συστημική Ανάλυση (Συστημική Δυναμική / Συστημική Σκέψη) .....	109
2.6.1 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο εξωτερικό .....	111
2.6.2 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα .....	116
2.6.3 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα.....	124
2.6.4 Συστημική Σκέψη - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο εξωτερικό .....	129
2.6.5 Συστημική Σκέψη - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στην Εκπαίδευση στην Ελλάδα .....	132
2.6.6 Ιστοσελίδες-Συστημική Ανάλυση, Πολύπλοκα Συστήματα και Εκπαίδευση .....	137
2.7 Πρωτοτυπία της Έρευνας.....	138
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	139
3.1 Περιβάλλον της έρευνας .....	139
3.2 Ερευνητική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε .....	142
3.3 Εργαλεία της έρευνας: Μέσα συλλογής δεδομένων .....	143
3.4 Φάσεις της έρευνας .....	146
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	149
4.1 Φάση Α και Φάση Στ (ατομικές απαντήσεις) .....	149
4.2 Φάση Β (ομαδική επεξεργασία) .....	169
4.3 Φάση Δ (ομαδικές απαντήσεις).....	170
4.4 Φάση Ε (ατομικές απαντήσεις) .....	177
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> : ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	185
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	189
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> : ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	191
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	193
Παραρτήματα .....	203
Παράρτημα Α .....	205
Παράρτημα Β .....	213





## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Νο Εικόνων	Περιεχόμενο	Σελίδα
Εικόνα 1	Stacey Matrix	27
Εικόνα 2	Stacey Matrix Simplfying – Slide Deck: © 2012 B. Maloney	27
Εικόνα 3	Προσέγγιση της έννοιας της πολυπλοκότητας μέσω του Stacey Matrix (R. Stacey) και του Stacey Matrix Simplfying (B. Maloney)	27
Εικόνα 4	Brian Castellani - Map of Complexity Sciences	28
Εικόνα 5	Σχολική Ανάπτυξη ως συστημική διαδικασία	33
Εικόνα 6	Ο υδραυλικός servo-mechanism για τη σταθεροποίηση κεραιών ραντάρ κατασκευάστηκε από τους Forrester και Brown.	36
Εικόνα 7	Whirlwind	36
Εικόνα 8	Coincident Coil Magnetic Core Memory	36
Εικόνα 9	Το πρώτο σχέδιο του Jay Forrester για το world model	39
Εικόνα 10	Οργανωτική δομή της SDS στις μέρες μας	40
Εικόνα 11	Διάγραμμα Venn που αναπαριστά την οπτική του Forrester για τη σχέση μεταξύ της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης	44
Εικόνα 12	Διάγραμμα Venn που αναπαριστά την οπτική του Richmond για τη σχέση μεταξύ της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης	44
Εικόνα 13	Τα συστατικά της Συστημικής Σκέψης	45
Εικόνα 14	Το vantage point της Συστημικής Σκέψης	46
Εικόνα 15	Συστημική Σκέψη vs Παραδοσιακή Οπτική	48
Εικόνα 16	Συστημική Σκέψη συμπληρώνει την Αναλυτική και Στατιστική Σκέψη	48
Εικόνα 17	Ο Συστημικός Χάρτης Τυχειότητας vs Πολυπλοκότητας του Weinberg	48
Εικόνα 18	Το Μοντέλο Iceberg	49
Εικόνα 19	Μοντέλο Iceberg-Φυσικά vs σχεδιασμένα από ανθρώπους συστήματα	49
Εικόνα 20	Ολοκληρωμένο μοντέλο της Συστημικής Σκέψης	50
Εικόνα 21	Ουσιώδεις ιδέες στη Συστημική Σκέψη	52
Εικόνα 22	Εφαρμοσμένη Συστημική Σκέψη	52
Εικόνα 23	Στάσεις μοντελιστών- Σκληρά και Μαλακά Συστήματα (Checkland)	53
Εικόνα 24	Διπλός βρόχος Μάθησης (Sterman)	53
Εικόνα 25	Επιστημονική έρευνα	64

Εικόνα 26	Διδακτικά μοντέλα που υποστηρίζουν τη Μάθηση μέσα από την έρευνα	65
Εικόνα 27	Η μάθηση μέσα από έρευνα μοιράζεται γνωστικές διαδικασίες με την αυθεντική έρευνα	65
Εικόνα 28	Ο κύκλος μάθησης SCIS	67
Εικόνα 29	Πίνακας επιστημονικών ιδεών οργανωμένων σε 4 τομείς	69
Εικόνα 30	Παραδείγματα προσομοιώσεων	73
Εικόνα 31	Ιπτάμενη μηχανή – Μοντέλο του Leonardo DaVinci	75
Εικόνα 32	Η μηχανική πάπια του Jacques Vaucanson 1730	75
Εικόνα 33	Μια διαδικασία μοντελοποίησης	80
Εικόνα 34	A compact flock of starlings swarms in the sky prior to roosting	81
Εικόνα 35	Μποτιλιάρισμα αυτοκινήτων τον Αύγουστο του 2010 στο Πεκίνο (Κίνα)	81
Εικόνα 36	Μαθαίνοντας στο πλαίσιο του μοντελισμού	82
Εικόνα 37	Κυκλοφοριακή συμφόρηση (Traffic jam) χωρίς παγίδα ραντάρ	88
Εικόνα 38	Ιστορική διαδρομή της StarLogo	90
Εικόνα 39	StarLogo TNG	91
Εικόνα 40	STARLOGO NOVA	91
Εικόνα 41	NetLogo	91
Εικόνα 42	Βιβλιοθήκη μοντέλων NetLogo 5.3.1	91
Εικόνα 43	Αντι-διασθητική συμπεριφορά - Σκίτσο για την χρονική και χωρική απόσταση αιτίας-αποτελέσματος στα πολύπλοκα συστήματα - το φαινόμενο του ντόμινο	92
Εικόνα 44	Ντετερμινιστικό «ωρολογιακό» σύστημα	92
Εικόνα 45	Κοπάδι ψαριών	92
Εικόνα 46	Σχέσεις των αυτοκινήτων με το κλίμα και το περιβάλλον	103
Εικόνα 47	Σχέσεις των αυτοκινήτων με το εσωτερικό του αστικού συστήματος	103
Εικόνα 48	Παρατεταγμένα αυτοκίνητα πίσω από ένα εμπόδιο	105
Εικόνα 49	Κίνηση σοκ στο ρεύμα της κυκλοφορίας προς τα πίσω - Κίνηση κυματισμού προς τα πίσω	105
Εικόνα 50	Bottleneck Traffic	105
Εικόνα 51	Σχέση Γεγονότος (Incident) και Καθυστερήσης που οφείλεται σε συμφόρηση	106
Εικόνα 52	Διάγραμμα βρόχου - Σχέση Γεγονότος (Incident) και Καθυστερήσης που οφείλεται σε συμφόρηση	107

Εικόνα 53	Αλυσιδωτή αντίδραση που προκαλούν οι καλύτερες εγκαταστάσεις	107
Εικόνα 54	StarLogoT - Αυξανόμενος πληθυσμός	112
Εικόνα 55	StarLogoT - Χελώνες που επιβίωσαν	112
Εικόνα 56	TrafficJams συμμετοχικό περιβάλλον προσομοίωσης	114
Εικόνα 57	Μοντέλο BeeSmart Hive-Finding	115
Εικόνα 58	Το interface του προγραμματιστικού περιβάλλοντος NetLogo καθώς τρέχει το μοντέλο Ants	116
Εικόνα 59	Το interface του προγραμματιστικού περιβάλλοντος NetLogo καθώς τρέχει το μοντέλο «segregation»	118
Εικόνα 60	Το μοντέλο Virus On the Net της NetLogo	120
Εικόνα 61	Η διεπιφάνεια του κλιματικού μοντέλου	122
Εικόνα 62	Στιγμιότυπο από την εκτέλεση του μοντέλου «Φωτιά στο Δάσος»	123
Εικόνα 63	Βιβλιοθήκη Μοντέλων της NetLogo (5.3.1)	144
Εικόνα 64	1 <sup>ο</sup> Φύλλο Excel: Αριθμός των αυτοκινήτων	145
Εικόνα 65	2 <sup>ο</sup> Φύλλο Excel: ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	145
Εικόνα 66	3 <sup>ο</sup> Φύλλο Excel: ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ	145
Εικόνα 67	Μοντέλο Traffic Basic της NetLogo (5.3.1)	147
Εικόνα 68	Φάση Α – Περιγραφικές απαντήσεις Ερώτησης 3. – Τμήματα Β1' και Γ2'	151
Εικόνα 69	Φάση Στ – Περιγραφικές απαντήσεις Ερώτησης 3. – Τμήματα Β1' και Γ2'	152
Εικόνα 70	Φάση Α – Απαντήσεις Ερώτησης 14α. – Τμήμα Β1'	161
Εικόνα 71	Φάση Α – Απαντήσεις Ερώτησης 14α. – Τμήμα Γ2'	162
Εικόνα 72	Φάση Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 14α. – Τμήμα Β1'	162
Εικόνα 73	Φάση Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 14α. – Τμήμα Γ2'	162



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>No Πινάκων</b>	<b>Περιεχόμενο</b>	<b>Σελίδα</b>
Πίνακας 1	Ορισμός του Richmond για τη Συστημική Σκέψη	46
Πίνακας 2	Πηγές πολυπλοκότητας των δυναμικών συστημάτων	55
Πίνακας 3	“The Task”, Book VI, “The Winter Walk at Noon”, lines 88 through 98	58
Πίνακας 4	Δεξιότητες που αφορούν στα χαρακτηριστικά ενός πολύπλοκου δυναμικού συστήματος (χαρακτηριστικές ιδιότητες - Χ)	96
Πίνακας 5	Δεξιότητες που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του πεδίου των δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης (ΔΣΣ)	97
Πίνακας 6	Ταξινόμηση των οκτώ δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης σε επίπεδα	131
Πίνακας 7	Juxtaposition of the complex systems novices’ and experts’ mental models and beliefs, those related to systems’ thinking, as taken by Jacobson	134
Πίνακας 8	The S-F elements of the modeled Wolves-Sheep-Grass ecosystem and their respective system dynamics’ depictions	135
Πίνακας 9	Δείγμα της έρευνας	139
Πίνακας 10	Αριθμητική και ποσοστιαία κατανομή του χαρακτηρισμού του γενικού βαθμού ετήσιας προόδου των μαθητών, του προηγούμενο σχολικού έτους	139
Πίνακας 11	Σύσταση ομάδων	140
Πίνακας 12	Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 1	149
Πίνακας 13	Φάσεις Α & Στ - Ερώτηση 2	149
Πίνακας 14	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 3	151
Πίνακας 15	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 5	152
Πίνακας 16	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 7	153
Πίνακας 17	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 9	154
Πίνακας 18	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 10	155
Πίνακας 19	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 11	156
Πίνακας 20	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 12	157
Πίνακας 21	Φάσεις Α & Στ – Περιγραφική δικαιολόγηση απάντησης της Ερώτησης 12	159
Πίνακας 22	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 13	160
Πίνακας 23	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 14	160
Πίνακας 24	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 15	162

Πίνακας 25	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 16	164
Πίνακας 26	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 17	165
Πίνακας 27	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 18	166
Πίνακας 28	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 19	167
Πίνακας 29	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 20	168
Πίνακας 30	Φάση Β – Βήμα 4 <sup>ο</sup> – Δραστηριότητες 10 και 13	170
Πίνακας 31	Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση)	171
Πίνακας 32	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 1	172
Πίνακας 33	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 2	173
Πίνακας 34	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3α	174
Πίνακας 35	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3β	175
Πίνακας 36	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3γ	176
Πίνακας 37	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 1	178
Πίνακας 38	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 2	179
Πίνακας 39	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 3	180
Πίνακας 40	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 5	181
Πίνακας 41	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 6	182
Πίνακας 42	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 8	183
Πίνακας 43	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 9	184
Πίνακας 44	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 11	185

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

<b>Νο Γραφημάτων</b>	<b>Περιεχόμενο</b>	<b>Σελίδα</b>
Γράφημα 1	Αριθμός και ποσοστό συμμετοχής των μαθητών στην έρευνα σε σχέση με το φύλο τους	149
Γράφημα 2	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 2. –Τμήμα Β1΄	150
Γράφημα 3	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 2. –Τμήμα Γ2΄	150
Γράφημα 4	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 3. –Τμήμα Β1΄	151
Γράφημα 5	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 3. –Τμήμα Γ2΄	151
Γράφημα 6	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 5. –Τμήμα Β1΄	153
Γράφημα 7	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 5. –Τμήμα Γ2΄	153
Γράφημα 8	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 7. –Τμήμα Β1΄	153
Γράφημα 9	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 7. - Τμήμα Γ2΄	154
Γράφημα 10	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 9. –Τμήμα Β1΄	155
Γράφημα 11	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 9. - Τμήμα Γ2΄	155
Γράφημα 12	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 10. –Τμήμα Β1΄	156
Γράφημα 13	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 10. - Τμήμα Γ2΄	156
Γράφημα 14	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 11. –Τμήμα Β1΄	157
Γράφημα 15	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 11. - Τμήμα Γ2΄	157
Γράφημα 16	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 12. –Τμήμα Β1΄	158
Γράφημα 17	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 12. - Τμήμα Γ2΄	158
Γράφημα 18	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 13. –Τμήμα Β1΄	160
Γράφημα 19	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 13. –Τμήμα Γ2΄	160
Γράφημα 20	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 14. – Τμήμα Β1΄	161
Γράφημα 21	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 14. – Τμήμα Γ2΄	161
Γράφημα 22	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 15. – Τμήμα Β1΄	163
Γράφημα 23	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 15. – Τμήμα Γ2΄	163
Γράφημα 24	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 16. – Τμήμα Β1΄	164
Γράφημα 25	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 16. – Τμήμα Γ2΄	164
Γράφημα 26	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 17. – Τμήμα Β1΄	165

Γράφημα 27	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 17. – Τμήμα Γ2΄	165
Γράφημα 28	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 18. – Τμήμα Β1΄	166
Γράφημα 29	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 18. – Τμήμα Γ2΄	166
Γράφημα 30	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 19. – Τμήμα Β1΄	167
Γράφημα 31	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 19. – Τμήμα Γ2΄	167
Γράφημα 32	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 20. – Τμήμα Β1΄	168
Γράφημα 33	Φάσεις Α & Στ - Απαντήσεις Ερώτησης 20. – Τμήμα Γ2΄	168
Γράφημα 34	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 1. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	172
Γράφημα 35	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 2. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	173
Γράφημα 36	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3α. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	174
Γράφημα 37	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3β. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	175
Γράφημα 38	Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3γ. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	177
Γράφημα 39	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 1. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	178
Γράφημα 40	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 2. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	179
Γράφημα 41	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 3. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	180
Γράφημα 42	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 5. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	181
Γράφημα 43	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 6. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	182
Γράφημα 44	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 8. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	183
Γράφημα 45	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 9. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	184
Γράφημα 46	Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 11. – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄	185



***“If we teach today’s students as we taught yesterday’s,  
we rob them of tomorrow”***

**John Dewey (1859-1952)**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Τ.Ε.Π.Α.Ε.Σ. Γεώργιου Φεσάκη. Αφορά σε Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία με τίτλο: *“Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση”* του Π.Μ.Σ. "Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική προσέγγιση". Εκπονήθηκε μετά το πέρας των μαθημάτων του ΠΜΣ και διήρκεσε από το Νοέμβριο του 2015 έως τον Ιανουάριο του 2017. Η εργασία εκπονήθηκε από την μεταπτυχιακή φοιτήτρια Αρχοντούλα Σαββιδάκη (Καθηγήτρια ΠΕ04/19).

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα είναι: α) το ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για την ενσωμάτωση των ΤΠΕ, και συγκεκριμένα της χρήσης μοντέλων, στην εκπαιδευτική διαδικασία, β) η ανάγκη διερεύνησης των απόψεων των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για έννοιες όπως: σύστημα, πολύπλοκο σύστημα, πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, Δομή, Συμπεριφορά και Λειτουργία πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, αλλά και για το ρόλο των πολυπρακτορικών προσομοιώσεων στην κατανόηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, γ) η διερεύνηση του βαθμού επίδρασης του υπολογιστικού περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στην κατανόηση, αλλά και στην ερμηνεία εννοιών, που αφορούν στα «πολύπλοκα δυναμικά συστήματα», όπως το σύστημα της προτεινόμενης Διδακτικής Παρέμβασης και δ) η ανάγκη να εμπλακούν οι μαθητές, μέσα από αυτή την Παρέμβαση, στο πεδίο της Συστημικής Δυναμικής, να αναπτύξουν δεξιότητες, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη και τους βοηθούν να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση του εαυτού τους, αλλά και της συμπεριφοράς του πραγματικού σημερινού κόσμου, δηλαδή καταστάσεων φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών.

Από επιστημονικής πλευράς αναμένεται ότι η έρευνα αυτή θα συμβάλει στην ανάδειξη της επιστημολογικής αξίας των μοντέλων και των δυνατοτήτων διδακτικής αξιοποίησής τους. Επίσης θα αναδείξει το ρόλο του υπολογιστή στη σύγχρονη επιστημονική μοντελοποίηση.

Από πρακτικής πλευράς θα γίνει προσπάθεια μέσω της Διδακτικής Παρέμβασης και χρησιμοποιώντας ως ισχυρό εργαλείο ένα πολυπρακτορικό περιβάλλον (NetLogo), να προκληθεί το ενδιαφέρον μαθητών της Δευτεροβάθμιας με μια προσέγγιση διαφορετική από τις συνηθισμένες παραδοσιακές προσεγγίσεις, *μάθηση μέσα από έρευνα*, ώστε να ενισχυθεί η συμμετοχή τους στην ερευνητική διαδικασία, αλλά και να βελτιωθεί η ικανότητά τους στην κατανόηση και ερμηνεία πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, διατηρώντας παράλληλα τα κίνητρα για μάθηση.

Τα ερωτήματα που έχουν τεθεί στην εργασία αυτή και αφορούν σε μαθητές Γυμνασίου είναι:

Ποια η επίδραση περιβαλλόντων μοντελοποίησης, όπως αυτό της NetLogo όσον αφορά:

- α) στην κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων,
- β) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης και
- γ) στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα;

## Εισαγωγή

Ένα κρίσιμο ερώτημα, που απασχολεί στις μέρες μας τους εκπαιδευτικούς, τους μαθητές, αλλά και τους γονείς τους, είναι το αν το σημερινό σχολείο προετοιμάζει κατάλληλα τους μαθητές του, ώστε αυτοί με τη σειρά τους να μπορέσουν να κατανοήσουν και να υπερνικήσουν τα προβλήματα του αύριο. Υπήρχαν και υπάρχουν εμπνευσμένοι πρωτοπόροι εκπαιδευτικοί με δημιουργικές ιδέες και διάθεση να πειραματιστούν ώστε να βελτιώσουν την εκπαιδευτική διαδικασία. Η ύπαρξη όμως αυτών των εκπαιδευτικών δεν εξασφαλίζει τις απαραίτητες αλλαγές, που πρέπει να συντελεστούν στον τομέα της εκπαίδευσης. Βλέποντας το «πρόβλημα» αυτό από την πλευρά της Δυναμικής των Συστημάτων όλα τα σχολεία είναι Δυναμικά Συστήματα μεγάλης πολυπλοκότητας.

Πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά της δομής του συστήματος-σχολείο, δυστυχώς, γίνονται ελάχιστα κατανοητά. Κατά καιρούς γίνεται προσπάθεια εφαρμογής μεταρρυθμιστικών προτάσεων, οι οποίες τις περισσότερες φορές μετά βίας ταρακουνάνε το σύστημα παρά προκαλούν μια μόνιμη βελτίωση. Όπως ανέφερε και ο Gordon Brown το 1992, *«Οι περισσότερες (μεταρρυθμιστικές) προτάσεις εστιάζουν σε περισσότερα μαθηματικά, περισσότερη φυσική, μεγαλύτερες σχολικές ημέρες, ή περισσότερη δουλειά στο σπίτι, χωρίς να γίνεται κατανοητό γιατί υπάρχει τόσο μικρή απόδοση από αυτά που ισχύουν ήδη στα σχολεία»* (Brown, 1992). Η διαπίστωση αυτή θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε ότι αφορά και στο σήμερα. Ζώντας στο πρώτο τέταρτο του 21<sup>ου</sup> αιώνα, βιώνουμε την έκρηξη της ανάπτυξης της τεχνολογίας με το ρυθμό των επιστημονικών ανακαλύψεων να είναι ταχύτερος από ποτέ. Κατασκευάζονται νέα πιο εξελιγμένα επιστημονικά «εργαλεία» και όργανα, χάρη στις ολοένα πιο διευρυμένες τεχνολογικές δυνατότητες συλλογής, ανάλυσης, μέτρησης, απεικόνισης και υπολογισμού των διάφορων επιστημονικών δεδομένων. Αυτό οφείλεται στις διαρκώς μεγαλύτερες ικανότητες των υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών συσκευών, που επιτρέπουν στους επιστήμονες να «βλέπουν» καθαρότερα στις πιο μικρές (άτομα-μόρια-γονίδια) και στις πιο μεγάλες (γαλαξίες-σύμπαν) διαστάσεις της Φύσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα-επανάσταση στο χώρο της βιολογίας, της γενετικής και της ιατρικής αφορά στην αποκωδικοποίηση του γονιδιώματος ενός ανθρώπου, που το 2000 για να «διαβαστεί», όχι μόνο χρειάζονταν εκατοντάδες μηχανήματα και επιστήμονες, αλλά και πολλά χρόνια. Στις μέρες μας ένα μοναδικό μηχάνημα «αλληλούχισης» μπορεί πια να διαβάσει τρία ανθρώπινα γονιδιώματα σε μόλις μια εβδομάδα. Τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης π.χ. Facebook, τα smartphone, τα iPhone, τα tablet, η 4G κινητή ευρυζωνική πρόσβαση στο ίντερνετ, το Skype, το YouTube, τα ρομπότ, η τεχνητή νοημοσύνη ή με άλλα λόγια οι μηχανές που μπορούν να σκέφτονται και όχι μόνο να ανταποκρίνονται στις εντολές, δίνουν το στίγμα της καθημερινότητας των ανθρώπων του 21ου αιώνα και δημιουργούν όλο και μεγαλύτερες προσδοκίες. Συμβαίνει όμως το εξής οξύμωρο, καθώς αυτές οι προσδοκίες υλοποιούνται οι άνθρωποι έχουν αρχίσει να βιώνουν τη συρρίκνωση των πόρων σε νερό, τροφή και καύσιμα, ταυτόχρονα με τη μεγάλη αύξηση ατμοσφαιρικής μόλυνσης και όχι μόνο, την αύξηση του άγχους, αλλά και την αστάθεια των κοινωνιών μέσα στις οποίες ζουν. Το χαρακτηριστικό του κόσμου που ζούμε είναι ότι αποτελεί ένα τεράστιο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα όπου «όλα επηρεάζουν όλα τα άλλα».

Στις μέρες μας όλοι οι πολίτες χρειάζεται να αποκτούν επίπεδο μόρφωσης τέτοιο, που να τους βοηθά να κατανοούν σε βάθος την πολυπλοκότητα και τις αλληλεξαρτήσεις των γεγονότων, που συμβαίνουν γύρω τους, ώστε να αντιλαμβάνονται πώς λειτουργεί ο «κόσμος». Πολλοί εκπαιδευτικοί χρησιμοποιούν υπολογιστές θεωρώντας ότι τους δίνεται η ευκαιρία να

επαναπροσδιορίσουν το πώς οι μαθητές πρέπει να μάθουν, ενώ πολύ λίγοι επανεξετάζουν το τι πρέπει να μάθουν οι μαθητές.

Τα υπολογιστικά εργαλεία παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατεύθυνση αυτή, αφού προσφέρουν δυνατότητες για τεχνολογικό αλφαριθμητισμό. Οι άνθρωποι με τη βοήθεια των εργαλείων αυτών, μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα πολλά επιστημονικά φαινόμενα, μελετώντας τα σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης. Η ικανότητα συλλογισμού σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης είναι θεμελιώδης για την ανάπτυξη βαθιάς κατανόησης του νου, του εαυτού και της κοινωνίας. Τα υπολογιστικά εργαλεία δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές, τους μελλοντικούς ενήλικες πολίτες, να αντιληφθούν την έννοια των επιπέδων αφαίρεσης χτίζοντας μοντέλα και μελετώντας πολύπλοκα φαινόμενα, αλλά και πολύπλοκα συστήματα (Wilensky & Resnick 1999). Όχημα για την απόκτηση της πολυπλοκότητας γνώσης είναι η κατανόηση της συνολικής εικόνας του πολύπλοκου κόσμου μας και της δυναμικής του λειτουργίας, μέσω της Συστημικής Δυναμικής, αλλά και η καλλιέργεια δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης.

Ειδικότερα τις τρεις τελευταίες δεκαετίες οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει περιβάλλοντα μοντελοποίησης πολύπλοκων συστημάτων, των οποίων τα μοτίβα και οι συμπεριφορές προκύπτουν από απλούς κανόνες και αλληλεπιδράσεις, ως βασικά επιστημολογικά εργαλεία, τα οποία βρίσκουν εφαρμογές και στην εκπαίδευση. Παράλληλα εμφανίστηκαν και υπολογιστικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα όπως η StarLogo (Klopfer et al, 1994 & Colella et al, 2001 στο Κυροδήμου, Φεσάκης & Φλογαίτη 2015), με τα οποία οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν πολύπλοκα (complex) δυναμικά συστήματα. Η StarLogo έχει ως στόχο τη στήριξη μαθητών και ερευνητών χωρίς προηγούμενη προγραμματιστική εμπειρία στη μοντελοποίηση και κατανόηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων (κυκλοφοριακή συμφόρηση, σμήνη πουλιών, αποικία μυρμηγκιών κ.λπ.), αλλά και συστημάτων από πολλά άλλα επιστημονικά πεδία, όπως Μαθηματικά, Φυσική, Βιολογία και Πληροφορική.

Σε πολλούς τομείς εκτός εκπαίδευσης η θεωρία των δυναμικών συστημάτων και τα αντίστοιχα λογισμικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης και προσομοίωσης, παρουσιάζουν ήδη πολλές επιτυχημένες εφαρμογές. Στην εκπαίδευση καταγράφονται παραδείγματα, τα οποία είναι μεν πολύ λιγότερα, αλλά διαρκώς αυξανόμενα (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

Στο επίπεδο της σύγχρονης Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης σπάνια οι μαθητές προετοιμάζονται να σκέφτονται με Συστημική Σκέψη, ώστε να κατανοούν την πολυπλοκότητα του κόσμου και να μπορούν να αντιμετωπίζουν σύγχρονες καθημερινές καταστάσεις. Βάσει των επίσημων αναλυτικών προγραμμάτων λίγα διδάσκονται για τα δυναμικά συστήματα 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, το οποίο συνήθως ξεχνάνε μόλις το μυαλό τους απασχοληθεί με κάτι άλλο.

Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη σε έναν κόσμο όπου η ιδέα της πολυπλοκότητας καθίσταται ολοένα και περισσότερο αναπόσπαστο κομμάτι στην εκμάθηση των φυσικών και των κοινωνικών επιστημών, να εστιάσουμε σε ένα νέο τρόπο μάθησης, που αφορά στους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης και περιλαμβάνει τη Συστημική Δυναμική σε συνδυασμό με τη μαθητοκεντρική προσέγγιση (learner centered learning), τη μάθηση μέσα από διερεύνηση

(inquiry based learning), την ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης, αλλά και την υιοθέτηση της ομαδοσυνεργατικής μάθησης.

Υπό το πρίσμα της Συστημικής Ανάλυσης, αξιοποιώντας καινοτόμα περιβάλλοντα (StarLogo, NetLogo κ.ά.), αναπτύσσοντας εκπαιδευτικό υλικό, που να εντάσσεται στα αναλυτικά προγράμματα, δίνουμε στους μαθητές τη δυνατότητα να διερευνήσουν προβλήματα, που τους αφορούν και τους ενδιαφέρουν, εμπλεκόμενοι ενεργά στη διαδικασία της μάθησης, συνεργαζόμενοι με τους συμμαθητές τους, κάνοντας υποθέσεις, προβλέψεις, πειραματισμούς και ελέγχους, προσεγγίζοντας ένα διαφορετικό τρόπο σκέψης, τη Συστημική Σκέψη, καλλιεργώντας μια σειρά από δεξιότητες, αλλά και αξιοποιώντας παράλληλα εκπαιδευτικές εφαρμογές των ΤΠΕ ως επιστημολογικά εργαλεία.

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν μέσω της Διδακτικής Παρέμβασης να γίνει διερεύνηση της επίδρασης του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, όσον αφορά α) στην κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων (Serman, 2001), β) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης (Assaraf & Orion, 2005) και γ) στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα (Resnick, 1994a). Η νοοτροπία του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset) δεν αποτελεί παρανόηση μόνο για τους επιστημονικά αδαείς μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, αλλά και για τους ενήλικες (Resnick, 1994a) (βλέπε ενότητα 1.10). Στη συγκεκριμένη Διδακτική Παρέμβαση θα διερευνηθεί το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Η Παρέμβαση αυτή εξυπηρετεί τους στόχους του Προγράμματος Σπουδών, που αφορούν σε γνώσεις, δεξιότητες, στάσεις και αξίες. Πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Πληροφορικής και στο πλαίσιο της αναπτύχθηκε εκπαιδευτικό υλικό, που βασίστηκε στο έτοιμο μοντέλο «**Traffic Basic**» της NetLogo (Wilensky, 1997). Το μοντέλο αυτό μετατράπηκε το 2001 από τη StarLogoΤ στη NetLogo (Copyright 1997 Uri Wilensky) και μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μια κατεύθυνση. Κάθε αυτοκίνητο ακολουθεί ένα απλό σύνολο κανόνων: επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό, και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), εάν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του. Το μοντέλο αυτό υπάρχει στην επίσημη σελίδα της NetLogo και δείχνει ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να προκληθεί ακόμα και χωρίς ατυχήματα, γκρεμισμένες γέφυρες, ή φορτηγά που έχουν ανατραπεί (NetLogo, 2016). Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μια «κεντρική αιτία» για να σχηματιστεί ένα μπουτιλιάρισμα.

Η προτεινόμενη οργάνωση διδασκαλίας της Διδακτικής Παρέμβασης βασίζεται στην ομαδοσυνεργατικότητα και τη μάθηση μέσα από διερεύνηση, που υποστηρίζεται από τις ΤΠΕ, ακολουθεί τη διδακτική προσέγγιση, που κινείται 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 μαθητών, είτε μεταξύ μαθητών και δασκάλου. Δόθηκε *Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων των μαθητών πριν και μετά τη Διδακτική Παρέμβαση*. Πυρήνα της διδακτικής παρέμβασης αποτέλεσε *Φύλλο Εργασίας* κατάλληλα διαμορφωμένο ώστε να γίνει διερεύνηση με βάση το σχήμα «πρόβλεψη - πειραματικός έλεγχος - εξήγηση».

Τα βασικά αντικείμενα, σε θεωρητικό επίπεδο, με τα οποία ασχολείται η εργασία είναι: η έννοια του συστήματος, η συστημική θεωρία, η Συστημική Δυναμική, η Συστημική Σκέψη, η

Συστημική Ανάλυση και Εκπαίδευση, η Μάθηση μέσα από έρευνα, τα μαθησιακά μοντέλα, που έχουν δημιουργηθεί και ειδικότερα το μοντέλο 5E, οι τρεις διαστάσεις της μάθησης, οι θεωρίες μάθησης και ΤΠΕ, τρόποι εμπλοκής των υπολογιστών στην εκπαιδευτική διαδικασία, Logo-Like περιβάλλοντα μοντελοποίησης, καθώς και οι αντιλήψεις των μαθητών για τα πολύπλοκα συστήματα.

Στην παρούσα έρευνα θα θεωρήσουμε ότι, άτυπα και λαμβάνοντας υπόψη μας και την παράμετρο του χρόνου, «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα (*complex dynamic system*) είναι ένα δύσκολο στην κατανόησή του σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα οντοτήτων/αντικειμένων/ δομικών στοιχείων, που σχετίζονται μεταξύ τους και αλληλεπιδρούν είτε μεταξύ τους, είτε και με το περιβάλλον του συστήματος, επηρεάζοντας την εξέλιξή τους αλλά και την εξέλιξη όλου του συστήματος κατά την πάροδο του χρόνου με μη αναλυτικά προβλέψιμο τρόπο».

«Περιβάλλον» του συστήματος είναι ο «χώρος», το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο εντάσσεται το σύστημα και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές.

Επίσης, δίνονται και οι παρακάτω ορισμοί που αφορούν στη Δομή, στην Συμπεριφορά και στη Λειτουργία ενός συστήματος, που βασίζονται στο “SBF - Structure, Behavior and Function”, που δημιουργήθηκε κυρίως από την Cindy Hmelo-Silver και τους συνεργάτες της (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000, Hmelo-Silver. & Pfeffer, 2004, Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007, στο GKiolmas et al., 2013):

Δομικά στοιχεία του συστήματος (Structure): Οι οντότητες/τα αντικείμενα/τα δομικά στοιχεία, που αποτελούν το σύστημα.

Συμπεριφορά του συστήματος (Behavior): Οι ξεχωριστές διαδικασίες, που διέπουν το σύστημα, προκειμένου αυτό να λειτουργεί με τον τρόπο που το χαρακτηρίζει.

Λειτουργία του συστήματος (Function): Οι ενέργειες, που εκτελεί το σύστημα και μπορούν να παρατηρηθούν.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 Σύστημα – Ιστορική αναδρομή

Για πολλά χρόνια οι επιστήμονες προσπαθούσαν να εξηγήσουν πολύπλοκα φαινόμενα ξεκινώντας από τα βασικά τους συστατικά στοιχεία, που ήταν όμως πολύ απλά στη φύση τους για να δώσουν μια ολοκληρωμένη ερμηνεία του όλου.

Η έννοια «σύστημα» εμφανίστηκε στην επιστημονική σκέψη τον 17<sup>ο</sup> αιώνα με εισηγητή το Νεύτωνα. Αφετηρία ήταν το κυρίαρχο ζήτημα της επιστημονικής σκέψης της εποχής εκείνης: η κίνηση των σωμάτων στο χώρο. Ο Νεύτωνας για να μελετήσει το ζήτημα αυτό υιοθέτησε δυο αναγωγές. Την αναγωγή των σωμάτων σε ένα σύνολο σωματίων, που αλληλεπιδρούν ελεύθερα μεταξύ τους, το οποίο ονόμασε σύστημα και την αναγωγή της κίνησης κάθε σωματίου σε ένα σύνολο άπειρων απειροστών μεταβολών. Έτσι, η μελέτη της κίνησης των *σωμάτων-συστημάτων* προχώρησε υιοθετώντας δύο διαδικασίες, μια κατιούσα αναλυτική διαδικασία, που χωρίζει το σώμα-σύστημα και το συνολικό φαινόμενο σε μέρη και, στη συνέχεια, μια ανιούσα συνθετική διαδικασία κατά την οποία αποκαλύπτονται οι αιτίες που προκαλούν την κίνηση του σώματος-συστήματος (Σχίζα, 2006). Θα λέγαμε ότι, η νευτώνεια «συστημική» οπτική πάνω στα φαινόμενα θεμελίωσε το πιο ισχυρό και ανθεκτικό επιστημολογικό παράδειγμα με το οποίο συντάχθηκε η ανθρώπινη σκέψη: το Θετικισμό-Ορθολογισμό (koynré, 1948, σελ. 77-100, 101-123 στο Σχίζα, 2006).

Τον 19<sup>ο</sup> αιώνα αποκαλύφθηκαν νέα πεδία, όπως αυτό της Θερμοδυναμικής και διατυπώθηκαν νέες θεωρίες ακλόνητες από μαθηματική άποψη, όσο και οι νόμοι της κίνησης των σωμάτων, αλλά ξένες προς «τον νευτώνειο κόσμο των αιώνων και αναστρέψιμων τροχιών» (Σχίζα, 2006). Οι ερευνητές άρχισαν να συνεκτιμούν νέα στοιχεία, όπως η συνύπαρξη της ισορροπίας του συστήματος στο μακροσκοπικό πεδίο, με την αταξία στο μικροσκοπικό πεδίο, η σχέση του συστήματος με το «περιβάλλον» του, το οποίο φαίνεται ότι επιδρά στις διεργασίες που συντελούνται στο εσωτερικό του και σε συνάρτηση με τα προηγούμενα, οι αυτόματες μη αναστρέψιμες μεταβολές, που υπόκεινται τα θερμοδυναμικά συστήματα, γεγονός που τα εντάσσει στο βέλος του χρόνου (Αλεξόπουλος, 1962, σελ. 176-178, 1960, σελ. 175, Prigogine & Stengers, 1984, σελ. 62-63 στο Σχίζα, 2006). Μέσα από την εικόνα που δημιουργήθηκε από τα θερμοδυναμικά συστήματα ο κόσμος μας απέκτησε τη μορφή μιας «ανοργάνωτης πολυπλοκότητας» (Weaver, 1986, pp. 536-544 στο Σχίζα, 2006), η οποία, με τη σειρά της, πυροδότησε την πορεία της σκέψης μας προς «το πολλαπλό, το πολύπλοκο, το χρονικό, το πιθανό» (Prigogine, Stengers, 1984, σελ. 62-63 στο Σχίζα, 2006).

Μετά από αυτή την εξέλιξη κλονίστηκε η αρχική υπόθεση που θεωρούσε ότι υπάρχουν μόνο γραμμικά συστήματα, δηλαδή συστήματα όπου γνωρίζοντας την αιτία γνωρίζουμε και το αποτέλεσμα. Φάνηκε ότι μια διαφορετική κατηγορία φαινομένων, τα χημικά φαινόμενα, μπορούν να μελετηθούν ως θερμοδυναμικά συστήματα που εξελίσσονται έτσι ώστε να αυξάνεται η αταξία τους (ή το μακροσκοπικό μέγεθος που την εκφράζει, η εντροπία τους). Τα δύο επιστημονικά πεδία της Φυσικής και της Χημείας συναντήθηκαν «γύρω από τα «μη γραμμικά» συστήματα, δηλαδή τα συστήματα, που υπό προϋποθέσεις, μπορούν να οδηγηθούν σε εντελώς «νέα καθεστάτα οργάνωσης» μη προβλέψιμα και μη υποκείμενα στους γενικούς νόμους της φυσικής: στις, ονομαζόμενες, «σκεδαστικές δομές»» (Σχίζα, 2006).

Υπό το πρίσμα των «σκεδαστικών» δομών και της ολιστικής προσέγγισης μερίδας κοινωνικών επιστημόνων έγιναν πειράματα που επανέφεραν στο προσκήνιο το «όλον», με την έννοια της ενότητας, που υπερβαίνει τα μέρη που την αποτελούν (Durkheim, 1895, σελ.

102 στο Σχίζα, 2006). Στα εργαστήρια αυτά συνεργάστηκα όχι μόνο φυσικοί, χημικοί, βιολόγοι και μαθηματικοί αλλά και οικονομολόγοι και κοινωνιολόγοι. Από αυτήν τη συνεργασία, στο ξεκίνημα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, γεννήθηκε η ιδέα του Γενικού Συστήματος (Bertalanffy, 1968), που δημιούργησε για τον κόσμο μας μια άλλη εικόνα, την εικόνα της «οργανωμένης πολυπλοκότητας».

Η Γενική Θεωρία Συστημάτων (ΓΘΣ) έκανε την εμφάνισή της στη δεκαετία του 1940 από το βιολόγο Ludvig von Bertalanffy. Η θεωρία αυτή αξιοποιεί τις έννοιες, που αφορούν στα συστήματα, στις σχέσεις και στη Δυναμική των σχέσεων των μελών τους σε αυτά. Σύμφωνα με τον Bertalanffy ως σύστημα, μπορούμε να ορίσουμε «ένα σύμπλεγμα αλληλεπιδρώντων στοιχείων. Η μελέτη ενός συστήματος δεν εστιάζει στα μεμονωμένα μέρη, που το αποτελούν, αλλά στις σχέσεις και στην αλληλεξάρτηση που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Η θεώρηση αυτή είναι ολιστική και όχι αποσπασματική ή μεμονωμένη» (Bertalanffy, 1968). Υπάρχουν διάφορα συστήματα όπως είναι τα ανθρώπινα συστήματα (π.χ. η οικογένεια, διάφορες ομάδες), ένα οικοσύστημα, μια επιχείρηση, μια κοινότητα ή ένα κράτος.

## 1.2 Συστημική Θεωρία

Η συστημική θεωρία αναπτύχθηκε στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Βασίστηκε στη ΓΘΣ, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά στο χώρο της μηχανικής, για να βρει αργότερα εφαρμογή και σε άλλες επιστήμες, όπως η οικονομία, η βιολογία και η πληροφορική. Η θεωρία αυτή πρόσφερε μια εναλλακτική λύση σε ένα από τα πιο δισεπίλυτα προβλήματα, δηλαδή στην εξήγηση της σκοπιμότητας που διέπει τη συμπεριφορά ενός συστήματος με βάση απλές, μηχανιστικές διαδικασίες. Έδειξε τον τρόπο με τον οποίο η σκόπιμη συμπεριφορά εμφανίζεται ως ιδιότητα ενός συστήματος, που απαρτίζεται από απλά στοιχεία, τα οποία δεν χαρακτηρίζονται από σκοπιμότητα. Η συστημική θεωρία υιοθετεί την ανώνυμη Δυναμική του συστήματος και δίνει έμφαση στις σχέσεις των μερών που απαρτίζουν το σύστημα.

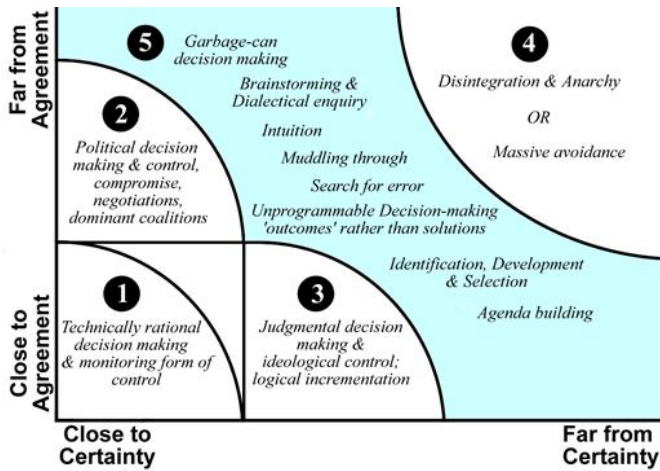
Υπό παρατήρηση μπορούν να τεθούν είτε συστήματα χαμηλής, είτε υψηλής πολυπλοκότητας:

- Συστήματα χαμηλής πολυπλοκότητας, απλά μηχανιστικά (Νευτώνεια) φυσικά περιβάλλοντα ή περιβάλλοντα με λίγους «παίχτες» και σαφείς κανόνες, παρατηρούνται σχετικά εύκολα από τον παρατηρητή, αφού μπορεί να ερμηνεύει το παρελθόν και σε σημαντικό βαθμό να προβλέπει το μέλλον συνδέοντας αιτιατά τα γεγονότα δημιουργώντας αλυσίδες αιτίων – αποτελεσμάτων. Όταν η πολυπλοκότητα είναι χαμηλή, η αιτιοκρατία είναι ο βασικός τρόπος λογισμού, κάτι που δεν μπορεί να συμβαίνει όταν η πολυπλοκότητα αυξάνει. Τέτοια συστήματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως περίπλοκα, όπου τα μέρη τους είναι αλληλένδετα, η συμπεριφορά τους είναι γραμμική και προβλέψιμη και υπάρχει ισοδυναμία των μερών με το όλο (Rossouw, 2011).
- Συστήματα υψηλής πολυπλοκότητας είναι για παράδειγμα οι ζωντανοί οργανισμοί, τα κοινωνικά ή οικονομικά συστήματα. Σε τέτοιου είδους συστήματα τα μέρη είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, οι αιτίες διαπλέκονται και δεν μπορούν να συσχετιστούν εύκολα με ευδιάκριτα αποτελέσματα, η συμπεριφορά δεν είναι προβλέψιμη, εμφανίζεται θετική και αρνητική ανατροφοδότηση, αυθόρμητη ανάδυση και δεν μπορεί να γίνει η περιγραφή τους μόνο με την ανάλυση των μερών τους (Rossouw, 2011).

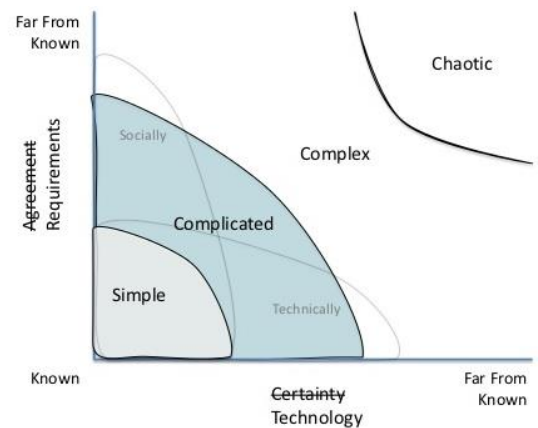
Λαμβάνοντας υπόψη μας το μοντέλο που δημιούργησε ο Ralph Stacey προκειμένου να προσεγγίσει πολύπλοκες καταστάσεις σε θέματα μάνατζεμεντ (Εικόνα 1), αλλά και την εκδοχή

«Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση»

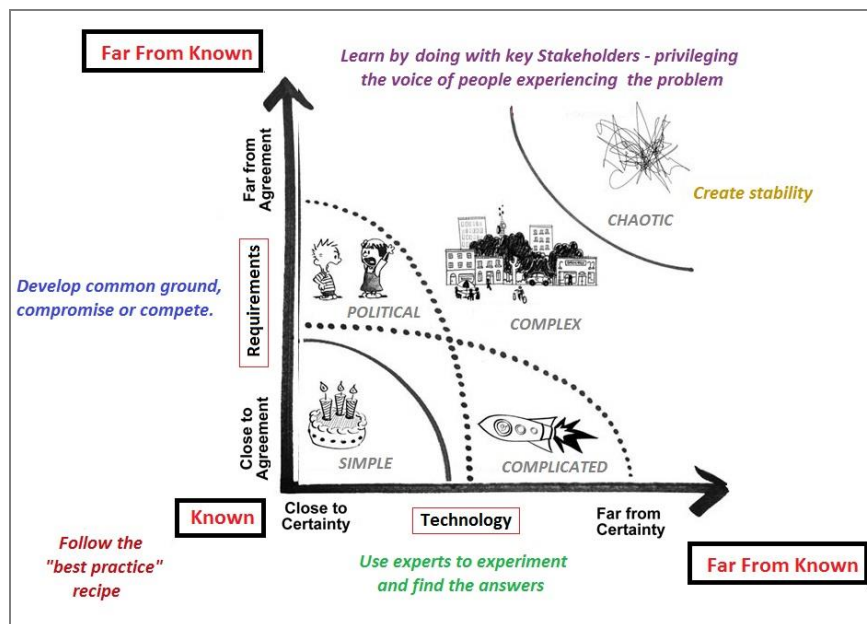
της απλοποίησης του μοντέλου από τον Bernie Maloney (Εικόνα 2), μπορούμε να προσεγγίσουμε την έννοια του πολύπλοκου, αλλά και τις έννοιες όπως απλό, περίπλοκο, χαοτικό, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 1 Stacey Matrix (Πηγή: <https://www.google.gr/Complexity Theory-the Stacey matrix>)



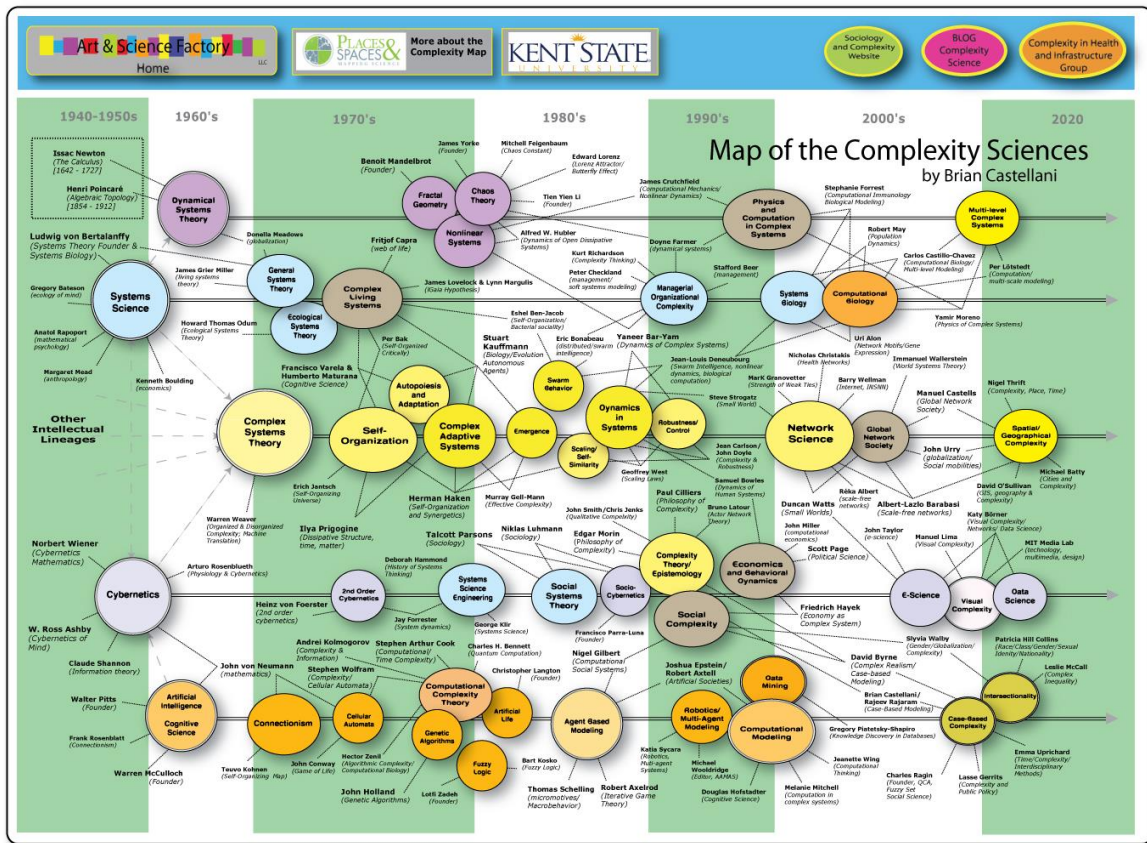
Εικόνα 2 Stacey Matrix Simplifying – Slide Deck: © 2012 B. Maloney (Πηγή: <http://www.slideshare.net/berniemaloney/agile-in-an-hour>)



Εικόνα 3 Προσέγγιση της έννοιας της πολυπλοκότητας μέσω του Stacey Matrix (R. Stacey) και του Stacey Matrix Simplifying (B. Maloney)

Στην ιστοσελίδα TCS με URL: <http://www.theoryculturesociety.org/brian-castellani-on-the-complexity-sciences/>, ο Brian Castellani αντικατοπτρίζει τις ταχέως αναπτυσσόμενες επιστήμες που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα (ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών) (Εικόνα 4).

Για τη μελέτη των πολύπλοκων συστημάτων απαιτείται μια διαφορετική, ολιστική προσέγγιση, ικανή να αντιμετωπίζει την πολυπλοκότητα και να επιτρέπει στον παρατηρητή να λογίζεται ικανοποιητικά. Η Συστημική Ανάλυση είναι η προσέγγιση που ταιριάζει, η οποία αποτελείται από χρήσιμα εργαλεία διάγνωσης, σχεδιασμού και ανάλυσης. Τα εργαλεία της Συστημικής Ανάλυσης είναι η Συστημική Δυναμική και η Συστημική Σκέψη (Ασημακόπουλος, Θεοχαρόπουλος & Δημητρίου, 2005).



Εικόνα 4 Brian Castelli - Map of Complexity Sciences (Πηγή: <http://i0.wp.com/theoryculturesociety.org/wp-content/uploads/2014/10/map-of-the-complexity-sciences.jpg>)

### 1.2.1 Κλειστά και ανοικτά συστήματα

Ο Luhmann εισάγει την έννοια του αυτοποιητικού συστήματος στα κοινωνικά συστήματα επηρεασμένος από την άποψη των Maturana και Varela για τα βιολογικά συστήματα, τα οποία μπορούν να παράγουν και να αναπαράγουν τους εαυτούς τους (Τσίρος, 2005). Σύμφωνα με τον Luhmann: «Ένα αυτοποιητικό σύστημα αποτελείται από στοιχεία τα οποία δημιουργούνται ενώ δημιουργούν το σύστημα. Δηλαδή, το σύστημα, τα στοιχεία του συστήματος και η οργάνωσή του αυτο-αναπαράγονται. Το αυτοποιητικό σύστημα δεν έχει ούτε εισόδους ούτε εξόδους. Πρόκειται για ένα τρίτο, διαφορετικό είδος συστήματος από τα γνωστά, δηλαδή τα ετεραρχημένα κλειστά συστήματα και τα ανοικτά στο περιβάλλον». Τι εννοούμε όμως όταν αναφερόμαστε σε ανοικτά, κλειστά και δυναμικά συστήματα;

**Ανοικτά** θεωρούνται τα συστήματα που είναι σε θέση να ανταλλάσσουν ύλη, ενέργεια και πληροφορίες με τα περιουστήματα ώστε να αναπτύσσονται, να εξελίσσονται και να επιβιώνουν (Κοντάκος, 2011). Τα ανοικτά συστήματα θεωρούνται ζωντανά συστήματα καθώς λαμβάνουν ύλη, ενέργεια και πληροφορίες από το περιβάλλον, τις επεξεργάζονται, τις χρησιμοποιούν για να αναπαράγουν τον εαυτό τους και κατόπιν αποβάλλουν ή εκπέμπουν ένα μέρος από αυτές προς τα έξω (Ευθυμίουπουλος, 2013, στο Κατσέλη, 2014).

**Κλειστά** θεωρούνται τα συστήματα που ουσιαστικά είναι εσωστρεφή και δεν υφίστανται καμία επίδραση από το περιβάλλον, αλλά ούτε και ασκούν επίδραση σε αυτό (Μπουραντάς, 1999 στο Μάνεση, 2014).

Οι βασικότερες ιδιότητες των **δυναμικών συστημάτων** είναι η **Σταθερότητα**, η **Προσαρμογή** και η **Ευφυΐα**.

Η **Σταθερότητα** προϋποθέτει ένα συνδυασμό από ρύθμιση και έλεγχο. Προβλέποντας οι οργανισμοί μπορούν να σταθεροποιηθούν μακροπρόθεσμα, με τη βοήθεια π.χ. του προελέγχου «ενδεχομενικότητας», διαδικασία που προϋποθέτει ηγετικές ικανότητες ανώτερης τάξης (Κοντάκος, 2011).

Η **Προσαρμογή** σημαίνει σταθεροποίηση παρά τις όποιες περιβαλλοντικές αλλαγές. Ο προέλεγχος εμπεριέχει επίσης τη δυνατότητα της αυτοαναδόμησης ως έκφρασης ανάγκης των οργανισμών για «πολυσταθερότητα» (Aschby, 1978 στο Κοντάκος, 2011). Η ικανότητα του συστήματος να προσαρμόζεται δεν αναφέρεται μόνο στη δυνατότητα να αλλάζει τον εαυτό του, αλλά και το ίδιο το περιβάλλον του (Κοντάκος, 2011).

Η **Ευφυΐα**, αναφέρεται στην ικανότητα α) να αναζητά νέο περιβάλλον ή να κατασκευάζει ένα, εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο, και, β) να μαθαίνει να διευρύνει τα όριά του διαμορφώνοντας τις δομές του (Κοντάκος, 2011).

Κάθε σύστημα αποτελείται από κάποια συστατικά στοιχεία, που επιγραμματικά είναι οι εισροές, η επεξεργασία / διεργασία, οι εκροές και ο έλεγχος / ανατροφοδότηση και το περιβάλλον, στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές. Το *ρέειν* είναι το άνοιγμα του συστήματος για να πάρει ύλη, ενέργεια και πληροφορίες. Το *δομείν* είναι το κλείσιμο των ορίων ώστε να συνεχιστεί η αναδόμηση του συστήματος (Βασιλείου, 1987 στο Κατσέλη, 2014). Ο μετασχηματισμός του *ρέειν* σε *δομείν* βασίζεται σε μια σειρά από διαδικασίες, που αφορούν α) στην *επεξεργασία ή μετασχηματισμό/ «black box»*, δηλαδή στον τρόπο συνδυασμού των εισροών, β) στον *έλεγχο ή ανατροφοδότηση*, δηλαδή στη διαδικασία που οδηγεί στη διατήρηση της υπάρχουσας κατάστασης, στη σταθερή μορφή του συστήματος και γ) στο *περιβάλλον* στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές.

### 1.2.2 Συστημική Θεωρία και Σχολείο

Το σχολείο (σχολική μονάδα) αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα και ταυτόχρονα είναι υποσύστημα του ευρύτερου εκπαιδευτικού συστήματος που αποτελεί από τη μεριά του ένα υποσύστημα μιας ευρύτερης κοινωνίας ή χώρας (κοινωνικοοικονομικό σύστημα) (Κατσέλη, 2014). Το σύστημα αυτό υπάρχει και εξελίσσεται μέσα σε ένα ευρύτερο εξωτερικό περιβάλλον που εμπεριέχει το κοινωνικό, πολιτικό, πολιτισμικό, οικονομικό, νομικό, τεχνολογικό, οικολογικό περιβάλλον ή το ευρύτερο θεσμικό πλαίσιο.

Η συστημική θεωρία μπορεί να αξιοποιηθεί στο σχολικό πλαίσιο για την ανάπτυξη θετικών αλληλεπιδράσεων και αλληλεξαρτήσεων των μελών του, για τη διαχείριση δύσκολων καταστάσεων, αλλά και για μάθηση. Το σύστημα σχολείο αποτελείται από τους μαθητές, τους εκπαιδευτικούς, τον διευθυντή, το βοηθητικό προσωπικό, τους γονείς των μαθητών, τις υποομάδες στις οποίες ανήκουν, καθώς και από τις μεταξύ τους σχέσεις αλληλεπίδρασης και αλληλεξάρτησης (Γεώργας κ.ά., 2006 στο Γιώτσα, 2014). Το άτομο δηλαδή (π.χ. μαθητής, εκπαιδευτικός, γονιός, στέλεχος διοίκησης) ανήκει σε μια μικρή ομάδα (π.χ. την ομάδα των μαθητών, την ομάδα των εκπαιδευτικών, την ομάδα των γονέων της τάξης), η οποία ανήκει σε μια άλλη ευρύτερη ομάδα (π.χ. τη σχολική τάξη, το σύλλογο διδασκόντων, το σύλλογο γονέων), η οποία αποτελεί υποσύστημα της σχολικής κοινότητας, που εντάσσεται στην ευρύτερη κοινότητα (π.χ. Δήμος) μιας ευρύτερης κοινωνίας (π.χ. πολιτεία, θεσμοί), (Πολέμη-Τοδούλου, 2010). Οι Molnar και Linqvist (1994) υποστηρίζουν ότι η αλλαγή στη συμπεριφορά ή στη σκέψη ενός μέλους ενός συστήματος θα επιφέρει αλλαγές και στο σύστημα (Γιώτσα, 2014). Αν αλλάξει η συμπεριφορά ενός μέλους μιας ομάδας αυτό να επηρεάσει, είτε τις σχέσεις μεταξύ των μελών της ίδιας ομάδας, είτε τις σχέσεις της ομάδας με άλλη ή άλλες

υποομάδες του ίδιου συστήματος. Σημαντικό για τη συστημική θεωρία δεν είναι να προσπαθήσουμε να εξαλείψουμε τη συμπεριφορά αλλά να διερευνήσουμε τις σχέσεις που δημιουργούνται ανάμεσα στα υποσυστήματα.

Ως **εισροές**, δηλαδή προϋποθέσεις και όροι για να υπάρχει το σχολείο, θεωρούνται η Νομοθεσία και Εκπαιδευτική Πολιτική, το αναλυτικό πρόγραμμα, το παιδαγωγικό υλικό (βιβλία ή βοηθήματα), η υλικοτεχνική υποδομή του σχολικού χώρου, οι χρηματικοί πόροι που διατίθενται στην εκπαιδευτική διαδικασία, η οργανωτική δομή του σχολείου, οι δάσκαλοι και το υπόλοιπο ανθρώπινο δυναμικό των σχολικών μονάδων, η ικανότητα του/της μαθητή/τριας και το κοινωνικοοικονομικό του/της υπόβαθρο.

Ως **εκροές**, δηλαδή αποτελέσματα και επιδράσεις, για να συνεχιστεί η αναδόμηση του σχολείου, θεωρούνται τα επιστημονικά και διεπιστημονικά μαθησιακά αποτελέσματα, η σχολική επιτυχία και η επιτυχής καριέρα και η αξιολόγηση της εργασίας του σχολείου.

Οι διαδικασίες, που συντελούνται στο σχολείο και οδηγούν στο μετασχηματισμό των εισροών σε εκροές, σχετίζονται με τη διδασκαλία, τον επαγγελματισμό του διδακτικού προσωπικού, τη σχολική ηγεσία (σχολικό management), το σχολικό κλίμα και το κλίμα της τάξης, τις ένδο- και έξω-σχολικές συμπράξεις και με τη διασφάλιση και ανάπτυξη της ποιότητας (ανατροφοδότηση, επανασχεδιασμός).

Προκειμένου να ανταποκριθεί επαρκώς το σύστημα σχολείο, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, στις σύγχρονες προκλήσεις και απαιτήσεις, που δημιουργεί η αυξημένη πολυπλοκότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος, πρέπει διαρκώς να εξελίσσεται ώστε να βελτιώνεται και να γίνεται πιο αποτελεσματικό, πιο ποιοτικό αλλά και να παράγει έργο, που να αφορά όλη την κοινωνία ικανοποιώντας τις σύγχρονες απαιτήσεις.

Η ιστορική επισκόπηση της συζήτησης για την πορεία διαμόρφωσης μιας θεωρίας της *Σχολικής Ανάπτυξης* στρέφεται κατά κανόνα σε θεωρίες αναφοράς από γειτνιάζοντα επιστημονικά πεδία, γι' αυτό παρουσιάζουν και εντελώς διαφορετικά θεωρητικά πλαίσια (Κοντάκος, 2015α). Στη θεωρία, που έχει αναπτυχθεί για την έννοια της *Σχολικής Ανάπτυξης*, υπάρχουν διαφορετικά είδη *Σχολικής Ανάπτυξης* ανάλογα με τον τομέα, στον οποίο επιχειρείται και σχεδιάζεται μια αλλαγή, η *Οργανωσιακή ή Σχολική ανάπτυξη*, η *Διδακτική – Παιδαγωγική ανάπτυξη* και η *Ανάπτυξη προσωπικού*. Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την *Ανάπτυξη των σχολικών μονάδων* είναι η *Ανάπτυξη σχολικών μονάδων ως οργανωσιακή ανάπτυξη* και *Σχολική Ανάπτυξης*, ως *ανάπτυξη σχολικής μονάδας σε συστημικό πλαίσιο ή ως Σχολική Ανάπτυξη 3<sup>ης</sup> τάξης ή ως πολύπλοκη Σχολική Ανάπτυξη*. Παρακολουθώντας την εξέλιξη στο πεδίο της *Σχολικής Ανάπτυξης* διαπιστώνεται ότι δεν υπάρχει συστηματική σύνδεση μεταξύ των διαφορετικών θεωριών της. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται η προσπάθεια σύλληψης ενός ολιστικού σχεδίου μιας θεωρίας της *Σχολικής Ανάπτυξης*, όπως π.χ. τα σχέδια της Rahm (2005) και του Maag Merki (2008a) στη γερμανική βιβλιογραφία (Κοντάκος, 2014α).

Για να προσεγγίσουμε τη *Σχολική Ανάπτυξη* και *Βελτίωση* στο πλαίσιο του συστήματος σχολείου, που αφορά στις σύγχρονες εκπαιδευτικές μονάδες, πρέπει να συσχετίσουμε την έννοια της *Σχολικής Ανάπτυξης* με: α) τη Μάθηση ως Οργανωτική διαδικασία, β) το χαρακτηρισμό του σχολείου ως «Μανθάνοντος Οργανισμού» ή «Μανθάνοντος ή Ευφυούς Σχολείου» και γ) με την εξέλιξη των μεμονωμένων σχολικών μονάδων.

Τι περιγράφουμε όμως όταν χρησιμοποιούμε τον όρο «Μάθηση»;

Κατά τον H. Roth «Μάθηση είναι η βελτίωση ή η απόκτηση νέων μορφών συμπεριφοράς».

Κατά τον R. Gagne «Μάθηση είναι η διαδικασία που υποβοηθάει τους οργανισμούς να τροποποιήσουν τη συμπεριφορά τους σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα και με ένα μόνιμο τρόπο, ώστε η ίδια τροποποίηση ή αλλαγή να μην επαναλαμβάνεται σε κάθε νέα περίπτωση». Μπορούμε να πούμε, με απλά λόγια, ότι *μάθηση θεωρείται η νοητική διεργασία με την οποία ο μαθητής, ή γενικότερα το άτομο, αποκτά νέες γνώσεις, δεξιότητες, συμπεριφορές και αξίες. Είναι η σχετικά μόνιμη μεταβολή στο άτομο, που συντελείται μέσω των εμπειριών του, τις οποίες αποκτά μέσω της αλληλεπίδρασής του με το περιβάλλον του.*

Η Μάθηση ως οργανωτική διαδικασία λαμβάνει χώρα σε διαφορετικά επίπεδα: ατομικό, συλλογικό και οργανωσιακό. Αντίστοιχα μάθηση ενός επιπέδου μετασχηματίζεται σε μάθηση του αμέσως επομένου επιπέδου.

1. Η Μάθηση σε ατομικό επίπεδο θεωρείται ως η βάση και η απαραίτητη συνθήκη κάθε οργανωσιακής μάθησης (Argyris und Schoen 1978, Duncan und Weiss 1979, Senge 1990 στο Κοντάκος, 2015α). Η «Μάθηση» κατανοείται ως αλλαγή συμπεριφοράς ατόμων. Σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον προσλαμβάνει το άτομο νέες πληροφορίες και τις προσθέτει στην προϋπάρχουσα γνώση. Ο οργανισμός με τη δομή του και την κουλτούρα του βάζει το πλαίσιο το οποίο κατά περίπτωση δρα προωθητικά ή ανασταλτικά στην ατομική μάθηση.
2. Μάθηση στο επόμενο επίπεδο, το συλλογικό, είναι προϋπόθεση της οργανωσιακής μάθησης. Λαμβάνει χώρα σε ομάδες ή ειδικές ομάδες (Teams) που αποτελούν βασικά το συνδετικό κρίκο μεταξύ ατόμου και οργάνωσης. Η ομαδική εργασία αναφέρεται στην οργάνωση και έχει ως βάση έναν κοινό σκοπό. Έτσι λαμβάνει χώρα η διαδικασία της δόμησης νοήματος.
3. Στη βάση των δύο ανωτέρω επιπέδων λαμβάνει χώρα μάθηση σε επίπεδο οργανισμού που εννοεί γενικά την αλλαγή ή την εξέλιξη του δυναμικού ηγετικού πηδαλιούχησης ενός οργανισμού.

Μανθάνοντες οργανισμοί ονομάζονται οι οργανισμοί που έχουν την ικανότητα για μάθηση, τόσο των μελών τους όσο και των υποσυνόλων τους, αλλά και του συνόλου του οργανισμού. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα παραγωγική και χρήσιμη για την κατανόηση των διαδικασιών σύστασης, διατήρησης και επιβίωσης εν γένει των ανθρώπινων συστημάτων.

Σύμφωνα με τον Wilke μάθηση στους οργανισμούς, ως ίδια συστημική μονάδα δηλ. οργανωτική μάθηση, σημαίνει ότι οι οργανισμοί ενσωματώνουν γνώση στις δομές, στις διαδικασίες και στα συστήματα ελέγχου τους ή απλά, ότι γίνονται «ευφυή σε αυτά» (Wilke, 2004 στο Κοντάκος, 2015α).

Ο Senge, P. (1998, S. 15) περιγράφει πέντε ουσιαστικές ικανότητες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη ενός μανθάνοντος οργανισμού α) «προσωπική ανάπτυξη» (personal mastery), β) «γνωστικά μοντέλα» (mental models, δηλ. συνειδητοποίηση και υπέρβαση βαθιά ριζωμένων πεποιθήσεων, γνωστικών χαρτών και δομημάτων όπως και καθημερινών θεωριών ως προϋποθέσεων ανάπτυξης οργανωσιακής μάθησης), γ) «ανάπτυξη κοινού οράματος» (στη βάση διαλόγου και ανταλλαγής προσωπικών αντιλήψεων), δ) «μάθηση σε ομάδες» (η συνεργασία αποτελεί προϋπόθεση μιας από κοινού μάθησης), και, ε) «Συστημική Σκέψη» (για στοχασμό σε συνάφεια συστημάτων με μια ολιστική προοπτική) (Κοντάκος, 2015α).

Η διαδικασία της *Σχολικής Ανάπτυξης* μπορεί να προσαρμοστεί και στην αντίληψη του σχολείου ως «Μανθάνοντος Οργανισμού» ή «Μανθάνοντος ή Ευφυούς Σχολείου». Εάν τεθεί αυτό ως υπέρτατος στόχος τότε η *Σχολική Ανάπτυξη* νοείται ως μια διαρκής πορεία προς αυτή

την επιδιωκόμενη κατάσταση. Η βασική ιδέα αυτής της προσέγγισης είναι ότι τα σχολεία δεν αποτελούν μόνο μαθησιακές οργανώσεις για άλλους, δηλαδή για τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς, αλλά ότι ως οργανισμοί είναι και τα ίδια σε θέση να συμμετέχουν σε μαθησιακές διαδικασίες, που καθιστούν και τα ίδια μαθάνοντα. Σε σχολεία που αυτοκατανοούνται και λειτουργούν ως μαθάνοντες οργανισμοί δεν μαθαίνουν μόνο οι μαθητές αλλά και το διδακτικό και διευθυντικό προσωπικό και τέλος και τα ίδια τα ιδρύματα ως ολότητες.

Για το σκοπό αυτό είναι, αρχικά, απαραίτητη η δημιουργία των απαραίτητων δομών και η καλλιέργεια βασικών ικανοτήτων και στη συνέχεια η συντήρησή τους. Μεγάλη αξία αποδίδεται στην ικανότητα για παιδαγωγική αυτοανανέωση.

Στα τέλη της δεκαετίας του 90 προέκυψε η προσέγγιση της σχολικής ανάπτυξης ως συστημική συνάφεια (Κοντάκος, 2015α). Αυτή η αντίληψη εκκινεί από την παραδοχή ότι η εξέλιξη των μεμονωμένων σχολικών μονάδων περιλαμβάνει ποικίλες δραστηριότητες που εντάσσονται βασικά και στις τρεις οργανωτικές περιοχές τους:

1. Ως ανάπτυξη του σχολικού μάνατζμεντ με αποτελεσματική διεύθυνση, εντατική συνεργασία, σχηματισμό ομάδων στο προσωπικό, με συνεργασία με τους γονείς ή εξωσχολικών εταιρικών ιδρυμάτων. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατή η σχολική εξέλιξη στον τομέα της σχολικής οργάνωσης και κατανοείται ως οργανωτική ανάπτυξη (Ο.Α.).
2. Πέρα από αυτό, Σχολική Εξέλιξη μπορεί να λάβει χώρα, μεταξύ άλλων, με τη μορφή συνεργατικά σχεδιασμένων αναλυτικών προγραμμάτων, διαθεματικών project ή ενιαίων κριτηρίων αξιολόγησης της επίδοσης, στον τομέα της μαθησιακής κουλτούρας στη διδασκαλία και στο σχολείο. Στην περίπτωση αυτή ομιλούμε για Ανάπτυξη Διδασκαλίας (Α.Δ.).
3. Τέλος Σχολική ανάπτυξη μπορεί να υλοποιηθεί και στον τομέα προσωπικού ως ατομική διαδικασία μάθησης του διδακτικού προσωπικού (σε σχέση με αντικειμενικές και επιστημονικές ικανότητες, όπως επίσης τον αυτοέλεγχο ή την ικανότητα αντίληψης) και ως μάθηση σε σχέση με το προσωπικό (στελεχιακό δυναμικό) (σε σχέση με την ανάπτυξη μιας κουλτούρας π.χ. επικοινωνίας και διαχείρισης διαμαχών κλπ.). Τότε αναφερόμαστε στην Ανάπτυξη Προσωπικού (Α.Π.).

Η αντίληψη αυτή εκκινεί από τη διαπίστωση ότι και οι τρεις τομείς βρίσκονται σε μια ποικίλη και αλληλεξαρτώμενη συνάφεια με αμοιβαία επιρροή και συνδέονται μεταξύ τους συστημικά (Εικόνα 5). Κανένας από τους τομείς αυτούς της Σχολικής Ανάπτυξης δεν έχει ούτε χρονική αλλά ούτε και αντικειμενική προτεραιότητα. Στην ιδανική περίπτωση εφαρμόζεται Σχολική Ανάπτυξη ως οργανωτική, διδακτική και προσωπική ανάπτυξη. Ως εκ τούτου δραστηριότητες σε ένα τομέα έχουν επιπτώσεις και στους δύο άλλους τομείς (Κοντάκος, 2015α).

Η επιστημονική και τεχνολογική εξέλιξη έχουν δημιουργήσει την ανάγκη για αλλαγές σε πολλούς τομείς. Η εποχή μας χαρακτηρίζεται από ραγδαίες κοινωνικο-οικονομικές, τεχνολογικές και πολιτισμικές αλλαγές. Επικρατούν νέες αντιλήψεις για τη φύση της επιστημονικής γνώσης. Ο ρόλος του σχολείου επαναπροσδιορίζεται εξαιτίας των νέων αντιλήψεων που επικρατούν για την οργάνωση της σχολικής γνώσης και πηγάζουν από τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης. Ο παραδοσιακός προσανατολισμός της εκπαίδευσης αμφισβητείται και δρομολογούνται διαδικασίες αναθεώρησης του περιεχομένου και της οργάνωσης, που σκοπό έχουν να οδηγήσουν στο αποτελεσματικό σχολείο. Η Σχολική



*Αποτελεσματικότητα*, που συνδέεται με τη *επιτυχία* της σχολικής μονάδας, θα πρέπει να έχει ως βασικό της στόχο την διαρκή της βελτίωση. Στη σημερινή εποχή το ζήτημα είναι ποιες στρατηγικές θα πρέπει να ακολουθήσουν τα μη αποτελεσματικά σχολεία για να αναβαθμιστούν, να αυτοβελτιωθούν, να αυτοπηδαλιουχθούν και να αποκτήσουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά, που δημιουργούν τον πυρήνα ενός δυναμικού χώρου, όπως θα έπρεπε να είναι το σχολείο. Σύμφωνα με την έρευνα των Mac Gilchrist, Myers και Reed το 2004 (Κοντάκος, 2015β), τα χαρακτηριστικά που αποτελούν τον πυρήνα αυτού του χώρου είναι τέσσερα: α) τα δικαιώματα και οι υποχρεώσεις των μαθητών, β) η επαγγελματική και υψηλής ποιότητας ηγεσία, γ) η έμφαση στη διαδικασία μάθησης και στον τρόπο διδασκαλίας και δ) η ανάπτυξη ενός σχολικού οργανισμού που διαρκώς μαθαίνει. Το πρώτο αποτελεί το «υπομόχλιο» για τα υπόλοιπα τρία. Όλα μαζί οδηγούν το σχολείο στο μονοπάτι της βελτίωσης.



**Εικόνα 5** Σχολική Ανάπτυξη ως συστημική διαδικασία (Πηγή: Schulentwicklung - gute Konzepte - erfolgreiche Praxis ([http://www.schule-bw.de/entwicklung/schulentw/schulentwicklung\\_bw](http://www.schule-bw.de/entwicklung/schulentw/schulentwicklung_bw))

Ο όρος *Σχολική Βελτίωση* προέκυψε όταν προς τα τέλη της δεκαετίας του '70 και αρχές της δεκαετίας του '80 άρχισε να αναπτύσσεται ένα νέο ερευνητικό κίνημα, το κίνημα της *Σχολικής Βελτίωσης*, που σχετίζεται με την ποιότητα των σχολικών μονάδων. Οι υποστηρικτές αυτού του κινήματος έρχονται συχνά σε σύγκρουση με αυτούς της σχολικής αποτελεσματικότητας (Κοντάκος, 2015β).

Ο όρος *Σχολική Βελτίωση* και ότι αυτός συνεπάγεται, σχετίζεται με μια από τις βασικότερες ιδιότητες του συστήματος σχολείου, αυτή της ευφυΐας, αλλά και με την προσέγγιση του σχολείου ως ένα σύστημα που είναι μανθάνον. Σε μια κοινωνία, που η ίδια είναι μανθάνουσα (Bouvier, 2013), το σχολείο πρέπει να είναι και αυτό μανθάνον και να αναπτύσσει συλλογική νοημοσύνη. Για αυτό και οι ερευνητές MacGilchrist, Myers και Reed (2004) προσπάθησαν να καταγράψουν τις δεξιότητες που θα πρέπει να αποκτήσει το σχολείο για να είναι «ευφυές» (Κοντάκος, 2015β), δηλαδή να α) να αναζητά νέο περιβάλλον ή να κατασκευάζει ένα, εάν αυτό κρίνεται απαραίτητο, και, β) να μαθαίνει να διευρύνει τα όριά του διαμορφώνοντας τις δομές του. Αυτές είναι επιγραμματικά δεξιότητες α) σε σχέση με το συγκεκριμένο, β) στρατηγικές, γ) ακαδημαϊκές, δ) στοχαστικές, ε) παιδαγωγικές, στ) συλλογικής εργασίας, ζ) συναισθηματικές, η) πνευματικές και θ) ηθικές.

Ο Hopkins (1994) αναφερόμενος στη *Σχολική Βελτίωση* θεωρεί ότι αποτελεί τη στρατηγική των εκπαιδευτικών αλλαγών που στόχος της είναι: να διευρύνει τα αποτελέσματα της

μάθησης των μαθητών μέσω βελτιωμένης διδασκαλίας και μάθησης και να ενδυναμώσει την ικανότητα του σχολείου να διαχειριστεί την αλλαγή και τις καινοτόμες δράσεις (Hopkins, 1994 στο Κοντάκος, 2015β).

Υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις για να υπάρξει «αυθεντική» *Σχολική Βελτίωση* όπως η αναγνώριση από τα μέλη της σχολικής μονάδας των αδυναμιών της, άρα και της ανάγκης για βελτίωση, η αναγνώριση των ιδιαιτεροτήτων της εκάστοτε σχολικής μονάδας, η αναγνώριση των παραμέτρων που πρέπει να ληφθούν υπόψη προκειμένου να υπάρξει βελτίωση, η λήψη πρωτοβουλιών π.χ. αποτελεσματικές καινοτόμες δράσεις, η αποδοχή, από τα μέλη της σχολικής μονάδας, της ανάγκης συμμετοχής ειδικών αλλά και υποστήριξης από εξωτερικούς φορείς, η αρμονική συνύπαρξη της θεωρίας με την πράξη, κ.α. Βασικότερη όμως προϋπόθεση είναι ότι θα πρέπει πρωτίστως να εστιάζει στις διαδικασίες μάθησης και διδασκαλίας προκειμένου να έχει θετικές επιπτώσεις στους μαθητές.

Με την προϋπόθεση λοιπόν ότι μια σχολική μονάδα και έτσι κάνοντας το πρώτο και πιο δύσκολο βήμα, αναγνώρισης, από τα μέλη της, των αδυναμιών της, άρα και της ανάγκης για βελτίωση, αρχίζει η διαδικασία που οδηγεί στη *Σχολική Βελτίωση*. Η διαδικασία αυτή πρέπει να έχει ως βασικά χαρακτηριστικά α) την έμφαση στην απόδοση, β) την ανάπτυξη ικανοτήτων, γ) την ερευνητική καθοδήγηση, δ) το πλούσιο θεωρητικό και ερευνητικό πλαίσιο, ε) τις εφαρμόσιμες καινοτόμες δράσεις, στ) τον παρεμβατικό και στρατηγικό τρόπο δράσης, ζ) την υποστήριξη εξωτερικών φορέων και η) τη συστημική βελτίωση (Κοντάκος 2015β).

Η κατηγοριοποίηση των προγραμμάτων, που εφαρμόζονται για να επιτύχουν τη *Σχολική Βελτίωση* γίνεται βάσει δύο προσεγγίσεων, που η καθεμία ακολουθεί τη δική της στρατηγική. Η πρώτη είναι η οργανική σχολική βελτίωση, η οποία στηρίζεται σε γενικές οδηγίες και κατευθύνσεις και επιλέγει αρχές μέσα από το εκπαιδευτικό περιβάλλον και η δεύτερη η μηχανιστική προσέγγιση, η οποία παρέχει πολύ συγκεκριμένες οδηγίες, για το τι πρέπει να γίνει και πώς πρέπει να γίνει σε κάθε φάση της εφαρμογής, τόσο σε επίπεδο τάξης, όσο και σε επίπεδο σχολικής μονάδας (Κοντάκος, 2015β).

Μπορούμε να συμπεράνουμε, μετά την ανάλυση που έγινε, ότι όσο εξελίσσονται οι έρευνες για τη *Σχολική Αποτελεσματικότητα* τόσο προστίθενται και καινούριοι παράγοντες, που συνιστούν το αποτελεσματικό σχολείο. Μέσα από αυτή την αναζήτηση εμφανίζεται και η θεωρία της *Σχολικής Βελτίωσης*. Η ανάγκη για την ανάπτυξη αυτής της θεωρίας ίσως προέκυψε γιατί στις θεωρίες της *Σχολικής Αποτελεσματικότητας* η έμφαση δινόταν σε επιμέρους τομείς της σχολικής μονάδας, όπως στην οργάνωση και διεύθυνση του σχολείου, στο Αναλυτικό Πρόγραμμα, στη σχολική διδασκαλία, στις διαπροσωπικές σχέσεις, στην αξιολόγηση της σχολικής επίδοσης των μαθητών. Ενώ στη θεωρία της *Σχολικής Βελτίωσης* η έμφαση δίνεται στις ενδο και έξω αλληλοεπιδράσεις και αλληλοεξαρτήσεις των μελών του συστήματος σχολείου.

### 1.3 Συστημική Δυναμική (System Dynamics)

Η Συστημική Δυναμική είναι μια μεθοδολογία μοντελοποίησης και προσομοίωσης για την περιγραφή, μελέτη και κατανόηση πολύπλοκων δυναμικών φαινομένων, δηλαδή φαινομένων που εξελίσσονται στο χρόνο. «Είναι η μεθοδολογία εκείνη, που χρησιμοποιείται για την κατανόηση των αλλαγών, που διεγείρονται από την αλληλεπίδραση των στοιχείων ενός συστήματος» (Κυροδήμου, Φεσάκης & Φλογαΐτη, 2015).

Τα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα (Complex Dynamic Systems) θα μπορούσαν απλά να περιγραφούν «ως συλλογές από απλούστερες μονάδες (αναφέρονται και ως στοιχεία,

υποσυστήματα ή/και πράκτορες (agents)) σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους οι οποίες παρουσιάζουν μια συνολική και ενιαία συμπεριφορά. Ο όρος πολύπλοκο σημαίνει, κυρίως, τη δυσκολία στην κατανόηση ή την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος. Ο όρος δυναμικό σημαίνει τη μεταβολή παραμέτρων του συστήματος με τον χρόνο» (Φεσαάκης & Λαζακίδου, 2015).

### 1.3.1 Συστημική Δυναμική και Jay Forrester

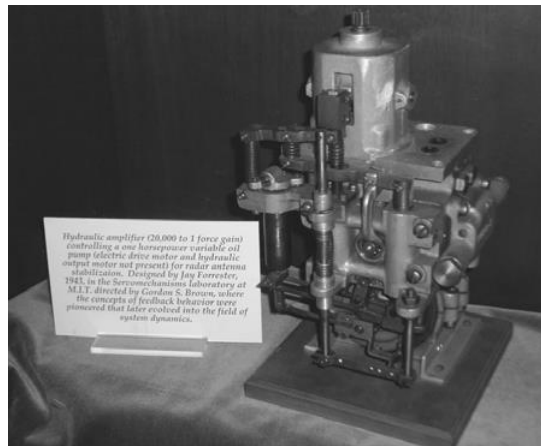
Η Συστημική Δυναμική αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του '70 στο Πανεπιστήμιο του MIT από τον Καθηγητή Jay Wright Forrester (14 Ιουλίου 1918 – 16 Νοεμβρίου 2016). Εξελίχθηκε από μια προγενέστερη εργασία, που αφορούσε στα συστήματα ανάδρασης ελέγχου (feedback-control systems), με την ιστορία της μηχανικής των Σερβομηχανισμών να ξεκινά πριν από αρκετές εκατοντάδες χρόνια. Σε πολλά έγγραφα θρησκευτικής λογοτεχνίας και κοινωνικών επιστημών οι συγγραφείς έχουν ασχοληθεί για χιλιάδες χρόνια με την κλειστού βρόχου κυκλική φύση της αιτίας και του αποτελέσματος (closed-loop circular nature of cause and effect) (Richardson, 1991). Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1920-1930, επιταχύνθηκε η κατανόηση ελέγχου της Δυναμικής Συστημικής. Νέα θεωρία εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών ενισχυτών ανάδρασης για διηπειρωτικά τηλεφωνικά συστήματα στα Bell Telephone Laboratories και του έργου για τους ελέγχους ανατροφοδότησης για αναλογικούς υπολογιστές και στρατιωτικούς εξοπλισμούς στο MIT. Ο έλεγχος ανάδρασης όμως δεν ισχύει μόνο για τα συστήματα μηχανικής, αλλά και σε όλες τις διεργασίες της αλλαγής (βιολογικές, φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές), κάτι για το οποίο οι άνθρωποι απόκτησαν καλύτερη επίγνωση μετά το 1950 (Forrester, 1992).

Πιο αναλυτικά η Συστημική Δυναμική (System Dynamics) δημιουργήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1950 από τον καθηγητή Jay W. Forrester του MIT (Massachusetts Institute of Technology). Μερικές αποφάσεις που πήρε κάποιες κρίσιμες στιγμές της ζωής του, αλλά και συγκυρίες, αποτέλεσαν τα **σημεία καμπής**, που τον οδήγησαν από το ένα στάδιο στο επόμενο. Τα περισσότερα από τα ιστορικά στοιχεία, που παρατίθενται στη συνέχεια, τα εξιστόρησε ο ίδιος ο Forrester το 1989 σε επίσημη ομιλία του στη System Dynamics Society στην Στουτγάρδη της Γερμανίας, με θέμα: *"The Beginning of System Dynamics"*. Ζώντας στην Nebraska των Ηνωμένων πολιτειών *πρώτο σημείο καμπής* αποτέλεσε η απόφασή του να σπουδάσει στο Engineering College at the University of Nebraska και όχι στο Agricultural College, στο οποίο είχε λάβει και υποτροφία. Τελειώνοντας το πανεπιστήμιο πήρε την απόφαση, δεύτερο σημείο καμπής, να ασχοληθεί ως ερευνητής στο Massachusetts Institute of Technology, το οποίο του είχε προσφέρει τη σχετική υποτροφία.

### 1.3.2 Gordon S. Brown-B' Παγκόσμιος Πόλεμος

*Σημείο καμπής* αποτέλεσε επίσης και το ότι τον πρώτο χρόνο ήταν υπό την επίβλεψη του Gordon S. Brown, ο οποίος ήταν ο πρωτοπόρος στα "συστήματα ελέγχου ανάδρασης" ("feedback control systems") στο MIT (Εικόνα 6).

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ο Gordon Brown μαζί με τον Jay Forrester πειραματίστηκαν αναπτύσσοντας σερβομηχανισμούς για τον έλεγχο των κεραιών ραντάρ και των θέσεων των πυροβόλων όπλων (gun mounts). Οι πειραματικοί αυτοί μηχανισμοί χρησιμοποιήθηκαν από τον Lexington, καπετάνιο του U.S. Navy, στην προσπάθεια να κατευθύνουν τα πολεμικά αεροπλάνα εναντίον εχθρικών στόχων. Η πρακτική πλευρά του θέματος ήταν το *πώς η έρευνα και η θεωρία σχετίζονται με το πεδίο της εφαρμογής*.



**Εικόνα 6** Ο υδραυλικός servo-mechanism για τη σταθεροποίηση κεραιών ραντάρ κατασκευάστηκε από τους Forrester και Brown. Το πρωτότυπο εγκαταστάθηκε στο Lexington. Επιδεικνύεται στην Forrester Conference Room στο MIT Sloan School of Management. Φωτογραφία: John Sterman. (Lane & Sterman, 2011)

### 1.3.3 WHIRLWIND I and SAGE-1950

Τελειώνοντας ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος προέκυψε ένα ακόμα σημείο καμπής, όταν ο Forrester αποφάσισε να ασχοληθεί με ένα από τα project, που του πρότεινε ο μέντοράς του. Το project αυτό αφορούσε στην κατασκευή ενός προσομοιωτή πτήσης αεροσκάφους, που θα μπορούσε όχι μόνο να παίζει το ρόλο του εκπαιδευτή πιλότων αεροσκαφών, αλλά και να προβλέψει με ακρίβεια τη συμπεριφορά ενός αεροπλάνου πριν ακόμα δημιουργηθεί. Ο προσομοιωτής αεροσκάφους σχεδιάστηκε ως ένας αναλογικός υπολογιστής. Μέσα από μια μακρά σειρά από αλλαγές σχεδιάστηκε ο WHIRLWIND I ψηφιακός υπολογιστής (Εικόνα 7) για την πειραματική ανάπτυξη των στρατιωτικών πληροφοριακών συστημάτων μάχης. Αυτό τελικά έγινε το σύστημα αεράμυνας της Βόρειας Αμερικής, SAGE (Semi-Automatic Ground Environment - τέλος 1950 έως 1983). Οι υπολογιστές που δημιουργήθηκαν από την ομάδα της Forrester κατά τη διάρκεια του προγράμματος SAGE εγκαταστάθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1950, παρέμειναν στην υπηρεσία για περίπου είκοσι πέντε χρόνια και είχαν αξιοσημείωτο "up time" που έφτασε στο 99,8%. Το SAGE air defence system είναι άλλη μια απόδειξη του ότι η έρευνα και η θεωρία σχετίζονται με το πεδίο της εφαρμογής.



**Εικόνα 7** Whirlwind: Jay (όρθιος στο κέντρο) και στα αριστερά του ο Robert Everett στο Whirlwind I test control το 1950. Η φωτογραφία χρησιμοποιείται με την άδεια της MITRE Corporation. Copyright © . Copyright © The MITRE Corporation. All Rights Reserved. (Lane & Sterman, 2011)



**Εικόνα 8** Coincident Coil Magnetic Core Memory: Ο Jay Forrester κρατώντας ένα 64x64 core memory plane, 1954. Η φωτογραφία χρησιμοποιείται με την άδεια της MITRE Corporation. Copyright © The MITRE Corporation. All Rights Reserved. (Lane & Sterman, 2011)

Ως μέρος του project WHIRLWIND I ο Forrester εφηύρε και κατοχύρωσε το coincident-current random-access magnetic computer memory, ο πρόδρομος της σημερινής RAM (Εικόνα 8). Αυτό έγινε το βιομηχανικό πρότυπο για τη μνήμη του υπολογιστή για περίπου είκοσι χρόνια. Το project WHIRLWIND I αποτέλεσε και κίνητρο για τον Forrester να δημιουργήσει την

τεχνολογία που διευκολύνει πρώτα την πρακτική ψηφιακού ελέγχου των εργαλειομηχανών (Radzicki & Taylor, 2008).

Ο Forrester ασχολήθηκε παράλληλα με τη μηχανική και το management μέχρι το 1952 (διαχείριση μιας επιχείρησης στην οποία εμπλέκονταν η Air Defense Command, η Air Material Command, η Air Research and Development Command, Western Electric, A.T.&T. και η I.B.M.) (Radzicki & Taylor, 2008).

#### 1.3.4 Συστημική Δυναμική (System Dynamics)-1957

Ένα άλλο σημείο καμπής ήρθε όταν ο James Killian, πρόεδρος του MIT, πρότεινε στον Forrester να εργαστεί στο νέο σχολείο management του MIT, το Sloan School of Management, το οποίο ιδρύθηκε το 1952 χρηματοδοτούμενο από τον Alfred Sloan (δημιουργό της μοντέρνας General Motors Corporation). Ο Forrester, έχοντας ήδη εμπειρία 15 ετών στο MIT στους τομείς της φυσικής και της μηχανικής, θεώρησε ως πρόκληση την ευκαιρία να διερευνήσει το τι μπορεί να σημαίνει το υπόβαθρο του μηχανικού στο management και έτσι το 1956 έγινε μέλος του Sloan School of Management.

**Το πρώτο σύστημα ελέγχου απογραφής που έγινε με τη δημιουργία μιας προσομοίωσης με μολύβι και χαρτί, ήταν η αρχή της Συστημικής Δυναμικής (System Dynamics) (1957).** Το σύστημα αυτό αφορούσε πρόβλημα, που αντιμετώπιζαν άνθρωποι της General Electric, το οποίο τους έκανε να αναρωτιούνται: Γιατί στις εγκαταστάσεις οικιακών συσκευών στο Κεντάκι πολλές φορές εργαζόμενοι, που δούλευαν πολλές φορές σε τρεις και τέσσερις βάρδιες, χρειαζόταν μετά από λίγα χρόνια οι μισοί από αυτούς να απολυθούν; Στην προσομοίωση, που δημιούργησε ο Forrester, κάποιος συμπληρώνοντας στήλες που αφορούσαν στα αποθέματα, στους υπαλλήλους, στις οδηγίες, αλλά και στην πολιτική που ακολουθούσε η εταιρεία, μπορούσε να αποφασίσει πόσους υπαλλήλους θα έπρεπε να προσλάβει την επόμενη εβδομάδα. Αυτό έδωσε μια καινούρια συνθήκη των απασχολούμενων, των αποθεμάτων και της παραγωγής. Κατέστη προφανές ότι επρόκειτο, πολύ πιθανόν, για ένα ταλαντούμενο ή ασταθές σύστημα, που είχε καθοριστεί εξ ολοκλήρου από το εσωτερικό του. Ακόμη και με σταθερές εισερχόμενες παραγγελίες θα μπορούσε κανείς να πάρει ως συνέπεια την αστάθεια σχετικά με την απασχόληση εξαιτίας των συνηθισμένων πολιτικών λήψης αποφάσεων (Forrester, 1989).

#### 1.3.5 Forrester-Bennett-1958

Το 1958 ο Forrester γράφοντας το άρθρο "Industrial Dynamics—A Major Breakthrough for Decision Makers," για το *Harvard Business Review*, δούλεψε μαζί με τον Richard Bennett, που ήταν ειδικός προγραμματιστής υπολογιστών. Αυτή η συνεργασία αποτέλεσε άλλο ένα σημείο καμπής για την πορεία του Forrester. Συγκεκριμένα ο Bennett αντί απλά να κωδικοποιήσει τις εξισώσεις, που χρειαζόταν ο Forrester για το άρθρο του, ώστε να τρέξουν στον υπολογιστή, δημιούργησε έναν compiler, που δημιουργούσε αυτόματα τον κώδικα υπολογιστή. Τον compiler τον ονόμασε "SIMPLE" (Simulation of Industrial Management Problems with Lots of Equations). Έτσι επιταχύνθηκε η εξέλιξη της μοντελοποίησης με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ραγδαία η Συστημική Δυναμική.

Το 1959, Ο Phyllis Fox και ο Alexander Pugh έγραψαν την πρώτη έκδοση του DYNAMO (DYNAmic MOdels), μια βελτιωμένη έκδοση του "SIMPLE" και της γλώσσας της Συστημικής Δυναμικής, που έγινε το πρότυπο στη βιομηχανία για πάνω από τριάντα χρόνια. Ο Forrester δημοσίευσε το 1961 το πρώτο και ακόμα κλασικό, βιβλίο στο πεδίο με τίτλο *Industrial Dynamics* (Radzicki & Taylor, 2008).

### 1.3.6 Συστημική Δυναμική - Gert von Kortzfleisch-1968

Ένα άλλο σημείο καμπής το 1968 οδήγησε στην επέκταση της Συστημικής Δυναμικής στη Γερμανία, όταν ο καθηγητής Gert von Kortzfleisch του Πανεπιστημίου του Mannheim πέρασε αρκετούς μήνες στο MIT και υιοθέτησε τη Συστημική Δυναμική και στο δικό του πανεπιστήμιο. Αρκετοί από τους μαθητές του, συμπεριλαμβανομένων των Erich Zahn και Peter Milling, που οργάνωσαν αυτό το συνέδριο, έγιναν ηγέτες σε αυτόν τον τομέα.

### 1.3.7 Urban Dynamics-1968

Επίσης το 1968 μια σειρά από περιστατικά μετακίνησε τη Συστημική Δυναμική από την εταιρική μοντελοποίηση σε ευρύτερα κοινωνικά συστήματα. Συγκεκριμένα εκείνη τη χρονιά επισκέφθηκε το MIT ο John F. Collins ο οποίος διετέλεσε Δήμαρχος στη Βοστώνη για οκτώ έτη. Ο Forrester και ο Collins συνδύασαν την πείρα τους στην μοντελοποίηση και στα θέματα των πόλεων αντίστοιχα, αναζητώντας ιδέες σχετικά με τη δομή και τις διαδικασίες των πόλεων, σε μια προσπάθεια να εξηγήσουν την απραξία και την ανεργία. Έτσι αναπτύχθηκε η *Urban Dynamics*, αλλά δεν λύθηκε η πρόκληση του πώς θα μπορούσαν περισσότερα άτομα να ξεφύγουν από τη συνηθισμένη, απλή, στατική άποψή τους και να αποκτήσουν κατανόηση σε βάθος της Δυναμικής πολυπλοκότητας. Η *Urban Dynamics* ήταν η πρώτη εργασία μοντελοποίησης του Forrester η οποία παρήγαγε ισχυρές, συναισθηματικές αντιδράσεις.

Το αποτέλεσμα της συνεργασίας Collins-Forrester ήταν ένα βιβλίο με τίτλο *Urban Dynamics*. Στο βιβλίο παρουσιάστηκε το μοντέλο *Urban Dynamics*, που ήταν η πρώτη σημαντική μη-εταιρική εφαρμογή της Συστημικής Δυναμικής. Το μοντέλο ήταν και είναι, πολύ αμφιλεγόμενο, διότι αποκαλύπτει πολλές γνωστές αστικές πολιτικές, που είτε είναι αναποτελεσματικές είτε χειροτερεύουν τα αστικά προβλήματα. Επιπλέον, το μοντέλο δείχνει ότι οι αντι-δισαιθητικές πολιτικές - δηλαδή, οι πολιτικές που εμφανίζονται με την πρώτη ματιά να είναι λανθασμένες, συχνά αποφέρουν εκπληκτικά αποτελέσματα. Ως παράδειγμα, στο μοντέλο *Urban Dynamics*, μια πολιτική της οικοδόμησης κατοικιών χαμηλού εισοδήματος δημιουργεί ένα φαύλο κύκλο της φτώχειας, που βοηθά να λιμνάζει μια πόλη, ενώ μια πολιτική, που γκρεμίζει κατοικίες χαμηλού εισοδήματος δημιουργεί τις θέσεις εργασίες και ένα αυξανόμενο βιοτικό επίπεδο για τους κατοίκους όλης της πόλης.

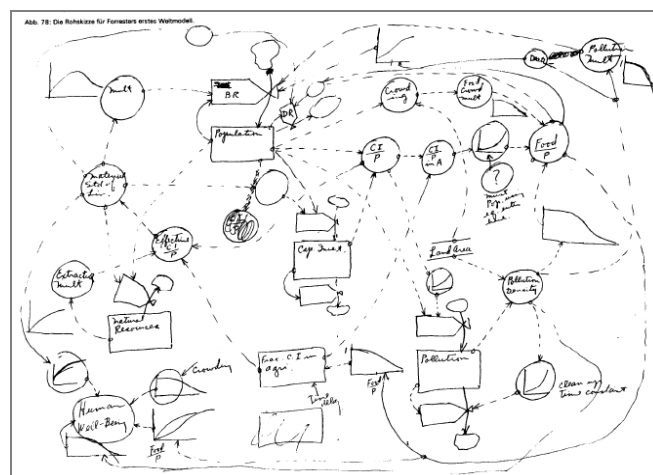
### 1.3.8. World Dynamics-1970

Η δεύτερη μεγάλη, μη εταιρική, εφαρμογή της Συστημικής Δυναμικής ήρθε λίγο μετά την πρώτη. Η *Urban Dynamics* ήταν η αφορμή να λάβει μέρος ο Forrester σε μια σειρά από συναντήσεις σε άλλες χώρες. Το 1970, ο Forrester κλήθηκε από τη Λέσχη της Ρώμης, σε μια συνάντηση στη Βέρνη της Ελβετίας. Η Λέσχη της Ρώμης είναι μια οργάνωση αφιερωμένη στην επίλυση εκείνου που τα μέλη της περιγράφουν ως "predicament of mankind" – το οποίο σχετίζεται με παγκόσμια κρίση που μπορεί να εμφανιστεί κάποια στιγμή στο μέλλον, εξαιτίας των απαιτήσεων που δημιουργούνται σχετικά με τη φέρουσα ικανότητα της γης (τις ανανεώσιμες και μη ανανεώσιμες πηγές της και τις καταβόθρες της για τη διάθεση των ρύπων) από τον εκθετικά αυξανόμενο πληθυσμό στον κόσμο. Αυτό ήταν άλλο ένα σημείο καμπής στην καριέρα του Forrester στη Συστημική Δυναμική. Η συζήτηση που έγινε στη συνάντηση της Βέρνης για τα παγκόσμια προβλήματα αποτέλεσε τη βάση για το μοντέλο της *World Dynamics*. Ο Forrester ρωτήθηκε αν η Συστημική Δυναμική θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση της κατάστασης της ανθρωπότητας. Η απάντησή του, βέβαια, ήταν ότι μπορούσε. Η εκτελεστική επιτροπή της συνάντησης αποφάσισε να στηρίξει την έρευνα του MIT στη Συστημική Δυναμική. Ο Eduard Pestel, πρόεδρος του Technical

University of Hannover, που συμμετείχε στη συνάντηση κανόνισε η Volkswagen Foundation να υποστηρίξει την έρευνα και έτσι προέκυψε το βιβλίο *The Limits to Growth*. Ο Pestel είχε μοναδική ικανότητα να χειρίζεται δύσκολες καταστάσεις, ήταν αποφασιστικός και είχε μια Δυναμική προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων (problem solving).

Ο Forrester γυρνώντας από τη συνάντηση στη Βέρνη μέσα στο αεροπλάνο δημιούργησε το πρώτο σχέδιο ενός system dynamics model του παγκόσμιου κοινωνικοοικονομικού συστήματος (Εικόνα 9). Ονόμασε το μοντέλο αυτό WORLD1. Μετά από την επιστροφή του στις Ηνωμένες Πολιτείες βελτίωσε το WORLD1 στο πλαίσιο της προετοιμασίας μιας επίσκεψης στο MIT μελών της Λέσχης της Ρώμης, ονόμασε την εκλεπτυσμένη έκδοχή του μοντέλου WORLD2 και τη δημοσίευσε με το τίτλο *World Dynamics* (Radzicki & Taylor, 2008).

Το μοντέλο WORLD2 χαρτογράφησε σημαντικές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ του παγκόσμιου πληθυσμού, της βιομηχανικής παραγωγής, της ρύπανσης, των πόρων και των τροφίμων. Το μοντέλο έδειξε ότι, εάν δεν ληφθούν μέτρα για τη μείωση των απαιτήσεων στη φέρουσα ικανότητα της γης, θα υπάρξει κάποια στιγμή, κατά τη διάρκεια του εικοστού πρώτου, αιώνα μια κατάρρευση του παγκόσμιου κοινωνικοοικονομικού συστήματος. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε επίσης για να προσδιορίσει τις αλλαγές πολιτικής, που είναι ικανές να μετακινήσουν το παγκόσμιο σύστημα σε μια κατάσταση αρκετά υψηλής ποιότητας, που θα είναι βιώσιμη στο μέλλον (Radzicki & Taylor, 2008).



**Εικόνα 9** Το πρώτο σχέδιο του Jay Forrester για το world model (Γερμανική έκδοση του World Dynamics) (Lane & Sterman, 2011)

Το κοινό, όπως ισχυρίζεται ο Forrester, ανταποκρίθηκε ανέλπιστα καλά στο project *World Dynamics*. Το 1971 μια σειρά από έντυπα και άλλα μέσα του αφιέρωσαν χώρο, London Observer, Singapore Times, Christian Science Monitor, Fortune, Wall Street Journal, εφημερίδες της κεντρικής Αμερικής, τηλεοπτικά ντοκιμαντέρ στην Ευρώπη, περιβαλλοντικός Τύπος, το zero population growth press, φοιτητικός Τύπος, ακόμα και το Playboy. Το ίδιο συνέβη όταν δημοσιεύθηκε και το *The Limits to Growth*, το οποίο απογείωσε το ενδιαφέρον του κόσμου.

### 1.3.9 System Dynamics National Model-1976

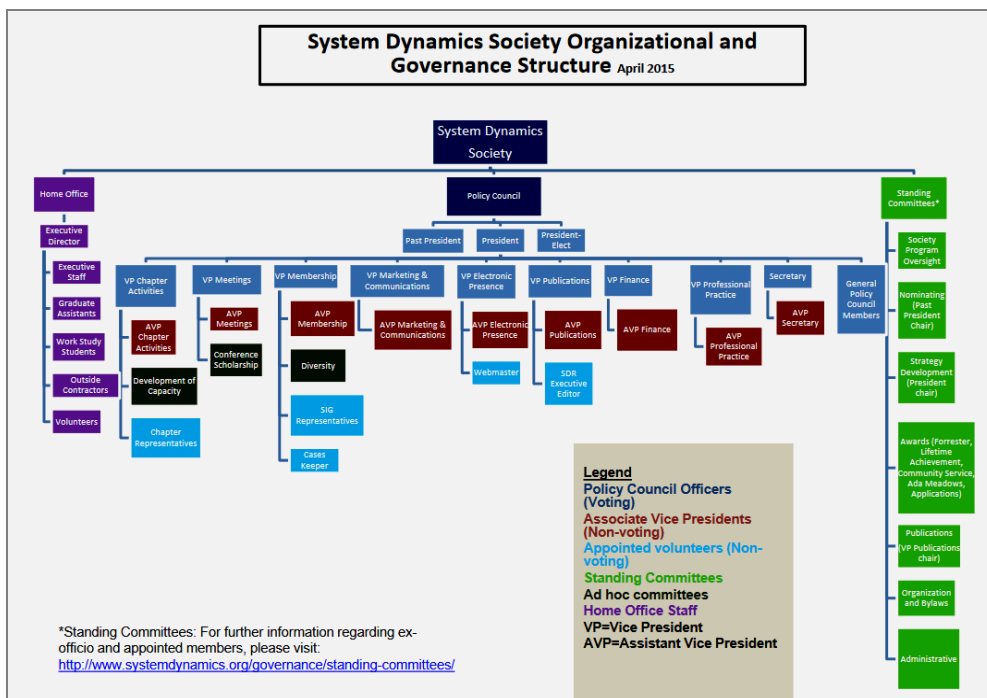
Το βιβλίο της *Urban Dynamics* οδήγησε το Forrester και όσους ασχολούνταν με τη Συστημική Δυναμική στην εργασία για το National Model. Σε μια ομιλία του Forrester στην κοινή συνέντευξη NATO / ΗΠΑ για τις πόλεις Indianapolis, Indiana, ο William Dietel, που είχε αποσυρθεί πρόσφατα από πρόεδρος του Ταμείου Rockefeller Brothers, έπαιξε ρόλο ώστε να δοθεί μια αρχική χρηματοδότηση, που αφορούσε στην εφαρμογή της Συστημικής Δυναμικής

στη συμπεριφορά των οικονομικών συστημάτων. Δημιουργήθηκε το System Dynamics National Model, που ήταν ένα μοντέλο προσομοίωσης σε υπολογιστή των κοινωνικών και οικονομικών αλλαγών στις Η.Π.Α.

Το National Model σχεδιάστηκε για την ανάλυση της δημόσιας πολιτικής και περιέχει μια βαθιά πολιτική δομή (a deep policy structure), που εκτείνεται από την κυβερνητική, δημοσιονομική και νομισματική πολιτική μέχρι την εταιρική λογιστική, τιμολόγηση και τη διάταξη των συντελεστών της παραγωγής. Το μοντέλο σχεδιάστηκε για να αντιμετωπίσει τα στενά αλληλένδετα ζητήματα του πληθωρισμού, της ανεργίας, της ύφεσης, του ισοζυγίου πληρωμών, της ενέργειας και του περιβάλλοντος. Όσον αφορά το καθένα από αυτά τα θέματα, το μοντέλο σκοπό θα έπρεπε να βοηθήσει να εξηγηθούν οι δυνάμεις που υποβόσκουν στις μεγάλες-κύριες εθνικές δυσκολίες, να διευκρινίσει το εφικτό του μέλλοντος (πιθανές μελλοντικές δυσκολίες) και να εξετάσει πολιτικές που μπορούν να οδηγήσουν σε πιο επιθυμητή συμπεριφορά. Το National Model αποτελείται από έξι κύριους τομείς: παραγωγή, οικονομικά, εργασία, δημογραφικά, νοικοκυριά και κυβέρνηση (Forrester, Maas, & Ryan, 1976).

### 1.3.10 System Dynamics Society

Το 1985 ιδρύθηκε η διεθνής System Dynamics Society (SDS). Το 1992 μετρούσε 300 μέλη (Forrester, 1992). Η System Dynamics Society υπάρχει και αναπτύσσεται και στις μέρες μας. Το 2014, σύμφωνα με την Board Effectiveness Assessment Report που παρουσίασε το Διοικητικό Συμβούλιο της SDS το Μάιο του 2015, τα μέλη σε όλο τον κόσμο ήταν 1.100. Η έκθεση αυτή συνοψίζει τα πλεονεκτήματα, τις προκλήσεις, τις βασικές διαπιστώσεις και συστάσεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της System Dynamics Society Policy Council (SDSPC or PC). Στην έκθεση περιλαμβάνονται οι ενότητες: System Dynamics Society Background, System Dynamics Society Policy Council, Conceptual framework, Methodology, Synthesis of findings, Discussion, Recommendations for the System Dynamics Society Policy Council, Conclusions. Η οργανωτική δομή που έχει η SDS στις μέρες μας φαίνεται στην Εικόνα 10.



\*Standing Committees: For further information regarding ex-officio and appointed members, please visit: <http://www.systemdynamics.org/governance/standing-committees/>

Εικόνα 10 Οργανωτική δομή της SDS στις μέρες μας (Πηγή: <http://www.systemdynamics.org/>)



Για το 2016 τις θέσεις του **President, President Elect και Past President** είχαν αντίστοιχα οι Etienne A.J.A. Rouwette, Leonard Malczynski και Jürgen Strohhecker. Ο Jay W. Forrester μέχρι τις 16 Νοεμβρίου του 2016, που απεβίωσε, κατείχε τη θέση του **Founding President**.

Στον ιστότοπο της System Dynamics Society (<http://www.systemdynamics.org/>) αναφέρεται ότι:

*«Η Συστημική Δυναμική είναι μια ισχυρή μεθοδολογία και τεχνική προσομοίωσης με μοντελοποίηση σε υπολογιστή για τη διαμόρφωση, την κατανόηση και τη συζήτηση πολύπλοκων θεμάτων, που ανακύπτουν σε πολύπλοκα κοινωνικά, διοικητικά, οικονομικά, ή οικολογικά συστήματα. Κάθε Δυναμικό Σύστημα χαρακτηρίζεται από αλληλεξάρτηση, αμοιβαία αλληλεπίδραση, ανατροφοδότηση πληροφοριών και κυκλική αιτιότητα».*

Η Συστημική Δυναμική αυτή τη στιγμή σε όλο τον δημόσιο και ιδιωτικό τομέα εφαρμόζεται για την ανάλυση των πολιτικών λήψης αποφάσεων και το σχεδιασμό.

### 1.3.11 Συστημική Δυναμική και πολυπλοκότητα

Σύμφωνα με τον Forrester (1992) η ανάπτυξη στο πεδίο των Δυναμικών Συστημάτων εδράζει σε τρεις βασικούς παράγοντες (Forrester, 1992 στο Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015):

1. Στην καλύτερη κατανόηση της επίδρασης των βρόγχων ανατροφοδότησης στον έλεγχο της μεταβολής των συστημάτων. Οι απλές γραμμικές σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος θεωρούνται ανεπαρκής τρόπος προσέγγισης των πολύπλοκων συστημάτων. Αντίθετα, σήμερα θεωρείται ότι οι αναδραστικές δομές προσδιορίζουν την ευστάθεια, τη βιωσιμότητα και γενικά τη Δυναμική συμπεριφορά των συστημάτων.
2. Στην ανάπτυξη των ψηφιακών υπολογιστών, οι οποίοι επιτρέπουν εύκολη σχετικά προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων ακόμα και σε περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι πρακτικά εφικτό να μελετηθούν με συμβατικές αναλυτικές μεθόδους.
3. Στη δυνατότητα της Συστημικής Δυναμικής να αξιοποιεί στα μοντέλα γνώσεις εμπειρικές και μαθητείας που αναπτύσσονται από τη συμμετοχή στα φαινόμενα για τη μελέτη σύνθετων προβλημάτων.

### 1.3.12 Διεπιστημονικότητα και Συστημική Δυναμική (Systems Dynamic)

Εξιστορήθηκε στις προηγούμενες παραγράφους το πώς αναπτύχθηκε η Συστημική Δυναμική από τη δεκαετία του 1940, η οποία βασίστηκε αρχικά σε εργασίες σχετικές με τα "συστήματα ελέγχου ανάδρασης" και τη μελέτη των μηχανικών συστημάτων με σερβομηχανισμούς, έως και τη δεκαετία του 1990, βοηθώντας έτσι τα εταιρικά στελέχη να βελτιώσουν την κατανόησή τους γύρω από τις διαδικασίες της βιομηχανίας. Μετά το 1950 οι άνθρωποι απόκτησαν επίγνωση για το ότι οι εφαρμογές του ελέγχου ανάδρασης δεν ισχύουν μόνο για τα συστήματα της μηχανικής, αλλά ισχύουν για όλες τις διεργασίες αλλαγής - βιολογικές, φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές, αλλά και εκπαιδευτικές (Forrester, 1992). Η προσέγγιση της Συστημικής Δυναμικής εφαρμόστηκε με επιτυχία στη συμπεριφορά επιχειρήσεων, στην εσωτερική παθολογία, στην αλιεία, στην ψυχιατρική, στον ενεργειακό εφοδιασμό και στην τιμολόγηση, στην οικονομία, στην αστική ανάπτυξη και στην παρακμή, στις περιβαλλοντικές πιέσεις, στην αύξηση του πληθυσμού και τη γήρανση, στην κατάρτιση των στελεχών, καθώς και στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (Forrester, 1992).

Αναπτύχθηκε λοιπόν, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 66 ετών το γνωστικό πεδίο της Δυναμικής Συστημικής, αλλά και μεθοδολογία, που αφορά στη μοντελοποίηση των

συστημάτων αυτών σε μια προσπάθεια να βελτιωθεί η δυνατότητα μελέτης των πολύπλοκων συστημάτων με πληθώρα εφαρμογών σε διάφορα πεδία. Η μοντελοποίηση Δυναμικών Συστημάτων μπορεί να βοηθήσει στην οργάνωση της περιγραφικής πληροφορίας, διατηρώντας παράλληλα τον πλούτο των πραγματικών διαδικασιών. Επίσης, βασίζεται στη βιωματική γνώση των εμπλεκόμενων και αποκαλύπτει την ποικιλία των δυναμικών συμπεριφορών, που προκύπτουν από διαφορετικές πολιτικές λήψης αποφάσεων, αλλά παράλληλα και τον έλεγχο αυτών. Βοηθά στη μετακίνηση των ιδεών από τη μια θέση στην άλλη, βοηθώντας στο σπάσιμο των φραγμών μεταξύ των επιστημονικών κλάδων (Forrester, 1989).

## 1.4 Συστημική Σκέψη - Systems Thinking (ST)

Τα θεμέλια της Συστημικής Σκέψης βρίσκονται στη Γενική Θεωρία των Συστημάτων. Η Συστημική Σκέψη έχει εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα τομέων και κλάδων των επιστημών. Η εμπειρία μέχρι σήμερα έχει δείξει ότι συνεισφέρει σημαντικά στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων, τα οποία δεν είναι επιλύσιμα όταν χρησιμοποιούμε συμβατική αναλυτική σκέψη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην προσπάθεια εξήγησης δυναμικών - μη γραμμικών συμπεριφορών, όπως αντίδραση αγοράς στην εισαγωγή νέων προϊόντων, ανίχνευση και εντοπισμός σχέσεων θηρευτή-θηράματος, αιτίες κυκλοφοριακής συμφόρησης, κατανόηση σύνθετων κοινωνικο-οικονομικών προβλημάτων (π.χ. οι επιπτώσεις των νόμων στην υπόθεση των ναρκωτικών), κατανόηση φαινομενικά παράλογων συμπεριφορών ατόμων, χωρών και οργανισμών (π.χ. προκλητικές ενέργειες του ISIS) (Monat & Gannon, 2015).

### 1.4.1 Jay Forrester, Barry Richmond και Συστημική Σκέψη

Έχουν εκδοθεί δεκάδες βιβλία και άρθρα, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη, τα οποία μελετούν κάποια κοινά θέματα, εστιάζοντας στο θέμα με διαφορετικό τρόπο και δίνοντας διαφορετικές ερμηνείες. Οι Freeman, Yearworth & Cherruault στην εργασία τους με τίτλο: «*Review of Literature on Systems Thinking and System Dynamics for Policy Making*», παρουσιάζουν τέσσερεις ορισμούς του όρου «Συστημική Σκέψη». Οι ορισμοί αυτοί αντικατοπτρίζουν την ελαφρώς διαφορετική οπτική γωνία των συγγραφέων, αλλά όλοι αναφέρονται στα βασικά στοιχεία (στοιχεία κλειδιά) της που αφορούν στην πολυπλοκότητα (complexity), «βλέπουν» διασυνδεσιμότητα (interconnectedness), εντοπίζουν την έννοια της ανάδυσης (emergence) και εργάζονται με διεπιστημονικό τρόπο (interdisciplinary way) (Freeman, Yearworth & Cherruault, 2014):

**(Open University 2012):** *'Systems thinking enables you to grasp and manage situations of complexity and uncertainty in which there are no simple answers. It's a way of "learning your way towards effective action" by looking at connected wholes rather than separate parts.'*

**(Richardson 2011):** *'Systems thinking is the mental effort to uncover endogenous sources of system behavior.'*

**(Senge 1990):** *'Systems thinking is a framework for seeing interrelationships rather than things, for seeing patterns rather than static snapshots. It is a set of general principles spanning fields as diverse as physical and social sciences, engineering and management.'*

**(INCOSE UK 2010):** *'Systems thinking is a way of thinking used to address complex and uncertain real world problems. It recognises that the world is a set of highly interconnected'*

Θα ήταν πολύ σημαντικό να αναπτυχθεί ένα σταθερό εννοιολογικό πλαίσιο για τη Συστημική Σκέψη. Ο περιορισμένος χώρος της εργασίας αυτής δεν επιτρέπει την εκτεταμένη παρουσίαση της προβληματικής γύρω από την Συστημική Σκέψη. Θα μπορούσε κάποιος να ασχοληθεί με το θέμα διαβάζοντας την πλούσια βιβλιογραφία, που περιέχει ανάλυση για το τι είναι η Συστημική Σκέψη από διάφορες σκοπιές.

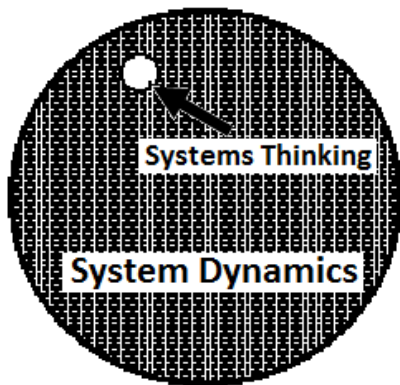
Ένα παράδειγμα αυτής της διαφορετικής αντιμετώπισης του όρου Συστημική Σκέψη είναι η διαφορετική οπτική που ανέπτυξε ο Barry Richmond σε σχέση με τον Jay W. Forrester. Ο Richmond το 1994 υποστήριξε ότι τα παγκόσμια προβλήματα όχι μόνο δεν έχουν ελαττωθεί αισθητά από το 1961 και μετά, που ο Jay Forrester έγραψε την *Industrial Dynamics*, αλλά στην πραγματικότητα θα μπορούσε κανείς να επιχειρηματολογήσει λέγοντας "... that things are going to in a hand-basket pretty quickly!" (Richmond, 1994). Η άποψη του αυτή σχετίζεται με το γεγονός ότι αντιλαμβάνεται με διαφορετικό τρόπο από τον Forrester τις έννοιες Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) και Συστημική Δυναμική (System Dynamics).

Ο Richmond στην προσπάθειά του να περιγράψει τι είναι η Συστημική Σκέψη εξέφρασε τις σκέψεις του για το τι δεν είναι. Σύμφωνα με αυτές η Συστημική σκέψη δεν είναι σίγουρα μια Γενική θεωρία συστημάτων (General Systems Theory), ούτε μια θεωρία για τα 'Μαλακά Συστήματα' ("Soft Systems") ή μια Συστημική Ανάλυση (Systems Analysis) - αν και μοιράζεται κοινά στοιχεία μαζί τους. Επιπλέον, η Συστημική Σκέψη δεν ταυτίζεται με την Θεωρία του Χάους (Chaos Theory), τις Σκεδαστικές Δομές (Dissipative Structures), την Επιχειρησιακή Έρευνα (Operations Research), την Ανάλυση Αποφάσεων (Decision Analysis), ή ότι άλλο εννοούν οι θεωρητικοί, όταν μιλάνε για τη Συστημική Δυναμική, παρόλο που υπάρχουν ομοιότητες και σε σχέση με το θέμα αλλά και με τις πτυχές των μεθοδολογιών. Η Συστημική Σκέψη δεν είναι εξαγράμμα (hexagrams), προσωπική γνώση (personal mastery), διάλογος (dialogue), ή ολική ποιότητα (total quality) (Richmond, 1994).

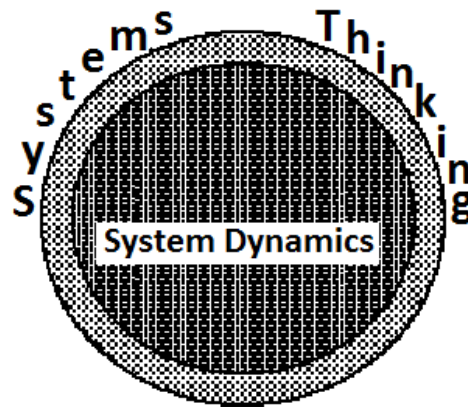
Η άποψη του Jay W. Forrester είναι ότι η Συστημική Δυναμική είναι η βάση για τη Συστημική Σκέψη. Σύμφωνα με αυτή οι άνθρωποι πολλές φορές θεωρούν ότι είναι επαρκές όταν σχεδιάζουν είτε απλά, είτε πολύπλοκα συστήματα, να βασίζονται μόνο σε απλουστευμένες σκέψεις και στη διαίσθησή τους. Χωρίς όμως τα θεμέλια των αρχών των συστημάτων, την προσομοίωση σε υπολογιστές, για να προβλέψουν τη συμπεριφορά του κατασκευάσματός τους και την απόδοσή του. Τα συστήματα σκέψης διατρέχουν τον κίνδυνο να είναι επιφανειακά, αναποτελεσματικά και επιρρεπή να καταλήξουν σε αντιπαραγωγικά συμπεράσματα (Forrester 2010). Ο Forrester καταλήγει λέγοντας ότι η Συστημική Δυναμική είναι το απαραίτητο θεμέλιο που υποστηρίζει με αποτελεσματικό τρόπο τη σκέψη γύρω από τα συστήματα και ασχολείται με το πώς τα πράγματα αλλάζουν με το χρόνο καλύπτοντας έτσι όλα όσα απασχολούν τους ανθρώπους. Περιλαμβάνει την ερμηνεία συστημάτων της πραγματικής ζωής με μοντέλα προσομοίωσης σε υπολογιστή που επιτρέπουν σε κάποιον να δει πώς η δομή σε ένα σύστημα και οι πολιτικές λήψης αποφάσεων μπορούν να δημιουργήσουν τη συμπεριφορά του συστήματος (Forrester, 2010).

Ο «ορισμός» του Forrester για τη Συστημική Σκέψη μπορεί να αναπαρασταθεί με το διάγραμμα Venn (Εικόνα 11) (Richmond, 1994). Ο Forrester φαίνεται ότι βλέπει τη Συστημική Σκέψη ως ένα μικρό υποσύνολο της Συστημικής Δυναμικής, σαν μια τελευταία δέσμη μέτρων, που μπορεί να προσφέρει vis a vis στην κατανόηση και τη βελτίωση του τρόπου, που λειτουργεί ο κόσμος. Επίσης, θεωρεί ότι η αυστηρή δομή και οι δραστηριότητες με προσομοιώσεις δεν σχετίζονται με τον «ορισμό» της Συστημικής Σκέψης (Richmond, 1994). Ο

Richmond πιστεύει το αντίθετο, δηλαδή ότι και τα δύο συμπεριλαμβάνονται στον «ορισμό» του για τη Συστημική Σκέψη (Εικόνα 12).



**Εικόνα 11** Διάγραμμα Venn που αναπαριστά την οπτική του Forrester για τη σχέση μεταξύ της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης (Richmond, 1994)



**Εικόνα 12** Διάγραμμα Venn που αναπαριστά την οπτική του Richmond για τη σχέση μεταξύ της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης (Richmond, 1994)

Από το 1979 ο Richmond είχε προβληματιστεί με το όνομα "System Dynamics" και το τι αναδύεται μέσα από αυτό, θεωρώντας ότι δεν αποδίδει το σωστό νόημα, που κατά την άποψή του αποδίδεται με το όνομα "System's Dynamics" το οποίο παραπέμπει σε ένα νέο τρόπο σκέψης (new way of thinking). Το 1985 ο Richmond δημιούργησε το λογισμικό STELLA® (Richmond, 1985), δίνοντάς του αυτό το όνομα που τα αρχικά του σήμαιναν "Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation", θεωρώντας ότι το "Structural Thinking" είναι πιο ακριβής περιγραφή για αυτό που θεωρούσε ότι είναι η "System Dynamics". Όμως δεν έμεινε ικανοποιημένος θεωρώντας ότι τελικά δεν απέδιδε το σωστό νόημα (Richmond, 1994). Τελικά, ένα χρόνο μετά, όταν δημιουργήθηκε το πρώτο manual του λογισμικού STELLA για να περιγράψει το τι «κρύβεται πίσω» από το λογισμικό, χρησιμοποίησε στο ακρωνύμιο το "Systems Thinking" (Richmond, et al., 1987). Έδωσε με αυτόν τον τρόπο έμφαση στη σκέψη, αφού ο σκοπός δεν είναι η κατασκευή και η προσομοίωση, αλλά η πιο παραγωγική σκέψη γύρω από το πώς μπορούμε να βελτιώσουμε τον τρόπο που δουλεύει ένα σύστημα, θεωρώντας ως βασικά στοιχεία το Σύστημα και την Σκέψη -System and thinking- (Richmond, 1994).

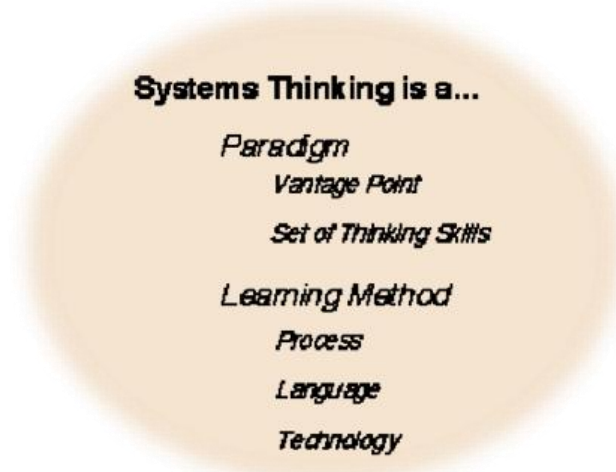
Η διαφορετική άποψη του Richmond για τη χρήση του όρου "System Dynamics", φάνηκε από την ανάγκη του για μια ακριβέστερη περιγραφή της φύσης του λογισμικού του. Την άποψη αυτή ενίσχυσε η πεποίθηση, που δημιουργήθηκε στον Richmond το 1976, όταν έφτασε στο MIT για να ξεκινήσει τις σπουδές του, ότι η πρακτική που ακολουθούνταν για τη "System Dynamics" αφορούσε αποκλειστικά τους λίγους και προνομιούχους: "We have the way to get the wisdom; we will get that wisdom for you (just name the context); then we will transmit that wisdom to you". Ο Richmond μετά από πέντε χρόνια διδακτορικών σπουδών και άλλα δέκα χρόνια πρακτικής στο MIT, αποκτώντας μια βασική ιδέα για το τι σημαίνει ο όρος "System Dynamics", διαπίστωσε ότι δυστυχώς όντως η έμφαση δινόταν στο προϊόν και όχι στη μεταφορά της διαδικασίας π.χ. Εδώ είναι ένα μοντέλο της πόλης, η εταιρεία, ο κόσμος, η εθνική οικονομία. Κοιτάζτε, αυτό είναι το πώς αυτά τα πράγματα λειτουργούν πραγματικά (Richmond, 1994).

Σύμφωνα με τον Richmond η έμμεση στρατηγική που ακολουθείται από τα "greatest minds" της εποχής στην SD, είναι η ακόλουθη: «Help the world by showing them the way». Η διαφορετική οπτική του Richmond εδράζεται στη διαφορετική άποψη που είχε για τη στρατηγική που πρέπει να ακολουθείται η οποία συνοψίζεται στο δημοφιλές απόφθεγμα:

"Give a fish, eat for a day; teach to fish, eat for a lifetime (unless you happen to be over-harvesting your fishing grounds, of course!). Κατά συνέπεια, σύμφωνα με την άποψή του, οι άνθρωποι που θα παράξουν μόνοι τους άποψη μαθαίνουν περισσότερα από αυτούς που τους προσφέρουν έτοιμη τη γνώση. Όσο περισσότεροι άνθρωποι έχουν την ικανότητα να παράξουν συστημική άποψη, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα ο πλανήτης να φτάσει σε κάποια επιθυμητή σταθερή κατάσταση (Richmond, 1994).

Η μετατόπιση προσανατολισμού στην πρακτική, που κάνει ο Richmond δίνει μια διαφορετική οπτική στη σχέση της Συστημικής Σκέψης με τη Συστημική Δυναμική προσδίδοντας στη Συστημική Σκέψη την ικανότητα να διαμορφώνει γύρω από την Συστημική Δυναμική μια "αύρα" (Εικόνα 12) και την αίσθηση ότι: "anyone can do this, and everyone should try. No few and privileged here!" (Richmond, 1994).

Ο ορισμός στον οποίο κατέληξε ο Richmond για τη Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) είναι: «*Η Συστημική Σκέψη Systems Thinking είναι η τέχνη και η επιστήμη να μπορείς να εξάγεις αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά αναπτύσσοντας ολοένα και πιο βαθιά κατανόηση της υποκείμενης δομής*». Η τέχνη και η επιστήμη αποτελείται από τα κομμάτια, τα οποία συνοψίζονται στην Εικόνα 13. Φαίνεται ότι για τον Richmond η Συστημική Σκέψη είναι ένα Πρότυπο και μια Μέθοδος Εκμάθησης. Το πρώτο ρυθμίζει το δεύτερο. Το δεύτερο υποστηρίζει το πρώτο. Τα δύο μέρη διαμορφώνουν ένα συνεργατικό σύνολο (Richmond, 1994).



**Εικόνα 13** Τα συστατικά της Συστημικής Σκέψης (Richmond, 1994)

Οι άνθρωποι, που υιοθετούν τη Συστημική Σκέψη (Systems Thinking), μόλις τοποθετηθούν σε σχέση με το θέμα, φιλτράρουν αυτό που βλέπουν χρησιμοποιώντας τρεις Δεξιότητες σκέψης: Σύστημα ως αιτία Σκέψης (System as Cause Thinking), Σκέψη κλειστού-βρόχου (Closed-loop Thinking) και Λειτουργική Σκέψη (Operational Thinking). Τα πρώτα δύο αναγνωρίζονται ως μέρη του προτύπου της Δυναμικής Συστημικής, ενώ η Λειτουργική Σκέψη (Operational Thinking) φαίνεται να είναι υποτιμημένη (Πίνακας 1). Ο Forrester δεν έκανε τη διάκριση αυτής της τρίτης δεξιότητας γιατί δεν την αναγνώριζε ως κάτι ξεχωριστό, αφού ήταν για αυτόν ένα φυσικό κομμάτι του πώς έβλεπε τον κόσμο.

**Πίνακας 1** Ορισμός του Richmond για τη Συστημική Σκέψη

<p><b>Το Πρότυπο (Paradigm)</b> αποτελείται από δύο μέρη:</p>	<p>την <b>Πλεονεκτική Θέση (Vantage Point)</b> που καθορίζει:</p>	<p>το πού τοποθετούμε τον εαυτό μας σε σχέση με το θέμα.</p>	<p><b>The Systems Thinking vantage point</b> "bi-focal"</p> <p>Οι άνθρωποι που αγκαλιάζουν την Systems Thinking τοποθετούν τους εαυτούς τους σε τέτοια θέση (πλεονεκτική), ώστε να μπορούν να δουν και το δένδρο και το δάσος (one eye on each)</p> <p><b>Εικόνα 14.</b> Η τοποθέτηση αυτή έχει:</p>	<p><b>Δομικές επιπτώσεις (structural implications)</b> Οι Systems Thinkers βλέπουν και το γενικό και το ειδικό -και όχι μόνο το τελευταίο</p>
	<p>τις <b>Δεξιότητες Σκέψης (Set of Thinking Skills)</b> που καθορίζουν:</p>	<p>α) το τι αντιλαμβανόμαστε σε σχέση με το θέμα (δηλαδή ποια στοιχεία θα λάβουμε υπόψη μας και ποια όχι) και</p> <p>β) το νόημα που εξάγουμε από αυτό που αντιλαμβανόμαστε.</p>		<p>&amp;</p> <p><b>Συμπεριφορικές επιπτώσεις (behavioral implications)</b> Οι Systems Thinkers βλέπουν και το μοτίβο και το γεγονός - και όχι μόνο το τελευταίο.</p>



**Εικόνα 14** Το vantage point της Συστημικής Σκέψης

#### 1.4.2 Τι είναι τελικά η Συστημική Σκέψη (Systems Thinking);

Οι Monat και Gannon το 2015, προκειμένου να καταλήξουν στην απάντηση του ερωτήματος, πρότειναν 33 αναφορές, που σχετίζονται με τη Συστημική Σκέψη και οργανώνονται σε 4 κατηγορίες: Introductory Works, Applications of Systems Thinking, Self-organization and Emergence, and General Works. Ανάμεσα σε αυτές υπάρχουν διάφοροι ορισμοί και ερμηνείες, που δίνουν οι συγγραφείς των αναφορών στη Συστημική Σκέψη. Οι Monat και Gannon, μετά από συστηματική μελέτη των αναφορών αυτών, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις σχετικά με τον ορισμό της Συστημικής Σκέψης, δεν φαίνεται όμως να υπάρχει ένας ακριβής και ευρέως αποδεκτός ορισμός. Αυτό που φαίνεται είναι ότι επαναλαμβάνονται κοινά θέματα, που απασχολούν όσους καταπιάστηκαν με το θέμα σε πολλές από τις εργασίες που ερευνηθήκαν. Επιχείρησαν λοιπόν, να εντοπίσουν και να ενσωματώσουν αυτά τα κοινά θέματα σε ένα συνεκτικό ορισμό:

**Systems Thinking is a perspective, a language and a set of tools**  
**Η Συστημική Σκέψη είναι μια προοπτική, μια γλώσσα και ένα σετ εργαλείων**

“... Systems thinking is 1) a perspective that recognizes systems as collections of components that are all interrelated and necessary, and whose inter-relationships are at least as important

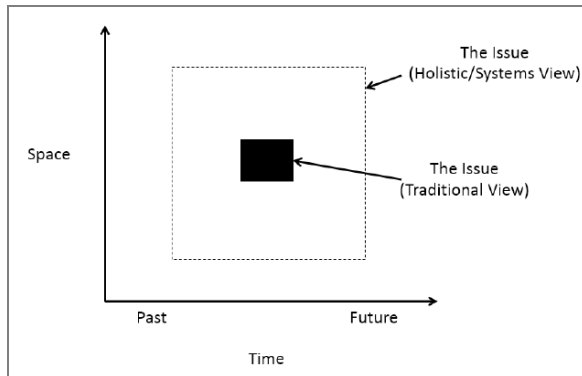
*as the components themselves; 2) a language centered on the Iceberg Model, unintended consequences, causal loops, emergence, and system dynamics, and 3) a collection of tools comprising systemigrams, archetypes, causal loops with feedback and delays, stock and flow diagrams, behavior-over-time graphs, main chain infrastructures, system dynamics/computer modeling, interpretive structural modelling, and systemic root cause analysis” (Monat & Gannon, 2015).*

#### 1.4.3 Η Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) ως προοπτική

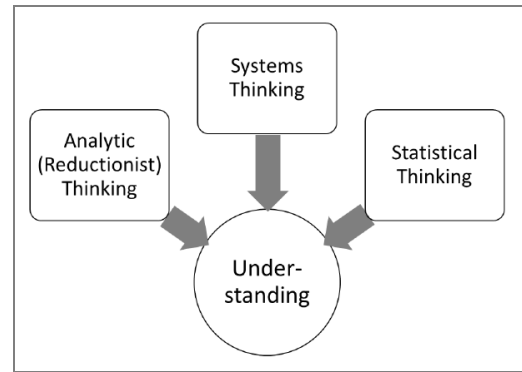
Οι περισσότερες από τις πηγές που μελέτησαν οι Monat και Gannon συμφωνούν ότι η Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) ως προοπτική (Monat & Gannon, 2015):

- Είναι το αντίθετο της linear thinking.
- Εστιάζει στις σχέσεις ανάμεσα στις συνιστώσες του συστήματος σε αντιδιαστολή με τις ίδιες τις συνιστώσες.
- Είναι ολιστική -holistic (integrative) thinking- αντί να είναι αναλυτική -analytic (dissective) thinking.
- Περιλαμβάνει χωρικά και χρονικά στοιχεία (απόρροια του ολιστικού χαρακτήρα της) (Εικόνα 15).
- Απαιτεί ένα όραμα για το μέλλον, καθώς και την κατανόηση του παρελθόντος.
- Αναγνωρίζει ότι τα συστήματα είναι δυναμικά και ότι οι βρόχοι ανάδρασης ενός συστήματος είναι απαραίτητοι για την κατανόηση της Δυναμικής συμπεριφοράς του.
- Αναγνωρίζει ότι έχει εξελιχθεί από το πεδίο της Γενικής Θεωρίας Συστημάτων (Bertalanffy).
  - Τα συστήματα υποβάλλονται συνεχώς σε διάφορες δυνάμεις (forces) και μηχανισμούς ανάδρασης (feedback mechanisms):
    - μερικά από τα οποία σταθεροποιούνται,
    - μερικά από τα οποία ενισχύονται ή απο-σταθεροποιούνται και
    - εάν υπάρχουν βρόχοι ανάδρασης με τις καθυστερήσεις μπορεί να ταλαντώνονται, π.χ. το σύστημα θηρευτών – θηραμάτων, με συμπεριφορά συνήθως αντι-διαισθητική (counter-intuitive).
  - Η Δυναμική των συστημάτων και των συστημάτων Δυναμικής μοντελοποίησης χρησιμοποιείται για να βοηθήσει την κατανόηση της συμπεριφοράς των συστημάτων με την πάροδο του χρόνου, για τον προσδιορισμό των μεταβλητών, που «οδηγούν» το σύστημα, έτσι ώστε η συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να επηρεαστεί θετικά και να βοηθήσει στην πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων.
- Δεν υποκαθιστά ούτε τη στατιστική ούτε την αναλυτική σκέψη, αλλά τη συμπληρώνει, (Εικόνα 16).
- Ασχολείται με την **οργανωμένη πολυπλοκότητα** (organized complexity), σε αντίθεση με την **οργανωμένη απλότητα** (organized simplicity) -η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί με αναλυτικό χρησιμοποιώντας για παράδειγμα τους νόμους της φυσικής- και **ανοργάνωτη πολυπλοκότητα** (unorganized complexity) -η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί με την στατιστική χρησιμοποιώντας στατιστική μηχανική-, (Εικόνα 17) (Weinberg, 1975, 2001 στο Monat & Gannon, 2015).
- Απαιτεί να αναγνωρίσουμε ότι τα συστήματα που σχεδιάζονται από ανθρώπους, τα επαναλαμβανόμενα γεγονότα ή μοτίβα προέρχονται από συστημικές δομές, οι οποίες, με τη σειρά τους, προέρχονται από νοητικά μοντέλα. Αυτό απεικονίζεται με σαφήνεια στο **Μοντέλο Iceberg (Iceberg Model)** (Εικόνα 18), το οποίο αποτελεί βασικό στοιχείο της Συστημικής Σκέψης.

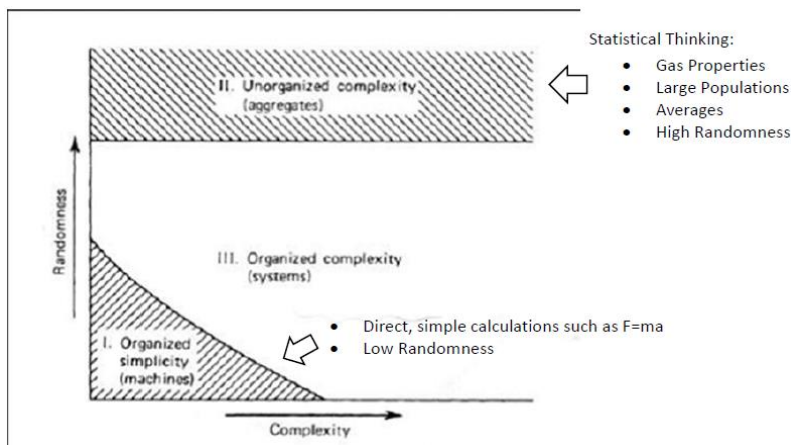
- Τα συστήματα παρουσιάζουν αυτο-οργάνωση (self-organization) και αναδυόμενες ιδιότητες (emergent properties).
  - Στα φυσικά συστήματα οι δομές είναι πάντα αυτο-οργανωμένες, ενώ στα σχεδιασμένα από άνθρωπο συστήματα οι δομές μπορεί να είναι είτε αυτο-οργανωμένες ή σχεδιασμένες.
- Έχει μεγάλη δύναμη στην ανάλυση, κατανόηση και επίδραση πολύπλοκων επιχειρήσεων, κοινωνικο-οικονομικών και φυσικών προβλημάτων και συμπεριφορών.



Εικόνα 15 Συστημική Σκέψη vs Παραδοσιακή Οπτική (Monat & Gannon, 2015)



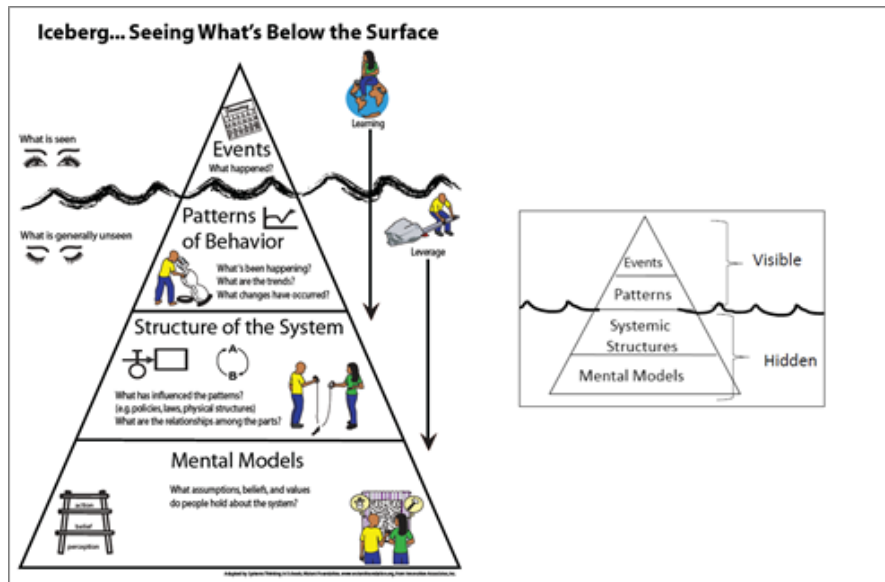
Εικόνα 16 Συστημική Σκέψη συμπληρώνει την Αναλυτική και Στατιστική Σκέψη (Monat & Gannon, 2015)



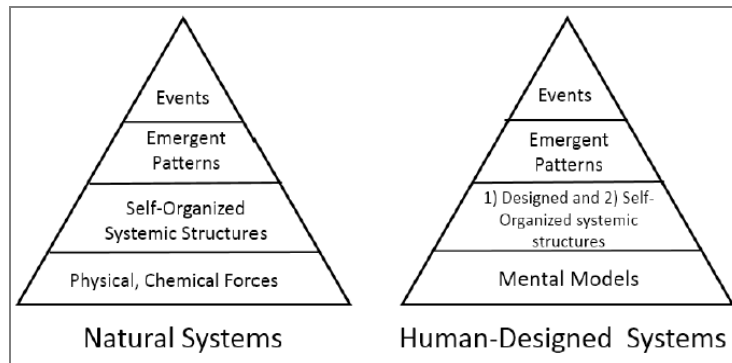
Εικόνα 17 Ο Συστημικός Χάρτης Τυχαιότητας vs Πολυπλοκότητας του Weinberg (Monat & Gannon, 2015)

Το **Μοντέλο Iceberg** θεωρείται από τη μια σχολή σκέψης ή κοινών θεμάτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη, βασικό της στοιχείο. Υποστηρίζει ότι τα γεγονότα και τα πρότυπα (τα οποία μπορούμε να παρατηρήσουμε) προκαλούνται από συστημικές δομές και νοητικά μοντέλα, τα οποία είναι συχνά κρυμμένα. Στην Εικόνα 19 φαίνεται η διάκριση του **Μοντέλου Iceberg** μεταξύ φυσικών συστημάτων και σχεδιασμένων από ανθρώπους συστημάτων. Σύμφωνα με τον Camazine: *“Η αυτο-οργάνωση είναι μια διαδικασία στην οποία ένα πρότυπο ενός συστήματος σε παγκόσμιο επίπεδο προκύπτει μόνο από τις πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χαμηλότερου επιπέδου συστατικών του συστήματος. Επιπλέον, οι κανόνες που καθορίζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών του συστήματος εκτελούνται χρησιμοποιώντας μόνο τοπικές πληροφορίες, χωρίς να γίνεται αναφορά στο παγκόσμιο πρότυπο. Με άλλα λόγια, το πρότυπο είναι μια αναδυόμενη ιδιότητα του συστήματος και όχι μια ιδιότητα που επιβάλλεται στο σύστημα από μια εξωτερική επιρροή.”* (Scott, 2001).





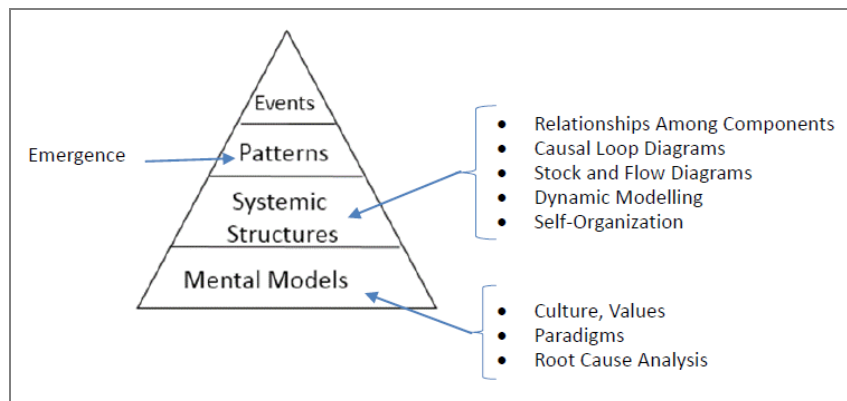
Εικόνα 18 Το Μοντέλο Iceberg (Πηγή: <http://watersfoundation.org/category/newsletter-archives/>)



Εικόνα 19 Μοντέλο Iceberg-Φυσικά vs σχεδιασμένα από ανθρώπους συστήματα (Monat & Gannon, 2015)

**Αναδυόμενες ιδιότητες** είναι ιδιότητες του ίδιου του συστήματος και όχι ιδιότητες, που μπορούν να προκύψουν από τις ιδιότητες των συστατικών του. Εμφανίζονται ως συνέπεια των σχέσεων μεταξύ των συστατικών του συστήματος και μπορούν να αξιολογηθούν και να μετρηθούν μόνο όταν τα συστατικά έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα και γι αυτό δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας απλουστευτική σκέψη. Παραδείγματα εμφάνισης **αναδυόμενων ιδιοτήτων**, που αφορούν σε φυσικά συστήματα, περιλαμβάνουν σμήνη πουλιών, σχηματισμοί V από χήνες, δομή αποικίας μυρμηγκιών, η πίεση των αερίων και η εντροπία ή διαταραχή. Παραδείγματα εμφάνισης **αναδυόμενων ιδιοτήτων**, που αφορούν σε συστήματα σχεδιασμένα από ανθρώπους, περιλαμβάνουν το νόημα των λέξεων, μοτίβα κυκλοφοριακής συμφόρησης, την αξιοπιστία, την ασφάλεια, τη χρηστικότητα, τις χώρες και τη δύναμη της επιρροή της θρησκείας στη συμπεριφορά (Monat & Gannon, 2015).

Στην πλούσια βιβλιογραφία, που μελετήθηκε από τους Monat και Gannon, φάνηκε ότι υπάρχουν δύο σχολές σκέψης ή κοινών θεμάτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη. Η μια σχολή, όπως είπαμε, επικεντρώνεται στο Μοντέλο Iceberg και βλέπει τη Συστημική Δυναμική ως θεμελιώδες στοιχείο της Συστημικής Σκέψης, αλλά δεν την εξισώνει με τη Συστημική Σκέψη. Η άλλη σχολή εστιάζει στις μεταξύ-σχέσεις (inter-relationships) μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος, τις δυναμικές συμπεριφορές, που προκύπτουν από αυτές και τη μοντελοποίηση της Δυναμικής του συστήματος και τείνει να εξισώσει τη Συστημική Σκέψη με τη Συστημική Δυναμική, χωρίς να λαμβάνει υπόψη της το Μοντέλο Iceberg (Monat & Gannon, 2015).



Εικόνα 20 Ολοκληρωμένο μοντέλο της Συστημικής Σκέψης (Monat & Gannon, 2015)

Ενσωματώνοντας έννοιες από το Μοντέλο Iceberg και έννοιες από τα διαγράμματα αιτιώδους βρόχου και τη Δυναμική μοντελοποίηση προκύπτει ένα γενικό πλαίσιο, το οποίο μπορεί να αποτελέσει ένα **ολοκληρωμένο μοντέλο**, που βασίζεται στις δύο σχολές σκέψης ή κοινών θεμάτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη. Το μοντέλο αυτό απεικονίζεται στην Εικόνα 20 (Monat & Gannon, 2015).

#### 1.4.4 Η Γλώσσα της Συστημικής Σκέψης (Systems Thinking)

Η Συστημική Σκέψη μπορεί να παρομοιαστεί με ξένη γλώσσα. Από την εμπειρία μας όταν μελετάμε μια ξένη γλώσσα πρώτα απομνημονεύουμε το απαραίτητο λεξιλόγιο και τις κλίσεις των ρημάτων και έπειτα μαθαίνουμε τη γραμματική συνδέοντας τις λέξεις, ιδιωματισμούς και τα ρήματα σε απλές προτάσεις. Μπορούμε να πούμε ότι η Συστημική Σκέψη είναι μια οπτική γλώσσα με το δικό της αλφάβητο, λεξιλόγιο και συντακτικό. Διαγράμματα συστημάτων, όπως Διαγράμματα βρόγχων αιτιών, μπορούν να θεωρηθούν προτάσεις, που κατασκευάστηκαν συνδέοντας μεταβλητές κλειδιά και δείχνουν τις μεταξύ τους αιτιώδεις σχέσεις. Δένοντας μαζί διάφορους βρόχους μπορούμε να δημιουργήσουμε μια «παράγραφο», που διηγείται μια σχετική «ιστορία», για το ιδιαίτερο πρόβλημα που μελετάμε.

Μερικοί από του όρους (λέξεις) της γλώσσας είναι (Monat & Gannon, 2015):

Συσσωρευτής (Accumulator) ή Απόθεμα ή Επίπεδο (Stock or Level), Εξισορρόπηση Διαδικασίας/Βρόγχου (Balancing Process/Loop), Πολυπλοκότητα (Complexity), Ανάδυση (Emergence), Γεγονότα (Events), Ανατροφοδότηση (Feedback), Ροή (Flow), Ιεραρχία (Hierarchy), Ολότητα (Holism), Σημείο Επιρροής (Leverage Point), Νοητικά Μοντέλα (Mental Models), Μοτίβα (Patterns), Ενίσχυση Διαδικασίας/Βρόγχου (Reinforcing Process/Loop), Αυτο-οργάνωση (Self-organization), Διάγραμμα Δομής (Structural Diagram), Δομή (Structure), Σύστημα (System), Συστημική Σκέψη (Systems Thinking) και Ακούσιες Συνέπειες (Unintended Consequences).

#### 1.4.5 Τα εργαλεία της Συστημικής Σκέψης

Έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από εργαλεία, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη. Μερικά από αυτά δεν μπορούν να θεωρηθούν θεμελιώδη και ολοκληρωμένα. Για τον καθορισμό των θεμελιωδών εργαλείων οι Monat & Gannon καθιέρωσαν τα ακόλουθα κριτήρια (Monat & Gannon, 2015):

1. Το εργαλείο πρέπει να εφαρμόζεται ευρέως στα περισσότερα συστήματα, όχι σε μια στενή υποκατηγορία των συστημάτων.
2. Πρέπει να περιγράφονται στη βιβλιογραφία της Συστημικής Σκέψης.

3. Το εργαλείο πρέπει να είναι εύκολο στη χρήση και κατανοητό, χωρίς να χρειάζεται εκτενή κατάρτιση.
4. Πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον μια από τις έννοιες, που περιγράφονται παραπάνω στον ορισμό της Συστημικής Σκέψης.
5. Ο κύριος στόχος του πρέπει να σχετίζεται με την κατανόηση υπαρκτών συστημάτων και όχι με το σχεδιασμό νέων συστημάτων.

Οι Monat & Gannon υποστηρίζουν ότι τα παρακάτω εννέα εργαλεία πληρούν τις προϋποθέσεις των κριτηρίων, που έχουν θέσει:

1. Αρχέτυπα συστημάτων (Systems Archetypes).
2. Χρονοδιαγράμματα συμπεριφοράς (Behavior over Time Graphs).
3. Διαγράμματα βρόγχων αιτιών με Ανατροφοδοτήσεις και Καθυστερήσεις (Causal Loops Diagrams with Feedback and Delays).
4. Διαγράμματα συσσωρευτών/ροών (Stock and Flow Diagrams).
5. Κύρια Αλυσίδα Υποδομών (Main Chain Infrastructures).
6. Συστημικά Διαγράμματα (Systemigrams).
7. Συστημική Δυναμική /Μοντελοποίηση με υπολογιστή (System Dynamics/Computer Modeling).
8. Ανάλυση των βαθύτερων αιτιών (Root Cause Analysis).
9. Ερμηνευτική διαρθρωτική Μοντελοποίηση (ISM) (Interpretive Structural Modeling (ISM)).
10. Συστημική Ανάλυση των βαθύτερων αιτιών (Systemic Root Cause Analysis (RCA)).

Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα εξίσου σημαντικό εργαλείο της Συστημικής Σκέψης, απαραίτητο για την κατανόηση μελετών, που πληροί τις προϋποθέσεις, είναι και οι Εξισώσεις μοντέλου (model equations). Οι σχέσεις που προσδιορίζονται σε ένα Διάγραμμα συσσωρευτών/ροών (Stock and Flow Diagrams) μπορούν να μεταφραστούν σε ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων. Το σύστημα αυτό δεν είναι τόσο αναγνώσιμο και χρήσιμο επικοινωνιακά για μη ειδικούς όσο τα διαγράμματα, επιτρέπει όμως την προσομοίωση του μοντέλου του συστήματος και διευκολύνει έτσι την αξιοποίηση των Η/Υ στην κατανόηση των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων έστω και προσεγγιστικά (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

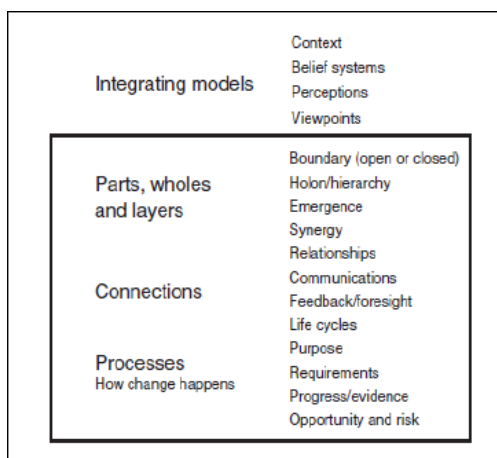
Διαπιστώνουμε ότι στην πράξη η Συστημική Σκέψη είναι μια αδιάσπαστη αλληλουχία δραστηριοτήτων, που εκτείνονται σε ένα φάσμα από το εννοιολογικό κομμάτι στο τεχνικό. Στο τέλος του εννοιολογικού φάσματος υιοθετείται μια προοπτική, μια άποψη για το σύστημα, που μελετάται σε σχέση με το χώρο και το χρόνο, η οποία μας βοηθά να παρατηρήσουμε τις υπάρχουσες σχέσεις, αλληλεπιδράσεις (με τους κύκλους τους) των μερών του συστήματος, οι οποίες παράγουν τα μοτίβα της συμπεριφοράς, που εμφανίζει το σύστημα.

#### **1.4.6 Μεθοδολογίες Συστημάτων υπό το πρίσμα της Συστημικής Σκέψης**

Εντός του πεδίου της Συστημικής Σκέψης υπάρχει μια σειρά από επίσημα καθορισμένες μεθοδολογίες, καθεμία από τις οποίες έχει τις δικές της μεθόδους και τα δικά της εργαλεία που χρειάζονται για την εξερεύνηση των πραγματικών συστημάτων του κόσμου (real world systems). Σύμφωνα με τον Godfrey οι ουσιώδεις ιδέες, που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μεθοδολογίες, έχουν ταξινομηθεί ως "μέρη, ολότητες και επίπεδα, συνδέσεις ή διαδικασίες" ("parts, wholes and layers, connections, or processes"), όπως φαίνεται στην Εικόνα 21 (Godfrey, 2010 στο Freeman, Yearworth & Cherruault, 2014). Στην Εικόνα 22 βλέπουμε ένα

χάρτη που πρότεινε ο Jackson, στον οποίο τοποθετούνται οι μεθοδολογίες κατά μήκος δύο αξόνων (ο κάθετος άξονας καθορίζει τη φύση των συστημάτων, που κυμαίνονται από το απλό στο σύνθετο και ο οριζόντιος άξονας τα καθορίζει ως ενιαίες οντότητες, πλουραλιστικές, ή εξαναγκασμένες) (Jackson, 2006 στο Freeman, Yearworth & Cherruault, 2014).

Οι προσεγγίσεις συστημάτων που τοποθετούνται στη περιοχή του χάρτη, που εμφανίζεται η πολυπλοκότητα, όπως η Συστημική Δυναμική, προσπαθούν *‘manage greater complexity and change by getting “behind” the numerous surface relationships apparently impacting on the system’* και αναγνωρίζουν τους βασικούς μηχανισμούς ή δομές, που προκαλούν τη συμπεριφορά του συστήματος. Αντίθετα, μια πιο ερμηνευτική θέση λαμβάνεται στις μεθοδολογίες μαλακών συστημάτων και *‘attention is given to ensuring sufficient accommodation between different and sometimes conflicting world-views’* Freeman, (Yearworth & Cherruault, 2014).



Εικόνα 21 Ουσιώδεις ιδέες στη Συστημική Σκέψη (Godfrey, 2010)

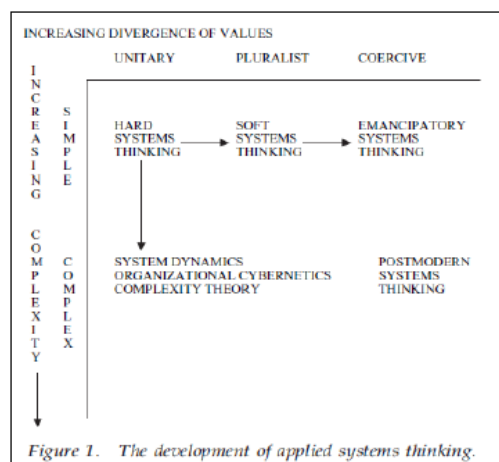


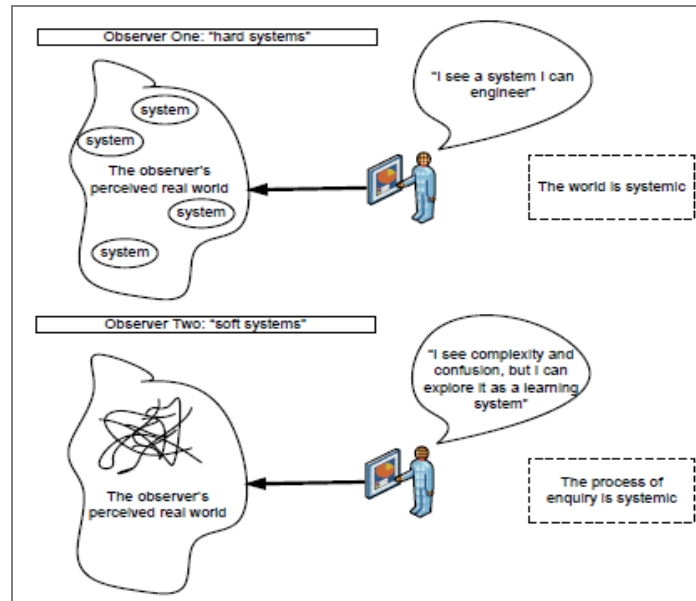
Figure 1. The development of applied systems thinking.

Εικόνα 22 Εφαρμοσμένη Συστημική Σκέψη (Jackson, 2006)

### 1.4.7 Μοντελοποίηση συστημάτων - Στοχαστές της Συστημικής

Οι στοχαστές της Συστημικής ένα από τα βασικά εργαλεία, που χρησιμοποιούν ως μέσο με το οποίο μελετούν πολύπλοκα προβλήματα του πραγματικού κόσμου, είναι η Συστημική Δυναμική / Μοντελοποίηση με υπολογιστή (System Dynamics / Computer Modeling). Αυτός ο τρόπος τους βοηθά στο να γίνεται συγκεκριμένο ένα νοητικό μοντέλο που αφορά σε ένα πραγματικό σύστημα του κόσμου μας. Με τη σειρά του το μοντέλο αυτό λειτουργεί ως υποκατάστατο της πραγματικότητας. Τα οφέλη από αυτή τη διαδικασία είναι πολλά, αφού μέσω της έρευνας με εργαλείο το μοντέλο μπορεί να επιτευχθεί η καλύτερη κατανόηση του υπό μελέτη συστήματος, να μελετηθούν πιθανές συνέπειες διαφόρων ενεργειών ή παρεμβάσεων, ώστε στο τέλος της καταγραφής των αποτελεσμάτων της έρευνας να γίνει η εφαρμογή του ή όχι. Κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησης σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η θέση του ανθρώπου που μοντελοποιεί ένα σύστημα σε σχέση με το ίδιο το σύστημα. Οι Checkland & Scholes απεικονίζουν αυτή τη σχέση μεταξύ του μοντελιστή και του συστήματος στο βιβλίο *Soft Systems Methodology in Action*, όπως φαίνεται στην Εικόνα 23, κάνοντας σύγκριση της διαφοράς ανάμεσα σε ένα σκληρό με ένα μαλακό σύστημα κατανόησης (Checkland & Scholes, 1999 στο Freeman, Yearworth & Cherruault, 2014. Στην οπτική που αφορά στα Σκληρά συστήματα η εξερεύνηση της πολυπλοκότητας και της αταξίας μπορεί να γίνει βλέποντας το σύστημα ως κάτι που κατασκευάζεται, ενώ στην οπτική που αφορά στα Μαλακά Συστήματα η

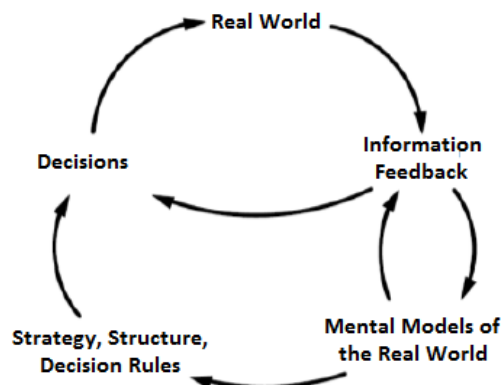
εξερεύνηση της πολυπλοκότητας και της αταξίας μπορεί να γίνει μέσω μιας συστημικής διαδικασίας της έρευνας (Checkland & Scholes, 1999 στο Freeman, Yearworth & Cherruault, 2014).



Εικόνα 23 Στάσεις μοντελιστών- Σκληρά και Μαλακά Συστήματα (Checkland) (Checkland & Scholes, 1999)

#### 1.4.8 Αντίσταση πολιτικής (policy resistance)

Κατά τον Sterman οι αποφάσεις, που λαμβάνουμε για διάφορα θέματα, προκαλούν απρόβλεπτες αντιδράσεις. Υπάρχουν έντονα προβλήματα, που μας απασχολούν για τα οποία καλοπροαίρετες παρεμβάσεις που στοχεύουν στην επίλυση τους όχι μόνο απέτυχαν να τα λύσουν, αλλά έφεραν απροσδόκητες "παρενέργειες". Σύμφωνα με τον Sterman: «Οι αποφάσεις μας προκαλούν αντιδράσεις, που δεν είχαμε προβλέψει. Η σημερινή λύση γίνεται πρόβλημα του αύριο. Το αποτέλεσμα είναι η αντίσταση πολιτικής, η τάση για τις παρεμβάσεις να ηττάται από την απόκριση του συστήματος στην ίδια την παρέμβαση» (Sterman, 2001). Για παράδειγμα προγράμματα, που εκπονούνται και βάσει αυτών δημιουργούνται αυτοκινητόδρομοι στην πραγματικότητα αυξάνουν την κυκλοφοριακή συμφόρηση, τις καθυστερήσεις και τη μόλυνση.



Εικόνα 24 Διπλός βρόχος Μάθησης (Sterman) (Sterman, 2000)

Απόρροια αυτής της θέσης είναι ότι και στη διαδικασία μοντελοποίησης η λήψη αποφάσεων έχει επιπτώσεις στο σύστημα, που με τη σειρά του έχει επιπτώσεις στη λήψη αποφάσεων. Αυτό ο Sterman 2000 το ονομάζει «διπλό βρόχο μάθησης» (Εικόνα 24). Ο «διπλός βρόχος

μάθησης» περιγράφει τη διαδικασία της μάθησης ως μια διαδικασία στην οποία ανατροφοδότηση από τον πραγματικό κόσμο υποκινεί τις αλλαγές στα νοητικά μοντέλα των ανθρώπων, κάτι το οποίο οδηγεί σε νέα κατανόηση, σε νέο πλαίσιο της κατάστασης και σε νέους στόχους και κανόνες λήψης αποφάσεων, καθώς και νέες αποφάσεις (Yearworth & Cherruault, 2014).

Προκύπτουν λοιπόν τα εξής σοβαρά ερωτήματα, που αφορούν στην κατανόηση ενός συστήματος, στις αιτίες δημιουργίας της αντίστασης πολιτικής (policy resistance), αλλά και στο πώς μπορούμε να μάθουμε να την αποφεύγουμε, βρίσκοντας πολιτικές υψηλής επιρροής, που μπορούν να παράγουν βιώσιμο όφελος. Για πολλούς η λύση βρίσκεται στη Συστημική Σκέψη, δηλαδή στην ικανότητα να βλέπεις τον κόσμο ως ένα πολύπλοκο σύστημα, στο οποίο «δεν μπορείς να κάνεις μόνο ένα πράγμα» και «όλα συνδέονται με όλα τα άλλα». Η συστημική προσέγγιση μας δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνουμε αποφάσεις σύμφωνες με τα μακροπρόθεσμα συμφέροντά μας και τα μακροπρόθεσμα συμφέροντα του συστήματος συνολικά. Η Συστημική Δυναμική είναι μια μέθοδος με την οποία μπορεί να ενισχυθεί η μάθηση για τα πολύπλοκα συστήματα. Όπως ακριβώς μια αεροπορική εταιρεία χρησιμοποιεί προσομοιωτές πτήσης για να βοηθήσει τους πιλότους να μάθουν και να γίνουν καλύτεροι, η Συστημική Δυναμική είναι, εν μέρει, μια μέθοδος για την ανάπτυξη προσομοιωτών διαχείρισης πτήσης (συχνά με βάση αναγνωρισμένα μαθηματικά μοντέλα και προσομοιώσεις σε υπολογιστή), η οποία μας βοηθά να μάθουμε για τη δυναμική πολυπλοκότητα, να κατανοήσουμε τις πηγές της αντίστασης πολιτικής (policy resistance), ώστε να σχεδιάσουμε πιο αποτελεσματικές πολιτικές (Sterman, 2001). Όπως ήδη έχουμε αναφέρει η Συστημική Δυναμική είναι κατά βάση διεπιστημονική.

Πώς όμως προκύπτει η αντίσταση πολιτικής (policy resistance); Κατά τον Sterman (2001) «Όπου ο κόσμος είναι δυναμικός, εξελισσόμενος και διασυνδεδεμένος, έχουμε την τάση να λαμβάνουμε αποφάσεις χρησιμοποιώντας νοητικά μοντέλα, που είναι στατικά, στενά και απλουστευτικά». Η αντίσταση πολιτικής (policy resistance), που προκύπτει από τις απρόβλεπτες αντιδράσεις που προκαλούν οι αποφάσεις μας, βασίζεται στις γνωστικές δυσκολίες, που έχουν οι άνθρωποι στην κατανόηση της δυναμικής πολυπλοκότητας των συστημάτων. Τα διανοητικά μοντέλα των ανθρώπων είναι περιορισμένα, εσωτερικά ασυνεπή και αναξιόπιστα. Η ικανότητά μας να κατανοήσουμε τις μη προφανείς επιπτώσεις των αποφάσεών μας είναι κακή. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντίσταση πολιτικής (policy resistance) προκύπτει από τη δυναμική πολυπλοκότητα - τη συχνά αντιφατική συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων, που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις των παραγόντων (agents) με την πάροδο του χρόνου. Η δυναμική πολυπλοκότητα μπορεί να προκύψει ακόμη και σε απλά συστήματα χαμηλής συνδυαστικής πολυπλοκότητας. Για παράδειγμα, το “Beer Distribution Game”, ένα role-playing επιτραπέζιο παιχνίδι, στο οποίο προσομοιώνεται μια απλή αλυσίδα παραγωγής μπίρας. Το παιχνίδι είναι εξαιρετικά απλοποιημένο, -υπάρχει μόνο μια SKU [stock keeping unit<sup>1</sup> (Wikipedia, 2016a)]. Κάθε παίκτης έχει ακριβώς έναν πελάτη και έναν προμηθευτή. Παρόλα αυτά σε αυτό το παιχνίδι, που μπορούν οι παίκτες να το παίξουν στο τραπέζι της τραπεζαρίας τους μαθαίνοντας τους κανόνες του μέσα σε 15 λεπτά, εμφανίζεται η πολύπλοκη και δυσλειτουργική δυναμική του συστήματος, δίνοντας έτσι τη

<sup>1</sup> Στον τομέα της διαχείρισης των αποθεμάτων [inventory management](#), μια αποθηκευτική μονάδα ή Κωδικός (stock keeping unit ή SKU) είναι ένας ξεχωριστός τύπος του προϊόντος. Όλα τα χαρακτηριστικά ενός προϊόντος σχετίζονται με τον τύπο του και το διαφοροποιούν από άλλους τύπους του προϊόντος. Για ένα προϊόν, τα χαρακτηριστικά αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε αυτά, τον κατασκευαστή, την περιγραφή, το υλικό, το μέγεθος, το χρώμα, τη συσκευασία και τους όρους της εγγύησης. Όταν μια επιχείρηση παίρνει μια απογραφή, μετρά την ποσότητα, που έχει κάθε SKU (Wikipedia, 2016a).

δυνατότητα στους παίκτες να αντιληφθούν τη δυσκολία στη διαχείριση των συστημάτων (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

Από τη μέχρι τώρα ανάλυση παρατηρούμε ότι η πολυπλοκότητα των δυναμικών συστημάτων προκύπτει από τη δυσκολία στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς των συστημάτων σε συγκεκριμένες συνθήκες, η οποία προκαλεί δυσκολίες στην κατανόησή τους. Σύμφωνα με τον Sterman (2001) η πολυπλοκότητα των συστημάτων πηγάζει από μια σειρά χαρακτηριστικών των συστημάτων, τα οποία δεν είναι απαραίτητο να εμφανίζονται όλα σε ένα πολύπλοκο σύστημα. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται αυτά τα χαρακτηριστικά, όπως διατυπώθηκαν από τον Sterman (Sterman, 2001) και ερμηνεύτηκαν από τους Φεσάκη και Λαζακίδου (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

**Πίνακας 2** Πηγές πολυπλοκότητας των δυναμικών συστημάτων

Προσαρμογή από Sterman (2001) σελ.: 12

Ερμηνεία από τους Φεσάκη & Λαζακίδου (2015) σελ. 5

***Η δυναμική πολυπλοκότητα εμφανίζεται επειδή στα συστήματα έχουμε:***

**Συνεχή μεταβολή:** Ο Ηράκλειτος έλεγε: «Τὰ πάντα ῥεῖ». Ό,τι εμφανίζεται να μην αλλάζει, σε μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα, φαίνεται να διαφέρει. Η αλλαγή στα συστήματα συμβαίνει σε πολλές χρονικές κλίμακες και αυτές οι διαφορετικές κλίμακες μερικές φορές αλληλεπιδρούν. Ένα αστέρι εξελίσσεται κατά τη διάρκεια δεκαετομμυρίων ετών, δεδομένου ότι καίει ως καύσιμο το δικό του υδρογόνο και κάποια στιγμή σε δευτερόλεπτα μέσα μπορεί να εκραγεί ως σουπερνόβα. Χρηματοοικονομικές αγορές μπορούν να συνεχίσουν για χρόνια να υπάρχουν, αλλά κάποια στιγμή μέσα σε λίγες ώρες να συντριβούν.

**Ερμηνεία:** Τα συστήματα μεταβάλλονται διαρκώς σε διάφορες χρονικές κλίμακες, άλλοτε αργά (π.χ. τεκτονικές πλάκες) και άλλοτε γρήγορα σε σχέση με την ανθρώπινη αντίληψη του χρόνου (π.χ. καύση).

**Ισχυρή διασύνδεση:** Οι συντελεστές μέσα σε ένα σύστημα αλληλεπιδρούν έντονα ο ένας με τον άλλο αλλά και με τον φυσικό κόσμο. Όλα συνδέονται με όλα τα άλλα. Όπως αναφέρεται και σε ένα διάσημο αυτοκόλλητο της δεκαετίας του '60 «You can't do just one thing».

**Ερμηνεία:** Στα πολύπλοκα συστήματα έχουμε ισχυρή αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του συστήματος μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους.

**Διακυβέρνηση από την Ανατροφοδότηση:** Λόγω των στενών συνδέσμων μεταξύ των συντελεστών του συστήματος, οι δράσεις τους τους ανατροφοδοτούν. Οι αποφάσεις μας μεταβάλλουν την κατάσταση του κόσμου, προκαλώντας αλλαγές στη φύση και προκαλώντας τους άλλους να δράσουν, δίνοντας έτσι αφορμή για μια νέα κατάσταση, η οποία στη συνέχεια επηρεάζει τις επόμενες μας αποφάσεις. Η δυναμική προκύπτει από αυτές τις ανατροφοδοτήσεις.

**Ερμηνεία:** Τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά.

**Μη γραμμικότητα:** Το αποτέλεσμα είναι σπάνια ανάλογο προς την αιτία και το τι συμβαίνει σε τοπικό επίπεδο σε ένα σύστημα (κοντά στο τρέχων (current) σημείο λειτουργίας) συχνά δεν εφαρμόζεται σε απομακρυσμένες περιοχές (άλλες καταστάσεις του συστήματος). Μη γραμμικότητα προκύπτει συχνά από τη βασική φυσική των συστημάτων: Ανεπαρκής απογραφή μπορεί να προκαλέσει την αύξηση της παραγωγής, αλλά η παραγωγή δεν μπορεί να πέσει κάτω από το μηδέν, χωρίς να έχει σημασία πόσο πολύ υπερβολική απογραφή έχει γίνει. Μη γραμμικότητα προκύπτει επίσης, όταν πολλοί παράγοντες αλληλεπιδρούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων: Πίεση από το αφεντικό για μεγαλύτερη απόδοση αυξάνει τα κίνητρα και την προσπάθειά σας, μέχρι το σημείο όπου εσείς αντιλαμβάνεστε ότι ο στόχος είναι αδύνατον να επιτευχθεί. Τότε κυριαρχεί η απογοήτευση σε σχέση, με τα κίνητρα-και παραιτείστε ή αλλάζετε αφεντικό.

**Ερμηνεία:** Τα αποτελέσματα είναι συχνά δυσανάλογα με τα αίτια π.χ. Η πίεση για καλύτερα αποτελέσματα δεν έχει πάντα την ίδια εξέλιξη και οι συνέπειες δεν είναι ανάλογες της πίεσης. Ορισμένες πράξεις δεν μπορούν να αντιστραφούν χρονικά ή ο χρόνος που απαιτούν για να αντιστραφούν είναι δυσανάλογος της διάρκειας υλοποίησής τους π.χ. καταστροφή του πυρηνικού οπλοστασίου, που δημιουργήθηκε την περίοδο του ψυχρού πολέμου. Επίσης ό,τι συμβαίνει τοπικά σε κάποια περιοχή του συστήματος δεν προδικάζει τι θα συμβεί σε απομακρυσμένες περιοχές ή άλλες περιστάσεις.

---

**Εξάρτηση από την ιστορία - Μνήμη:** Παίρνοντας ένα δρόμο συχνά αποκλείουμε το να πάρουμε έναν άλλο δρόμο και έτσι καθορίζουμε το που θα καταλήξουμε (εξάρτηση από τη διαδρομή). Πολλές δράσεις είναι μη αναστρέψιμες: Δεν μπορείτε να αποκωδικοποιήσετε ένα αυγό (ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής). Τα αποθέματα και οι ροές (συσσωρεύσεις) και οι μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις συχνά σημαίνουν ότι το doing and undoing έχουν πλήρως διαφορετικές χρονικές σταθερές: Κατά τη διάρκεια των 50 χρόνων του Ψυχρού Πολέμου δημιουργήθηκαν από έθνη, που είχαν πυρηνικά όπλα πάνω από 250 τόνους οπλικού πλουτωνίου ( $^{239}\text{Pu}$ ). Ο χρόνος ημιζωής του  $^{239}\text{Pu}$  είναι περίπου 24.000 χρόνια.

**Ερμηνεία:** Η συμπεριφορά των πολύπλοκων συστημάτων εξαρτάται από την ιστορία τους.

---

**Αυτό-οργάνωση:** Η δυναμική των συστημάτων προκύπτει αυθόρμητα από την εσωτερική τους δομή. Συχνά οι μικρές, τυχαίες διαταραχές ενισχύονται και διαμορφώνονται από τη δομή ανάδρασης, αναπαράγοντας πρότυπα στο χώρο και στο χρόνο και δημιουργώντας μια πορεία εξάρτησης. Το μοτίβο με τις ρίγες σε μια ζέβρα, η ρυθμική συστολή της καρδιάς σας, οι επίμονοι κύκλοι στη κτηματομεσιτική αγορά, δομές όπως κοχύλια και market, όλα αυτά αναδύονται αυθόρμητα από τις ανατροφοδοτήσεις μεταξύ των παραγόντων (agents) και στοιχείων του συστήματος.

**Ερμηνεία:** Η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή. Συχνά μικρές τυχαίες διαταραχές ενισχύονται και διαμορφώνονται από την ανατροφοδότηση δημιουργώντας μοναδικά μοτίβα στον χώρο και τον χρόνο. Π.χ. οι ρίγες στις ζέβρες, ο καρδιακός ρυθμός, οι κύκλοι των αγορών κ.α.

---

**Προσαρμοστικότητα:** Οι δυνατότητες και οι κανόνες απόφασης των παραγόντων (agents) σε πολύπλοκα συστήματα αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Η εξέλιξη οδηγεί στην επιλογή και τον πολλαπλασιασμό ορισμένων παραγόντων (agents), ενώ άλλοι εξαφανίζονται. Η προσαρμογή επίσης εμφανίζεται, όταν οι άνθρωποι μαθαίνουν από την εμπειρία, ιδιαίτερα καθώς μαθαίνουν νέους τρόπους για να επιτύχουν τους στόχους τους παρουσία των εμποδίων. Η μάθηση όμως δεν είναι πάντοτε ευεργετική.

**Ερμηνεία:** 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. Η προσαρμοστικότητα είναι βασικός παράγοντας για την ικανότητα μάθησης των πολύπλοκων συστημάτων.

---

**Συμβιβασμούς:** Οι χρονικές καθυστερήσεις στα κανάλια ανατροφοδότησης σημαίνει ότι η μακροχρόνια απόκριση ενός συστήματος σε μια επέμβαση είναι συχνά διαφορετική από την βραχυχρόνια απόκρισή του. Πολιτικές υψηλής επιρροής συχνά προκαλούν κακή, πριν από το καλή, συμπεριφορά, ενώ οι πολιτικές χαμηλής επιρροής συχνά δημιουργούν παροδική βελτίωση πριν το πρόβλημα μεγαλώσει και γίνει χειρότερο.

**Ερμηνεία:** Οι χρονικές καθυστερήσεις στα κανάλια της ανατροφοδότησης έχουν ως αποτέλεσμα τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα του συστήματος να διαφέρουν από τα βραχυπρόθεσμα (Εικόνα 43). Κατά συνέπεια, συχνά, η εφαρμογή κάποιας πολιτικής στο σύστημα έχει ως αποτέλεσμα την χειροτέρευση μιας κατάστασης αρχικά μέχρι να εμφανισθούν θετικά αποτελέσματα και το αντίστροφο.

---

**Αντί-δαισθητική συμπεριφορά (counterintuitive behavior):** Σε πολύπλοκα συστήματα η αιτία και το αποτέλεσμα είναι σε μακρινή απόσταση στο χρόνο και στο χώρο, ενώ τείνουμε να αναζητούμε τις αιτίες κοντά στα γεγονότα, που επιδιώκουμε να εξηγήσουμε. Η προσοχή μας εφιστάται στα συμπτώματα της δυσκολίας παρά στην υποκείμενη αιτία. Οι πολιτικές υψηλής επιρροής συχνά δεν είναι προφανείς.

**Ερμηνεία:** Εμφανίζουν, δηλαδή, συμπεριφορά αντίθετη από αυτή, που θα προέβλεπε κανείς με την κοινή λογική ως αντίδραση σε κάποια μεταβολή (γνωστική σύγκρουση). Αυτό οφείλεται συχνά στις χρονοκαθυστερήσεις και στην πολύπλοκη δομή των βρόγχων ανάδρασης, που δομούν το σύστημα. Αποτέλεσμα της αντιδαισθητικής συμπεριφοράς είναι η εμφάνιση αντίστασης, των συστημάτων σε επιχειρούμενες αλλαγές και μεταρρυθμίσεις και γενικά η δυσκολία διακυβέρνησης τους με αναλυτικές προσεγγίσεις επειδή οι αποτελεσματικές πολιτικές πολλές φορές διαφέρουν από τις προφανείς.

---

**Αντίσταση στις πολιτικές:** Η πολυπλοκότητα των συστημάτων στα οποία ενσωματωνόμαστε συντρίβει τη δυνατότητά μας να τα καταλάβουμε. Το αποτέλεσμα: Πολλές φαινομενικά προφανείς λύσεις σε προβλήματα αποτυγχάνουν ή στην πραγματικότητα επιδεινώνουν την κατάσταση.

**Ερμηνεία:** Τα πολύπλοκα συστήματα είναι δυσνόητα και η πρόβλεψη των συνεπειών των παρεμβάσεων είναι συχνά αποτυχημένη με αποτέλεσμα πολλές φαινομενικά προφανείς λύσεις σε προβλήματα αποτυγχάνουν και στην πραγματικότητα επιδεινώνουν την κατάσταση. Τα πολύπλοκα συστήματα εμφανίζονται να αντιστέκονται στις προσπάθειές μας να τα ρυθμίσουμε.

---



## 1.5 Συστημική Ανάλυση και Εκπαίδευση

Σημαντικό και καθοριστικό ρόλο στην εισαγωγή της συστημικής ανάλυσης και των χρήσιμων εργαλείων της (διάγνωσης, σχεδιασμού και ανάλυσης) - Συστημική Δυναμική και Συστημική Σκέψη- στην εκπαίδευση έπαιξαν οι Gordon Brown και Jay Forrester.

Από το 1973 ο Gordon Brown ασχολήθηκε με την εισαγωγή των ιδεών της Συστημικής Δυναμικής, αλλά και των υπολογιστών στην τάξη, διακρίνοντας επίσης, διαφορά ανάμεσα στη «Συστημική Σκέψη» και στην «κριτική σκέψη».

Ο Jay Forrester (1992) συνδυάζοντας τη μεγάλη εικόνα του πολύπλοκου κόσμου σε σχέση με την εκπαίδευση πρότεινε, τη Συστημική Δυναμική σε συνδυασμό με τη μαθητοκεντρική προσέγγιση (learner centered learning) και τη Συστημική Σκέψη ως ένα πλαίσιο αναφοράς για τους μαθητές, το οποίο θα τους βοηθάει να κατανοούν και να αντιμετωπίζουν καθημερινές σύγχρονες καταστάσεις του πραγματικού πολύπλοκου κόσμου, συναρμολογώντας φαινομενικά ασύνδετα δεδομένα. Χαρακτηριστικό της σκέψης του Forrester είναι το επόμενο απόσπασμα (Forrester, 1992):

*"... a fundamentally new and more effective approach to education is emerging from advances in system dynamics. System dynamics offers a framework for giving cohesion, meaning, and motivation to education at all levels from kindergarten upward. A second important ingredient, "learner centered learning," imports to pre-college education the challenge and excitement of a research laboratory".*

### 1.5.1 Gordon Brown και Εκπαίδευση

Το 1973 ο Brown συνταξιοδοτήθηκε ως Κοσμήτορας of Engineering του MIT και μετακόμισε στην Αριζόνα, όπου και ασχολήθηκε με την εισαγωγή των ιδεών της Συστημικής Δυναμικής, αλλά και των υπολογιστών στην τάξη, στο Orange Grove Junior High School στην Τούσον της Αριζόνα, με εξαιρετικά αποτελέσματα (Brown, 1992). Ο Brown αυτοαποκαλείται ως «citizen champion», δηλαδή αυτός που ενώνει όλους τους συμμετέχοντες στο σύστημα σχολείο στην κοινή αναζήτηση ενός νέου είδους εκπαίδευσης:

"the use of computers in the classroom (not in a computer lab) has, ..., resulted in a very unique learning environment... (students) learn what they need to know as the teacher guides them in conducting a simulation in class. They work in groups, two or three to a computer—certainly not one per computer—and thereby help one another. Dr. Barry Richmond says that this situation, in effect, multiplies the number of teachers by the number of students. Before doing a simulation the students spend several class periods gathering information about the topic; they take notes during lectures, learn about a library and read references, and, working as a group, plan the simulation. By working this way Draper's students do not merely try to remember the material for a test but actually have to use it in a project simulating real life situations. This has led us to identify a new teaching paradigm which we define as SYSTEM THINKING with LEARNERCENTERED LEARNING." (Brown, 1990)

Ο Gordon Brown το 1992 διέκρινε τη διαφορά ανάμεσα στη «Συστημική Σκέψη» και στην «κριτική σκέψη». Ανέφερε ότι οι μαθητές έχουν μια σύγχυση στη διάκριση της έννοιας των λέξεων «γεγονός-fact», «γνώση-Knowledge» και «σοφία-wisdom», παραθέτοντας ένα ποίημα, που του θύμιζε αυτές τις λέξεις, γραμμένο το 1795 από τον William Cowper (Πίνακας 3):

**Πίνακας 3:** “The Task”, Book VI, “The Winter Walk at Noon”, lines 88 through 98

Ερμηνεία των στίχων από τον Brown		
<i>“Knowledge and wisdom, far from being one, Have oftimes no connexion. Knowledge dwells in heads replete with thoughts of other men, wisdom in minds attentive to their own.</i>	Πάρα πολλές από τις γνώσεις μας (πληροφορίες ή απλά πραγματικά στοιχεία) είναι κατακερματισμένες.	
<i>Knowledge, a rude unprofitable mass, The mere materials with which wisdom builds, till smoothed and squared and fitted to its place</i>	<b>Η δομή και το να βάζεις τις ιδέες στη σωστή σχέση είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση.</b>	Μέσω της διασύνδεσης της γνώσης μπορούμε να επιτύχουμε την κατανόηση.
<i>does but encumber whom it seems to enrich.</i>		
<i>Knowledge is proud that he has learned so much; Wisdom is humble that he knows no more.”</i>		

Με άλλα λόγια ο Brown συμπεραίνει ότι «**Ο δρόμος για να κερδίσουμε τη σοφία είναι η Συστημική Σκέψη**».

### 1.5.2 Jay Forrester και Εκπαίδευση – Μια πορεία από τον 20ο στον 21ο αιώνα

Οι Radzicki & Taylor το 2008 κάνοντας μια ιστορική αναδρομή γύρω από τη Συστημική Δυναμική αναφέρθηκαν στους τομείς που επικεντρώθηκε ο Jay Forrester στην περίοδο από το 1988 έως και το 2008, δηλαδή στη δημιουργία ενός μοντέλου, που αφορούσε στο Δυναμικό Σύστημα της οικονομίας των Ηνωμένων Πολιτειών και στην επέκταση της Συστημικής Δυναμικής στην Κ-12 εκπαίδευση (Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση) (Radzicki & Taylor, 2008).

Ειδικότερα, αναφέρουν για τον τομέα της εκπαίδευσης ότι, ο Forrester έκανε τη διαπίστωση της ύπαρξης ανεπαρκειών, που δεν οφείλονται τόσο πολύ σε «ανεπαρκείς» εκπαιδευτικούς, όσο στην ακαταλληλότητα του υλικού που διδάσκεται. Οι μαθητές διδάσκονται μια σειρά από δεδομένα, που αφορούν σε διάφορους κλάδους, αλλά όχι το πλαίσιο αναφοράς μέσα στο οποίο αυτά τα δεδομένα συσχετίζονται με την πολυπλοκότητα της ζωής. Διατύπωσε την άποψη ότι προβλέπεται μεν από τα αναλυτικά προγράμματα πληθώρα μαθημάτων και ύλης, αλλά αυτά δεν είναι ικανά ούτε να εμπνεύσουν τους μαθητές, αλλά ούτε και να τους δώσουν μια αίσθηση συσχέτισης των κλάδων. Ως πηγές της εκπαιδευτικής αναποτελεσματικότητας ο Forrester αναφέρει (Forrester, 1992):

- Η εκπαίδευση παρέχεται κατακερματισμένη τη στιγμή, που στον πραγματικό κόσμο, τα πάντα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.
- Οι μαθητές είναι αναγκασμένοι να συναρμολογούν από μόνοι τους ασύνδετα δεδομένα για να καταλάβουν πώς λειτουργεί ο πραγματικός πολύπλοκος κόσμος τους, τη στιγμή που οι εκπαιδευτικοί σπάνια επιτυγχάνουν να τους βοηθήσουν να κάνουν αυτή τη συσχέτιση.
- Τα εκπαιδευτικά προγράμματα σπάνια απαντάνε σε ερωτήσεις, που σχετίζονται με τη διάσταση του χρόνου (εξέλιξη των γεγονότων και αλλαγές, που προκύπτουν με την

πάροδο του χρόνου). Οι απαντήσεις σε τέτοιες ερωτήσεις βρίσκονται στη Δυναμική συμπεριφορά των κοινωνικών, προσωπικών και φυσικών συστημάτων, η οποία είναι κοινή για όλα τα συστήματα και έτσι πρέπει να διδάσκεται.

- Στην εκπαίδευση οι μαθητές διδάσκονται στατικά στιγμιότυπα του πραγματικού κόσμου.

*“...Education has taught static snapshots of the real world. But the world's problems are dynamic. The human mind grasps pictures, maps, and static relationships in a wonderfully effective way. But in systems of interacting components that change through time, the human mind is a poor simulator of behavior. Mathematically speaking, even a simple social system can represent a tenth-order, highly nonlinear, differential equation. Mathematicians cannot solve the general case for such an equation. No scientist, citizen, manager, or politician can reliably judge such complexity by intuition. Yet, even a junior high school student with a personal computer and coaching in computer simulation can advance remarkably far in understanding such systems» (Forrester, 1992, pp.6-7)”.*

- Στην εκπαίδευση η πρόκληση της αναίρεσης και της αντιστροφής αντιμετωπίζεται με την παρατήρηση απλών δυναμικών καταστάσεων. Πολλές φορές οι εμπειρίες, που αποκτάνε οι άνθρωποι στην καθημερινή τους ζωή, τους οδηγούν με παραπλανητικό τρόπο όταν συναντούν πιο πολύπλοκα κοινωνικά συστήματα (Forrester, 1971). Για παράδειγμα όταν κάποιος κάψει σε μια σόμπα τα δάχτυλα του μαθαίνει ότι η αιτία και το αποτέλεσμα συνδέονται στενά τόσο με το χρόνο όσο και με το χώρο. Τα δάχτυλα καίγονται εδώ και τώρα, όταν είναι πολύ κοντά στη σόμπα. Σχεδόν όλες οι κατανοητές εμπειρίες ενισχύουν την πεποίθηση ότι οι αιτίες συνδέονται στενά και προφανώς με τις συνέπειες. Αλλά σε πιο πολύπλοκα συστήματα η αιτία, που δημιούργησε ένα «πρόβλημα», είναι συνήθως πολύ μακριά και σε χρόνο και σε χώρο από το αποτέλεσμα. Η αιτία οριοθετείται πολύ νωρίτερα και προκύπτει από ένα διαφορετικό κομμάτι του συστήματος από αυτό, στο οποίο εμφανίζονται τα συμπτώματα.

Το 1992 λοιπόν, έχοντας ήδη γίνει τα πρώτα βήματα της εισαγωγής της Συστημικής Δυναμικής στην εκπαίδευση, ο Jay Forrester έθεσε τους ακρογωνιαίους λίθους για έναν πιο αποτελεσματικό τρόπο εκπαίδευσης μαθητών Νηπιαγωγείου, Πρωτοβάθμιας αλλά και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης [K-12<sup>2</sup> (Wikipedia, 2016b)], που βασίζεται στη Συστημική Δυναμική. Κατά μια έννοια λοιπόν, με την πρότασή του αυτή ολοκλήρωσε τον κύκλο, που είχε αρχίσει στην αρχή της πορείας του (Radzicki & Taylor, 2008), όταν συνάντησε τον μέντορά του Gordon Brown, για πρώτη φορά, στο MIT, ο οποίος όπως είπαμε εισήγαγε τα "συστήματα ελέγχου ανάδρασης" ("feedback control systems").

Τον Μάρτιο του 1992 έγινε στην Tucson το “Systems Thinking in Education Conference”, όπου και καθιέρωσε το Thinking and Curriculum Innovation Network Project (STACI), εμπλέκοντας πολλά σχολεία στη διερεύνηση της χρήσης των Δυναμικών Συστημάτων στις τάξεις. Ο Forrester με την εργασία του “System Dynamics and Learner-Centered-Learning in Kindergarten through 12th Grade Education” (Forrester, 1992), παρουσίασε έναν πιο αποτελεσματικό τρόπο εκπαίδευσης, βασιζόμενο στη Συστημική Δυναμική, τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την υλοποίηση της πρότασης στα σχολεία, καθώς και συμβουλές, που

---

<sup>2</sup> Το K-12 περιλαμβάνει το άθροισμα της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στις Ηνωμένες Πολιτείες, στον Καναδά, στη Νότια Κορέα, στην Τουρκία, στις Φιλιππίνες, στην Αίγυπτο, στην Αυστραλία, στην Ινδία και στο Ιράν (Wikipedia, 2016b).

προειδοποιούσαν και αφορούσαν στο μέλλον. Η περιγραφή του τρόπου εκπαίδευσης βασιζόταν στην πρώιμη δουλειά, που είχε υπερασπιστεί ο Gordon Brown στην Tucson. Ο Forrester στην εργασία αυτή αναφέρει τους λόγους και τα μέσα, που χρειάζονται, για να αλλάξει η εκπαίδευση με θεμελιώδεις τρόπους.

Το 1994, στην εργασία “Learning through System Dynamics as Preparation for the 21st Century”, υποστήριξε ότι οι μαθητές μαθαίνοντας μέσω της Συστημικής Δυναμικής με εργαλεία τη μοντελοποίηση και προσομοιώσεις με ηλεκτρονικό υπολογιστή, θα μπορούν να ερμηνεύουν με πιο αποτελεσματικό τρόπο όσα συμβαίνουν γύρω τους, τον κόσμο τους. Επιπλέον, θα τους βοηθήσει να αποκτήσουν εμπιστοσύνη στον εαυτό τους και να προετοιμαστούν καλύτερα, ώστε να διαχειριστούν τις καταστάσεις, που θα συναντήσουν στη ζωή τους (Forrester, 1994). Περιέγραψε τα οφέλη, που θα μπορούσε να παρέχει η Συστημική Δυναμική στους μαθητές και στις κοινότητές τους και υποστήριξε, ότι θα πρέπει να επιτυγχάνει μια σειρά από στόχους, οι οποίοι θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες (Forrester, 1994):

1. Ανάπτυξη προσωπικών δεξιοτήτων.
2. Διαμόρφωση μιας προοπτικής και προσωπικότητας, που να ταιριάζει στον 21<sup>ο</sup> αιώνα.
3. Κατανόηση της φύσης των συστημάτων μέσα στα οποία δουλεύουμε και εργαζόμαστε.

Για να μπορέσουν να αναπτυχθούν οι προσωπικές δεξιότητες χρειάζεται η εκπαίδευση που αφορά στη Δυναμική των Συστημάτων:

- Να εντείνει τη σαφήνεια της σκέψης και να παρέχει μια βάση για τη βελτίωση της επικοινωνίας.
- Να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις για να οικοδομήσουν οι μαθητές το θάρρος για τη διεξαγωγή αντισυμβατικών απόψεων.
- Να ενσταλάξει μια προσωπική φιλοσοφία, που είναι συνεπής με τον πολύπλοκο κόσμο στον οποίο ζούμε.

Για να μπορέσει να διαμορφωθεί για τους μαθητές μια προοπτική και προσωπικότητα, που να ταιριάζει στον 21ο αιώνα θα πρέπει:

- Τα εκπαιδευτικά συστήματα να τους βοηθήσουν
  - να αντιληφθούν ότι μπορούν να διαμορφώσουν μόνοι τους το μέλλον τους,
  - στη διαμόρφωση προσωπικοτήτων που αναζητούν αιτίες και λύσεις.
- Οι μαθητές δουλεύοντας με τη Δυναμική των Συστημάτων
  - να αποκαλύψουν τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία των νοητικών μοντέλων.
  - να δείχνουν πως τα νοητικά μοντέλα και τα μοντέλα του υπολογιστή μπορεί να ενισχύουν το ένα το άλλο.

Για να μπορέσουν οι μαθητές να κατανοήσουν τη φύση των συστημάτων μέσα στα οποία δουλεύουμε και εργαζόμαστε θα πρέπει:

- Να κατανοήσουν ότι στα πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα, η αιτία και το αποτέλεσμα δεν σχετίζονται στενά με το χώρο και το χρόνο.
- Να εργαστούν στον υπολογιστή με μοντέλα πολύπλοκων συστημάτων, για να εκτιμήσουν πόσο συχνά προτεινόμενες πολιτικές χαμηλών δυνατοτήτων (Low-Leverage Policies), αδυνατούν να παράγουν τα επιθυμητά αποτελέσματα.

- Να εργαστούν στον υπολογιστή με μοντέλα πολύπλοκων συστημάτων για να βρουν πολιτικές υψηλών δυνατοτήτων (High -Leverage Policies) και να κατανοήσουν τον κίνδυνο της λανθασμένης διαισθητικής κρίσης ακόμα και όταν εφαρμόζονται αυτού του είδους οι πολιτικές.
- Να εκτιμήσουν ότι όταν σε συστήματα πολλαπλών-βρόγχων, που αφορούν σοβαρά θέματα, χρησιμοποιούν αποκλειστικά νοητικά μοντέλα, μπορεί να οδηγηθούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα.
- Να κατανοήσουν ότι για τη λύση αυτών των σοβαρών θεμάτων απαιτείται η μοντελοποίησή τους και ότι τα μοντέλα αυτά πρέπει να είναι στη διάθεση του κόσμου.
- Να έχουν την ικανότητα να κατανοήσουν και να αξιολογήσουν αυτά τα μοντέλα, τα οποία με αυτό τον τρόπο θα γίνουν ισχυρά και σαφή μέσα επικοινωνίας.
- Να αποκτήσουν, μέσα από την εκπαίδευση που λαμβάνουν, τη συνείδηση, ότι για να βρουν από πού πηγάζουν τα προβλήματα πρέπει, να διερευνούν πρώτα αν οφείλονται σε δικές τους ενέργειες πριν κατηγορήσουν τον οποιονδήποτε.
- Να συνειδητοποιήσουν, μέσα από την ενασχόλησή τους με μοντέλα στον υπολογιστή, ότι όταν καταρρέουν οι στόχοι τους μπορεί να δημιουργηθεί κρίση και ενδεχομένως κατάρρευση, που μπορεί να μην είναι και αναστρέψιμη.
- Να μελετήσουν, στο πλαίσιο της μοντελοποίησης Δυναμικών Συστημάτων, τις θεμελιώδεις συγκρούσεις μεταξύ βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων στόχων και να έχουν την ευκαιρία να συσχετίσουν τα μαθήματα αυτά με τις οικογένειές τους, τις κοινότητες και το έθνος.

Οι μαθητές όταν μαθαίνουν για τα συστήματα δεν πρέπει να είναι απλοί θεατές. Προκειμένου να καρπωθούν τα οφέλη της εκπαίδευσης στη Συστημική Δυναμική πρέπει να εμπλέκονται ενεργά αποκτώντας εμπειρίες. Η μοντελοποίηση με υπολογιστές επιτρέπει τέτοιου είδους εμπλοκή.

Οι μαθητές θα πρέπει να δημιουργούν τα δικά τους μοντέλα και να μαθαίνουν μέσα από τις δοκιμές των ιδεών τους και τα λάθη τους. Τα υπό μελέτη συστήματα θα πρέπει να σχετίζονται με τον πραγματικό κόσμο και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει, οικογένεια, κοινωνία, σχολείο κ.ά. Δρώντας και δοκιμάζοντας θα μάθουν να σκέφτονται και θα αποκτήσουν μια άλλη οπτική για το πώς βλέπουν τον κόσμο γύρω τους.

Από το 1973 μέχρι σήμερα πολλοί εκπαιδευτικοί σε όλο τον κόσμο χρησιμοποίησαν τα εργαλεία της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης για την εκπαίδευση των μαθητών τους. Έκτος από τις Η.Π.Α. και άλλες χώρες χρησιμοποίησαν τη Συστημική Δυναμική ως βάση του εκπαιδευτικού τους συστήματος σε προκολεγιακές βαθμίδες (Forrester, 1992). Για παράδειγμα ένα Γερμανικό βιβλίο περιέγραφε την πειραματική χρήση της Συστημικής Δυναμικής και του λογισμικού STELLA για τη διδασκαλία της Φυσικής σε μαθητές Λυκείου (Bethge and Schecker, 1992, στο Forrester, 1992). Ειδικότερα, όπως αναφέρει και ο Forrester, το 1989 δόθηκε από την System Dynamics Society το βραβείο Forrester του έτους για το καλύτερο βιβλίο στον Barry Richmond για το βιβλίο του User's Guide to STELLA, αλλά και για το σχετικό λογισμικό. Ο Forrester κάνοντας αυτή την ειδική μνεία, επισημαίνει ότι χάρη στις προσπάθειες του Richmond και άλλων, η Συστημική Δυναμική παρουσιάστηκε σε πάνω από δώδεκα σχολεία Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης (Forrester, 1989).

Το 2001, όταν ήδη υπήρχαν αποδείξεις, σε αρκετά σχολεία των Ηνωμένων Πολιτειών, που επιβεβαίωναν τις δυνατότητες της Συστημικής Δυναμικής στην εκπαίδευση μαθητών των βαθμίδων της Πρωτοβάθμιας και της Δευτεροβάθμιας (K-12), ο Forrester συγκάλεσε στο

Έσσεξ της Μασαχουσέτης (Essex, Massachusetts), μια ομάδα από περίπου είκοσι εκπαιδευτικούς που δίδασκαν σε σχολεία και ειδικών στη Συστημική Δυναμική, προκειμένου να αξιολογήσουν την πρόοδο που έχει συντελεστεί, αλλά και να καταστρώσουν τα σχέδια για το μέλλον. Η δουλειά αυτή περιγράφεται στο *“The Future of System Dynamics and Learner-Centered Learning in K-12 Education,”* και συχνά ονομάζεται: *Αναφορά του Έσσεξ (Essex Report)* (Lyneis, 2002, στο. Lyneis & Stuntz, 2007). Πολλές από τις προηγούμενες προβλέψεις του Forrester είχαν επιβεβαιωθεί, βάσει ανεπίσημων στοιχείων της ενασχόλησης μαθητών με τη Συστημική Δυναμική. Στην αναφορά αυτή και προκειμένου να υπάρξει περαιτέρω πρόοδος, οι συμμετέχοντες αναγνώρισαν την ανάγκη της επικέντρωσης σε τρεις βασικούς άξονες: την ανάπτυξη της ποιότητας διδακτικού υλικού, που να χρησιμοποιεί τη Συστημική Δυναμική, την ανάπτυξη καλών προγραμμάτων κατάρτισης για τους εκπαιδευτικούς και την οικοδόμηση στρατηγικών συμμαχιών με άλλους εκπαιδευτικούς που είχαν υιοθετήσει και εφαρμόζαν μαθητοκεντρική διεπιστημονική εκπαίδευση. Η ομάδα Essex κατάρτισε ένα 25-ετές σχέδιο συνεχούς εξάπλωσης της εφαρμογής της Συστημικής Δυναμικής της εκπαίδευσης μαθητών των βαθμίδων της Πρωτοβάθμιας και της Δευτεροβάθμιας (K-12), προτείνοντας και τον ανάλογο προϋπολογισμό για την υποστήριξη του σχεδίου (Lyneis & Stuntz, 2007).

Παρά το γεγονός ότι όλοι οι εκπαιδευτικοί που χρησιμοποίησαν τα εργαλεία της Συστημικής Δυναμικής και της Συστημικής Σκέψης για την εκπαίδευση των μαθητών τους ενθαρρύνθηκαν και εμπνεύστηκαν από τον τρόπο ενασχόλησης, αλλά και τη διορατικότητα που επέδειξαν οι μαθητές τους, η ευρύτερη αποδοχή από περισσότερους εκπαιδευτικούς αντιμετώπισε εμπόδια (Lyneis & Stuntz, 2007). Διάφορες στρατηγικές ώστε να ξεπεραστούν τα εμπόδια συμπεριλαμβάνουν: βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας του σχετικού με τη Συστημική Δυναμική υλικού, που πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στα προγράμματα σπουδών, αλλά και ευκαιρίες κατάρτισης των εκπαιδευτικών, προκειμένου να ενσωματώσουν τα εργαλεία της Συστημικής Σκέψης με προσομοιώσεις βασισμένες στη Συστημική Δυναμική ώστε να βοηθήσουν τους μαθητές να αποκομίσουν τα οφέλη και από τα δύο (Lyneis & Stuntz, 2007). Η βασική επιδίωξη της κατάρτισης των εκπαιδευτικών είναι να εξευρεθούν οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να εργαστούν οι εκπαιδευτικοί με μαθητές Πρωτοβάθμιας έως και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης (K-12) ώστε η επίδραση, που θα υπάρξει, να φέρει τον επιθυμητό μετασχηματισμό και από αυτή τη συνεργασία οι μαθητές να μάθουν μέσα από τις επιτυχίες και τα λάθη τους (Lyneis & Stuntz, 2007).

Ο Jay Forrester σε όλη του τη ζωή ήταν ενεργό μέλος της SDS (το 2016 κατείχε τη θέση του Founding President). Συμμετείχε σε συνέδρια και όχι μόνο, στα οποία πάντοτε εξηγούσε το γιατί οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν για τη Συστημική Δυναμική. Μια από τις τελευταίες του συμμετοχές, αν όχι η τελευταία, ήταν στο 33<sup>ο</sup> Διεθνές συνέδριο της SDS (33rd International Conference of the System Dynamics Society), που πραγματοποιήθηκε στις 21 Ιουλίου 2015 (Youtube, 2015).

Η ιδέα της εισαγωγής της Συστημικής Δυναμικής στην εκπαίδευση ενέπνευσε σημαντικά έργα όπως το έργο Starlogo (<http://education.mit.edu/starlogo/>), (Colella, Klopfer, & Resnick, 2001) και το Creative Learning Exchange (<http://www.clexchange.org/>), το οποίο συνεχίζει από το 1991 την προσπάθεια για την επίτευξη του στόχου του ο οποίος διατυπώνεται ως εξής: *«To develop Systems Citizens in K-12 education who use systems thinking, system dynamics, and an active, learner-centered approach to meet the interconnected challenges that face them at personal, community, and global levels»* (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

Το μέλλον της Συστημικής Δυναμικής στην πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση είναι πολλά υποσχόμενο, με την ενσωμάτωση και την αξιοποίηση της μοντελοποίησης δυναμικών συστημάτων στην εκπαίδευση να παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για το γνωστικό αντικείμενο της αξιοποίησης των ΤΠΕ στην εκπαίδευση (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015).

## 1.6 Μάθηση μέσα από έρευνα/ «Μάθηση τριών διαστάσεων»

### 1.6.1 Έρευνα - Μάθηση μέσα από έρευνα - Inquiry Based Science Education

**Έρευνα**, σύμφωνα με τον κώδικα δεοντολογίας στην Έρευνα του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης του 2010, είναι η δημιουργική εργασία που αναλαμβάνεται σε συστηματική βάση με σκοπό την αύξηση του αποθέματος γνώσης (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2010).

Η εκπαιδευτική έρευνα είναι εκλεκτικιστική όσον αφορά στα ερευνητικά παραδείγματα, στις παραδόσεις, στις μεθοδολογίες, στη διαμόρφωση ερευνητικού εργαλείου και στην ανάλυση δεδομένων. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι «απορατιστικοποιημένη», δηλαδή ότι διασχίζει τα παραδοσιακά σύνορα των διαφορετικών επιστημονικών κλάδων, ακριβώς όπως όταν μια νέα γνώση διασχίζει παραδοσιακά επιστημολογικά σύνορα, βρίσκεται στα σύνορα των παραδοσιακών επιστημονικών κλάδων και δημιουργεί καινούριους. Έτσι, η έρευνα στην προσπάθειά της να δημιουργήσει νέα γνώση, πρέπει να μην περιορίζεται από την παράδοση, πρέπει να είναι ανοικτή σε νέες εξελίξεις. Οι πρόσφατες εξελίξεις στην εκπαιδευτική έρευνα είναι η εισαγωγή ιδεών και μεθόδων από σφαίρες εκτός εκπαίδευσης, που προωθούν την έννοια της διεπιστημονικής διερεύνησης (Cohen et.al. 2012, σελ.640-641).

Πώς σχετίζονται όμως οι εξελίξεις με την εκπαιδευτική έρευνα, τις Φυσικές Επιστήμες, τους μαθητές και την εκπαίδευση;

Πηγαίνοντας πίσω στις αρχές του αιώνα μας στους Αναπτυξιακούς στόχους της Χιλιετίας των Ηνωμένων Εθνών, με ορίζοντα υλοποίησης τη χρονική περίοδο 2000-2015, η βασική εκπαίδευση για όλους ήταν μια από τις πλέον ρητές επιδιώξεις τους: «να διασφαλιστεί ότι αγόρια και κορίτσια σε όλο τον κόσμο θα ολοκληρώνουν την Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση». Οι νέοι στόχοι που καθορίστηκαν το 2015 από τα Ηνωμένα Έθνη και αφορούν Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals) για τη χρονική περίοδο 2015-2030, αφορούν στην ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να κατανοούν και να συλλογίζονται. Οι Φυσικές Επιστήμες μπορούν να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο. Η εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες οφείλει να συμβάλλει στους τρεις θεμελιώδεις στόχους της υποχρεωτικής εκπαίδευσης για τους μαθητές: α) τη μετάδοση των πνευματικών κληροδοτημάτων του παρελθόντος και των πολιτισμικών αξιών πάνω στις οποίες αυτά έχουν οικοδομηθεί, β) την κατανόηση του παρόντος, με όλες τις ποικιλομορφίες και πολυπλοκότητές του και γ) την προετοιμασία για τον κόσμο του αύριο, συμπεριλαμβανομένων των αναγκών ικανοτήτων για επιβίωση, άσκηση επαγγέλματος και διαμόρφωση ενός υπεύθυνου πολίτη (Lèna, 2015 σελ. 7).

Στη σύγχρονη κοινωνία του 21ου αιώνα τα σύνορα της νέας γνώσης δεν περιορίζονται πλέον από τις επιστήμες. Σε αυτό έχει επιδράσει η ραγδαία εξέλιξη των ΤΠΕ και η χρήση τους στην ερευνητική δραστηριότητα (π.χ. οπτικοποιήσεις, προσομοιώσεις, μοντελισμός κ.ά.). Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα και μέχρι σήμερα, η τεχνολογία η οποία χρησιμοποιεί και ενσωματώνει τους κανόνες στα συστήματα, αναπτύσσεται σε ένα ποσοστό, που αναδιαμορφώνει το περιβάλλον διαβίωσης και τα επαγγέλματα (Shapira, 2013).

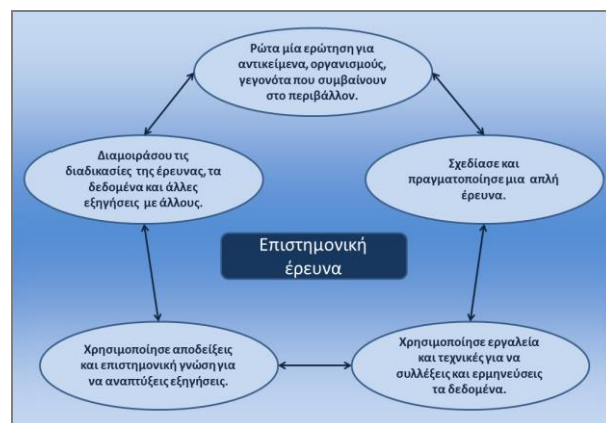
Μπορούμε εύκολα να καταλάβουμε ότι από την αναδιαμόρφωση αυτή επηρεάζεται όλος ο κόσμος, οι νέοι και προφανώς η εκπαίδευση. Τα σημερινά παιδιά ζουν σε αυτήν τη διαρκώς μεταβαλλόμενη κατάσταση. Προκύπτει λοιπόν το ερώτημα «Σε ένα κόσμο που μεταβάλλεται διαρκώς είναι δυνατόν να παραμένει ίδιο το εκπαιδευτικό σύστημα;». Η απάντηση είναι προφανής «το παλιό εκπαιδευτικό σύστημα δεν είναι πλέον αποδεκτό», η βασική εκπαίδευση πρέπει να αλλάξει. Συνεπώς η αλλαγή είναι αναγκαία και έχει δύο πλευρές, το ρόλο της εκπαίδευσης και της Τεχνολογίας, για την προετοιμασία ενηλίκων, που να είναι ικανοί να συλλογίζονται και να κατανοούν την ανάγκη ενός ηθικού οράματος για την ανθρωπίνη αλληλεγγύη (Lèna, 2015 σελ. 8).

### 1.6.2 Inquiry Based Science Education (IBSE)

Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 κάποιοι που ασχολούνταν με την εκπαίδευση προέβλεψαν το φαινόμενο που παρατηρήθηκε μέσα από τα αποτελέσματα ερευνών του προγράμματος PISA. Δηλαδή, ότι η αύξηση της επιστημονικής και τεχνολογικής γνώσης στις σύγχρονες κοινωνίες δεν συνοδεύεται από προσήλωση των νέων σε αυτήν, αλλά ούτε και από μια τάση απόκτησής της από τους μαθητές. Προκειμένου λοιπόν να αναστραφεί αυτή η τάση αναπτύχθηκε μια διδακτική προσέγγιση με την επωνυμία «Εκπαίδευση στις Φυσικές επιστήμες που βασίζεται στην Έρευνα» (Inquiry Based Science Education), που οδήγησε στην εφαρμογή πιλοτικών προγραμμάτων σε πολλές χώρες, κυρίως σε σχολεία της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης (Lèna, 2015 σελ. 11-12). Αυτά τα πιλοτικά προγράμματα βασίζονται στην ενεργή συμμετοχή των μαθητών, τον πειραματισμό, την επιχειρηματολογία, τη διατύπωση υποθέσεων και την ανάπτυξη μιας νέας σχέσης με τις Φυσικές Επιστήμες, η οποία εδράζεται στην περιέργεια των μαθητών που καθοδηγείται από τον εκπαιδευτικό (Harlen, 2012 στο Lèna, 2015).

Η μάθηση μέσα από την έρευνα προσέγγιση δεν αφορά μόνο στις Φυσικές επιστήμες. Δίνει έμφαση στην έρευνα των μαθητών σαν να είναι η κινητήρια δύναμη για τη μάθηση. Η διδασκαλία είναι οργανωμένη γύρω από θέματα και προβλήματα σε μια διαδικασία διερεύνησης εξαιρετικά μαθητοκεντρική. Στη μάθηση μέσα από έρευνα οι μαθητές μαθαίνουν μέσα και γύρω από την επιστημονική έρευνα και όχι από την παρουσίαση της επιστημονικής γνώσης από τους εκπαιδευτικούς (IBSE, 2011). Αυτό σημαίνει ότι οι μαθητές αποκτούν μια επιστημονική προσέγγιση και κάνουν τις δικές τους ανακαλύψεις ενεργοποιώντας και αναδιαρθρώνοντας σχήματα γνώσης (Mayer, 2004 στο Jong, 2006).

Σύμφωνα με τους Carin, Bass, & Contant, (2005:21) στην επιστημονική έρευνα πρέπει να συμβαίνουν όσα φαίνονται στην Εικόνα 25 (όπως αναφέρεται στο Σκουμιός, 2015).




Εικόνα 25 Επιστημονική έρευνα (Carin, Bass & Contant, 2005, p.21)



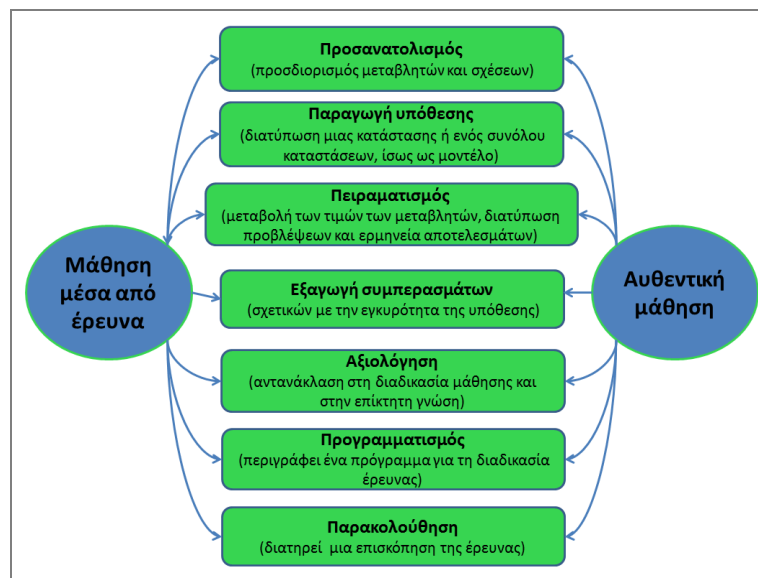
Η *μάθηση μέσα από την έρευνα* αναδεικνύεται ότι έχει σχεδόν παγκόσμια αποδοχή όσον αφορά στην εγκυρότητα των παιδαγωγικών αρχών της. Πρέπει, όμως, να εφαρμόζεται με συγκεκριμένο τρόπο σε κάθε πολιτισμικό πλαίσιο, χωρίς να επιδιώκεται η διαμόρφωση ενός παγκόσμιου εκπαιδευτικού μοντέλου (Lèna, 2015 σελ. 11-12).

Στην Εικόνα 26 εμφανίζονται Διδακτικά Μοντέλα που υποστηρίζουν τη μάθηση που βασίζεται στην έρευνα.

<p><b>Ο Μαθησιακός κύκλος</b> (White et al., 1999)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ερώτημα</li> <li>➤ Υπόθεση</li> <li>➤ Διερεύνηση</li> <li>➤ Ανάλυση</li> <li>➤ Μοντελοποίηση</li> <li>➤ Αναλογικός στοχασμός</li> <li>➤ Αξιολόγηση</li> </ul>	<p><b>Το Μαθησιακό μοντέλο 7E</b> (Eisenkraft, 2003)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ανάδειξη</li> <li>➤ Ενεργοποίηση</li> <li>➤ Διερεύνηση</li> <li>➤ Ερμηνεία</li> <li>➤ Επεξεργασία/Εφαρμογή</li> <li>➤ Αξιολόγηση/Αποτίμηση</li> <li>➤ Επέκταση</li> </ul>	<p><b>Μαθησιακό μοντέλο 5E</b> (Bybee et al., 2006)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ενεργοποίηση/Engagement</li> <li>➤ Διερεύνηση-Εξερεύνηση/Exploration:</li> <li>➤ Ερμηνεία-Εξήγηση/Explanation</li> <li>➤ Επεξεργασία-Εφαρμογή/Elaboration</li> <li>➤ Αξιολόγηση/Evaluation:</li> </ul>	<p><b>Το Διδακτικό πλαίσιο EIMA</b> (Schwarz &amp; Gwekwerere, 2007)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ενεργοποίηση</li> <li>➤ Διερεύνηση</li> <li>➤ Μοντελοποίηση</li> <li>➤ Εφαρμογή</li> </ul>	<p><b>Το μοντέλο 4EX2</b> (Marshall et al., 2009)</p> 
---	---	---	--	---

**Εικόνα 26** Διδακτικά μοντέλα που υποστηρίζουν τη Μάθηση μέσα από την έρευνα

Η μάθηση μέσα από έρευνα μιμείται την αυθεντική έρευνα. Επειδή συνδέονται στενά μοιράζονται γνωστικές διαδικασίες, που αποτελούν τα συστατικά τους (Εικόνα 27).



**Εικόνα 27** Η μάθηση μέσα από έρευνα μοιράζεται γνωστικές διαδικασίες με την αυθεντική έρευνα

Διαπιστώνουμε ότι είναι πολύ σημαντική η ύπαρξη υποστηρικτικών ή γνωστικών εργαλείων, τα οποία βοηθούν στην εξάλειψη των προαναφερθέντων προβλημάτων. Τα υπολογιστικά περιβάλλοντα μπορούν να ενσωματώσουν αυτά τα γνωστικά εργαλεία με την προσομοίωση. Παραδείγματα τέτοιων εργαλείων είναι: ασκήσεις, που θέτουν την προσομοίωση στην κατάλληλη κατάσταση (assignments), εξηγήσεις και βασικές πληροφορίες, που αφορούν στο θέμα, εργαλεία που βοηθούν τους μαθητές να παρακολουθήσουν τα πειράματά τους (monitoring tools), εργαλεία λογισμικού για τη δημιουργία υποθέσεων από προκαθορισμένες μεταβλητές και σχέσεις (hypothesis scratchpads), προκαθορισμένες υποθέσεις, υποδείξεις πειραματισμού, οδηγίες, που καθοδηγούν τους μαθητές μέσα από έναν πλήρη κύκλο έρευνας (process coordinators) και εργαλεία σχεδιασμού (planning tools) (Jong, 2006). Παραδείγματα ολοκληρωμένων συστημάτων έρευνας αποτελούν οι εφαρμογές SimQuest, Co-Lab, GenScore και Inquiry Island. Τα μεγέθη που αποτιμώνται αφορούν στην απόκτηση της εννοιολογικής γνώσης, της διαδικαστικής γνώσης και / ή στις δεξιότητες που αφορούν στην έρευνα (Jong, 2006). Τα πιο αποτελεσματικά μαθησιακά αποτελέσματα καταγράφηκαν με εργαλεία, που δομούν τη διαδικασία της μάθησης, παρέχουν στους μαθητές προκαθορισμένες υποθέσεις

και βασικές πληροφορίες, που τους βοηθούν να σχεδιάσουν κατάλληλες καταστάσεις, ή τους δίνουν συμβουλές για πιο αποτελεσματικό πειραματισμό (Jong, 2006). Οι μαθητές χρησιμοποιώντας κάποια προσομοίωση για να μοντελοποιήσουν ένα φαινόμενο ή μια διαδικασία, μπορούν να πραγματοποιήσουν πειράματα αλλάζοντας μεταβλητές (όπως η αντίσταση σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα) και έπειτα να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από τις αλλαγές αυτές (π.χ. το ρεύμα). Με αυτό τον τρόπο μπορούν να ξανα-ανακαλύψουν τις ιδιότητες του υποκείμενου μοντέλου (Νόμος του Ohm) (Jong, 2006).

Όπως καταλαβαίνουμε ο ρόλος του υπολογιστή στη *μάθηση μέσα από έρευνα* μπορεί να είναι διακριτός και κρίσιμος. Πιο συγκεκριμένα προσομοιώσεις σε υπολογιστή μπορούν να βοηθήσουν να γίνει πιο αποτελεσματική η *μάθηση μέσα από έρευνα*, να εξαιρεθούν τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, να διευκολυνθεί η διαδικασία της μάθησης και να υπάρξουν σημαντικά θετικά μαθησιακά αποτελέσματα.

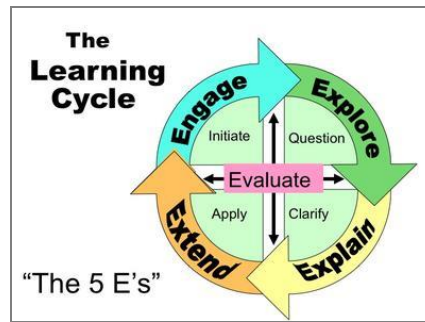
### 1.6.3 Μαθησιακό μοντέλο 5E

Οι εκπαιδευτικοί των Φυσικών Επιστημών προσπαθούν συνεχώς να βελτιώσουν τις εκπαιδευτικές πρακτικές τους προκειμένου να ενισχύσουν τη μάθηση των σπουδαστών. Οι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη αναλυτικών προγραμμάτων, θέλοντας να βοηθήσουν τους στόχους των εκπαιδευτικών, προσπαθούν να προσδιορίσουν τα ερευνητικά συμπεράσματα, που μπορούν να ενσωματωθούν στο εκπαιδευτικό υλικό, προκειμένου να διευκολύνουν τις συνδέσεις μεταξύ εκπαιδευτικών, προγραμμάτων σπουδών και μαθητών. Η συντονισμένη και με συνοχή αλληλουχία μαθημάτων, κυκλική μάθηση και εκπαιδευτικά μοντέλα, είναι δημοφιλή τα τελευταία χρόνια στην εκπαιδευτική κοινότητα.

Τον Ιούνιο του 2006 δημοσιεύθηκε μια αναφορά με τίτλο **The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness**. Η αναφορά αυτή δημιουργήθηκε για το Office of Science Education National Institutes of Health από τους Bybee et. al (2006) και παρέχει μια λογική και μια εμπειρική υποστήριξη για το εκπαιδευτικό μοντέλο **BSCS 5E**. Σύμφωνα με την αναφορά: «*Πρόσφατες ερευνητικές εκθέσεις, όπως How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School (Bransford, Brown & Cocking, 2000) και How Students Learn: Science in the Classroom (Donovan & Bransford, 2005), έχουν επιβεβαιώσει, ότι οι εκπαιδευτικοί έχουν βεβαιώσει πολλά χρόνια τώρα: Η συνεχής χρήση ενός αποτελεσματικού, βασισμένου στην έρευνα εκπαιδευτικού μοντέλου, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να μάθουν βασικές έννοιες στον τομέα των Φυσικών Επιστημών αλλά και σε άλλους τομείς. Εάν δεχθούμε αυτή την προϋπόθεση, τότε ένα εκπαιδευτικό μοντέλο πρέπει να είναι αποτελεσματικό, υποστηριγμένο με τη σχετική έρευνα και πρέπει να εφαρμόζεται με συνέπεια και ευρέως για να έχει την επιθυμητή επίδραση στη διδασκαλία και στη μάθηση*» (Bybee et. Al., 2006). Παρόλο που η ιδέα των εκπαιδευτικών μοντέλων δεν είναι καινούρια, η εφαρμογή και η χρήση τους έχει αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία 15 χρόνια.

Από τα τέλη της δεκαετίας του '80, το BSCS έχει εκτενώς χρησιμοποιηθεί ως ένα εκπαιδευτικό πρότυπο στην ανάπτυξη διδακτικού υλικού και επαγγελματικών εμπειριών ανάπτυξης. Τα αρχικά BSCS σημαίνουν Biological Sciences Curriculum Study. Είναι μια μη κερδοσκοπική μελέτη προγράμματος σπουδών αφοσιωμένη στο μετασχηματισμό της διδασκαλίας και της εκμάθησης επιστήμης. Είναι ένα διδακτικό μοντέλο για την ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού.

Το πρότυπο 5E έχει την ίδια προέλευση με το έργο άλλων προτύπων, ειδικά με τον κύκλο μάθησης (Εικόνα 28) SCIS (Schools Catalogue Information Service) ("5E Instructional Model & Backward Design," 2013).



Εικόνα 28 Ο κύκλος μάθησης SCIS (5E Instructional Model & Backward Design”, 2013)

Βάσει αυτού του μοντέλου οι φάσεις είναι οι εξής (Σκουμιάς, 2015):

**Ενεργοποίηση/Engagement:** Οι μαθητές επεξεργάζονται ένα πρόβλημα, που τους ζητά προβλέψεις και εξηγήσεις. Αρχικά, εργάζονται ατομικά και καταγράφουν τις προβλέψεις και τις εξηγήσεις. Στη συνέχεια, συζητούν με τα μέλη της ομάδας τους. Η φάση αυτή ολοκληρώνεται με συζήτηση των μαθητών σε επίπεδο τάξης και τη διατύπωση από πλευράς μαθητών ερωτημάτων για έρευνα.

**Διερεύνηση-Εξερεύνηση/Exploration:** Οι μαθητές σχεδιάζουν και πραγματοποιούν έρευνα, με σκοπό να απαντήσουν στα ερευνητικά ερωτήματα, που διατύπωσαν.

**Ερμηνεία-Εξήγηση/Explanation:** Οι μαθητές επεξεργάζονται τα δεδομένα, εξάγουν από αυτά τα συμπεράσματα και τα συγκρίνουν με τις αρχικές τους προβλέψεις. Στη φάση αυτή επιδιώκεται οι μαθητές να συγκροτήσουν τεκμηριωμένες εξηγήσεις (εξηγήσεις βασισμένες στα αποδεικτικά στοιχεία που συνέλεξαν).

**Επεξεργασία-Εφαρμογή/Elaboration:** Οι μαθητές επεξεργάζονται προβλήματα διαφορετικά σε σχέση με αυτά, που είχαν αρχικά διαπραγματευτεί.

**Αξιολόγηση/Evaluation:** Ζητείται από τους μαθητές να συγκρίνουν τις αρχικές τους απαντήσεις με τις τρέχουσες απαντήσεις τους.

Οι πέντε φάσεις του εκπαιδευτικού προτύπου BSCS 5E έχουν ως σκοπό να διευκολύνουν τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής. Η χρήση αυτού του προτύπου φέρνει τη συνοχή στις διαφορετικές στρατηγικές διδασκαλίας, παρέχει τις συνδέσεις μεταξύ των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και βοηθά τους εκπαιδευτικούς των Φυσικών Επιστημών να λαμβάνουν αποφάσεις που σχετίζονται με τις αλληλεπιδράσεις τους με τους μαθητές. Κάθε φάση έχει μια συγκεκριμένη λειτουργία και συμβάλλει στη συνεπή επιμόρφωση του εκπαιδευτικού και στη διαμόρφωση για τους εκπαιδευόμενους (μαθητές) μιας καλύτερης κατανόησης των επιστημονικών και τεχνολογικών γνώσεων, στάσεων και δεξιοτήτων. Το μοντέλο πλαισιώνει μια ακολουθία και οργάνωση προγραμμάτων, μονάδων και μαθημάτων. Όταν εσωτερικεύεται, μπορεί επίσης να δώσει πληροφορίες για τις πολλές στιγμιαίες αποφάσεις, που οι επιστήμονες εκπαιδευτικοί πρέπει να λαμβάνουν σε καταστάσεις μέσα στις τάξεις (Bybee et. al, 2006).

#### 1.6.4 Οι τρεις διαστάσεις της μάθησης

Οι απαιτήσεις της κοινωνίας του 21<sup>ου</sup> αιώνα από την εκπαίδευση, όπως ήδη έχουμε αναφέρει (βλέπε Inquiry Based Science Education), είναι μεγάλες. Οι απόφοιτοι της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης πρέπει να είναι εγγράμματοι πολίτες. Ο εγγραμματισμός αφορά στη Γλώσσα, τα Μαθηματικά, τις Φυσικές Επιστήμες, την Τεχνολογία κ.α. Παράλληλα είναι αναγκαίο να βελτιωθεί η ποιότητα και η καταλληλότητα των δεξιοτήτων και των ικανοτήτων (πρακτικές) με

τις οποίες πρέπει να αποφοιτούν οι νέοι της Ευρώπης από τα σχολεία. Αυτό έχει αναγνωρισθεί και σε επίπεδο ΕΕ και σε εθνικό επίπεδο (Έκθεση Δικτύου Ευρυδίκη, 2012) και έχει επείγοντα χαρακτήρα, αφού σχετίζεται με το πρόβλημα της υψηλής ανεργίας στην Ευρώπη, που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σε αναντιστοιχία με τις δεξιότητες των πολιτών.

Οι περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες σημείωσαν σημαντική πρόοδο στην ενσωμάτωση των βασικών ικανοτήτων στα εθνικά αναλυτικά προγράμματα και σε άλλα κατευθυντήρια έγγραφα (Έκθεση Δικτύου Ευρυδίκη, 2012). Παραμένει, όμως, η ανάγκη μιας περισσότερο στρατηγικής προσέγγισης για την υποστήριξη των βασικών ικανοτήτων στο σχολείο και ενίσχυσης της θέσης των **εγκάρσιων ικανοτήτων** (ψηφιακών, σχετιζόμενων με την ιδιότητα του πολίτη, επιχειρηματικών) σε σχέση με τις παραδοσιακές ικανότητες, που βασίζονται στο γνωστικό κλάδο. Επίσης, είναι επιτακτική ανάγκη να μειωθεί το ποσοστό των μαθητών με χαμηλές επιδόσεις σε βασικές δεξιότητες (μητρική γλώσσα, μαθηματικά και επιστήμες) και να ενθαρρυνθούν περισσότεροι νέοι προκειμένου να επιδιώξουν ανώτερες σπουδές και επαγγελματική σταδιοδρομία σε Μαθηματικά, Φυσικές Επιστήμες και Τεχνολογία (ΜΕΤ).

Όμως δεν αρκεί η ενίσχυση των **εγκάρσιων ικανοτήτων**. Εφαρμόζοντας τα πιλοτικά προγράμματα, που αναφέρθηκαν προηγουμένως στη βάση της «Εκπαίδευσης στις Φυσικές επιστήμες, που βασίζεται στην Έρευνα», τα τελευταία 15 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές πρόοδοι στην κατανόηση σχετικά με το πώς οι μαθητές μαθαίνουν Φυσικές Επιστήμες και Μαθηματικά. Στην ιστοσελίδα NEXT GENERATION SCIENCE STANDARDS (NGSS) (<http://www.nextgenscience.org/>) υπάρχει ένα χρονοδιάγραμμα (<http://www.nextgenscience.org/standards-background-research-and-reports>) στο οποίο είναι καταχωρημένες μερικές από τις πιο πρόσφατες θεμελιώδεις έρευνες και αναφορές για την εκπαίδευση, που αφορά στις Φυσικές επιστήμες και στις οποίες βασίστηκε η NGSS.

Σε ένα απόσπασμα από το *A Framework for K-12 Science Education* (National Research Council, 2011) αναφέρεται: «*Επί του παρόντος, η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στη Β/θμια εκπαίδευση στις Ηνωμένες Πολιτείες, αποτυγχάνει να επιτύχει τους στόχους της επειδή δεν είναι οργανωμένη συστηματικά ώστε να υπάρχει συνοχή του προγράμματος σε όλα τα χρόνια του σχολείου, τονίζει διακριτά γεγονότα επικεντρώνοντας την σε πλάτος και όχι σε βάθος επεξεργασία τους και δεν παρέχει στους μαθητές τις ευκαιρίες να βιώσουν, με τη συμμετοχή τους, το πώς γίνεται πραγματικά η επιστήμη*». Στο ίδιο εγχειρίδιο αναφέρεται ότι από έρευνες, που έχουν γίνει, τις δύο τελευταίες δεκαετίες, για την εκπαίδευση, που αφορά στις Φυσικές επιστήμες, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι εκτός από τις εγκάρσιες ικανότητες στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών πρέπει να επικεντρωθεί και σε έναν περιορισμένο αριθμό **βασικών εννοιών** ανά επιστήμη, αλλά και σε **κοινές πρακτικές**. Στο παρακάτω απόσπασμα αυτό φαίνεται καθαρά: “*By the end of the 12th grade, students should have gained sufficient knowledge of the practices, crosscutting concepts, and core ideas of science and engineering to engage in public discussions on science-related issues, to be critical consumers of scientific information related to their everyday lives, and to continue to learn about science throughout their lives... It is especially important to note that the above goals are for all students, not just those who pursue careers in science...*” (National Research Council, 2011).

Τίθεται, λοιπόν, από το National Research Council's (NRC) ένα πλαίσιο που περιγράφει ένα όραμα του τι σημαίνει να είναι κάποιος ικανός στις Φυσικές Επιστήμες. Στηρίζεται σε μια άποψη ότι οι Φυσικές Επιστήμες είναι και τα δύο και σώμα της γνώσης και στοιχείο-τεκμηρίωσης, το μοντέλο και η θεωρία χτίζουν ένα οικοδόμημα, που επεκτείνεται συνεχώς,

ξεκαθαρίζει και αναθεωρεί τη γνώση. Παρουσιάζει τρεις διαστάσεις που θα συνδυαστούν για να διαμορφώσουν κάθε πρότυπο:

### Πρώτη Διάσταση: Πρακτικές

Οι πρακτικές περιγράφουν τις συμπεριφορές, που οι επιστήμονες ασκούν, καθώς ερευνούν και χτίζουν μοντέλα και θεωρίες για το φυσικό κόσμο και το βασικό σύνολο πρακτικών εφαρμοσμένης μηχανικής που οι μηχανικοί χρησιμοποιούν, καθώς σχεδιάζουν και χτίζουν μοντέλα και συστήματα. Η NRC χρησιμοποιεί τον όρο **πρακτικές** αντί του όρου «δεξιότητες» για να υπογραμμίσει ότι η συμμετοχή στην επιστημονική έρευνα απαιτεί όχι μόνο την ικανότητα αλλά και τη γνώση που είναι συγκεκριμένη για κάθε πρακτική. Μέρος της πρόθεσης του NRC είναι να εξηγηθεί καλύτερα και να επεκταθεί το τι σημαίνει «έρευνα» στις Φυσικές Επιστήμες και ποιο είναι το φάσμα των γνωστικών, κοινωνικών και φυσικών πρακτικών που απαιτεί.

### Δεύτερη Διάσταση: Εγκάρσιες έννοιες

Οι εγκάρσιες έννοιες έχουν την εφαρμογή σε όλους τους τομείς της επιστήμης. Ως τέτοιες είναι ένας τρόπος σύνδεσης των διαφορετικών περιοχών της επιστήμης. Περιλαμβάνουν: Σχέδια-Μοτίβα, ομοιότητα και διαφορετικότητα / Αιτία και αποτέλεσμα / Κλίμακα, αναλογία και ποσότητα / Συστήματα και πρότυπα συστημάτων / Ενέργεια και ύλη / Δομή και λειτουργία / Σταθερότητα και αλλαγή. Το πλαίσιο υπογραμμίζει ότι αυτές οι έννοιες πρέπει να γίνουν ρητές για τους σπουδαστές επειδή παρέχουν ένα οργανωτικό σχήμα για τη γνώση συσχέτισης από τους διάφορους τομείς επιστήμης σε μια συνεπή και επιστημονικά-βασισμένη άποψη του κόσμου.

### Τρίτη Διάσταση: Επιστημονικές βασικές-θεμελιώδεις ιδέες

Το πρόγραμμα σπουδών K-12, η διδασκαλία και οι αξιολογήσεις για τις πιο σημαντικές πτυχές της επιστήμης, εστιάζουν σε βασικές επιστημονικές ιδέες. Αυτές οι ιδέες για να θεωρηθούν βασικές θα πρέπει να πληρούν τουλάχιστον δύο ή ιδανικά και τα τέσσερα κριτήρια, που αναφέρονται στο πλαίσιο που έχει τεθεί από το Next Generation Science (Next Generation Science, 2016).

Οι επιστημονικές ιδέες έχουν οργανωθεί σε 4 τομείς: Φυσικές Επιστήμες, Επιστήμες της ζωής, Επιστήμες της γης και του διαστήματος, Επιστήμη της μηχανικής, της τεχνολογίας και των εφαρμογών (Εικόνα 29).

<p>BOX 5-1</p> <p>CORE AND COMPONENT IDEAS IN THE PHYSICAL SCIENCES</p> <p>Core Idea PS1: Matter and Its Interactions Core Idea PS2: Motion and Stability: Forces and Interactions Core Idea PS3: Energy Core Idea PS4: Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer</p>	<p>BOX 6-1</p> <p>CORE AND COMPONENT IDEAS IN THE LIFE SCIENCES</p> <p>Core Idea LS1: From Molecules to Organisms: Structures and Processes Core Idea LS2: Ecosystems: Interactions, Energy, and Dynamics Core Idea LS3: Heredity: Inheritance and Variation of Traits Core Idea LS4: Biological Evolution: Unity and Diversity</p>
<p>BOX 7-1</p> <p>CORE AND COMPONENT IDEAS IN EARTH AND SPACE SCIENCES</p> <p>Core Idea ESS1: Earth's Place in the Universe Core Idea ESS2: Earth's Systems Core Idea ESS3: Earth and Human Activity</p>	<p>BOX 8-2</p> <p>CORE AND COMPONENT IDEAS IN ENGINEERING, TECHNOLOGY, AND APPLICATIONS OF SCIENCE</p> <p>Core Idea ETS1: Engineering Design Core Idea ETS2: Links Among Engineering, Technology, Science, and Society</p>
	<p>BOX 8-1</p> <p>DEFINITIONS OF TECHNOLOGY, ENGINEERING, AND APPLICATIONS OF SCIENCE</p> <p><b>Technology</b> is any modification of the natural world made to fulfill human needs or desires [2].</p> <p><b>Engineering</b> is a systematic and often iterative approach to designing objects, processes, and systems to meet human needs and wants [2].</p> <p><b>An application of science</b> is any use of scientific knowledge for a specific purpose, whether to do more science, to design a product, process, or medical treatment, to develop a new technology, or to predict the impacts of human actions.</p>

Εικόνα 29 Πίνακας επιστημονικών ιδεών οργανωμένων σε 4 τομείς

## 1.7 Θεωρίες Μάθησης και ΤΠΕ

Η εισαγωγή του υπολογιστή στην τάξη προκάλεσε το ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το πώς επηρεάζει την παιδαγωγική ο τρόπος ενσωμάτωσης του υπολογιστή και γενικότερα των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Σύμφωνα με τη M. Webb τα βασικά ζητήματα, που η παιδαγωγική ως επιστήμη ή θεωρία της διδασκαλίας επιδιώκει να αντιμετωπίσει, σχετίζονται με τον τρόπο, που θα πρέπει οι εκπαιδευτικοί να λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με το πώς να διδάξουν και πώς να οργανώσουν τους μαθητές τους (Cox & Webb, 2004). Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν καταγραφεί, μέσα από βιβλία, από άρθρα σε συνέδρια, περιοδικά κ.ά., οι απόψεις, οι προβληματισμοί και οι εμπειρίες εκπαιδευτικών ανά τον κόσμο, που ως επί το πλείστον σχετίζονται με τον τρόπο ενσωμάτωσης των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία, αλλά και με την σκοπιμότητα ένταξης. Γενική διαπίστωση είναι ότι ο τρόπος, με τον οποίο ο εκάστοτε εκπαιδευτικός αξιοποιεί και εντάσσει τις ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία, εξαρτάται από το φιλοσοφικό του πλαίσιο, την επιστημονική θεωρία, που υποστηρίζει τη διδασκαλία του και από τη μέθοδο, που ακολουθεί για την πραγματοποίησή της. Με την κατάλληλη αξιοποίηση των παιδαγωγικών χαρακτηριστικών των ΤΠΕ προσφέρονται δυνατότητες ριζικών αλλαγών στο πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης.

Έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί πλήθος λογισμικών και εφαρμογών και έχουν γίνει προσπάθειες κατηγοριοποίησης του. Δυο από τις πλέον διαδεδομένες (Κόμης, 2004) είναι η κατηγοριοποίηση με βάση τις υποκείμενες θεωρίες μάθησης και τις συνεπαγόμενες διδακτικές πρακτικές και η κατηγοριοποίηση με βάση τις τεχνολογίες ανάπτυξης και τα παιδαγωγικά ρεύματα. Στην ανάπτυξη του εκπαιδευτικού λογισμικού έχουν επιδράσει ψυχολογικές θεωρίες.

Στην ψυχολογία της μάθησης διακρίνονται γενικά τρεις μεγάλες περίοδοι (Zimmerman & Schunk, 2003). Από τις αρχές του 20ου αιώνα μέχρι σήμερα από όλες της θεωρίες μάθησης, που έχουν αναπτυχθεί, έχει επιχειρηθεί να δοθεί απάντηση σε δύο βασικά ερωτήματα της ψυχολογία της μάθησης, το «τι είναι γνώση;» και το «πώς κατακτάται;». Πρώτη θεωρία είναι αυτή του συμπεριφορισμού (behaviorism) με βασικούς εκπροσώπους τους Pavlov, Skinner, Crowder, Gagné, η οποία αναπτύσσεται στις αρχές του 20ου αιώνα και επηρεάζει σημαντικά, ακόμα και σήμερα, την εκπαιδευτική πρακτική. Στα μισά του 20ου αιώνα εμφανίζονται οι γνωστικές θεωρίες (cognitivism) με βασικές τη γνωστική ψυχολογία (cognitive psychology) με εκπροσώπους τους Newell, Simon, Anderson και τον *εποικοδομισμό* (constructivism) με εκπροσώπους τους Piaget, Papert, Bruner. Στα τέλη του 20ου αιώνα επικρατούν οι *κοινωνικοπολιτισμικές* (sociocultural) ή *ιστορικοπολιτισμικές* (historicocultural) *προσεγγίσεις* με βασικούς εκπροσώπους τους Vygotsky, Luria, Leontiev, Bruner (κοινωνικογνωστική θεωρία (social cognitive theory)). Αν και αρχικά συχνά θεωρούνται ασύμβατες οι θεωρίες μάθησης, συμπληρώνουν και εξελίσσουν τις προηγούμενες χωρίς να τις ακυρώνουν συνολικά (Φεσάκης, 2014).

### 1.7.1 Θεωρίες μάθησης, ΤΠΕ και εκπαίδευση

Στα μισά του 20ου αιώνα και ενώ βρισκόμαστε στο τέλος του 2ου κύκλου της ιστορίας των υπολογιστών, και συγκεκριμένα της ιστορίας του Αυτόματου Υπολογισμού (Αράπογλου, κ.ά. 2007), ξεκίνησε δειλά-δειλά στην εκπαίδευση η χρήση των ΤΠΕ, με την προγραμματισμένη διδασκαλία με χρήση διδακτικών μηχανών (Skinner 1954, αυτόματος εξεταστής των γνώσεων του μαθητή). Αργότερα, από τις αρχές της δεκαετίας του '80 και ενώ βρισκόμαστε στον 3ο

κύκλο της ιστορίας των υπολογιστών, που διαρκεί μέχρι σήμερα, άρχισε η εισαγωγή υπολογιστών σε σχολεία διαφόρων χωρών. Καθοριστικό ρόλο σε αυτό έπαιξε η ανάπτυξη των προσωπικών υπολογιστών (PC).

Στις μέρες μας, στις περισσότερες χώρες του κόσμου, θεωρείται πλέον δεδομένη αλλά και απαραίτητη η ύπαρξη, στα σχολεία, εργαστηρίων υπολογιστών και γενικότερα η χρήση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ο τρόπος, βέβαια, με τον οποίο εντάσσονται οι ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία, είναι διαφορετικός και σχετίζεται με τη θεωρία μάθησης που υιοθετεί και τα εργαλεία που χρησιμοποιεί ο εκάστοτε εκπαιδευτικός. Γενικότερα ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι ΤΠΕ καθώς και το φιλοσοφικό και παιδαγωγικό υπόβαθρο του εκπαιδευτικού και του μαθητή, επηρεάζουν το γνωστικό αποτέλεσμα.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει δοθεί έμφαση στην ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων διδασκαλίας, που συμπεριλαμβάνουν τη χρήση των ΤΠΕ σε πολλά γνωστικά αντικείμενα. Πώς μπορούμε να εντάξουμε τις ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία και πώς σχετίζεται ο τρόπος ένταξης, με τις θεωρίες μάθησης και τον ρόλο του εκπαιδευτικού και του μαθητή ;

Οι δυνατότητες που παρέχουν οι ΤΠΕ να επηρεαστούν οι μαθησιακές διαδικασίες δεν είναι αυτονόητες, ούτε και εξασφαλίζονται μόνο με την ύπαρξη τους. Στην εκπαιδευτική διαδικασία επικρατούν τρεις προσεγγίσεις ένταξης των ΤΠΕ, η *τεχνοκεντρική*, που δίνει σχεδόν απόλυτη αξία στα χρησιμοποιούμενα συστήματα και την εκμάθηση της λειτουργίας τους (τεχνολογία των υπολογιστών), η *ολιστική* που δίνει σημασία στη διαθεματική και ολιστική προσέγγιση της γνώσης, όπου η ενσωμάτωση των ΤΠΕ γίνεται σταδιακά σε όλα τα γνωστικά αντικείμενα και η *πραγματολογική* ή *μικτή* προσέγγιση, που αποτελεί ένα συνδυασμό των δυο προηγούμενων (Κόμης, 2004). Η προσέγγιση αυτή χαρακτηρίζεται από τη συνδυασμένη διδασκαλία «αμιγούς» Πληροφορικής και την ταυτόχρονη ένταξη των ΤΠΕ ως μέσου στήριξης της μαθησιακής διαδικασίας στα διάφορα γνωστικά αντικείμενα (Δαγδιλέλης κ.α., 2011α).

Κάθε διαφορετική θεωρία μάθησης υιοθετεί μια διαφορετική οπτική γωνία όχι μόνο για το «τι» και το «πώς» της μάθησης, αλλά και για τον ενεργό ή μη ρόλο του εκπαιδευτικού και του μαθητή. Κάθε διαφορετική προσέγγιση της εκπαιδευτικής διαδικασίας, που προκύπτει από κάθε θεωρία μάθησης και σε συνδυασμό με τα λογισμικά και τις δυνατότητες που παρέχουν, έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Ο εκπαιδευτικός μπορεί να επηρεάσει την επινοητική δραστηριότητα των μαθητών του με ένα πιο έμμεσο τρόπο, ώστε να ανακαλύψουν τη γνώση. Σε πολλές, αν όχι σε όλες, τις τάξεις είναι στο χέρι του εκπαιδευτικού να επιλέξει την προσέγγιση ή τις προσεγγίσεις, που θα χρησιμοποιήσει, επιλέγοντας και τα ανάλογα λογισμικά. Επινοώντας εκπαιδευτικές δραστηριότητες και χρησιμοποιώντας τις ΤΠΕ μπορεί να προωθήσει τις νοητικές δραστηριότητες των μαθητών και να επιτύχει την πιο παραγωγική σύνθεση μέσα στην τάξη. Αυτό προϋποθέτει ο εκπαιδευτικός διαρκώς να αυτοαξιολογείται, να αμφισβητεί και να βελτιώνει τις επιλογές του.

Είναι φανερό ότι είναι απολύτως απαραίτητη η εξοικείωση των εκπαιδευτικών όλων των βαθμίδων στις ΤΠΕ και η προσαρμογή τους στις απαιτήσεις της εποχής. Η εξοικείωση με τις ΤΠΕ στο σύστημα «σχολείο» εκτός από Διοικητική υποστήριξη και διαχείριση πληροφοριών και Επικοινωνία μπορεί, να προσφέρει (Παπαδάκης, Χατζηπέρης, 2001):

- **Προσέγγιση στη γνώση - μάθηση** για τον μαθητή αλλά και τον εκπαιδευτικό (Αλληλεπιδραστικό εκπαιδευτικό λογισμικό, δυνατότητα παρουσίασης της γνώσης με πολλές μορφές, μείωση του απαιτούμενου χρόνου αφομοίωσης, μη σειριακή

προσέγγιση - ανακάλυψη της γνώσης, δυνατότητα ανάπτυξης συνεργασιών, εξατομικευμένη μάθηση, ενίσχυση μαθητών με ειδικές ανάγκες ή περιστασιακά προβλήματα υγείας).

- **Υποβοήθηση του εκπαιδευτικού έργου** και της **προετοιμασίας του εκπαιδευτικού** (Αναζήτηση βιβλιογραφίας, ειδικού υλικού, ενισχυτική διδασκαλία, αξιολόγηση κλπ).
- **Υποβοήθησης της μελέτης του μαθητή** (Επεξεργασία κειμένου, υπολογιστικά φύλλα, δημιουργία γραφημάτων, επίλυση προβλημάτων, προσομοιώσεις, εξάσκηση – εκγύμναση, καθοδήγηση με τη βοήθεια υπολογιστή κλπ).

Στο επίπεδο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης ακόμα και στις μέρες μας παρατηρούνται έντονα προβλήματα σχετικά με την αποτελεσματική ένταξη των ΤΠΕ ως μέσου στήριξης της μαθησιακής διαδικασίας στα διάφορα γνωστικά αντικείμενα και την απομάκρυνση των εκπαιδευτικών από την *τεχνοκεντρική προσέγγιση* των ΤΠΕ μέσα στην τάξη. Φαίνεται λοιπόν ότι ο εκσυγχρονισμός και η βελτίωση της παρεχόμενης εκπαίδευσης, σε συνάρτηση με την αξιοποίηση των ΤΠΕ και την καλλιέργεια της Συστημικής Σκέψης των μαθητών, είναι απόλυτα αναγκαία.

## 1.8 Τρόποι εμπλοκής των υπολογιστών στην εκπαιδευτική διαδικασία

Υπάρχουν πρωτότυποι τρόποι εμπλοκής των υπολογιστών στην εκπαιδευτική διαδικασία όπως η. Οπτικοποίηση (visualization), η Προσομοίωση (simulation) και η Μοντελοποίηση (modelling).

### 1.8.1 Οπτικοποίηση (visualization)

Η οπτικοποίηση είναι η οπτική αναπαράσταση δεδομένων ή εννοιών μέσω υπολογιστή. Αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στην επιστημονική έρευνα και στην μαθησιακή διαδικασία.

Η διαδικασία της οπτικοποίησης γίνεται με τη χρήση οπτικών μέσων και στόχο έχει να καταστήσουμε ένα θέμα πιο κατανοητό. Η οπτική αυτή αναπαράσταση μπορεί να είναι (συνήθως είναι) διαδραστική.

Οι ΤΠΕ προσφέρουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε υπολογιστικά γραφικά για να επεξεργαστούμε αριθμητικά δεδομένα και να τα μετατρέψουμε σε στατικές ή δυναμικές εικόνες δύο ή τριών διαστάσεων.

Στην εκπαίδευση τα υπολογιστικά συστήματα οπτικοποίησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμα α) στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών με χρήση πολλαπλών τύπων οπτικών αναπαραστάσεων (χημεία, βιολογία, φυσική, περιβαλλοντική εκπαίδευση), β) των μαθηματικών (γραφικές αναπαραστάσεις), γ) της γεωγραφίας (χάρτες, άτλαντες), δ) της ιστορίας (ιστορικοί χάρτες, άτλαντες) κ.ά.

Οι βασικές προδιαγραφές, που πρέπει να διέπουν ένα σύστημα οπτικοποίησης ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά, είναι ([http://users.sch.gr/nikbalki/epim\\_kse/EduSoft\\_Categories.htm](http://users.sch.gr/nikbalki/epim_kse/EduSoft_Categories.htm)):

- Ταυτόχρονη οπτική παρουσίαση μεγάλου όγκου δεδομένων, ώστε να είναι εφικτή η ερμηνεία και η κατανόησή τους.
- Προβολή νέων μη αναμενόμενων δεδομένων, πληροφοριών, ιδιοτήτων και ερωτημάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για ανακάλυψη, κατανόηση, επικοινωνία και διδασκαλία.

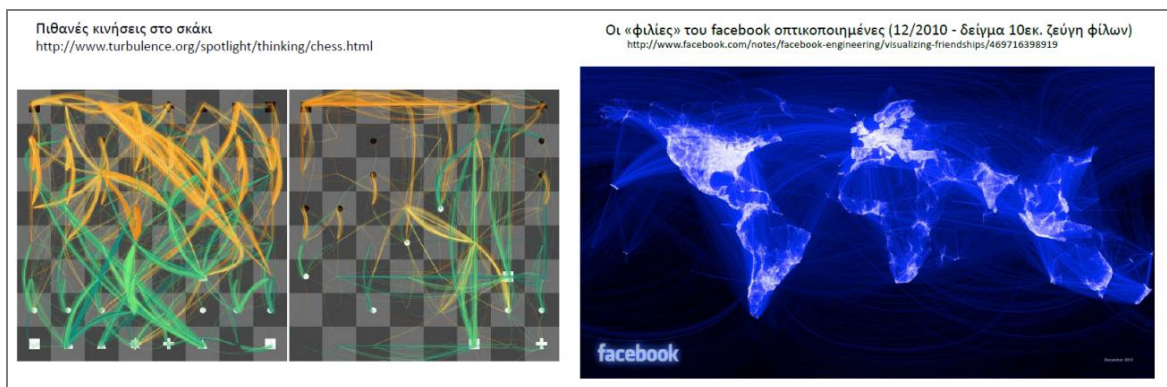


- Δυνατότητα κατάλληλων αναπαραστάσεων σχετικών με προβλήματα, που δεν γίνονται εύκολα αντιληπτά ως αριθμητικά ή συμβολικά δεδομένα, ώστε να καταστεί δυνατός ο έλεγχος κατά την επίλυση προβλημάτων
- Παρουσίαση φαινομένων και χαρακτηριστικών, που συμβαίνουν σε πολύ μικρές ή πολύ μεγάλες χωρικές ή χρονικές κλίμακες.
- Δυνατότητα δυναμικών οπτικοποιήσεων με άμεσο χειρισμό των δεδομένων.
- Προβολή στοιχείων χωρίς χρήση συμβολισμών, ώστε να καταστεί δυνατή η διαμόρφωση υποθέσεων και ερευνητικών ερωτημάτων για φαινόμενα και καταστάσεις.

Η δυνατότητα χειρισμού δεδομένων σε ένα περιβάλλον οπτικοποίησης είναι περιορισμένη. Ο χρήστης μπορεί να αναπαραστήσει δεδομένα με τη μορφή εικόνων, δεν μπορεί όμως για παράδειγμα να μεταβάλει κάποιες από τις μεταβλητές ή τις παραμέτρους, που τα αφορούν. Αυτή τη δυνατότητα προσφέρουν τα περιβάλλοντα προσομοίωσης.

### 1.8.2 Προσομοίωση (simulation)

Προσομοίωση μπορούμε να ορίσουμε ότι είναι μια μέθοδος μελέτης ενός συστήματος (ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου, μιας δραστηριότητας, μιας διαδικασίας) με τη βοήθεια ενός άλλου συστήματος (Εικόνα 30).



Εικόνα 30 Παραδείγματα προσομοιώσεων

Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις σε γενικές γραμμές κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες (Lunce, 2006):

- α) Φυσικές προσομοιώσεις: Γίνεται αναπαράσταση ενός φυσικού φαινομένου ή κατάστασης στην οθόνη του υπολογιστή, επιτρέποντας στον χρήστη να μαθαίνει χειριζόμενος κάποια ή κάποιες μεταβλητές.
- β) Επαναληπτικές προσομοιώσεις: Ο χρήστης κάνει διερεύνηση εκτελώντας διαδοχικές φορές την προσομοίωση, θέτοντας κάθε φορά διαφορετικό συνδυασμό τιμών στις παραμέτρους του συστήματος.
- γ) Διαδικαστικές προσομοιώσεις: Σκοπός τους είναι να διδάξουν μια αλληλουχία ενεργειών για την επίτευξη κάποιου στόχου.
- δ) Προσομοιώσεις κατάστασης: Γίνεται εξερεύνηση εναλλακτικών διαδρομών σε ένα σύστημα για να μελετηθούν οι επιπτώσεις τους.

Οι προσομοιώσεις σε υπολογιστή δίνουν την ευκαιρία στους μαθητές να παρατηρήσουν μια πραγματική παγκόσμια εμπειρία και να αλληλεπιδράσουν με αυτή. Στην επιστημονική βιβλιογραφία μπορούμε να βρούμε πολλές απόψεις για τα οφέλη των προσομοιώσεων στην

εκπαιδευτική διαδικασία. Όπως αναφέρεται σε άρθρο του Dr. Sami Sahin το 2006, οι προσομοιώσεις είναι χρήσιμες γιατί (Sahin, 2006) :

- Προσομοιώνουν εργαστηριακές πρακτικές ανέφικτες, ακριβές, αδύνατες, ή πολύ επικίνδυνες να «τρέξουν» (Strauss and Kinzie, 1994 στο Sahin, 2006).
- Μπορούν να συμβάλλουν στην εννοιολογική αλλαγή (Zietsman, 1986; Stieff, 2003, στο Sahin, 2006).
- Παρέχουν στους μαθητές open-ended εμπειρίες (Sadler et al. 1999, στο Sahin, 2006).
- Παρέχουν εργαλεία για επιστημονική έρευνα (Mintz, 1993; White and Frederiksen, 2000; Windschitl, 2000; Dwyer & Lopez, 2001, στο Sahin, 2006).
- Προσφέρουν εμπειρίες λύσης προβλημάτων (problem solving experiences) (Woodward et al., 1988; Howse, 1998, στο Sahin, 2006).
- Έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν την εκπαίδευση από απόσταση (Lara & Alfonseca, 2001; McIsaac and Gunawardena, 1996, στο Sahin, 2006).

Οι εκπαιδευτικές προσομοιώσεις βασίζονται σε εσωτερικά μοντέλα ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου ή φαινομένων, στα οποία ορισμένα από τα στοιχεία τους έχουν απλοποιηθεί ή παραλείπονται, προκειμένου να διευκολύνουν τη μάθηση. Τα μοντέλα στα οποία εκπαιδευτικές προσομοιώσεις έχουν κτιστεί είναι τριών τύπων: συνεχή, διακριτά και λογικά. Τα συνεχή και διακριτά μοντέλα χρησιμοποιούνται σε επιστημονικές προσομοιώσεις, καθώς και σε προσομοιώσεις εφαρμοσμένης μηχανικής, ενώ τα λογικά μοντέλα χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε εκπαιδευτικές προσομοιώσεις. Οι χρήσεις των προσομοιώσεων στην εκπαίδευση μπορεί να είναι α) υποστήριξη του μαθήματος με τη βοήθεια αλληλεπιδραστικής προσομοίωσης (διδασκαλία από τον εκπαιδευτικό, που χρησιμοποιεί την προσομοίωση ως εποπτικό μέσο), β) επαλήθευση ενός μοντέλου (χρήση προσομοίωσης από το μαθητή και αλληλεπίδραση με τον εκπαιδευτικό για συμπληρωματική ανατροφοδότηση) και γ) κλασική προσομοίωση (ατομική ή συλλογική χρήση ενός μοντέλου από μαθητές) (Lunce, 2006).

Υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που αφορούν στη χρήση εκπαιδευτικών προσομοιώσεων. Απαριθμώντας τα πλεονεκτήματα μπορούμε να πούμε ότι μια προσομοίωση α) μπορεί να αποτελεί τη μόνη προσέγγιση για την επίλυση κάποιων προβλημάτων (π.χ. μελέτη λειτουργίας ενός απροσπέλαστου συστήματος), β) μπορεί να κοστίζει λιγότερο από το χειρισμό του πραγματικού συστήματος, γ) παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στην αντίληψη των σχέσεων μεταξύ των προβλημάτων (αφού οι μεταβλητές, που μπορούμε να χειριστούμε, είναι εμφανείς), δ) είναι ασφαλής μέθοδος (π.χ. χειρισμός αεροπλάνου), ε) δίνει τη δυνατότητα επανάληψης του ίδιου φαινομένου και στ) δίνει τη δυνατότητα πλήρους ενόρασης του συστήματος, που εξετάζεται από όλες τις πλευρές (Κόμης, 2004).

Ως μειονεκτήματα μπορούμε να αναφέρουμε ότι α) κάποιες φορές η δημιουργία μιας προσομοίωσης απαιτεί σημαντικό χρόνο και κόστος, β) μπορεί να μην αποδειχθεί ως η καταλληλότερη μέθοδος επίλυσης κάποιου προβλήματος, γ) δεν εγγυάται πάντοτε, ότι θα οδηγήσει στην καλύτερη δυνατή λύση, δ) μπορεί να μην αντανakλά με ακρίβεια την υπό μελέτη κατάσταση, ε) βασίζεται καθοριστικά στην τυχαιότητα (στοχαστικές κατανομές, τυχαίοι αριθμοί), στ) σε μια προσομοίωση το μοντέλο, που τη διέπει, έχει ήδη δημιουργηθεί από κάποιον άλλο και ζ) ανάγκη για περιβάλλοντα, που επιτρέπουν τη δημιουργία μοντέλων (Κόμης, 2004).

### 1.8.3 Μοντελοποίηση (modelling)

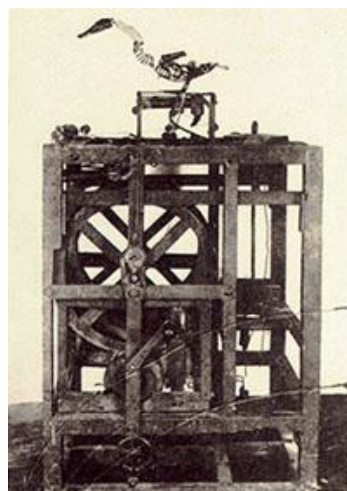
Η μοντελοποίηση συνίσταται στην οικοδόμηση ερμηνειών, που έχουν αυτόνομη λειτουργία με στόχο την πρόβλεψη μιας εξελικτικής διαδικασίας και μεταβολής ενός συστήματος, χωρίς να υπάρχει ανάγκη να παρατηρείται άμεσα η πραγματικότητα (Κόμης, 2004).

Οι άνθρωποι, προκειμένου να μελετήσουν και να κατανοήσουν την πραγματικότητα, κατασκεύαζαν και κατασκευάζουν μοντέλα ως υποκατάστατα της πραγματικότητας, απλουστεύοντάς την, χρησιμοποιώντας «αντικείμενα» πιο προσιτά και διαχειρίσιμα, ως μέσα για την κατανόηση φαινομένων με στόχο την κατάκτηση της γνώσης. Ο Leonardo DaVinci κατασκεύασε μοντέλα με ιπτάμενες μηχανές και μερικά από αυτά ισχυρίστηκε ότι τα εμπνεύστηκε από την επιθυμία του να καταλάβει το πέταγμα των πουλιών (Εικόνα 31). Ο Σερ Ισαάκ Νεύτωνας περιέγραψε την συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων με σύνολα εξισώσεων. Ο Jacques Vaucanson κατασκεύασε μια μηχανική πάπια η οποία «έτρωγε» την τροφή της -The Role of Automata in the History of Technology, Silvio A. Bedini (Εικόνα 32) (Bedini, 1964 στο Colella, Klopfer & Resnick 2001). Ο Νεύτωνας, με τα μέσα που διέθετε, περιέγραψε αφηρημένα το πλανητικό σύστημα χρησιμοποιώντας μαθηματικές σχέσεις, αποτυπώνοντάς τις με μολύβι και χαρτί, κάτι που αποτέλεσε κοινή πρακτική πολλών επιστημόνων και καθόρισε για μεγάλο χρονικό διάστημα την ικανότητά τους για την παραγωγή μοντέλων (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α).



**Εικόνα 31** Ιπτάμενη μηχανή – Μοντέλο του Leonardo DaVinci

(Πηγή: <http://greekworldhistory.blogspot.gr/2015/08/leonardo-di-ser-piero-da-vinci-1452-1519.html>)



**Εικόνα 32** Η μηχανική πάπια του Jacques Vaucanson 1730 "τεχνητή πάπια από επίχρσο ορείχαλκο η οποία πίνει, τρώει, πλατσουρίζει στο νερό, κ.ά. σαν μια ζωντανή πάπια"

(Πηγή: [http://minyos.its.rmit.edu.au/aim/a\\_notes/anim\\_history\\_01.html](http://minyos.its.rmit.edu.au/aim/a_notes/anim_history_01.html))

Τι είναι όμως ένα Μοντέλο;

Ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή ενός συνόλου αντικειμένων (ενός συστήματος), που μπορεί να βοηθήσει τον κατασκευαστή του στην εξήγηση ενός φαινομένου, αφού η περιγραφή ενός φαινομένου δεν αρκεί, αλλά και στη μεταφορά νέων ιδεών σε άλλους ανθρώπους. *«Είναι μια εξιδανίκευση και απλοποίηση ενός συστήματος του πραγματικού κόσμου, που παράγεται με επιλεκτική αφαίρεση και πιθανά μπορεί να εμφανίσει συμπεριφορά ανάλογη με μέρος της συμπεριφοράς του αρχικού συστήματος»* (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α).

Όταν δημιουργείται ένα μοντέλο χρησιμοποιείται ένα πλαίσιο διαδικασιών, που περιέχει κανόνες, παραδοχές κ.λπ. Το πλαίσιο αυτών των διαδικασιών αποτελεί την πορεία, που ακολουθείται προκειμένου να αναπαρασταθεί η πραγματικότητα με ένα μοντέλο. Επίσης, κατά την κατασκευή ενός μοντέλου, ο δημιουργός του πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός λαμβάνοντας υπόψη του καταρχήν το φαινόμενο ή τα φαινόμενα που προσπαθεί να ερμηνεύσει, αλλά και τις πραγματικές καταστάσεις στις οποίες στηρίζεται, κινούμενος πάντα μέσα στα όρια εγκυρότητας του μοντέλου. Τα όρια αυτά αφορούν και στον χρήστη, ο οποίος διατρέχει πάντα τον κίνδυνο να γενικεύσει λανθασμένα την εφαρμογή του μοντέλου. Ένα καλά κατασκευασμένο μοντέλο μπορεί να διευκολύνει στη δημιουργία κατάλληλων νοητικών αναπαραστάσεων για την κατανόηση ενός φαινομένου.

Οι βασικές λειτουργίες ενός μοντέλου είναι οι εξής (Astolfi & Drouin 1992):

- α) Η αναπαράσταση ενός συστήματος (ως σύστημα θεωρείται ένα υποσύνολο της πραγματικότητας που συνίσταται από αλληλοσχετιζόμενα στοιχεία).
- β) Η πρόβλεψη της εξέλιξης του συστήματος και των μεταβολών του.
- γ) Η εξήγηση των προβλέψεων με την έννοια του προσδιορισμού διαφόρων μορφών αιτιότητας.

Η αναπαράσταση ενός μοντέλου μπορεί να γίνει με ένα αντικείμενο (από ξύλο, από χαρτί, από μέταλλο κ.ά.), μια εικόνα, ένα σχέδιο, έναν ή περισσότερους μαθηματικούς τύπους κ.λπ. Υπάρχουν διάφορα είδη μοντέλων όπως μοντέλα κλίμακας π.χ. προπλάσματα βιολογίας π.χ. η αλυσίδα του DNA, αναλογικά μοντέλα π.χ. αναπαράσταση του ατόμου ως σφαίρα, μαθηματικά μοντέλα (Μαθηματική περιγραφή ενός φαινομένου), θεωρητικά μοντέλα (συνδέονται με τα μαθηματικά μοντέλα) π.χ. Θεωρία των τροχιακών.

Τα μοντέλα διακρίνονται σε **Επιστημονικά**, **Νοητικά** και **Διδακτικά**.

**Επιστημονικά** είναι τα μοντέλα, που κατασκευάζουν οι επιστήμονες, με σκοπό να ερμηνεύσουν φαινόμενα (π.χ. τη συμπεριφορά του μικρόκοσμου), να περιγράψουν (π.χ. την πορεία μιας αντίδρασης) ή να προβλέψουν καταστάσεις (π.χ. τον καιρό).

Τα **Νοητικά (νοησιακά) μοντέλα** (mental models), οι Αναπαραστάσεις και οι Ιδέες, *επιστημονικές ή εναλλακτικές*, εμπεριέχονται στην γνωστική δομή κάθε ανθρώπου.

Ειδικότερα τα Νοητικά (νοησιακά) μοντέλα (mental models) είναι δυναμικές αναπαραστάσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δώσουν εξηγήσεις και αναπαριστούν πιο εύκολα συγκεκριμένες παρά αφηρημένες καταστάσεις. Κατά τη διάρκεια της ζωής κάθε ανθρώπου η γνωστική του δομή μεταβάλλεται. Η συγκεκριμένη μεταβολή είναι και ένας από τους ορισμούς της μάθησης. Οι μεταβολές στη γνωστική δομή κάθε ανθρώπου περιγράφονται από τη Γνωστική Ψυχολογία με τις έννοιες ΑΦΟΜΟΙΩΣΗ, ΑΝΙΣΟΡΡΟΠΙΑ και ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ (Κασσέτας, 2016).

Τα Διδακτικά μοντέλα κατασκευάζονται για εκπαιδευτικούς σκοπούς και στόχο έχουν να αλλάξουν τα νοητικά μοντέλα των μαθητών προς την επιστημονικά ορθή κατεύθυνση.

Τα **επιστημονικά μοντέλα** μπορεί να είναι επεξηγηματικά, αναλυτικά και μοντέλα προσομοίωσης (Colella, Klopfer & Resnick 2001).

Τα επεξηγηματικά μοντέλα σκοπό έχουν να συλλαμβάνουν μια πτυχή ενός επιστημονικού συστήματος ή διαδικασίας και να μας βοηθούν να το καταλάβουμε με νέους τρόπους, παρέχοντας κάποιου είδους οπτικοποίηση μιας επιστημονικής διαδικασίας ή ενός συστήματος π.χ. το μοντέλο του ηλιακού συστήματος, που δείχνει την τροχιά των πλανητών, οι αλυσίδες του DNA, που μπορούμε να τις χειριστούμε για να δείξουμε την αντιγραφή ή την μεταγραφή του DNA κ.ά.

Τα αναλυτικά μοντέλα σκοπό έχουν να παράγουν λύσεις, οι οποίες προβλέπουν τις συμπεριφορές ενός συστήματος κάτω από ορισμένες συνθήκες. Αυτού του είδους τα μοντέλα βασίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις και επιτρέπουν την εξερεύνηση διαφορετικών σεναρίων. Για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας την ισότητα  $x=1/2 at^2$  μπορούμε να ορίσουμε τη θέση (x) για οποιαδήποτε τιμή της επιτάχυνσης (a) και του χρόνου (t). Λίγοι άνθρωποι έχουν την εμπειρία και μπορούν να χρησιμοποιήσουν αναλυτικά μοντέλα, τα οποία είναι ζωτικής σημασίας για δραστηριότητες σαν την πρόβλεψη των κύκλων της οικονομίας και την πρόβλεψη δημογραφικών τάσεων.

Τα μοντέλα προσομοίωσης σχετίζονται με την ύπαρξη των υπολογιστών. Αναπτύσσοντας υπολογιστικά μοντέλα μας παρέχονται οι δυνατότητες α) χειρισμού των μοντέλων (και όχι χειρισμού των ίδιων των αντικειμένων), β) έκφρασης (δραστηριότητες μοντελοποίησης, με δημιουργία νέων μοντέλων) και γ) διερεύνησης συλλογισμών (δραστηριότητες διερεύνησης έτοιμων μοντέλων μέσω της προσομοίωσής τους). Τους συλλογισμούς αυτούς μπορούμε να τους κατατάξουμε σε τρεις βασικούς άξονες: στον ποιοτικό (qualitative), στον ημιποσοτικό (semi - quantitative) και στον ποσοτικό (quantitative) ([http://users.sch.gr/nikbalki/epim\\_kse/EduSoft\\_Categories.htm](http://users.sch.gr/nikbalki/epim_kse/EduSoft_Categories.htm)).

Τα λογισμικά μοντελοποίησης οφείλουν να διαθέτουν: α) Εργαλεία για οικοδόμηση και ανάλυση μοντέλων (έκφραση ενός μοντέλου), όπου οι υπάρχουσες μορφές αναπαράστασης (λεκτικές, εικονικές, μαθηματικές, διαγραμματικές, κ.λπ.) υλοποιούνται μέσω του υπολογιστικού περιβάλλοντος. Ένα σημαντικό στοιχείο με πολλαπλές δυνατότητες είναι οι πιθανές μορφές αναπαράστασης, οι οποίες δεν μπορούν να υλοποιηθούν χωρίς τη χρήση υπολογιστών. Χαρακτηριστικά τέτοια στοιχεία είναι η υπολογιστική προσομοίωση και η επέκταση των γράφων σε δισδιάστατες ή τρισδιάστατες εξεικονίσεις των λειτουργικών σχέσεων. β) Εργαλεία ελέγχου εγκυρότητας του μοντέλου (διερεύνηση ενός μοντέλου). Τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των προβλέψεων δεδομένων μοντέλων με τα εμπειρικά δεδομένα ([http://users.sch.gr/nikbalki/epim\\_kse/EduSoft\\_Categories.htm](http://users.sch.gr/nikbalki/epim_kse/EduSoft_Categories.htm)).

«Τα μοντέλα σε υπολογιστές πλεονεκτούν γιατί: α) μπορούν να περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό αντικειμένων-μεταβλητών και να αφορούν μεγάλο αριθμό γεγονότων-μαθηματικών πράξεων μεγάλης ακρίβειας και β) οι επιστήμονες μπορούν να εργασθούν σε κλίμακες χρόνου πολύ διαφορετικές από τις συνήθεις ανθρώπινες και να πειραματισθούν με συστήματα που η φυσική αλληλεπίδραση και μελέτη τους δεν είναι εφικτή λόγω ειδικών συνθηκών ασφαλείας ή/και κόστους, όπως π.χ. τα ηφαίστεια οι σεισμοί, κ.λπ.». (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α). Κατά συνέπεια οι υπολογιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία δραστηριοτήτων μοντελοποίησης με τη χρήση

κατάλληλα σχεδιασμένων λογισμικών, για την ανίχνευση προβλημάτων στο πλαίσιο π.χ. των μαθηματικών, των Φυσικών Επιστημών κ.ά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αποκάλυψη με τη χρήση υπολογιστών της χαοτικής φύσης του πλανητικού συστήματος, καθιστώντας έτσι το Νευτωνικό μοντέλο εφαρμόσιμο για πεπερασμένα χρονικά διαστήματα (Ekerland, 1996 στο Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α).

Επίσης οι υπολογιστές κάνουν πιο εύκολο στους αρχάριους να κατασκευάσουν και να εξερευνήσουν τα δικά τους μοντέλα και μέσα από αυτή τη διαδικασία να προσεγγίσουν νέες επιστημονικές ιδέες, να κατακτήσουν ανώτερα επίπεδα κατανόησης των εμπλεκόμενων εννοιών.

Όταν κατασκευάζει κάποιος το δικό του μοντέλο μπορεί να αποφασίσει α) τι θέμα θέλει να μελετήσει, β) πώς θα το μελετήσει, αφού μπορεί να ελέγχει τους βασικούς κανόνες που θα διέπουν το μοντέλο του, γ) αν χρειάζεται αλλαγή στη συμπεριφορά του μοντέλου του, κάτι που σχετίζεται με το σε ποιες πτυχές του συστήματος θέλει να εστιάσει προχωρώντας στη μελέτη του και δ) πώς θα βελτιώσει το μοντέλο του όσο αυξάνει η κατανόησή του για το σύστημα κάνοντας συνδέσεις μεταξύ της συμπεριφοράς του μοντέλου του και των υποκείμενων μηχανισμών. Ίσως το πιο σημαντικό, όταν κάποιος κατασκευάζει ένα δικό του μοντέλο, είναι ότι τον βοηθάει να κατανοήσει βαθύτερα και το πώς δουλεύει ένα σύστημα και το γιατί δουλεύει με αυτόν τον τρόπο (Colella, Klopfer & Resnick 2001).

Πολλά φαινόμενα μπορούν να αναπαρασταθούν και με τους τρεις τύπους μοντέλων (επεξηγηματικά, αναλυτικά και μοντέλα προσομοίωσης), π.χ. το μοντέλο που αφορά στις πιθανότητες που υπάρχουν στο παιχνίδι κορώνα ή γράμματα με τέσσερα νομίσματα να δείξουν όλα τα νομίσματα ταυτόχρονα γράμματα. Με το επεξηγηματικό μοντέλο μπορείς να ζωγραφίσεις όλες τις πιθανότητες, με το αναλυτικό μοντέλο μπορείς να υπολογίσεις μέσα από εξισώσεις τις πιθανότητες και με το μοντέλο προσομοίωσης να τρέξεις μια προσομοίωση «τέσσερα - νομίσματα», παρατηρώντας πόσο συχνά εμφανίζεται και στα τέσσερα νομίσματα ταυτόχρονα η πλευρά με τα γράμματα.

#### **1.8.4 Τρόπος διάκρισης των μοντέλων σε σχέση με την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου**

Ένας άλλος τρόπος διάκρισης των μοντέλων είναι η διαφοροποίησή τους ανάλογα με το σκοπό και το μέγεθος της πολυπλοκότητας του πραγματικού κόσμου που ενσωματώνουν (Roughgarden, Bergman, Shafir & Taylor, 1996). Ο Roughgarden καθόρισε τρεις κατηγορίες τέτοιων μοντέλων – “minimal models for an idea”, “minimal models for systems” και “system models”.

##### Μίνιμαλ μοντέλα για μια ιδέα (Minimal models for an idea)

Τα μοντέλα αυτά στο σχεδιασμό τους λαμβάνουν υπόψη τα πιο βασικά κομμάτια ενός συστήματος, χωρίς να ενσωματώνουν λεπτομέρειες υψηλού επιπέδου. Για παράδειγμα με τέτοιου είδους ιδεατά μοντέλα (idea model) μπορεί κανείς να δημιουργήσει και να αφορά στις σχέσεις θηρευτή-θηράματος, προσφορά – ζήτηση, κυκλοφοριακή συμφόρηση κ.ά.

##### Μίνιμαλ μοντέλα για συστήματα (Minimal models for systems)

Τα μοντέλα αυτά στο σχεδιασμό τους ενσωματώνουν ορισμένες πτυχές ενός πραγματικού συστήματος χωρίς να ενσωματώνονται λεπτομέρειες υψηλού επιπέδου γι' αυτό το σύστημα. Η εφαρμογή τους αφορά μια συγκεκριμένη περίπτωση. Αυτά τα μοντέλα αναπαριστούν γενικά συστήματα, όπως φυτοφάγα ζώα που βόσκουν σε ένα λιβάδι ή ιδιοκτήτες καταστημάτων, που τιμολογούν ψημένα αγαθά.

### Μοντέλα Συστημάτων (System models)

Προσομοιώνουν ένα πραγματικό *σύστημα* με όσο το δυνατό μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Αυτά τα μοντέλα χτίζονται συνήθως μέσα από μια συλλογική προσπάθεια μεταξύ πολλών ερευνητών. Ο καθένας συγκεντρώνει διαφορετικές λεπτομέρειες γύρω από το *σύστημα* και όλοι μαζί συνθέτουν τα ευρήματά τους σε ένα τεράστιο μοντέλο. Ένα παράδειγμα μοντέλου συστήματος (system model) είναι η ανάπτυξη, η κίνηση και οι αλληλεπιδράσεις όλων των φυτών και των ζώων στο Yellowstone National Park. Μοντέλα σαν κι αυτά συχνά χρειάζονται χρόνια για να κατασκευαστούν.

#### **1.8.5 Μοντελοποίηση βασισμένη σε πράκτορες vs βασισμένη σε εξισώσεις**

Γενικότερα, όπως γνωρίζουμε, η μελέτη ενός συστήματος δεν γίνεται με αυτό καθαυτό το σύστημα. Για να μελετήσουμε ένα σύστημα, είτε με μαθηματικές μεθόδους είτε με προσομοίωση, χρειάζεται να δημιουργήσουμε ένα μοντέλο του συστήματος (Ρουμελιώτης, 2001). Η μελέτη συστημάτων με μαθηματικές μεθόδους απαιτεί αφενός πλήρη γνώση του υπάρχοντος ή προτεινομένου συστήματος και αφετέρου δυνατότητα αναπαράστασης του συστήματος με μαθηματικά μοντέλα. Επειδή, όμως, οι δύο αυτές προϋποθέσεις δεν πληρούνται σχεδόν ποτέ όταν μελετάμε πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, αναπτύχθηκαν άλλες μεθοδολογίες μελέτης και ανάλυσης συστημάτων, οι οποίες αν και δεν είναι τόσο ακριβείς όσο οι μαθηματικές μέθοδοι, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι ότι οι εναλλακτικές αυτές μεθοδολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από «ερευνητές» μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης.

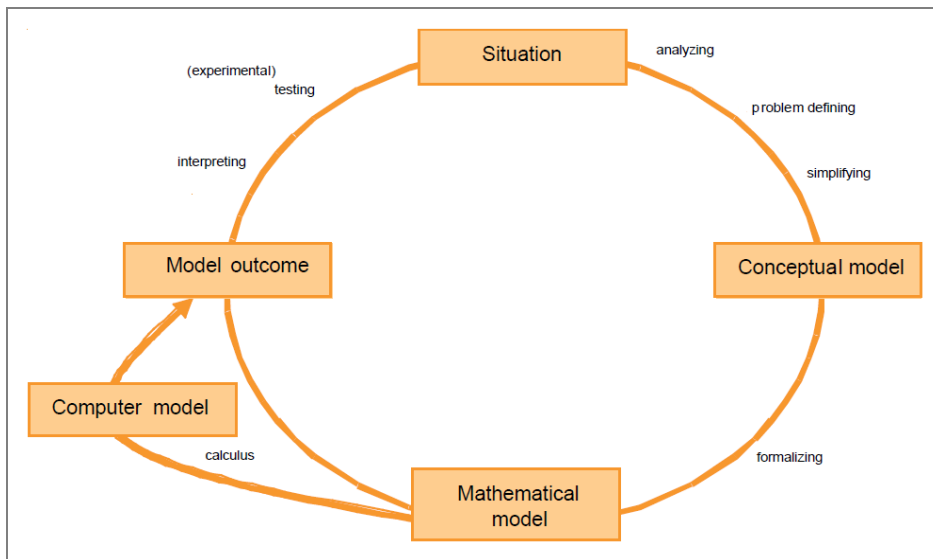
Εκτός από τις Φυσικές Επιστήμες και την Μηχανική υπάρχει ανάγκη να χρησιμοποιήσουμε υπολογιστικές προσομοιώσεις για να μοντελοποιήσουμε κοινωνικο-οικονομικά συστήματα. Οι συμπεριφορές όμως αυτών των συστημάτων δεν μπορούν να τυποποιηθούν με μαθηματικό τρόπο. Μια μέθοδος, που φαίνεται να είναι πιο κατάλληλη για να μελετήσουμε αυτά τα συστήματα, είναι η μοντελοποίηση βάσει πρακτόρων (ABM). Η αντίστοιχη υπολογιστική τεχνική ονομάζεται πολύ-πρακτορική - multi-agent (MAS) ή βασισμένη σε πράκτορες υπολογιστική μοντελοποίηση - agent-based computational modeling (“ABC modeling”). Ανάλογα με το πρόβλημα που εξετάζουμε, οι πράκτορες μπορεί να αναπαριστούν άτομα, ομάδες, εταιρείες, ή χώρες και τις αλληλεπιδράσεις τους. Οι συμπεριφορές και οι αλληλεπιδράσεις των πρακτόρων μπορούν να τυποποιηθούν με εξισώσεις, αλλά γενικότερα μπορούν να προσδιορίζονται μέσω κανόνων (αποφάσεων), όπως κανόνες του τύπου αν-τότε ή λογικές πράξεις, κάνοντας αυτού του είδους την προσέγγιση μοντελοποίησης πολύ πιο ευέλικτη. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολα δυνατό να εξεταστούν μεμονωμένες παραλλαγές στους κανόνες συμπεριφοράς (“heterogeneity”) και τυχαίες επιρροές ή παραλλαγές (“stochasticity”). Η λίστα που παρατίθεται στη συνέχεια, αφορά σε ιδιότητες που μπορούν να δοθούν σε έναν πράκτορα που αντιπροσωπεύει ένα άτομο (Helbing, 2012):

- Γέννηση, θάνατος και αναπαραγωγή
- Ατομικές ανάγκες των επινοούμενων οντοτήτων (π.χ. για φαγητό και ποτό)
- Ανταγωνισμός και μαχητική ικανότητα
- Ικανότητα κατασκευής εργαλείων (π.χ. δυνατότητα αύξησης των τροφίμων, το κυνήγι κ.λπ.)
- Αντίληψη
- Περιέργεια, συμπεριφορά εξερεύνησης, ικανότητα για καινοτομία
- Συναισθήματα
- Μνήμη και μελλοντικές προσδοκίες

- Κινητικότητα και ικανότητα μεταφοράς
- Επικοινωνία
- Ικανότητα για μάθηση και διδασκαλία
- Η δυνατότητα διαπραγμάτευσης και ανταλλαγής
- Η τάση να έχουν σχέσεις με άλλους παράγοντες (π.χ. οικογένεια ή φιλικό δέσιμο κ.λπ.)

### 1.8.6 Υπολογιστική Μοντελοποίηση και πολυπλοκότητα

Σύμφωνα με τον Reni H. V. Westra τα υπολογιστικά μοντέλα παρέχουν ένα επαρκές εργαλείο για τη μελέτη πολύπλοκων και δυναμικών φαινομένων, τα οποία είναι φαινόμενα όπου πολλοί παράγοντες αλληλεπιδρούν και αλλάζουν συνεχώς στο χρόνο (Westra, 2008). Κάποιος πρέπει να γνωρίζει την αρχική κατάσταση, τους σχετικούς παράγοντες, και τη δυνατότητα να υπολογίσει τις αλλαγές που συντελούνται σε σχέση με αυτούς τους παράγοντες κατά τη διάρκεια μιας καθορισμένης χρονικής περιόδου (η οποία θα μπορούσε να είναι δευτερόλεπτα, ώρες, μήνες ή χρόνια, ανάλογα με την περίπτωση) (Westra, 2008). Θα πρέπει όμως να έχουν γίνει μια σειρά από ενέργειες πριν να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ο υπολογιστής.



Εικόνα 33 Μια διαδικασία μοντελοποίησης (Savelsbergh, 2006, p. 5).

Στην Εικόνα 33 φαίνεται ένα τέτοιο παράδειγμα, που αφορά στον παραλληλισμό μεταξύ οικολογικών μοντέλων και άλλων τύπων της επιστημονικής έρευνας. Αρχικά ένα μοντέλο τροφοδοτείται με δεδομένα από «τον πραγματικό κόσμο». Στην πειραματική φάση δοκιμών, υπάρχει μια συνεχής αλληλεπίδραση μεταξύ της ανάπτυξης του μοντέλου και της ανάγκης να συμπεριληφθούν επιπρόσθετα δεδομένα. Μόλις είναι έτοιμη η πρώτη προσέγγιση του μοντέλου είναι απαραίτητο να γίνουν βελτιώσεις του αρχικού μοντέλου, ώστε να υπάρξει μια καλύτερη αντιστοιχία με τον «πραγματικό κόσμο», η οποία θα δώσει και καλύτερες προβλέψεις.

### 1.8.7 Μαθητές πολύπλοκα δυναμικά συστήματα και Μοντελοποίηση

Διαδραστικές προσομοιώσεις και μοντέλα μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά την αντίληψη των μαθητών όταν μελετάνε πολύπλοκα δυναμικά συστήματα. Η έρευνα έχει δείξει ότι μέθοδοι διδασκαλίας, που βασίζονται στη μάθηση μέσω της παρατήρησης δεν οδηγούν απαραίτητα στην βελτίωση της διαίσθησης των μαθητών ή στη βαθιά κατανόηση της λειτουργίας και της εξέλιξης των πολύπλοκων συστημάτων (Resnick, 1996). Παραδείγματος



χάριν οι άνθρωποι για χιλιάδες χρόνια παρατηρούσαν τα σμήνη πουλιών προτού να προτείνει κάποιος ότι τα σμήνη αυτά δεν έχουν ηγέτες (Εικόνα 34). Επίσης οι άνθρωποι συμμετέχουν με τα αυτοκίνητά τους σε μποτιλιάρια χωρίς να έχουν βαθιά κατανόηση των αιτιών, που τα προκαλεί (Εικόνα 35). Τέτοια φαινόμενα μπορούν να θεωρηθούν ως πολύπλοκα δυναμικά συστήματα. Η παρατήρηση και η συμμετοχή δεν είναι αρκετά για τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας και της εξέλιξης των πολύπλοκων συστημάτων, χρειάζεται ενεργή εμπλοκή [(Gilbert & Boulter, 2000), (Gobert & Buckley, 2000), (Louca & Constantinou, 2003), (Resnick & Wilensky, 1998) και (Yehezkel, Ben-Ari & Dreyfus, 2005) στο (Hashem & Mioduser, 2011a)].



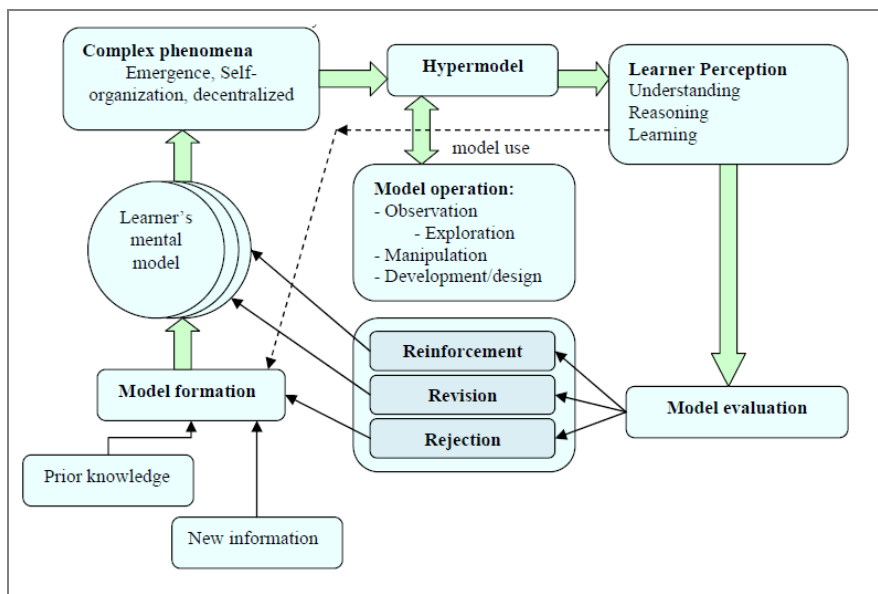
**Εικόνα 34** A compact flock of starlings swarms in the sky prior to roosting. The patterns created by a flock of birds is an example of an emergent behavior of a system. Copyrighted image by Brian Robert Marshall, reuse allowed under Creative Commons license (Πηγή: [http://serc.carleton.edu/integrate/teaching\\_materials/systems\\_what.html](http://serc.carleton.edu/integrate/teaching_materials/systems_what.html))



**Εικόνα 35** Μποτιλιάρισμα αυτοκινήτων τον Αύγουστο του 2010 στο Πεκίνο (Κίνα). Περισσότεροι από 750 εκατομμύρια προσπάθησαν να εισέλθουν στην πόλη την προτελευταία ημέρα των διακοπών. Διήρκεσε πάνω από 12 ημέρες (Πηγές: <http://www.topcount.co/5-biggest-traffic-jams-worlds-history-lasted-weeks/> και <https://www.youtube.com/watch?v=8ivycTcNvJQ>)

Η εμπλοκή των μαθητών σε δραστηριότητες μοντελοποίησης μπορεί να τους παρέχει α) τη δυνατότητα να κατανοήσουν και να εξερευνήσουν συστήματα, που είναι δύσκολο να εντοπίσουν και να προβλέψουν τη συμπεριφορά τους, β) νέες τεχνικές που θα τους βοηθήσουν να μάθουν σημαντικές έννοιες γύρω από τα πολύπλοκα συστήματα, γ) τις προϋποθέσεις να διατυπώσουν σχετικές ερωτήσεις θεωρίες και υποθέσεις γύρω από τα υπό μελέτη φαινόμενα, αλλά και δ) τη δυνατότητα να κατασκευάσουν και να «τρέξουν» μοντέλα σχετικά με τις θεωρίες τους [(Blikstein & Wilensky, 2005), (Hashem & Mioduser, 2011), (Levy & Wilensky, 2005), (Stieff & Wilensky, 2003) και (Wilensky & Resnick, 1999) στο (Hashem & Mioduser, 2011)].

Κατά τη διάρκεια της μελέτης πολύπλοκων συστημάτων μέσω της μοντελοποίησης αναδύονται πολύπλοκα φαινόμενα, τα οποία είναι δύσκολο να γίνουν αντιληπτά (Jacobson, 2001, Jacobson & Wilensky, 2006). Προκειμένου να δοθεί εξήγηση για την αντίληψη και την κατανόηση των μαθητών σχετικά με τέτοια φαινόμενα, κατασκευάστηκε ένα πλαίσιο, που βασίστηκε στις εργασίες των Norman (1983) και Buckley et al. (2004) (Εικόνα 36). Στο πλαίσιο αυτό γίνεται χαρτογράφηση της διαδικασίας μάθησης μέσω της ενασχόλησης με τα υπό μελέτη φαινόμενα και με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων, που βασίζονται στην ενεργό και δυναμική γνωστική οντότητά τους, που οργανώνει εκτός από την εμπειρία τους, τις πεποιθήσεις και τις σκέψεις τους (Hashem & Mioduser, 2011).



Εικόνα 36 Μαθαίνοντας στο πλαίσιο του μοντελισμού (Hashem & Mioduser, 2011)

### 1.8.8 Τρόποι εμπλοκής των μαθητών σε δραστηριότητες μοντελοποίησης

Ένας μαθητής μπορεί να εμπλακεί σε δραστηριότητες μοντελοποίησης με δύο τρόπους (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α):

α) Κατασκευάζοντας μοντέλα.

Ο μαθητής μπαίνοντας στη διαδικασία να κατασκευάσει ένα μοντέλο εξωτερικεύει τις σκέψεις του, αλλά και μπορεί να τις υποβάλει σε δοκιμασία, με σκοπό να ελέγξει την πληρότητα και την ορθότητα τους. Κατά τη διαδικασία της κατασκευής του μοντέλου, αλλά και της δοκιμασίας του μοντέλου, μπορεί να προκύψει η ανάγκη διόρθωσης και βελτίωσής του. Με αυτό τον τρόπο ο μαθητής βελτιώνει εμπειρικά τα νοητικά γνωστικά του σχήματα.

β) Διερευνώντας και εξετάζοντας μοντέλα κατασκευασμένα από άλλους.

Ο μαθητής εξετάζοντας έτοιμα μοντέλα έρχεται σε επαφή με τις ιδέες του κατασκευαστή τους. Διατυπώνοντας αρχικά τις αντιλήψεις του μπορεί να συγκρίνει τα γνωστικά του σχήματα με αυτά που εκφράζονται μέσω του μοντέλου και να βελτιώσει ή να ασκήσει κριτική στο υπό μελέτη μοντέλο.

Συγκρίνοντας τους δύο τρόπους εμπλοκής των μαθητών σε δραστηριότητες μοντελοποίησης δεν είναι δύσκολο να καταλάβουμε ότι η κατασκευή μοντέλων είναι σαφώς ανώτερη πνευματική δραστηριότητα από τον έλεγχο και την προσομοίωση υπαρχόντων μοντέλων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η δεύτερη δεν έχει διδακτική και μαθησιακή αξία (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α).

## 1.9 Logo-Like περιβάλλοντα μοντελοποίησης

Ο Κινέζος Κομφουκιανός φιλόσοφος Xunzi (312-230 π.Χ.) έγραψε στο Ruxiao (Οι διδασκαλίες του Ru): *“Not having heard something is not as good as having heard it; having heard it is not as good as having seen it; having seen it is not as good as knowing it; knowing it is not as good as putting it into practice”* (Porik, 2012). Η φράση αυτή έγινε γνωστή από τον B. Franklin, ο οποίος την επαναδιατύπωσε περίπου το 1985 *“Tell me and I forget, teach me and I may remember, involve me and I learn”* (Porik, 2012). Ένας μαθητής μπορεί να μάθει περισσότερα αν δεν μείνει απλά ένας παθητικός δέκτης πληροφοριών. Αυτό μπορεί να συμβεί είτε αν εμπλακεί ο ίδιος στο σχεδιασμό και στην κατασκευή του δικού του μοντέλου, είτε αν λειτουργήσει ως «ερευνητής» χρησιμοποιώντας προκατασκευασμένα μοντέλα. Ενώ η κατασκευή μοντέλων είναι σαφώς ανώτερη πνευματική δραστηριότητα από τον έλεγχο και την προσομοίωση υπαρχόντων μοντέλων, η χρήση προκατασκευασμένων μοντέλων έχει και αυτή μεγάλη διδακτική και μαθησιακή αξία (Φεσάκης, Δημητρακοπούλου & Καλαβάσης 2001α). Και στις δύο περιπτώσεις αυτό το είδος της μάθησης είναι κρίσιμα σοβαρό σε πεδία, τα οποία απαιτούν την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων, όπως τα οικονομικά, τα μαθηματικά, η φυσική και η βιολογία. Επιπλέον, αυτή η διαδικασία μάθησης προωθεί σκέψεις υψηλού επιπέδου και δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων φυσικής, μαθηματικών, τεχνολογίας κ.ά.

Τα τελευταία περίπου 40 χρόνια οι υπολογιστές μας παρέχουν ένα νέο μέσο για να κατασκευάσουμε, να αναλύσουμε και να περιγράψουμε μοντέλα, που αφορούν π.χ. στην οικονομία (χρηματιστηριακή αγορά), στη βιολογία (κυτταρική διαίρεση, αλυσίδα DNA), στις φυσικές επιστήμες (ελεύθερη πτώση, ηλεκτρισμός), στην ιστορία (αρχαίοι πολιτισμοί) κ.ά.

Αυτό το διάστημα αναπτύχθηκε λογισμικό, το λεγόμενο λογισμικό μοντελοποίησης, με το οποίο μπορούμε να χειριστούμε εικονικές και συμβολικές παραστάσεις που αναπαριστούν αντικείμενα, έννοιες, ιδιότητες ή πράξεις που αφορούν στον πραγματικό κόσμο, καθώς και να κάνουμε τις απαραίτητες συνδέσεις, λαμβάνοντας υπόψη την έκφραση της δομής και τις υπάρχουσες αλληλεξαρτήσεις

[http://users.sch.gr/nikbalki/epim\\_kse/Edusoft\\_files/edusoft\\_files/Programs\\_files/Systimata\\_Montelopoiiisis.pdf](http://users.sch.gr/nikbalki/epim_kse/Edusoft_files/edusoft_files/Programs_files/Systimata_Montelopoiiisis.pdf).

Ανάμεσα στα περιβάλλοντα που αναπτύχθηκαν είναι και τα Logo-Like περιβάλλοντα, τα οποία όπως αναφέρεται και στο άρθρο *Αξιοποίηση Logo-like περιβάλλοντος στη σχολική τάξη: εμπειρίες, προβληματισμοί και διδακτικές προτάσεις* (Γλέζου & Γρηγοριάδου, 2003), *«...μπορούν να αξιοποιηθούν για τη σχεδίαση και την ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων, τα οποία προσφέρουν στους μαθητές τη δυνατότητα έκφρασης και αξιοποίησης των σκέψεων, ιδεών και διαισθήσεών τους και υποστηρίζουν τη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης διαμορφώνοντας πλούσια σε ευκαιρίες προβληματισμού και πειραματισμού περιβάλλοντα μάθησης* (Γλέζου, 2002, Noss, 1995, diSessa, 1995, Hoyles, 1992, Papert, 1991)».

Ειδικότερα τις τρεις τελευταίες δεκαετίες οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει περιβάλλοντα μοντελοποίησης πολύπλοκων συστημάτων, των οποίων τα μοτίβα και οι συμπεριφορές προκύπτουν από απλούς κανόνες και αλληλεπιδράσεις, ως βασικά επιστημολογικά εργαλεία, τα οποία βρίσκουν εφαρμογές και στην εκπαίδευση. Παράλληλα εμφανίστηκαν και υπολογιστικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα όπως η StarLogo (Klopfer et al, 1994 & Colella et al, 2001 στο Κυροδήμου, Φεσάκης & Φλογαίτη 2015), με τα οποία οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν πολύπλοκα (complex) δυναμικά συστήματα.

### 1.9.1 Το περιβάλλον μοντελοποίησης της StarLogo

Η StarLogo είναι μια ειδική έκδοση της γλώσσας προγραμματισμού Logo με τα γνωστά γραφικά της χελώνας. Αναπτύχθηκε αρχικά από τον Mitchel Resnick στο Media Laboratory του MIT. Στην ουσία αποτελεί έναν προγραμματιστικό μικρόκοσμο δημιουργίας προσομοιώσεων πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων (κυκλοφοριακή συμφόρηση, σμήνη πουλιών, αποικία μυρμηγκιών κ.λπ.), αλλά και συστημάτων από πολλά άλλα επιστημονικά πεδία, όπως Μαθηματικά, Φυσική, Βιολογία και Πληροφορική. Αντίθετα με άλλα εργαλεία μοντελοποίησης η StarLogo υποστηρίζει μια απλή διαδικασία κατασκευής, ανάλυσης και περιγραφής μοντέλων, τα οποία δεν απαιτούν ιδιαίτερες μαθηματικές και προγραμματιστικές ικανότητες. *«Χτίζοντας μοντέλα με τη StarLogo, οι μαθητές μπορούν να εξερευνήσουν πώς οι αλλαγές των κανόνων σε ένα επίπεδο οδηγούν σε διαφορετικές συμπεριφορές και πρότυπα σε ένα άλλο επίπεδο. Αυτή η μετακίνηση-μετατόπιση μεταξύ επιπέδων καθιστά ικανούς τους μαθητές να εξετάσουν τους μηχανισμούς, που βρίσκονται πίσω από τα φαινόμενα που βλέπουν στον κόσμο. Αντί να αποδέχονται τα φαινόμενα ως μαύρα κουτιά, οι μαθητές μπορούν να κοιτούν μέσα στα κουτιά, ακόμα και να προσπαθήσουν να δημιουργήσουν νέες συνδέσεις – and even try “rewiring” them»* (Wilensky & Resnick 1999). Μπορούμε να πούμε ότι κατασκευάστηκε κατ’ αποκλειστικότητα για μη ειδικούς χρήστες.

Εκτός από το περιβάλλον της StarLogo υπάρχουν και άλλα περιβάλλοντα μοντελοποίησης ενός συστήματος, όπως το Model-It (Soloway et al., 1997), Stella (Roberts, Anderson, Deal, Garet, & Shaffer, 1983), και MatLab (The MathWorks, 1994). Σε αυτά τα περιβάλλοντα η μοντελοποίηση γίνεται περιγράφοντας πώς αλλάζει ολόκληρο το σύστημα. Στο περιβάλλον της StarLogo, μπορείς να κατασκευάσεις ένα μοντέλο με μια άλλη προοπτική, γράφοντας απλούς κανόνες για ξεχωριστές συμπεριφορές. Για παράδειγμα, μπορείς να δημιουργήσεις κανόνες για ένα πουλί, που να περιγράφουν το πόσο γρήγορα μπορεί να πετάει και πότε θα πρέπει να πετάξει προς ένα άλλο πουλί. Όταν παρατηρείς πολλά πουλιά ταυτόχρονα ακολουθώντας αυτούς τους κανόνες, μπορείς να παρατηρήσεις πώς τα μοτίβα του συστήματος, όπως το πέταγμα των πουλιών ως κοπάδι, προκύπτουν από τις ατομικές συμπεριφορές. Κατασκευάζοντας μοντέλα που αφορούν σε ατομικό, ή «πουλιού», επίπεδο δίνεται η δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα τη συμπεριφορά του συστήματος, ή του «κοπαδιού». Επιπλέον το περιβάλλον μοντελοποίησης της StarLogo επιτρέπει να παρατηρήσουμε άμεσα και τις ανεξάρτητες ενέργειες των οντοτήτων και τα μοτίβα της ομάδας που προκύπτουν από αυτές τις ενέργειες.

Η StarLogo είναι η καταλληλότερη για την κατασκευή “idea Models”. Τα μοντέλα αυτά στο σχεδιασμό τους λαμβάνουν υπόψη τα πιο βασικά κομμάτια ενός συστήματος, χωρίς να ενσωματώνουν λεπτομέρειες υψηλού επιπέδου. Για παράδειγμα με τέτοιου είδους idea model μπορεί κανείς να δημιουργήσει μοντέλα, που να αφορούν στις σχέσεις θηρευτή-θηράματος, προσφοράς – ζήτησης, αυτοκινήτων - κυκλοφοριακής συμφόρησης κ.ά. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ότι το να λαμβάνει κανείς υπόψη του στην κατασκευή ενός μοντέλου πολλές λεπτομέρειες δεν έχει ως αποτέλεσμα ένα καλύτερου τύπου μοντέλο, αλλά ένα διαφορετικού είδους μοντέλο. Όσο προσθέτουμε διαφορετικές παραμέτρους αυξάνεται εκθετικά η πολυπλοκότητα του μοντέλου. Όταν εξερευνούμε ένα «πρόβλημα» δημιουργώντας ένα μοντέλο, πρέπει να ενσωματώνουμε μόνο τους παράγοντες, που μας βοηθούν στην κατανόηση του συστήματος και να μην προσπαθούμε να αποδώσουμε επακριβώς την πολυπλοκότητα και την ρεαλιστικότητά του. Μοντέλα τα οποία εστιάζουν σε “core set ideas” συχνά απαιτούν και από τον κατασκευαστή και από τον χρήστη καλύτερη γνώση των εργαλείων (Colella, Klopfer & Resnick 2001).

### 1.9.2 Resnick και StarLogo

Ο Resnick το 1994, βασιζόμενος στο παλιό ρητό: If a person has only a hammer, the whole world looks like a nail (Αν ένα άτομο έχει μόνο ένα σφυρί, ολόκληρος ο κόσμος μοιάζει με ένα καρφί), επισημαίνει με παραστατικό τρόπο ότι η προσθήκη νέων εργαλείων στην εργαλειοθήκη του «ξυλουργού» αλλάζει τον τρόπο, που ο «ξυλουργός» κοιτάζει τον κόσμο. Υποστήριξε ότι μεταφέροντας αυτό το παράδειγμα στην εκπαίδευση νέα υπολογιστικά μοντέλα, όπως ο παραλληλισμός, μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες των υπολογιστών σκέφτονται για τον κόσμο. Περιέγραψε ένα νέο, για την τότε εποχή, περιβάλλον παράλληλου προγραμματισμού, το περιβάλλον της StarLogo, παραθέτοντας και παραδείγματα για το πώς οι δραστηριότητες StarLogo μπορούν να προτείνουν και να ενθαρρύνουν νέους τρόπους σκέψης «*Το περιβάλλον αυτό έχει σχεδιαστεί ρητά ως ένα περιβάλλον για τη διερευνητική μάθηση και επεκτείνει το χώρο των δυνατοτήτων σχεδιασμού για τους φοιτητές, ενώ προσφέρει στους μαθητές νέους τρόπους θεώρησης του κόσμου*» (Resnick, 1994a).

Ο Resnick προσθέτοντας τον παραλληλισμό στη Logo ήθελε να παράσχει στους προγραμματιστές νέους τρόπους για να διαμορφώσουν, να ελέγξουν, και να σκεφτούν καταστάσεις που στην πραγματικότητα συμβαίνουν παράλληλα και όχι για να πετύχει καλύτερη απόδοση ή ταχύτητα των προγραμμάτων. Παρατηρούμε ότι πολλά πράγματα λειτουργούν παράλληλα και στον φυσικό (μια αποικία από μυρμηγκία), αλλά και στον κατασκευασμένο κόσμο (βόλτες σε ένα πάρκο ψυχαγωγίας). Ο λόγος που ενδιαφέρθηκε ο Resnick για "massively parallel" καταστάσεις, όπως το πέταγμα ενός σμήνους πουλιών, ένας αυτοκινητόδρομος σε ώρα αιχμής, κ.ά., είναι ότι οι άνθρωποι δυσκολεύονται να σκεφτούν και να κατανοήσουν τέτοιες καταστάσεις, τις οποίες τις αντιμετωπίζουν με συγκεντρωτικό τρόπο, βλέποντας σε ότι συμβαίνει να υπάρχει κεντρικός έλεγχος. Για παράδειγμα όταν βλέπουν ένα σμήνος πουλιών, θεωρούν ότι το πουλί που βρίσκεται μπροστά οδηγεί και τα άλλα ακολουθούν. Όμως τα περισσότερα σμήνη πουλιών δεν έχουν αρχηγούς. Κάθε πουλί ακολουθεί ένα σύνολο από απλούς κανόνες, αντιδρώντας στις κινήσεις των πουλιών, που είναι κοντά του. Τα μοτίβα του σμήνους προκύπτουν από αυτές τις απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις. Το σμήνος διοργανώνεται χωρίς διοργανωτή, συντονίζεται χωρίς συντονιστή (Heppner & Grenander, 1990).

Η StarLogo κινείται ενάντια σε αυτόν τον τρόπο σκέψης, ενισχύοντας την αλλαγή νοοτροπίας από συγκεντρωτική σε αποκεντρωτική με τρεις τρόπους (Resnick, 1994a):

- α) (Η StarLogo) Διαθέτει χιλιάδες χελώνες (πολύ περισσότερες χελώνες από τις υπόλοιπες εκδόσεις της Logo), που μπορούν να δρουν ξεχωριστά ή μια από την άλλη και παράλληλα. Αυτό είναι χρήσιμο και αναγκαίο όταν γίνεται διερεύνηση καταστάσεων, που αφορούν σε μια αποικία μυρμηγκιών, στο πέταγμα ενός σμήνους πουλιών, σε έναν αυτοκινητόδρομο σε ώρα αιχμής. Αυτό συμβαίνει γιατί π.χ. μια αποικία μυρμηγκιών που αποτελείται από 10 μυρμηγκία μπορεί να μην είναι σε θέση χρησιμοποιώντας τις φερομόνες<sup>3</sup> να σηματοδοτήσει διαδρομές από τη φωλιά σε πηγές τροφίμων, ή σε νέες θέσεις, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φωλιές, ενώ είναι πιο πιθανό αυτό να

<sup>3</sup> Η φερομόνη είναι χημική ουσία που απελευθερώνεται από ένα ζώο προκειμένου να προκαλέσει μια συγκεκριμένη αντίδραση, ή να μεταδώσει κάποιο μήνυμα σε ένα άλλο άτομο, πάντα όμως του ίδιου είδους. Υπάρχουν φερομόνες κινδύνου, εντοπισμού τροφής, σεξουαλικές και πολλές άλλες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά και τη φυσιολογία των ατόμων συγκεκριμένων ειδών. Η ύπαρξη και χρήση τους στα έντομα, που εντοπίστηκαν κυρίως, έχει μελετηθεί ιδιαίτερα και αποδειχθεί. Πολλά σπονδυλόζωα και φυτά επίσης επικοινωνούν με τη χρήση φερομονών. Η ύπαρξη ανθρώπινων φερομονών είναι ακόμη θέμα προς συζήτηση (Wikipedia, 2016c).

μπορεί να συμβεί με μια αποικία με 100 μυρμήγκια (ακολουθώντας τους ίδιους ακριβώς κανόνες).

β) Οι χελώνες στη StarLogo είναι εξοπλισμένες με «αισθήσεις», ξεφεύγουν από το πρότυπο της «συμπεριφοριστικής χελώνας». Έρχονται σε αντίθεση με τις παραδοσιακές Logo χελώνες, που αρχικά σχεδιάστηκαν ως σχεδιαστικές χελώνες, για να δημιουργούν γεωμετρικά σχέδια και να βοηθούν στην εξερεύνηση γεωμετρικών ιδεών. Μπορούν να ανιχνεύσουν, να διακρίνουν άλλες χελώνες σε κοντινή απόσταση, και να "μυρίζουν" μυρωδιές του κόσμου τους, τις οποίες και ακολουθούν αλλάζοντας κατεύθυνση και πηγαίνοντας όπου η «μυρωδιά» είναι πιο έντονη. Τέτοιες, χελώνα-χελώνα και χελώνα-κόσμος, αλληλεπιδράσεις είναι απαραίτητες για να δημιουργήσουμε και να πειραματιστούμε με αυτό-οργανωνόμενα φαινόμενα. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί το να κινούνται απλά οι χελώνες παράλληλα και να δρουν αυτόνομα δεν είναι αρκετό. Χωρίς να τους δίνεται η δυνατότητα της αλληλεπίδρασης δεν θα μπορούσαν ποτέ να προκύψουν ενδιαφέρουσες συμπεριφορές της αποικίας του προηγούμενου παραδείγματος και μάλιστα σε επίπεδα.

γ) (Η StarLogo) φетиχοποιεί τον κόσμο των χελωνών και του αποδίδει ένα πολύ υψηλότερο στάτους. Στις παραδοσιακές εκδόσεις της Logo, οι χελώνες δεν έχουν διακριτικά χαρακτηριστικά. Ο κόσμος τους είναι ένα μέρος όπου οι χελώνες ζωγραφίζουν αφήνοντας το ίχνος τους. Κάθε εικονοστοιχείο (pixel) του κόσμου είναι ένα απλό κομμάτι στατικής πληροφορίας, που αφορά στο χρώμα του. Στη StarLogo ο κόσμος χωρίζεται σε μικρά τετράγωνα κομμάτια, που ονομάζονται πλέγματα (patches), τα οποία δεν μπορούν να κινηθούν, άλλα έχουν ίδιες πολλές από τις δυνατότητες, που έχουν οι χελώνες. Κάθε τέτοιο πλέγμα μπορεί να κρατήσει ένα αυθαίρετο αριθμό πληροφοριών. Για παράδειγμα, εάν οι χελώνες είναι προγραμματισμένες να απελευθερώσουν, καθώς κινούνται, ένα «χημικό», κάθε πλέγμα μπορεί να παρακολουθεί την ποσότητα των χημικών, που έχει απελευθερωθεί εντός των συνόρων της. Τα πλέγματα μπορούν να εκτελέσουν εντολές της StarLogo, όπως ακριβώς και οι χελώνες. Για παράδειγμα, κάθε πλάκα μπορεί να διαχέει μερική ποσότητα από τα «χημικά» της σε γειτονικά πλέγματα. Επίσης, μπορεί να αναπτύξει «τροφή», βασιζόμενη στο επίπεδο των «χημικών» της περιοχής, που περικλείεται από τα σύνορά της. Διαπιστώνουμε ότι στο περιβάλλον της StarLogo υπάρχουν τα πλέγματα του κόσμου, των οποίων το στάτους είναι ισοδύναμο-ανάλογο, με το στάτους των πλασμάτων, που κινούνται και μετακινούνται στον κόσμο αυτό. Έτσι αναδεικνύεται ο ρόλος του περιβάλλοντος.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα το πώς αυτές οι προσεγγίσεις στον προγραμματισμό μπορούν να ενθαρρύνουν και να διευκολύνουν νέες προσεγγίσεις στη σκέψη, θα αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα, που αφορά στα Traffic Jams, όπως περιγράφει ο Resnick στο άρθρο NEW PARADIGMS FOR COMPUTING, NEW PARADIGMS FOR THINKING, που το παρουσίασε στη Βοστώνη στο National Educational Computing Conference τον Ιούνιο του 1994 (Resnick, 1994b):

«Ο Ari και ο Fadhil ήταν φοιτητές σε ένα δημόσιο γυμνάσιο στην περιοχή της Βοστώνης. Και οι δύο απολάμβαναν το να δουλεύουν με υπολογιστές, αλλά δεν είχαν ούτε μαθηματικό ούτε επιστημονικό πολύ ισχυρό υπόβαθρο. Την περίοδο που ο Ari και ο Fadhil άρχισαν να εργάζονται με τη StarLogo, παρακολουθούσαν και τάξη με μαθήματα οδήγησης. Μόλις πριν από πολύ μικρό χρονικό διάστημα είχαν κλείσει τα 16 τους χρόνια, και ήταν ενθουσιασμένοι με την ιδέα να πάρουν τις άδειες οδήγησης. Μεγάλο μέρος της

συζήτησης τους επικεντρωνόταν στα αυτοκίνητα. Έτσι, όταν έδωσα στον Ari και στον Fadhil να διαβάσουν μια συλλογή από άρθρα, δεν ήταν έκπληξη για μένα το γεγονός ότι απέσπασε την προσοχή τους ένα επιστημονικό Αμερικάνικο άρθρο με τίτλο "Vehicular Traffic Flow" (Herman & Gardels, 1963 στο Resnick, 1994b).

Οι παραδοσιακές μελέτες για την κυκλοφοριακή ροή στηρίζονται σε εξελεγμένες τεχνικές αναλυτικής από τομείς όπως η θεωρία ουρών αναμονής<sup>4</sup> [queuing theory (Wikipedia, 2016c)]. Πολλά, όμως, ίδια κυκλοφοριακά φαινόμενα μπορούν να εξερευνηθούν με απλά StarLogo προγράμματα. Για να ξεκινήσουν οι Ari και Fadhil αποφάσισαν να δημιουργήσουν έναν αυτοκινητόδρομο με μια λωρίδα. (Αργότερα, πειραματίστηκαν με περισσότερες λωρίδες). Ο Ari πρότεινε να προσθέσουν κάπου κατά μήκος του δρόμου και μια παγίδα της αστυνομίας, η οποία να συλλαμβάνει αυτοκίνητα που κινούνταν πάνω από το όριο ταχύτητας. Επίσης, ήθελε κάθε αυτοκίνητο να έχει το δικό του ανιχνευτή ραντάρ, οπότε τα αυτοκίνητα να γνωρίζουν ότι πρέπει να επιβραδύνουν όταν πλησίαζαν στην παγίδα ραντάρ.

Μετά από συζήτηση, ο Ari και ο Fadhil προγραμματίσαν κάθε οδηγό να ακολουθήσει τρεις απλούς κανόνες: (1) Αν ο οδηγός δει ένα άλλο αυτοκίνητο πολύ κοντά και μπροστά του, να επιβραδύνει. (2) Εάν δεν υπάρχουν αυτοκίνητα πολύ κοντά και μπροστά του, να επιταχύνει (εκτός εάν είναι ήδη στο όριο ταχύτητας). (3) Εάν έχει εντοπίσει μια παγίδα ραντάρ, να επιβραδύνει.

Και οι δύο μαθητές περίμεναν ότι θα σχηματιζόταν ένα μποτιλιάρισμα πίσω από την παγίδα ραντάρ, και όντως έτσι και έγινε. Καθώς τα αυτοκίνητα επιβραδύναν εξαιτίας της παγίδας, τα αυτοκίνητα πίσω τους αναγκάστηκαν να επιβραδύνουν, και ούτω καθεξής, δημιουργώντας μια ουρά με περίπου ίσες αποστάσεις μεταξύ των αυτοκινήτων. Όταν τα αυτοκίνητα κινούνταν πέρα από την παγίδα, επιτάχυναν ομαλά μέχρι να φτάσουν το όριο ταχύτητας.

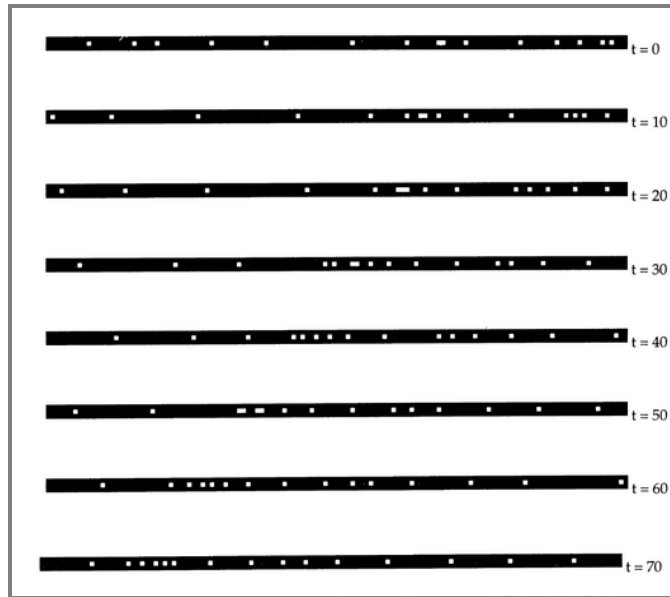
Ζήτησα από τους μαθητές να μου απαντήσουν τι θα συνέβαινε εάν έτρεχαν το ίδιο πρόγραμμα χωρίς την παγίδα ραντάρ. Τα αυτοκίνητα θα ελέγχονταν από μόλις δύο κανόνες: αν ο οδηγός δει ένα άλλο αυτοκίνητο κοντά μπροστά, να επιβραδύνει\* αν όχι, να επιταχύνει. Είχαν προβλέψει ότι η ροή της κυκλοφορίας θα γίνει ομοιόμορφη\* τα αυτοκίνητα θα είναι ομοιόμορφα κατανομημένα και θα κινούνται με σταθερή ταχύτητα. Μετά από όλα αυτά, χωρίς την παγίδα ραντάρ, τι θα μπορούσε να προκαλέσει συμφόρηση (εμπλοκή); Όταν τρέξαμε το πρόγραμμα, ωστόσο, σχηματίστηκε ένα μποτιλιάρισμα. Κατά μήκος τμημάτων του δρόμου, τα αυτοκίνητα ήταν το ένα κοντά στο άλλο (πυκνά) και κινούνταν αργά. Αλλού, ήταν απλωμένα και κινούνταν στο όριο ταχύτητας (Εικόνα 37).

Στην αρχή οι μαθητές ήταν σοκαρισμένοι. Οι παρατηρήσεις τους αποκάλυψαν τη λειτουργία μιας κεντρικής νοοτροπίας: Υποστήριξαν ότι οι κυκλοφοριακές συμφορήσεις (εμπλοκές - traffic jams) χρειάζονται κάποιο είδος κεντρικής "αιτίας seed" (όπως μια παγίδα ραντάρ ή ένα ατύχημα), προκειμένου να σχηματιστούν. Δεν μπορούσαν να πιστέψουν ότι απλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αυτοκινήτων θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μια συμφόρηση. Αλλά αυτό είναι ό, τι συνέβαινε στην προσομοίωσή τους. Αν μερικά αυτοκίνητα, κατά τύχη, συνέβαινε να βρεθούν το ένα κοντά στο άλλο, επιβραδύναν. Αυτό, με τη σειρά του, κατέστησε πιθανό ότι ακόμη περισσότερα αυτοκίνητα από πίσω τους θα έπρεπε να επιβραδύνουν, οδηγώντας σε συμφόρηση. Συνεχίζοντας να τροποποιούν και να παίζουν με τη StarLogo (προσαρμογή αρχικών ταχυτήτων και θέσεων, αλλαγή ρυθμών επιτάχυνσης), ο Ari και ο Fadhil τελικά ανέπτυξαν καλύτερη διαίσθηση σχετικά με την κυκλοφοριακή συμφόρηση,

---

<sup>4</sup> Μια ουρά αναμονής ή ισοδύναμα ένα σύστημα εξυπηρέτησης είναι ένα μαθηματικό πρότυπο για τη μοντελοποίηση ενός πραγματικού συστήματος εισόδου - εξόδου μονάδων (πελατών) στο οποίο υπεισέρχεται τυχαιότητα. Το αντικείμενο της θεωρίας αυτής είναι η ποσοτική μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησης και εντάσσεται στο ευρύτερο γνωστικό πεδίο της Επιχειρησιακής Έρευνας και ειδικότερα στο στοχαστικό μέρος της. Τυπικά παραδείγματα ουρών αναμονής που παρουσιάζονται στις εφαρμογές είναι τα ταμεία των τραπεζών και γενικότερα διαφόρων οργανισμών, τα τηλεφωνικά κέντρα εξυπηρέτησης πελατών (call centers), το τηλεφωνικό δίκτυο, το Διαδίκτυο καθώς και τοπικά δίκτυα υπολογιστών (LAN), οι γραμμές παραγωγής μιας βιομηχανικής μονάδας, τα συγκοινωνιακά δίκτυα κλπ. (Wikipedia, 2016c).

αναγνωρίζοντας πως οι χωρίς κεντρικό έλεγχο (αποκεντρωμένες) αλληλεπιδράσεις μπορούν να προκαλέσουν πράγματι το σχηματισμό μεγαλύτερης κλίμακας κυκλοφοριακών μολίβων».



**Εικόνα 37** Κυκλοφοριακή συμφόρηση (Traffic jam) χωρίς παγίδα ραντάρ (Τα αυτοκίνητα μπορούν να κινηθούν από αριστερά προς τα δεξιά, αλλά η συμφόρηση κινείται από δεξιά προς τα αριστερά) (Resnick, 1994b)

Το παράδειγμα αυτό επιβεβαιώνει όσα αναφέρονται από τον Resnick στο βιβλίο *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*. Ο Resnick μελετώντας τον τρόπο σκέψης των παιδιών δουλεύοντας με τη StarLogo, παρατήρησε ότι στην αρχή τα παιδιά σχεδόν πάντα υποθέτουν ότι υπάρχουν κεντρικές αιτίες στα πρότυπα που παρατηρούν και σχεδόν πάντα επιβάλλουν κεντρικό έλεγχο, όταν θέλουν να δημιουργήσουν πρότυπα. Όσο όμως εργάζονται με τα project της StarLogo, οι περισσότεροι από αυτούς αναπτύσσουν νέους τρόπους σκέψης για τον μη κεντρικό έλεγχο (την αποκέντρωση). Φαίνεται ότι στους μαθητές αρέσει να χρησιμοποιούν (αποκεντρωμένες) στρατηγικές χωρίς κεντρικό έλεγχο (decentralized), όταν αναλύουν και κατασκευάζουν συστήματα. Ο Resnick παρατηρώντας τους να αναπτύσσουν πλουσιότερα μοντέλα από φαινόμενα χωρίς κεντρικό έλεγχο (αποκεντρωμένα), διατύπωσε μια λίστα από «ευρετικές οδηγίες», οι οποίες δεν είναι πολύ «ισχυρές», ούτε μπορούν να αποτελέσουν «κανόνες», με τους οποίους μπορούμε να κατανοήσουμε φαινόμενα χωρίς κεντρικό έλεγχο (αποκεντρωμένα), αλλά αντίθετα αποτελούν «χαλαρές» ιδέες γι' αυτά. *«Από την πλευρά της παιδαγωγικής τα παιδιά μας παρέχουν καλά σημεία συζήτησης για να προκαλέσουμε τους ανθρώπους να σκεφτούν αποκεντρωτικά, μας προσφέρουν ένα τύπο μέτρησης που αφορά στην εννοιολογική αλλαγή»* (Resnick, 1994). Οι πέντε αυτές ευρετικές είναι οι εξής:

α) Η θετική ανατροφοδότηση δεν είναι πάντοτε αρνητική:

Η θετική ανατροφοδότηση θεωρείται μια καταστροφική δύναμη, που οδηγεί καταστάσεις εκτός ελέγχου (π.χ. διαπεραστικός ήχος που προκύπτει όταν ένα μικρόφωνο τοποθετείται κοντά σε ένα ηχείο). Αντίθετα η αρνητική ανατροφοδότηση θεωρείται ότι είναι χρήσιμη, αλλά και ότι κρατάει τις καταστάσεις υπό έλεγχο (π.χ. ο θερμοστάτης που κρατάει τη θερμοκρασία του δωματίου σε επιθυμητά επίπεδα ανάβοντας και κλείνοντας το θερμαντικό μέσο όποτε θέλουμε).

Για τους μαθητές που χρησιμοποίησαν τη StarLogo, η ιδέα της θετικής ανατροφοδότησης τους παρείχε ένα νέο τρόπο παρατήρησης του κόσμου. Ένας μαθητής σκέφτηκε το εξής:



«Φαντάστηκε δύο ανθρώπους στο κέντρο της πόλης της Βοστώνης την ώρα του γεύματος να πηγαίνουν σε ένα μαγαζί να αγοράσουν φαγητό. Μόλις αγόρασαν το φαγητό δεν το έφαγαν εκεί, το πήραν μαζί τους. Άλλοι άνθρωποι, που απλώς περπατούσαν στο δρόμο σκεπτόμενοι τις δικές τους δουλειές, μύρισαν τα σάντουιτς, είδαν τη σακούλα και είπαν 'Ει, ίσως πάω για γεύμα στο μαγαζί αυτό σήμερα!' Ξαφνικά ήθελαν να πάνε σε αυτό το μαγαζί. Καθώς όλο και περισσότεροι άνθρωποι πήγαιναν στο μαγαζί, κυκλοφορούσαν στο δρόμο περισσότερες μυρωδιές και περισσότερες σακούλες. Έτσι όλο και περισσότεροι άνθρωποι πήγαιναν στο μαγαζί. Τότε το μαγαζί ξέμεινε από φαγητό. Σταμάτησαν οι μυρωδιές στο δρόμο από τα σάντουιτς. Έτσι κανένας δεν πήγαινε στο μαγαζί.»

β) Η τυχαιότητα μπορεί να βοηθήσει στην τάξη:

Τυχαίες διακυμάνσεις λειτουργούν ως «τροφή» από την οποία αναπτύσσονται μοτίβα και δομές. Η τυχαιότητα δημιουργεί την αρχική «τροφή» και έπειτα η θετική ανατροφοδότηση βοηθάει στην ανάπτυξη της «τροφής». Για παράδειγμα οι διαφορετικές ταχύτητες των αυτοκινήτων σε ένα αυτοκινητόδρομο δημιουργούν «τροφή» για την ανάπτυξη ενδεχόμενης κυκλοφοριακής συμφόρησης.

γ) Ένα σμήνος δεν είναι πουλί:

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αντικειμένων σε πρώτο επίπεδο οδηγούν σε νέους τύπους αντικειμένων σε άλλο επίπεδο π.χ. αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτοκινήτων οδηγούν σε κυκλοφοριακή συμφόρηση, αλληλεπιδράσεις μεταξύ πουλιών οδηγούν σε σμήνη κ.ά.

Σε πολλές περιπτώσεις τα αντικείμενα του πρώτου επιπέδου συμπεριφέρονται διαφορετικά από ότι τα αντικείμενα του άλλου επιπέδου, όπως στο παράδειγμα, που προαναφέραμε η κυκλοφοριακή συμφόρηση μετακινείται προς τα πίσω ακόμη και αν όλα τα αυτοκίνητα, που εμπλέκονται κινούνται προς τα μπρος.

δ) Μια κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν είναι μόνο μια συλλογή αυτοκινήτων:

Τα περισσότερα αντικείμενα τα θεωρούμε ως συλλογή από ιδιαίτερα μέρη π.χ. μια καρέκλα έχει τέσσερα ιδιαίτερα πόδια. Κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει και με μια κυκλοφοριακή συμφόρηση. Θα μας προκαλέσει σύγχυση αν σκεφτούμε ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι μια συλλογή από αυτοκίνητα. Αυτό γιατί τα αυτοκίνητα, που συνθέτουν μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, αλλάζουν διαρκώς, αφού μερικά από αυτά απομακρύνονται από αυτήν και προχωράνε μπροστά της και άλλα έρχονται και γίνονται μέρος στο πίσω μέρος της. Ακόμα και όταν όλα τα αυτοκίνητα που βρίσκονταν μέσα στην κυκλοφοριακή συμφόρηση αντικατασταθούν με νέα μένει η ίδια. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα αναδυόμενο αντικείμενο, που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις χαμηλότερου επιπέδου αντικειμένων (στην περίπτωση αυτή των αυτοκινήτων).

ε) Οι λόφοι είναι ζωντανοί:

Στο Sciences of the Artificial (1969), ο Herbert Simon περιέγραψε μια σκηνή στην οποία ένα μυρμήγκι περπατούσε στην άμμο και παρατήρησε ότι το μονοπάτι που ακολουθούσε το μυρμήγκι ήταν αρκετά πολύπλοκο. Υποστήριξε όμως ότι η πολυπλοκότητα του μονοπατιού δεν ήταν απαραίτητα αντανάκλαση της πολυπλοκότητας του μυρμηγκιού. Μάλλον το μυρμήγκι αντέδρασε έτσι εξαιτίας της πολυπλοκότητας της παραλίας. Το συμπέρασμα που μπορούμε να εξάγουμε από αυτό το απλό παράδειγμα είναι ότι δεν πρέπει να υποτιμάμε το ρόλο του περιβάλλοντος στην επιρροή και στους περιορισμούς της συμπεριφοράς των πλασμάτων που ζουν σε αυτό. Οι άνθρωποι σκέφτονται το περιβάλλον σαν κάτι που ενεργοποιείται, όχι κάτι που αλληλεπιδρά με. Έχουν τη συνήθεια να εστιάζουν στις συμπεριφορές μεμονωμένων αντικειμένων, αγνοώντας το περιβάλλον που τα περιτριγυρίζει και αλληλεπιδρά μαζί τους. Είναι σημαντικό όταν σκεφτόμαστε γύρω από αποκεντρωμένα (χωρίς κεντρικό έλεγχο) και αυτό-οργανωνόμενα συστήματα να το λαμβάνουμε υπόψη μας.

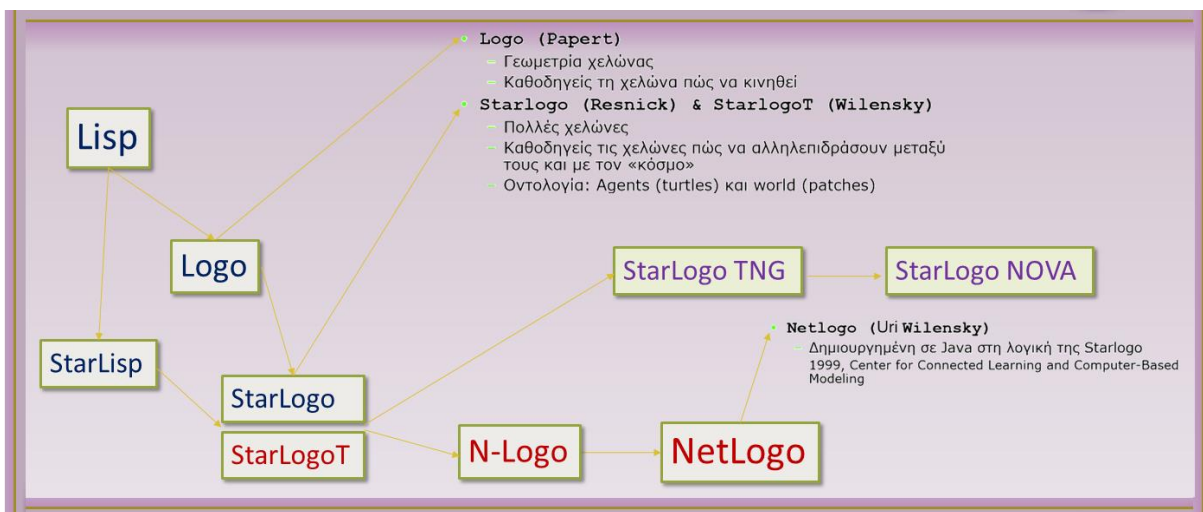
### 1.9.3 Διεπιστημονική φύση του περιβάλλοντος της StarLogo

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων, τα οποία είναι συστήματα των οποίων τα μοτίβα και οι συμπεριφορές προκύπτουν από απλούς κανόνες και αλληλεπιδράσεις. Η StarLogo έχει ως στόχο τη στήριξη μαθητών και ερευνητών χωρίς προηγούμενη προγραμματιστική εμπειρία στη μοντελοποίηση και κατανόηση της συμπεριφοράς πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων (κυκλοφοριακή συμφόρηση, σμήνη πουλιών, αποικία μυρμηγκιών κ.λπ.), αλλά και συστημάτων από πολλά άλλα επιστημονικά πεδία, όπως Μαθηματικά, Φυσική, Βιολογία και Πληροφορική.

Για να κατανοήσουμε τη διεπιστημονική φύση του περιβάλλοντος της StarLogo ας πάρουμε το παράδειγμα, που αφορά ένα μοντέλο ενός τροπικού δάσους. Ένας Βιολόγος θα μπορούσε να μελετήσει το μοντέλο αυτό παρατηρώντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων (ξεχωριστών όντων), ένας Περιβαλλοντολόγος θα μπορούσε να εστιάσει στη συσσώρευση των πληθυσμών σε διαφορετικές ομάδες πλασμάτων και ένας μαθηματικός θα μπορούσε να διερευνήσει τα μοτίβα της αύξησης και της μείωσης των πληθυσμών. Η ενσωμάτωση αυτών των προοπτικών και στις δύο φάσεις, της δημιουργίας και της διερεύνησης της κατασκευής του μοντέλου μπορεί να εμπλουτίσει τα μοντέλα μας και να βοηθήσει διαφωτίζοντας τις βασικές συνδέσεις μεταξύ των φαινομενικά διαφορετικών πεδίων.

### 1.9.4 Εκδόσεις της StarLogo

Υπάρχουν και άλλες εκδόσεις της StarLogo, με ορισμένες τροποποιήσεις ως προς την αρχική StarLogo του MIT (Εικόνα 38). Μερικές από αυτές είναι η StarLogo TNG (Εικόνα 39), η StarLogo Nova (Εικόνα 40) και η NetLogo (Εικόνα 41).



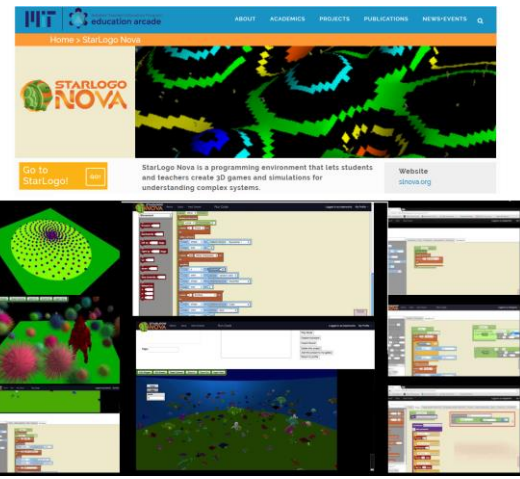
Εικόνα 38 Ιστορική διαδρομή της StarLogo (Χαλκίδης κ.ά., 2016)

Η StarLogo TNG (=StarLogo The Next Generation), καθιέρωσε (μαζί με τη Lego και τα συστήματα Lego Mindstorms), τα σύγχρονα περιβάλλοντα οπτικού προγραμματισμού, τα οποία σήμερα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στα εκπαιδευτικά προγραμματιστικά περιβάλλοντα (όπως το SCRATCH, το Game Maker κ.ά.) (StarLogo και StarLogo TNG, 2013).

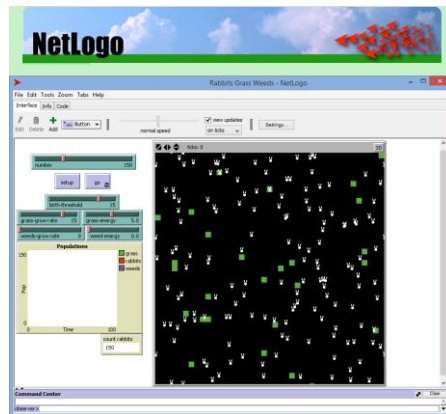
Οι δύο τροποποιήσεις της StarLogo, η StarLogo TNG και η StarLogo Nova αποτελούν προγραμματιστικά περιβάλλοντα, που δίνουν τη δυνατότητα σε μαθητές και εκπαιδευτικούς να δημιουργήσουν 3D παιχνίδια και προσομιώσεις για την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων ([http://education.mit.edu/portfolio\\_page/starlogo-tng/](http://education.mit.edu/portfolio_page/starlogo-tng/)).



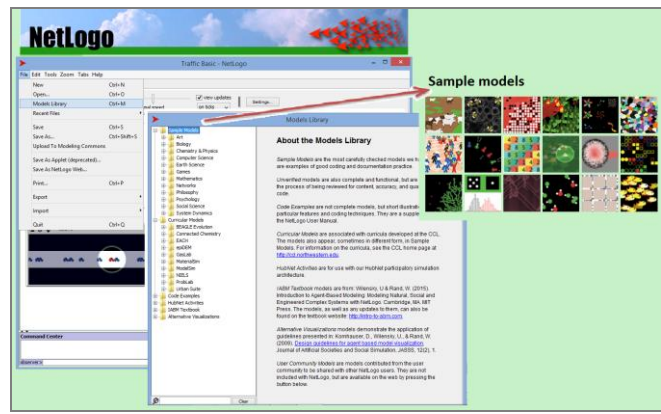
Εικόνα 39 StarLogo TNG



Εικόνα 40 STARLOGO NOVA



Εικόνα 41 NetLogo



Εικόνα 42 Βιβλιοθήκη μοντέλων NetLogo 5.3.1 (τελευταία έκδοση)

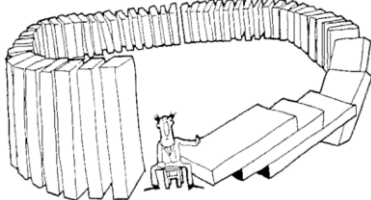
Η NetLogo είναι ένα multi-agent προγραμματιζόμενο περιβάλλον μοντελοποίησης (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>). Δημιουργήθηκε από τον Uri Wilensky το 1999 και από τότε είναι σε συνεχή εξέλιξη στο Northwestern's Center for Connected Learning και Computer-Based Modeling, το οποίο είναι αφιερωμένο στη δημιουργική χρήση της τεχνολογίας για την εμπάθυση της μάθησης. Χρησιμοποιείται από δεκάδες χιλιάδες φοιτητές, καθηγητές και ερευνητές σε όλο τον κόσμο. Πρόκειται για ένα περιβάλλον μοντελοποίησης προσομοιώσεων φυσικών και κοινωνικών φαινομένων. Το περιβάλλον είναι κατάλληλο για μοντελοποίηση πολύπλοκων φαινομένων, τα οποία εξελίσσονται στο χρόνο. Παράλληλα, προσφέρει τη δυνατότητα να μελετηθεί η σχέση των ατομικών συμπεριφορών στη δημιουργία προτύπων, ενώ εκατοντάδες ακόμη και χιλιάδες ανεξάρτητοι πράκτορες μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα. Η NetLogo μπορεί επίσης να ενισχύσει με το HubNet εργαλείο, που διαθέτει, τη συμμετοχική-προσομοίωση στην τάξη. Στην παραδοσιακή NetLogo, η προσομοίωση τρέχει σύμφωνα με τους κανόνες που ορίζει ο δημιουργός της προσομοίωσης. Το εργαλείο HubNet προσθέτει μια νέα διάσταση στη NetLogo, αφού οι προσομοιώσεις δεν τρέχουν μόνο σύμφωνα με τους κανόνες, αλλά από την άμεση ανθρώπινη συμμετοχή (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>). Στην Εικόνα 42 μπορούμε να δούμε την πλούσια βιβλιοθήκη μοντέλων, που διαθέτει η πιο πρόσφατη έκδοση της NetLogo, η NetLogo 5.3.1.

## 1.10 Αντιλήψεις των μαθητών για τα πολύπλοκα συστήματα

Οι μαθητές έρχονται στο σχολείο έχοντας κάποιες αρχικές πεποιθήσεις – αντιλήψεις, που αφορούν και σε επιστημονικές έννοιες. Πολλές φορές παρατηρούνται παρανοήσεις στις αντιλήψεις των μαθητών για τα υπό μελέτη φαινόμενα και έννοιες. Η εκπαιδευτική έρευνα για τη μάθηση των μαθητών γύρω από πολύπλοκα συστήματα, έχει δείξει ότι οι μαθητές έχουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων. Θα καταγράψουμε μερικές από τις αντιλήψεις των μαθητών γύρω από τα πολύπλοκα συστήματα:

- 1) Οι ιδιότητες που εμφανίζει ένα πολύπλοκο σύστημα πολλές φορές μοιάζουν να είναι εντελώς διαφορετικές από τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων που αποτελούν το εν λόγω σύστημα (Miller & Page, 2007, στο Guo & Wilensky, 2016), γεγονός, που καθιστά για τους μαθητές την ανάδυση αντι-διαισθητική (counterintuitive) (Εικόνα 43).
- 2) Οι Wilensky and Resnick (1999) περιέγραψαν τις δυσκολίες των μαθητών με τα πολύπλοκα συστήματα, ως μια «ντετερμινιστική-συγκεντρωτική νοοτροπία» (“deterministic-centralized mindset”) (aka DC mindset). Οι αρχάριοι, όταν εισάγονται στην λογική των πολύπλοκων συστημάτων, θεωρούν ότι υπάρχει μια αιτιώδης συνάφεια μεταξύ των δομικών στοιχείων, που αποτελούν το σύστημα και της εξέλιξη του συστήματος. Τα βλέπουν ως ένα ντετερμινιστικό «ωρολογιακό» σύστημα (deterministic “clockwork” system), όπου τα δομικά του στοιχεία είναι διασυνδεδεμένα όπως είναι τα γρανάζια μεταξύ τους σε ένα ρολόι clockwork (Jacobson, 2001) (Εικόνα 44).
- 3) Οι αρχάριοι θεωρούν ότι για να δημιουργηθούν μοτίβα π.χ. σμήνη πουλιών, κοπάδια ψαριών, κυκλοφοριακή συμφόρηση, είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιος αρχηγός, κάποιος κεντρικός έλεγχος (Resnick, 1994a, Guo & Wilensky, 2016) (Εικόνα 45).

In complex systems, cause and effect are often distant in time and space



**Εικόνα 43** Αντι-διαισθητική συμπεριφορά - Σκίτσο για την χρονική και χωρική απόσταση αιτίας-αποτελέσματος στα πολύπλοκα συστήματα - το φαινόμενο του ντόμινο (North, 2008)



**Εικόνα 44** Ντετερμινιστικό «ωρολογιακό» σύστημα (Πηγή: <http://www.showboatentertainment.com/illustrations/technical-illustrations.html>)



**Εικόνα 45** Κοπάδι ψαριών (Πηγή: <http://slodive.com/inspiration/underwater-photographs/>)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 2.1 Προβληματική και αναγκαιότητα της έρευνας

Στις μέρες μας όλοι οι πολίτες χρειάζεται να αποκτούν επίπεδο μόρφωσης τέτοιο, που να τους βοηθά να κατανοούν σε βάθος την πολυπλοκότητα και τις αλληλεξαρτήσεις των γεγονότων που συμβαίνουν γύρω τους, ώστε να αντιλαμβάνονται πώς λειτουργεί ο «κόσμος».

Τα υπολογιστικά εργαλεία παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατεύθυνση αυτή, αφού προσφέρουν δυνατότητες για τεχνολογικό αλφαριθμητισμό. Οι άνθρωποι με τη βοήθεια των εργαλείων αυτών, μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα πολλά επιστημονικά φαινόμενα, μελετώντας τα σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης. Η ικανότητα συλλογισμού σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης είναι θεμελιώδης για την ανάπτυξη βαθιάς κατανόησης του νου, του εαυτού και της κοινωνίας. Τα υπολογιστικά εργαλεία δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές, τους μελλοντικούς ενήλικες πολίτες, να αντιληφθούν την έννοια των επιπέδων αφαίρεσης χτίζοντας μοντέλα και μελετώντας πολύπλοκα φαινόμενα, αλλά και πολύπλοκα συστήματα (Wilensky & Resnick 1999). Όχημα για την απόκτηση της πολυπλοκότητας γνώσης είναι η κατανόηση της συνολικής εικόνας του πολύπλοκου κόσμου μας και της δυναμικής του λειτουργίας, μέσω της Συστημικής Δυναμικής, αλλά και η καλλιέργεια δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης.

Στο επίπεδο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης σπάνια οι μαθητές προετοιμάζονται να σκέφτονται με Συστημική Σκέψη, ώστε να κατανοούν την πολυπλοκότητα του κόσμου και να μπορούν να αντιμετωπίζουν σύγχρονες καθημερινές καταστάσεις. Βάσει των αναλυτικών προγραμμάτων, που εκπονούνται από ειδικούς και εφαρμόζονται στα σχολεία από τους εκπαιδευτικούς, λίγα διδάσκονται για δυναμικές καταστάσεις, δηλαδή για το πώς τα πράγματα αλλάζουν με το χρόνο. Στη δομή των αναλυτικών προγραμμάτων επικρατεί σε μεγάλο ποσοστό η αυστηρή οριοθέτηση των κλάδων. Πολλοί εκπαιδευτικοί δεν αντιλαμβάνονται την ανάγκη να τονίσουν το πόσο σημαντική είναι η απόκτηση της διεπιστημονικής γνώσης, χωρίς τις περισσότερες φορές να φτάνει, αφού ως μαθητές και φοιτητές βίωσαν παρόμοιες καταστάσεις. Σπάνια δε, κάποιος από αυτούς αναφέρει την ιδέα της διδασκαλίας με εργαλεία διάγνωσης, σχεδιασμού και ανάλυσης, που παρέχει η Συστημική Ανάλυση, δηλαδή τη Συστημική Δυναμική και τη Συστημική Σκέψη. Έτσι οι μαθητές αποκτούν, στην καλύτερη περίπτωση, ένα οριοθετημένο σώμα ασύνδετης γνώσης, το οποίο συνήθως ξεχνάνε μόλις το μυαλό τους απασχοληθεί με κάτι άλλο.

Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη σε έναν κόσμο όπου η ιδέα της πολυπλοκότητας καθίσταται ολοένα και περισσότερο αναπόσπαστο κομμάτι στην εκμάθηση των φυσικών και των κοινωνικών επιστημών, να εστιάσουμε σε ένα νέο τρόπο μάθησης, που αφορά στους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης και περιλαμβάνει τη Συστημική Δυναμική σε συνδυασμό με τη μαθητοκεντρική προσέγγιση (learner centered learning), τη μάθηση μέσα από διερεύνηση (inquiry based learning), την ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης, αλλά και την υιοθέτηση της ομαδοσυνεργατικής μάθησης.

Υπό το πρίσμα της Συστημικής Ανάλυσης, αξιοποιώντας καινοτόμα περιβάλλοντα (StarLogo, NetLogo κ.ά.), αναπτύσσοντας εκπαιδευτικό υλικό, που να εντάσσεται στα αναλυτικά προγράμματα, δίνουμε στους μαθητές τη δυνατότητα να διερευνήσουν προβλήματα, που τους αφορούν και τους ενδιαφέρουν, εμπλεκόμενοι ενεργά στη διαδικασία της μάθησης, συνεργαζόμενοι με τους συμμαθητές τους, κάνοντας υποθέσεις, προβλέψεις,

πειραματισμούς και ελέγχους, προσεγγίζοντας ένα διαφορετικό τρόπο σκέψης, τη Συστημική Σκέψη, αποκτώντας γνώσεις, καλλιεργώντας μια σειρά από δεξιότητες, αλλά και αξιοποιώντας παράλληλα εκπαιδευτικές εφαρμογές των ΤΠΕ ως επιστημολογικά εργαλεία.

Στην παρούσα έρευνα αναπτύχθηκε εκπαιδευτικό υλικό στο πλαίσιο Διδακτικής Παρέμβασης, η οποία πραγματοποιήθηκε, με τη βοήθεια της NetLogo, σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Χρησιμοποιήθηκε το έτοιμο μοντέλο «**Traffic Basic**» (Wilensky, 1997), το οποίο μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μια κατεύθυνση. Κάθε αυτοκίνητο ακολουθεί ένα απλό σύνολο κανόνων: επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), εάν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του. Το μοντέλο δείχνει ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να προκληθεί ακόμα και χωρίς ατυχήματα, γκρεμισμένες γέφυρες, ή φορτηγά που έχουν ανατραπεί. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μια «κεντρική αιτία», για να σχηματιστεί ένα μποτιλιάρισμα.

### 2.1.1 Κριτήρια επιλογής του θέματος

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θέμα, είναι:

- α)** Το ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον των εκπαιδευτικών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για την ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία και συγκεκριμένα της χρήσης μοντέλων. Το ενδιαφέρον αυτό πιθανόν οφείλεται στην προσπάθεια των εκπαιδευτικών να βοηθήσουν τους μαθητές να αποσαφηνίσουν παρανοήσεις, να οικοδομήσουν γνώσεις και γενικότερα να μελετήσουν φαινόμενα, τα οποία είναι πολύπλοκα και απαιτούν, για τη βαθύτερη κατανόησή τους, σύνθετη τεχνολογία.
- β)** Η ανάγκη διερεύνησης των απόψεων των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για έννοιες όπως σύστημα, πολύπλοκο σύστημα, πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, Δομή, Συμπεριφορά και Λειτουργία πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, αλλά και για το ρόλο των πολυπρακτορικών προσομοιώσεων στην κατανόηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων.
- γ)** Η ανάγκη βελτίωσης της κατανόησης των μαθητών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, γύρω από έννοιες που αφορούν στα πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, αλλά και της λειτουργίας και εξέλιξής τους, όπως το σύστημα της προτεινόμενης δραστηριότητας, αλλά και η ανάγκη διερεύνησης του βαθμού επίδρασης του υπολογιστικού περιβάλλοντος της NetLogo στην πιθανή αυτή βελτίωση.
- δ)** Η ανάγκη να εμπλακούν οι μαθητές, μέσα από αυτή την Παρέμβαση, στο πεδίο της Συστημικής Δυναμικής και να αναπτύξουν δεξιότητες, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη και τους βοηθούν να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση του εαυτού τους, αλλά και της συμπεριφοράς του πραγματικού σημερινού κόσμου, δηλαδή καταστάσεων φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών.

### 2.1.2 Επιστημονικό και πρακτικό ενδιαφέρον της έρευνας

Από επιστημονικής πλευράς αναμένεται ότι η έρευνα αυτή θα συμβάλει στην ανάδειξη της επιστημολογικής αξίας των μοντέλων και των δυνατοτήτων διδακτικής αξιοποίησής τους. Επίσης θα αναδείξει το ρόλο του υπολογιστή στη σύγχρονη επιστημονική μοντελοποίηση.

Από πρακτικής πλευράς θα γίνει προσπάθεια, μέσω της Διδακτικής Παρέμβασης, χρησιμοποιώντας ως ισχυρό εργαλείο ένα πολυπρακτορικό περιβάλλον (NetLogo), να προκληθεί το ενδιαφέρον μαθητών της Δευτεροβάθμιας με μια προσέγγιση διαφορετική από

τις συνηθισμένες παραδοσιακές προσεγγίσεις, *μάθηση μέσα από έρευνα*, ώστε να ενισχυθεί η συμμετοχή τους στην ερευνητική διαδικασία, αλλά και να βελτιωθεί η ικανότητά τους στην κατανόηση και ερμηνεία πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, διατηρώντας παράλληλα τα κίνητρα για μάθηση.

### 2.1.3 Διεπιστημονική διάσταση της έρευνας

Το επιστημονικό πεδίο των εκπαιδευτικών εφαρμογών των ΤΠΕ σχετίζεται και εμπλέκεται διεπιστημονικά με τις επιστήμες των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας, της Γνωστικής Ψυχολογίας, της Διδακτικής των Επιστημών, καθώς και με τις Επιστήμες της Αγωγής (Δημητρακοπούλου, 2001). Στο πλαίσιο αυτό έχει σχεδιαστεί και χρησιμοποιηθεί πλήθος λογισμικών και εφαρμογών και έχουν γίνει προσπάθειες κατηγοριοποίησής του. Η διεπιστημονική διάσταση της έρευνας σχετίζεται με την αξιοποίηση και ένταξη των ΤΠΕ στη διδακτική των Θετικών Επιστημών στο πλαίσιο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, μέσα από μαθησιακές δραστηριότητες που λαμβάνουν υπόψη, στο σχεδιασμό τους, τις θεωρίες μάθησης και γενικότερα τα παιδαγωγικά χαρακτηριστικά των ΤΠΕ, αλλά και το χαρακτηριστικό του κόσμου που ζούμε, δηλαδή το ότι αποτελεί ένα τεράστιο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα όπου «όλα επηρεάζουν όλα τα άλλα». Πολυπόθητο αποτέλεσμα αυτού του τρόπου αξιοποίησης των ΤΠΕ είναι οι σημερινοί μαθητές και αυριανοί πολίτες να αποκτούν ένα επίπεδο μόρφωσης, που να τους βοηθά να κατανοούν σε βάθος την πολυπλοκότητα και τις αλληλεξαρτήσεις των γεγονότων, που συμβαίνουν γύρω τους, άρα και το πώς λειτουργεί ο «κόσμος», αλλά και να καλλιεργούν δεξιότητες, που να τους δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη γνώση συμμετέχοντας ενεργά με περισσότερη σοφία μέσα στην κοινωνία που ζουν.

## 2.2 Σκοπός της έρευνας

Ο σκοπός ή οι σκοποί γενικά μιας έρευνας θέτουν τη γενική προοπτική της έρευνας. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν μέσω της Διδακτικής Παρέμβασης να γίνει διερεύνηση της επίδρασης του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, όσον αφορά α) στην κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων (Sternan, 2001), β) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης (Assaraf & Orion, 2005) και γ) στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα (Resnick, 1994a) (βλέπε ενότητα 1.10) Η νοοτροπία του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset) δεν αποτελεί παρανόηση μόνο για τους επιστημονικά αδαείς μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, αλλά και για τους ενήλικες (Resnick, 1994a). Στη συγκεκριμένη Διδακτική Παρέμβαση θα διερευνηθεί το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση. Θα γίνει διερεύνηση της επίδρασης του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, που αφορά στην α) στην κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων Χ2, Χ3, Χ4, Χ6, Χ7 και Χ9, που φαίνονται στον Πίνακα 4 και αφορούν σε μερικά από τα χαρακτηριστικά των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων που φαίνονται στον Πίνακα 2 (σσ 54-55) (Πηγές πολυπλοκότητας των δυναμικών συστημάτων - Προσαρμογή από Sternan (2001) σελ.: 12), β) στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης ΔΣΣ1α), ΔΣΣ1β), ΔΣΣ2α), ΔΣΣ2β), ΔΣΣ3β) και ΔΣΣ4α), που φαίνονται στον Πίνακα 5 και καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του πεδίου των δεξιοτήτων της συστημικής σκέψης (Assaraf & Orion, 2004), και γ) στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου.

**Πίνακας 4:** Γνώσεις, που αφορούν στις πηγές πολυπλοκότητας των δυναμικών συστημάτων (χαρακτηριστικές ιδιότητες - Χ)

<b>Ερμηνεία από Φεσάκη και Λαζακίδου (2015) - Προσαρμογή από Sterman (2001) σελ.: 12</b> (βλέπε Πίνακα 2 - Πηγές πολυπλοκότητας των δυναμικών συστημάτων)	<b>Γνώσεις, που αφορούν στα χαρακτηριστικά του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος της, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση</b>
<b>Χ1 Συνεχής μεταβολή</b>	
<b>Χ2 Ισχυρή διασύνδεση</b> Να παρατηρούν ότι στα πολύπλοκα συστήματα έχουμε ισχυρή αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του συστήματος μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους.	Να παρατηρήσουν ότι, κατά τη διάρκεια της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους αποφάσεις και ενέργειες ενός οδηγού επηρεάζουν τις αποφάσεις και τις ενέργειες ενός η περισσότερων οδηγών και μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης.
<b>Χ3 Διακυβέρνηση από την Ανατροφοδότηση</b> Να συμπεραίνουν ότι τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάστασή τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά.	Να συμπεραίνουν ότι, η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους.
<b>Χ4 Μη γραμμικότητα</b> Να συμπεραίνουν ότι τα αποτελέσματα είναι συχνά δυσανάλογα με τα αίτια. Ό,τι συμβαίνει τοπικά σε κάποια περιοχή του συστήματος δεν προδικάζει τι θα συμβεί σε απομακρυσμένες περιοχές ή άλλες περιστάσεις.	Να συμπεραίνουν ότι, 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 δεν θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη.
<b>Χ5 Εξάρτηση από την ιστορία – Μνήμη</b>	
<b>Χ6 Αυτό-οργάνωση</b> Να παρατηρούν ότι η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή. Συχνά μικρές τυχαίες διαταραχές ενισχύονται και διαμορφώνονται από την ανατροφοδότηση δημιουργώντας μοναδικά μοτίβα στο χώρο και στο χρόνο. Π.χ. οι ρίγες στις ζέβρες, ο καρδιακός ρυθμός, οι κύκλοι των αγορών κ.α.	Να παρατηρήσουν ότι τα μοτίβα, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης, οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων.
<b>Χ7 Προσαρμοστικότητα</b> 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. Η προσαρμοστικότητα είναι βασικός παράγοντας για την ικανότητα μάθησης των πολύπλοκων συστημάτων.	Να παρατηρήσουν, ότι κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους, οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις που δημιουργούνται.
<b>Χ8 Συμβιβασμούς</b>	
<b>Χ9 Αντί-διαισθητική συμπεριφορά (counterintuitive behavior)</b> 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 (γνωστική σύγκρουση). Αυτό οφείλεται συχνά στις χρονοκαθυστερήσεις και στην πολύπλοκη δομή των βρόγχων ανάδρασης, που δομούν το σύστημα. Αποτέλεσμα της αντιδιαισθητικής συμπεριφοράς είναι η εμφάνιση αντίστασης των συστημάτων σε επιχειρούμενες αλλαγές και μεταρρυθμίσεις και γενικά η δυσκολία διακυβέρνησής τους με αναλυτικές προσεγγίσεις, επειδή οι αποτελεσματικές πολιτικές πολλές φορές διαφέρουν από τις προφανείς.	Να συμπεραίνουν ότι (Helbing, 2012), α) Ενδέχεται να προκύψουν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα παρά τις καλύτερες προσπάθειες των οδηγών να κινούνται μπροστά και ομαλά β) Η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν συμβαίνει στην περιοχή της συμφόρησης αλλά πριν από αυτή.
<b>Χ10 Αντίσταση στις πολιτικές</b>	



**Πίνακας 5:** Δεξιότητες που καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του πεδίου των δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης (ΔΣΣ)

Κατηγορίες Δεξιοτήτων Συστημικής σκέψης που αφορούν στα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα (Assaraf & Orion, 2004)	Ικανότητες που περιλαμβάνουν (Assaraf & Orion, 2004)	Ικανότητες που περιλαμβάνουν σε σχέση με την κυκλοφοριακή συμφόρηση
<p><b>ΔΣΣ1</b> Δεξιότητα που αφορά στην ανάλυση του συστήματος</p>	<p><b>ΔΣΣ1α)</b> Να εντοπίζουν τα συστατικά ενός συστήματος. <b>ΔΣΣ1β)</b> Να εντοπίζουν τις διαδικασίες στο πλαίσιο του συστήματος.</p>	<p>Να εντοπίσουν τα δομικά στοιχεία του συστήματος (αυτοκίνητα και δρόμο). Να εντοπίσουν τις δυνατές ενέργειες των στοιχείων του συστήματος, που επηρεάζουν όλο το σύστημα π.χ. επιτάχυνση, επιβράδυνση ή ακόμα και σταμάτημα ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων.</p>
<p><b>ΔΣΣ2</b> Δεξιότητες που αφορούν στις σχέσεις των συνιστωσών του συστήματος – Δυναμική αντίληψη</p>	<p><b>ΔΣΣ2α)</b> Να προσδιορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος. <b>ΔΣΣ2β)</b> Να προσδιορίζουν τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος.</p>	<p>Η αναγνώριση της συσχέτισης των ανεξάρτητων κινήσεων των αυτοκινήτων, που αποτελούν το σύστημα, π.χ. η κατανόηση ότι μια ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση της ταχύτητας ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων θα μπορούσε να επηρεάσει την κυκλοφοριακή ροή. Να κατανοήσουν ότι μεμονωμένοι οδηγοί έχουν διαφορετική συμπεριφορά οδήγησης με διαφορετικές αντιδράσεις, αλλά και διαφορετικό χρόνο δράσης και ότι αυτό επηρεάζει την εξέλιξη του συστήματος, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, είτε πριν τη δημιουργία της, είτε κατά τη διάρκεια αυτής.</p>
<p><b>ΔΣΣ3</b> Δεξιότητες που αφορούν στην ιδέα του ότι ζούμε σε έναν κόσμο που ανακυκλώνεται-cycling world. Η κυκλική αντίληψη χρησιμεύει ως ένας μηχανισμός για τον προσδιορισμό των διαπροσωπικών σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών και την οργάνωση τους σε ένα δίκτυο, προϋποθέτει δε την κατανόηση της δυναμικής του υπό μελέτη συστήματος.</p>	<p>ΔΣΣ3α) Να κατανοούν την κυκλική φύση των συστημάτων. <b>ΔΣΣ3β)</b> Να οργανώνουν τα συστατικά και τις διαδικασίες των συστημάτων σε ένα πλαίσιο σχέσεων. ΔΣΣ3γ) Να κάνουν γενικεύσεις (δυναμική και κυκλική αντίληψη).</p>	<p>Αφορά α) στον προσδιορισμό του ορίου του αριθμού των αυτοκινήτων πάνω από το οποίο προκαλείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, β) στον προσδιορισμό του ρόλου της επιτάχυνσης στην εξέλιξη της κυκλοφοριακής ροής και γ) στον προσδιορισμό του ρόλου της επιβράδυνσης των αυτοκινήτων ως καθοριστικού παράγοντα δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης.</p>
<p><b>ΔΣΣ4</b> Δεξιότητες που αφορούν στην αναγνώριση των προτύπων και των αλληλεξαρτήσεων, που δεν φαίνονται στην επιφάνεια, αλλά και στην κατανόηση ότι ορισμένες από τις αλληλεπιδράσεις, που παρουσιάζονται εντός του συστήματος συνέβησαν στο παρελθόν, ενώ μελλοντικά γεγονότα μπορεί να είναι αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων (το φαινόμενο του ντόμινο).</p>	<p><b>ΔΣΣ4α)</b> Να κατανοούν τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος. ΔΣΣ4β) Να κάνουν αναδρομή και πρόβλεψη.</p>	<p>Η ικανότητα αυτή αφορά στην αναγνώριση προτύπων και αλληλεξαρτήσεων, που δεν φαίνονται στην επιφάνεια. Πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν μπορούν να λυθούν απλά με τη διαπλάτυνση ή την κατασκευή νέων δρόμων. Οι λύσεις του ζητήματος μπορεί να αφορούν σε καλύτερες εγκαταστάσεις, σε αλλαγές ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς (transportation system), το οποίο αποτελείται, εκτός από αυτοκίνητα και μηχανές, από λεωφορεία, μετρό, τραμ, σιδηρόδρομους και αεροπλάνα, αλλά και στην αλλαγή της νοοτροπίας των οδηγών. Μπορεί όμως και να οφείλονται στην αλλαγή της νοοτροπίας των οδηγών και της συμπεριφοράς τους την ώρα που οδηγούν.</p>

## 2.3 Στόχοι της έρευνας

Στόχος γενικότερα είναι συνήθως αυτό που προσπαθούμε να επιτύχουμε μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρόνο και σε καθορισμένες προθεσμίες. Οι στόχοι στην Εκπαιδευτική Πράξη είναι η μερικότερη έκφραση των γενικών και ειδικών σκοπών της εκπαίδευσης και η οριοθέτηση του τι πρέπει να γίνει μέσα στην τάξη. Πρέπει δε οι στόχοι να προσανατολίζονται σταθερά και να υπηρετούν τους εκπαιδευτικούς σκοπούς. Είναι προτάσεις που προσδιορίζουν με ακρίβεια και σαφήνεια το «τι» οι μαθητές θα είναι ικανοί να κάνουν ως αποτέλεσμα μιας διδασκαλίας (Δριμτζιάς, 2013). Σε μια Διδακτική Παρέμβαση μπορούν να θεωρηθούν ως τα ενδιάμεσα βήματα, που πρέπει να επιτευχθούν για να ανταποκριθούν στο σκοπό ή στους σκοπούς, που τίθενται από τον εκπαιδευτικό. Σύμφωνα με τη θεωρία Ταξινομίας του Bloom οι κατηγορίες εκπαιδευτικών στόχων αφορούν σε τρεις τομείς: α) στον γνωστικό τομέα, που περιλαμβάνει στόχους γνώσης και κατανόησης, β) στον συναισθηματικό τομέα, που αφορά σε συμπεριφορές, στάσεις και αξίες και γ) στον ψυχοκινητικό τομέα, που αφορά στην ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων, που στις μέρες μας καλύπτει το χώρο των νέων τεχνολογιών όπως και των κοινωνικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων. Ενίοτε αυτοί οι τομείς αλληλεπικαλύπτονται (Bloom et al., 1956).

Προκειμένου να απαντήσουμε στα ερευνητικά ερωτήματα, που έχουν τεθεί στη συγκεκριμένη έρευνα, εφαρμόστηκε Διδακτική Παρέμβαση και ερευνήθηκε η αποτελεσματικότητα της, στη βάση της επίτευξης των παρακάτω προκαθορισμένων μαθησιακών στόχων, που αφορούν σε γνώσεις, στάσεις και δεξιότητες των μαθητών.

Στόχοι που αφορούν σε **γνώσεις** (Γα-Γξ):

- Γα) Να **κατανοούν** την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος.
- Γβ) - Χ2 Να **παρατηρούν** ότι στα πολύπλοκα συστήματα έχουμε ισχυρή αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του συστήματος μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους (**Ισχυρή διασύνδεση**) (Πίνακας 4). Σχετίζεται άμεσα με το στόχο Γλ) - ΔΣΣ3β).
- Γγ) - Χ3 Να **συμπεραίνουν** ότι τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάσταση τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά, δηλαδή ότι η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους. (**Διακυβέρνηση από την Ανατροφοδότηση**) (Πίνακας 4).
- Γδ) - Χ4 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**) (Πίνακας 4). Δηλαδή, να συμπεράνουν ότι αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες, που αφορούν ένα φαινόμενο, που σχετίζεται με σύστημα που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος (π.χ. κυκλοφοριακή συμφόρηση) είναι ίδιες, το ίδιο φαινόμενο δεν θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη.
- Γε) - Χ6 Να **παρατηρούν** ότι η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή. Συχνά μικρές τυχαίες διαταραχές ενισχύονται και διαμορφώνονται από την ανατροφοδότηση δημιουργώντας μοναδικά μοτίβα στο χώρο και στο χρόνο. Π.χ. η κυκλοφοριακή συμφόρηση (**Αυτό-οργάνωση**) (Πίνακας 4). Συγκεκριμένα να παρατηρήσουν ότι τα μοτίβα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων.

- Γστ) - Χ7 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**) (Πίνακας 4). Κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις που δημιουργούνται.
- Γζ) - Χ9 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 (γνωστική σύγκρουση) (**Αντί-δαισθητική συμπεριφορά** - counterintuitive behavior) (Πίνακας 4). Να συμπεράνουν ότι α) ενδέχεται να προκύψουν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα, παρά τις καλύτερες προσπάθειες των οδηγών να κινούνται μπροστά και ομαλά και β) Η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν συμβαίνει στην περιοχή της συμφόρησης αλλά πριν από αυτή.
- Γη) - ΔΣΣ1α) Να **εντοπίζουν** τα συστατικά (δομικά στοιχεία) ενός συστήματος (Πίνακας 5). Στη συγκεκριμένη περίπτωση να αναγνωρίζουν ως συστατικά του συστήματος τα αυτοκίνητα και το δρόμο.
- Γθ) - ΔΣΣ1β) Να **εντοπίζουν** τις διαδικασίες στο πλαίσιο του συστήματος (Πίνακας 5). Να εντοπίζουν δηλαδή, τις δυνατές ενέργειες των στοιχείων του συστήματος, που επηρεάζουν όλο το σύστημα π.χ. επιτάχυνση, επιβράδυνση ή ακόμα και σταμάτημα ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων.
- Γι) - ΔΣΣ2α) Να **προσδιορίζουν** τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος (Πίνακας 5). Δηλαδή, να προσδιορίζουν τη συσχέτιση των ανεξάρτητων κινήσεων των αυτοκινήτων, που αποτελούν το σύστημα, π.χ. η κατανόηση ότι μια ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση της ταχύτητας ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων θα μπορούσε να επηρεάσει την κυκλοφοριακή ροή.
- Γκ) - ΔΣΣ2β) Να **προσδιορίζουν** τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος (Πίνακας 5). Μεμονωμένοι οδηγοί έχουν διαφορετική συμπεριφορά οδήγησης με διαφορετικές αντιδράσεις, αλλά και διαφορετικό χρόνο δράσης. Αυτό επηρεάζει την εξέλιξη του συστήματος, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, είτε πριν τη δημιουργία της, είτε κατά τη διάρκεια αυτής.
- Γλ) - ΔΣΣ3β) Να **οργανώνουν** τα συστατικά και τις διαδικασίες των συστημάτων σε ένα πλαίσιο σχέσεων (Πίνακας 5). Να προσδιορίζουν, α) το όριο του αριθμού των αυτοκινήτων πάνω από το οποίο προκαλείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, β) το ρόλο της επιτάχυνσης στην εξέλιξη της κυκλοφοριακής ροής και γ) το ρόλο της επιβράδυνσης των αυτοκινήτων ως καθοριστικού παράγοντα δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- Γμ) - ΔΣΣ4α) Να **κατανοούν** τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος (Πίνακας 5). Η ικανότητα αυτή αφορά στην αναγνώριση προτύπων και αλληλεξαρτήσεων, που δεν φαίνονται στην επιφάνεια. Πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν μπορούν να λυθούν απλά με τη διαπλάτυνση ή την κατασκευή νέων δρόμων. Μπορεί όμως και να οφείλονται στην αλλαγή της νοοτροπίας των οδηγών και της συμπεριφοράς τους την ώρα που οδηγούν.

- Γν) Να **συμπεράνουν** ότι δεν υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία όταν δημιουργείται ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή (**κεντρικός έλεγχος-centralized mindset**).
- Γξ) Να **αναγνωρίζουν** την αναγκαιότητα της ένταξης μοντέλων και στην έρευνα και στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μια πολυπρακτορική προσομοίωση σε NetLogo βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων και δίνει πιθανές απαντήσεις στο υπό μελέτη πρόβλημα.

Στόχοι που αφορούν σε **στάσεις** (Σα-Σστ):

- Σα) Να **υιοθετήσουν** τις αρχές του συνεργατικού τρόπου μάθησης.
- Σβ) Να **δίνουν αξία** και να **σέβονται** την άποψη των μελών της ομάδας τους, είτε συμφωνούν είτε όχι.
- Σγ) Να **ενθαρρύνουν** τη συνεργασία με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας τους.
- Σδ) Να **συμμετέχουν** ενεργά στην έρευνα, για την επίλυση προβλημάτων και τη λήψη αποφάσεων.
- Σε) Να **υποστηρίζουν** την άποψή τους αιτιολογώντας την με επιχειρήματα.
- Σστ) Να είναι **πρόθυμοι να αναγνωρίσουν** τα λάθη τους και να **αλλάξουν** άποψη υπό το φως των αποδείξεων.

Οι στόχοι των στάσεων είναι μετρήσιμοι, αφού η εκπαιδευτικός – ερευνήτρια κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της Διδακτικής Παρέμβασης παρατηρούσε και κατέγραφε τη συμπεριφορά και τη στάση των μαθητών μέσα στις ομάδες τους αλλά και μέσα στην τάξη. Όμως λόγω του περιορισμού, που τίθεται από το πλαίσιο αυτής της εργασίας, δεν θα αναλυθούν.

Στόχοι που αφορούν σε **δεξιότητες** (Δα-Δγ):

- Δα) Να **χειρίζονται** με άνεση το Μοντέλο **Traffic Basic**.
- Δβ) Να **επαληθεύουν** τις υποθέσεις που έχουν κάνει, ελέγχοντας την ορθότητά τους με τη βοήθεια του περιβάλλοντος της NetLogo.
- Δγ) Να **χρησιμοποιούν** όσο το δυνατό περισσότερο τα πλεονεκτήματα που τους προσφέρει η χρήση των ΤΠΕ κατά τη διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης.

## 2.4 Υποκείμενη Έρευνα και Νέο Πρόγραμμα Σπουδών (Π.Σ.) Γυμνασίου για τον Πληροφορικό Γραμματισμό

Το 2011 εκδόθηκε το νέο *Πρόγραμμα Σπουδών για τον Πληροφορικό Γραμματισμό στο Γυμνάσιο*, που παράχθηκε από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο στο πλαίσιο υλοποίησης της Πράξης «*ΝΕΟ ΣΧΟΛΕΙΟ (Σχολείο 21ου αιώνα) – Νέο πρόγραμμα σπουδών, στους Άξονες Προτεραιότητας 1,2,3, -Οριζόντια Πράξη*»<sup>5</sup>.

Ο γενικός σκοπός του νέου Π.Σ. για τις ΤΠΕ είναι οι μαθητές, που ολοκληρώνουν την υποχρεωτική εκπαίδευση, να έχουν ευκαιρίες για α) να αναπτύξουν τουλάχιστον τις προτεινόμενες ικανότητες στις ΤΠΕ (γνώσεις, δεξιότητες και στάσεις), β) να αποκτήσουν

<sup>5</sup> Το παρόν έργο έχει παραχθεί από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο στο πλαίσιο υλοποίησης της Πράξης «*ΝΕΟ ΣΧΟΛΕΙΟ (Σχολείο 21ου αιώνα) – Νέο πρόγραμμα σπουδών, στους Άξονες Προτεραιότητας 1,2,3, -Οριζόντια Πράξη*», με κωδικό MIS 295450 και ειδικότερα στο πλαίσιο του Υποέργου 1: «*Εκπόνηση Προγραμμάτων Σπουδών Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης και οδηγών για τον εκπαιδευτικό «Εργαλεία Διδακτικών Προσεγγίσεων*».

ποικίλες μαθησιακές εμπειρίες μέσα από την υλοποίηση δραστηριοτήτων με στόχο την επίλυση προβλημάτων από το σχολικό πρόγραμμα μαθημάτων και την ευρύτερη σχολική και κοινωνική ζωή (Νέο Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορικής, 2011). Απώτερος στόχος είναι η προετοιμασία όλων των μαθητών για την εκπαίδευση και την παραπέρα ζωή τους, καθώς και τη συμμετοχή τους στη σύγχρονη κοινωνία της γνώσης (knowledge society) (Νέο Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορικής, 2011).

Η Διάρθρωση του Π.Σ. λαμβάνει υπόψη της ότι οι ΤΠΕ θα συνεχίσουν να αναπτύσσονται και να διεισδύουν στο κοινωνικό πεδίο με ταχύτατους ρυθμούς, αναφέροντας την ανάγκη του Πληροφορικού Γραμματισμού των μαθητών. Ο όρος πληροφορικός γραμματισμός (ICT literacy) «*περιγράφει την ικανότητα των μαθητών να χρησιμοποιούν τις σύγχρονες ψηφιακές τεχνολογίες, τα εργαλεία επικοινωνίας και τις δικτυακές υπηρεσίες για την προσπέλαση, διαχείριση, ενσωμάτωση, αξιολόγηση, δημιουργία και επικοινωνία πληροφοριών, με στόχο την επίλυση προβλημάτων και, τελικά, τη συμμετοχή τους στη σύγχρονη κοινωνία της γνώσης (knowledge society)*» (Νέο Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορικής, 2011). Επίσης στο Νέο Π.Σ. προσδιορίζονται και εξειδικεύονται οι διαστάσεις του πληροφορικού γραμματισμού ανεξάρτητα από συγκεκριμένα εργαλεία και τεχνολογικές πλατφόρμες.

Σύμφωνα λοιπόν με το Νέο Π.Σ., αλλά και τις οδηγίες διδασκαλίας του μαθήματος της Πληροφορικής για τα Ημερήσια και τα Εσπερινά Γυμνάσια (Τάξεις: Α', Β', Γ'), που δόθηκαν από το Υπουργείο Παιδείας για το σχολικό έτος 2016-2017 (Εγκύκλιος, 2016), η ανάπτυξη των μαθητών συνίσταται σε τέσσερις διαστάσεις (συνιστώσες) α) Τεχνολογική, β) Γνωστική, γ) Επίλυση προβλήματος (problem solving) και δ) Κοινωνικές δεξιότητες.

Επίσης, αναφέρεται και στα δύο ότι «*Η διδασκαλία της Πληροφορικής στο Γυμνάσιο έχει σαφή εργαστηριακό προσανατολισμό. Βασικός παράγοντας είναι η ενεργός συμμετοχή κάθε μαθητή, η συνεχής αλληλεπίδραση και συνεργασία με τον διδάσκοντα και, κυρίως, με τους συμμαθητές του. Το Εργαστήριο Πληροφορικής αποτελεί για τους μαθητές χώρο μελέτης, έρευνας, ενεργητικής συμμετοχής και συνεργασίας, ώστε να ενθαρρύνεται και να ευνοείται η διερευνητική προσέγγιση της γνώσης, η αλληλεπιδραστική και συνεργατική μάθηση, η αυτενέργεια και η δημιουργικότητα*» (Εγκύκλιος, 2016).

Είναι γεγονός ότι στο σχολικό εργαστήριο και στο πλαίσιο ποικίλων δραστηριοτήτων, δίνεται η ευκαιρία στους μαθητές, χρησιμοποιώντας υπολογιστικά εργαλεία και τεχνικές, να δραστηριοποιούνται, να πειραματίζονται, να δημιουργούν και να ανακαλύπτουν τη γνώση. Εύλογο συμπέρασμα είναι ότι η διδασκαλία της Πληροφορικής δεν πρέπει να έχει γνωσιοκεντρικό ή βιβλιοκεντρικό χαρακτήρα. Όλα τα κεφάλαια και οι ενότητες του βιβλίου προσφέρονται για την υλοποίηση συνθετικών και ομαδοσυνεργατικών εργασιών, μέσα από τις οποίες μπορούν να επιτευχθούν οι στόχοι του μαθήματος, ώστε οι μαθητές να οικοδομήσουν νέες γνώσεις και να αναπτύξουν δεξιότητες στην Πληροφορική. Η χρήση των ΤΠΕ, σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, προσδίδει μια ιδιαιτερότητα στο μάθημα της Πληροφορικής και παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσής του με όλα σχεδόν τα γνωστικά αντικείμενα του Γυμνασίου. Προσφέρεται, συνεπώς, για την υποστήριξη διαθεματικών και διεπιστημονικών δραστηριοτήτων, μέσα από τις οποίες επιτυγχάνεται η ολιστική προσέγγιση της γνώσης και η ένταξη των ΤΠΕ στη σχολική ζωή.

Στο μάθημα της Πληροφορικής, για την υλοποίηση των εργαστηριακών ασκήσεων και των συνθετικών εργασιών και προκειμένου να εξυπηρετηθούν ο σκοπός και οι στόχοι τόσο του Νέου Π.Σ., όσο και της Εγκυκλίου, προτείνονται για χρήση διάφορα εργαλεία, όπως λογισμικά γενικής χρήσης, ελεύθερα λογισμικά (open office, gimp για την επεξεργασία εικόνας, audacity

για την επεξεργασία ήχου κ.ά.), προγραμματιστικά περιβάλλοντα Logo-like, Scratch κ.ά., τα οποία είτε έχουν αποσταλεί στα σχολεία από το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, είτε έχουν παραχθεί στο πλαίσιο των έργων Πλειάδες και Νηρηίδες του Υπουργείου Παιδείας (π.χ. «Ταξίδι σε ένα Δίκτυο»).

Ανάμεσα στα προτεινόμενα λογισμικά είναι και το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη Διδακτική Παρέμβαση (NetLogo – Έκδοση 5.3.1), η οποία εξυπηρετεί το σκοπό και τους στόχους του Νέου Π.Σ., αλλά και της Εγκυκλίου της Πληροφορικής του Γυμνασίου, που αφορούν σε γνώσεις, δεξιότητες, στάσεις και αξίες.

Συγκεκριμένα και όσο αφορά στη Β΄ Τάξη η Διδακτική Παρέμβαση εντάσσεται στον Άξονα προσδοκόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, που αφορά στην κατηγορία: Διερευνώ, ανακαλύπτω και λύνω προβλήματα σελίδα 32 της Εγκυκλίου του Υπουργείου Παιδείας (Εγκύκλιος, 2016). Οι προτεινόμενες ώρες διδασκαλίας της κατηγορίας αυτής είναι 13.

Επίσης, όσον αφορά στη Γ΄ Τάξη, η Διδακτική Παρέμβαση εντάσσεται στον Άξονα προσδοκόμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων, που αφορά στην κατηγορία: Διερευνώ, σχεδιάζω και λύνω προβλήματα, σελίδα 52 της Εγκυκλίου του Υπουργείου Παιδείας (Εγκύκλιος, 2016). Οι προτεινόμενες ώρες διδασκαλίας της κατηγορίας αυτής είναι δεκατέσσερις (14).

## 2.5 Αντικείμενο της Έρευνας: Κυκλοφοριακή συμφόρηση ένα πρόβλημα του χτες και του σήμερα

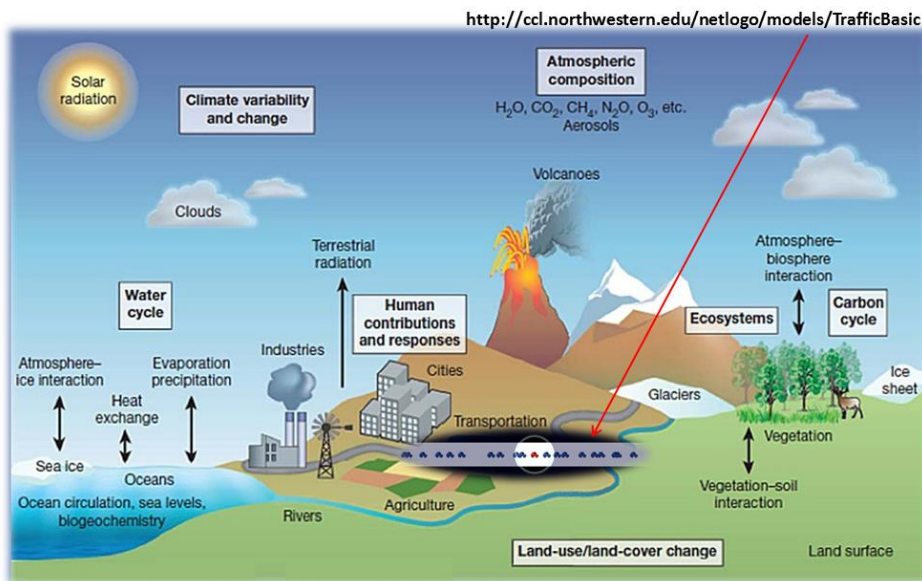
Στη βιβλιογραφία συναντάμε διάφορες ονομασίες για την κυκλοφοριακή συμφόρηση (traffic congestion) όπως μπουτιλιάρισμα (traffic jam), σταμάτα-ξεκίνα (stop-and-go), κατάσταση της κυκλοφορίας (traffic state), κύμα σταμάτα-ξεκίνα (stop-and-go wave (SGW)), ή ευρέως κινούμενο μπουτιλιάρισμα (wide moving jam) (Kerner, 2009). Είναι σαφές ότι όποια ονομασία και αν αποδώσουμε σε αυτό το φαινόμενο, βασικοί συντελεστές του είναι τα οχήματα και η κυκλοφορία τους στους δρόμους. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ένα από τα σύγχρονα καθημερινά προβλήματα στη ζωή ανήλικων και ενήλικων ατόμων του σύγχρονου κόσμου μας. Καθημερινά εκατομμύρια οδηγοί σε όλο τον κόσμο καθηλώνονται για μεγάλα χρονικά διαστήματα μέσα στα σχεδόν ακίνητα αυτοκίνητά τους, προσπαθώντας να φτάσουν στον προορισμό τους (στην εργασία τους, στην παραλία, στο αεροδρόμιο κ.ά. ) και ξαναζούν αυτή την εμπειρία καθώς προσπαθούν να επιστρέψουν στο σπίτι τους.

Στις μέρες μας το αυτοκίνητο αποτελεί για όλους μας ένα σύμβολο της οικονομικής κατάστασης, της αυτοδιάθεσης και της ανεξαρτησίας. Όταν κάποιος διαθέτει το δικό του αυτοκίνητο μπορεί να επιλέξει πότε και με ποιον θέλει να ταξιδέψει. Αποτέλεσμα αυτού είναι στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες του κόσμου να αποτελεί το πιο διαδεδομένο μέσο μεταφοράς.

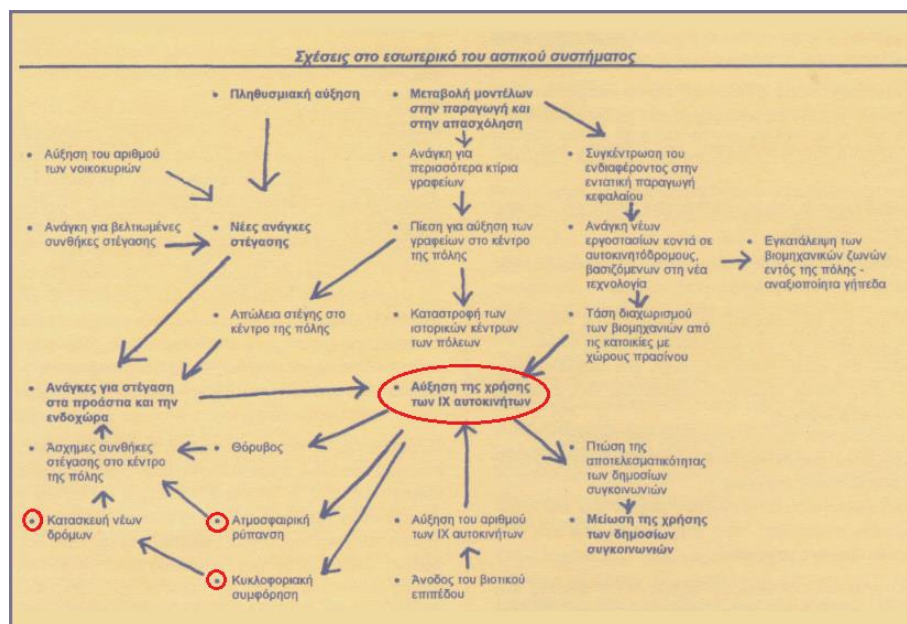
Η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), σε έρευνα που έκανε το 2014 στην Ελληνική Επικράτεια (<http://www.autogreeknews.gr/reportaz-autokinitou/7462-gnorizete-posa-ekatommyria-oximata-kykloforoyh-stin-ellada>), κατέγραψε σε 8.038.597 οχήματα, όταν στην τελευταία απογραφή πληθυσμού του 2011 οι νόμιμοι κάτοικοι ήταν 9.904.286. Από αυτά τα 5,1 εκ. είναι επιβατηγά αυτοκίνητα, τα 1,58 εκ. μοτοσικλέτες, τα 1,32 εκ. φορτηγά και τα υπόλοιπα, περίπου 38.000, είναι λεωφορεία. Η αύξηση, που προκύπτει από τη σύγκριση των στατιστικών στοιχείων του 2004, είναι σχεδόν 28%, αφού ο συνολικός στόλος των αυτοκινήτων, που είχε καταγραφεί, ήταν 6.258.379 οχήματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, μεταξύ των 8.038.597 οχημάτων, που καταγράφηκαν το 2014, τα 2.139.854 επιβατηγά, οι 485.325

μοτοσικλέτες, 260.073 φορτηγά και 12.551 λεωφορεία, κυκλοφορούν στην Αττική (σύνολο 2,9 εκατομμύρια).

Ο διαρκώς αυξανόμενος αριθμός αυτοκινήτων, σε όλο τον κόσμο, προκαλεί, όπως είναι λογικό, κυκλοφοριακή συμφόρηση και ιδιαίτερα στους δρόμους των πόλεων. Τα προβλήματα, που προκαλούνται από την κυκλοφοριακή συμφόρηση σε μία πόλη, σχετίζονται με τη μείωση της οδικής ασφάλειας, την αύξηση της ρύπανσης, άρα και την αρνητική επίδραση στο κλίμα, αλλά και την καταστροφική μεταβολή του περιβάλλοντος, λόγω της κατασκευής ολοένα και περισσότερων αυτοκινητόδρομων και χώρων στάθμευσης των αυτοκινήτων. Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε ενδεικτικά κάποιες από τις σχέσεις των αυτοκινήτων με το κλίμα και το περιβάλλον, αλλά και με το εσωτερικό του αστικού συστήματος (Εικόνα 46 και Εικόνα 47 αντίστοιχα).



Εικόνα 46 Σχέσεις των αυτοκινήτων με το κλίμα και το περιβάλλον  
(Πηγή: <https://www.gfdl.noaa.gov/earth-system-model/>)



Εικόνα 47 Σχέσεις των αυτοκινήτων με το εσωτερικό του αστικού συστήματος  
(Πηγή: [http://www.env-edu.gr/Documents/Από το "Πράσινο Βιβλίο για το Αστικό Περιβάλλον"](http://www.env-edu.gr/Documents/Από το ))

### 2.5.1 Πηγές κυκλοφοριακής συμφόρησης

Αποτελέσματα έρευνας έδειξαν ότι υπάρχουν επτά πηγές της κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις μεγαλύτερες κατηγορίες ([http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report/chapter2.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/chapter2.htm)).

#### 1<sup>η</sup> Κατηγορία

**Γεγονότα που επηρεάζουν την κυκλοφορία (Traffic-Influencing Events):**

1. **Κυκλοφοριακά ατυχήματα (Traffic Incidents):** Γεγονότα, που διαταράσσουν τη φυσιολογική ροή της κυκλοφορίας (τροχαία ατυχήματα, βλάβες, συντρίμια ή μπάζα μέσα στις λωρίδες, γεγονότα που συμβαίνουν δίπλα στο δρόμο και αποσπούν την προσοχή των οδηγών, χρήση του δρόμου από π.χ. την πυροσβεστική).
2. **Ζώνες εργασίας (Work Zones):** Κατασκευαστικές ή επισκευαστικές δραστηριότητες στο οδόστρωμα, που οδηγούν σε φυσικές αλλαγές στον περιβάλλοντα χώρο του αυτοκινητόδρομου (προκαλούν τη μείωση του αριθμού ή του πλάτους των λωρίδων του δρόμου ή εκτροπή του δρόμου).
3. **Καιρός (Weather):** Περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές της συμπεριφοράς των οδηγών, οι οποίες επηρεάζουν τη ροή της κυκλοφορίας (μειωμένη ορατότητα είτε από αντηλιά, είτε από ομίχλη ή καπνό, καθίζηση του εδάφους, υγρή, χιονισμένη ή παγωμένη επιφάνεια οδοστρώματος).

#### 2η Κατηγορία

**Κυκλοφοριακές απαιτήσεις (Traffic Demand):**

1. **Διακυμάνσεις στην κανονική κυκλοφορία (Fluctuations in Normal Traffic):** Μεταβλητότητα της ζήτησης, η οποία προκαλεί στους δρόμους τη μια μέρα πολύ κίνηση και την άλλη όχι.
2. **Ειδικές Εκδηλώσεις (Special Events):** Ειδική περίπτωση της διακύμανσης της ζήτησης, όπου η ροή της κυκλοφορίας στην περιοχή της εκδήλωσης θα είναι ριζικά διαφορετική από το "τυπικό" μοτίβο.

#### 3η Κατηγορία

**Φυσικά χαρακτηριστικά των αυτοκινητόδρομων (Physical Highway Features):**

1. **Συσκευές Ελέγχου Κυκλοφορίας (Traffic Control Devices):** Η διακοπή της ροής της κυκλοφορίας από συσκευές ελέγχου (φανάρια σε σιδηροδρομικές διαβάσεις, φανάρια με κακό χρονισμό κ.ά).
2. **Φυσική συμφόρηση "Χωρητικότητα" (Physical Bottlenecks ("Capacity")):** - Φυσική ικανότητα των δρόμων, δηλαδή το μέγιστο ποσό κυκλοφορίας (κίνησης), που μπορεί να μετακινείται από ένα συγκεκριμένο τμήμα αυτοκινητοδρόμου. Οι παράγοντες που το καθορίζουν είναι ο αριθμός και το πλάτος των λωρίδων, οι κόμβοι, οι καμπυλώσεις των δρόμων, οι σταθμοί διοδίων, η επιδεξιότητα των οδηγών στην οδήγηση (περισσότερη ή λιγότερη εξοικείωση των οδηγών σε δρόμους με κυκλοφοριακά προβλήματα).

### 2.5.2 Χαρακτηριστικά κυκλοφοριακής ροής

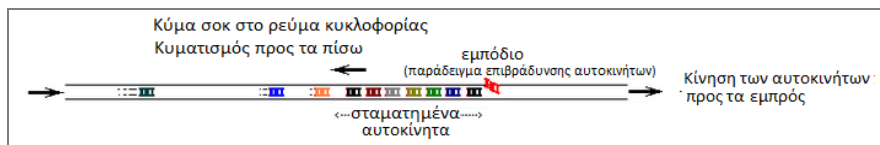
Κάτω από τις επτά πηγές συμφόρησης υπάρχουν τρία ελλοχεύοντα βαθύτερα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούν αναστάτωση, αποδιοργάνωση στην κυκλοφορία των αυτοκινήτων ([http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report/chapter2.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/chapter2.htm)):

#### 1<sup>ο</sup> Χαρακτηριστικό

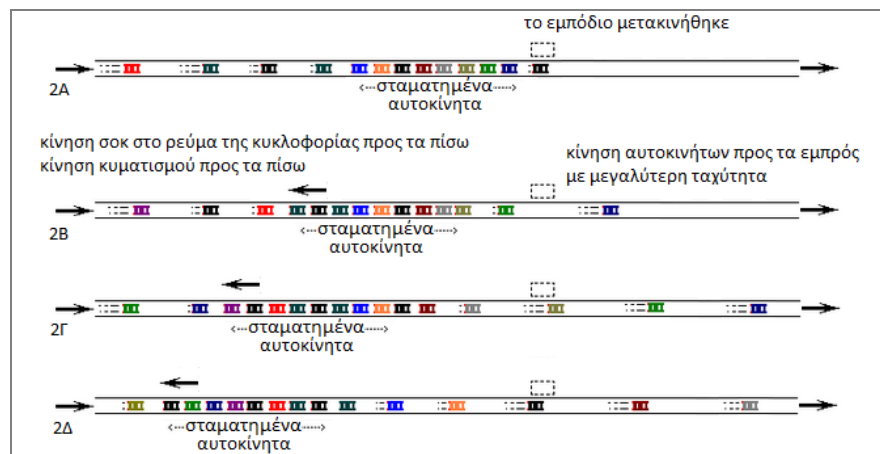
**"Συγκέντρωση μεγάλου αριθμού" αυτοκινήτων ως αποτέλεσμα της επιβράδυνσης (μείωσης της ταχύτητας) των αυτοκινήτων ("Bunching" of vehicles as a result of reduced speed)**



Σε περίπτωση που θα αναγκαστούν τα οχήματα να επιβραδύνουν και να πλησιάσουν το ένα το άλλο, να υπάρξει δηλαδή απότομη μεταβολή στην ταχύτητα, μπορούν να προκληθούν κύματα σοκ στο ρεύμα κυκλοφορίας, κυματισμός προς τα πίσω, προκαλώντας την επιβράδυνση ακόμη περισσότερων αυτοκινήτων (Εικόνα 48 και Εικόνα 49). Η επιβράδυνση αυτή μπορεί να προκληθεί από α) οπτικά γεγονότα που αντιλαμβάνονται οι οδηγοί (*Visual Effects on Drivers*) - δηλαδή οδικό περισπασμό-, ασυνήθιστα ή άτυπα γεγονότα (*Roadside distractions*), περιορισμένη πλευρική απόσταση (*limited lateral clearance*), περιστατικά που συμβαίνουν στην κυκλοφορία και προκαλούν τη νοσηρή περιέργεια των οδηγών (*Traffic incident "rubbernecking"*), δυσμενείς καιρικές συνθήκες που προκαλούν επιβράδυνση των αυτοκινήτων (*Incllement weather*) και β) απότομες αλλαγές στις λωρίδες κυκλοφορίας της εθνικής οδού (*Abrupt Changes in Highway Alignment*), που μπορούν και πάλι να προκαλέσουν επιβράδυνση των αυτοκινήτων (βαθουλώματα ή εξογκώματα στο οδόστρωμα, αυξομειώσεις ταχύτητας, ζώνες εργασίας επισκευής του οδοστρώματος κ.ά.).



**Εικόνα 48** Παρατεταγμένα αυτοκίνητα πίσω από ένα εμπόδιο  
(Πηγή: <http://www.smartmotorist.com/The Physics Behind Traffic Jams>)



**Εικόνα 49** Κίνηση σοκ στο ρεύμα της κυκλοφορίας προς τα πίσω - Κίνηση κυματισμού προς τα πίσω  
(Πηγή: <http://www.smartmotorist.com/The Physics Behind Traffic Jams>)

## 2<sup>ο</sup> Χαρακτηριστικό

**Καθυστερήσεις της κυκλοφοριακής ροής από πρόθεση – Σκόπιμες καθυστερήσεις (*Intended Interruption to Traffic Flow - "Bottlenecks on purpose"*)**. Παρουσιάζονται όταν υπάρχουν Συσκευές Ελέγχου Κυκλοφορίας (π.χ. φανάρια, σταθμοί διοδίων κ.ά.) (Εικόνα 50).



**Εικόνα 50** Bottleneck Traffic

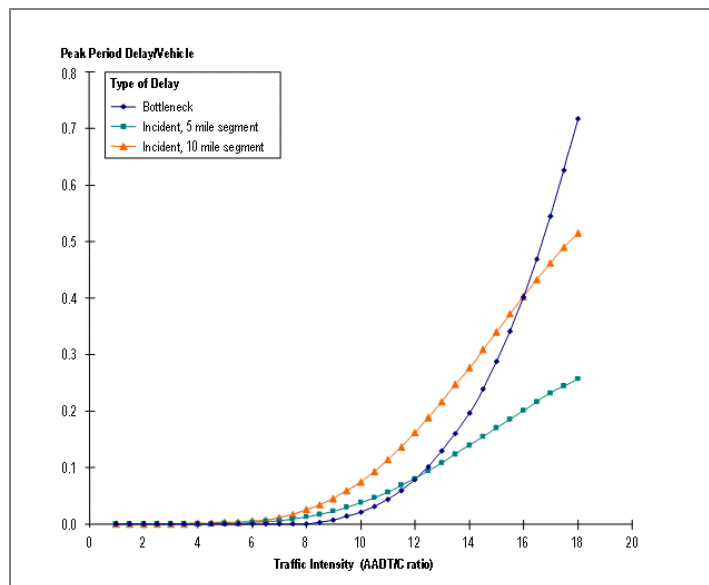
(Πηγή: <http://udaiwal-sk.blogspot.gr/2016/01/bottleneck-understanding-limitations.html>)

### 3ο Χαρακτηριστικό

#### Μανούβρες οχημάτων που προκύπτουν από συγχωνεύσεις λωρίδων κυκλοφορίας (*Vehicle Merging Maneuvers*)

Το πόσο σοβαρή είναι η επίδραση αυτών των συγχωνεύσεων στη ροή της κυκλοφορίας, εξαρτάται από το πόσα οχήματα βρίσκονται στο συγκεκριμένο σημείο τη δεδομένη χρονική στιγμή. Τέτοιου είδους συγχωνεύσεις μπορεί να αφορούν: α) μείωση, για οποιοδήποτε λόγο, λωρίδων κυκλοφορίας, β) φράξιμο δρόμου και διοχέτευση της κυκλοφορίας σε παρόδους, γ) διοχέτευση πολλών λωρίδων κυκλοφορίας σε μια είσοδο ή μια έξοδο ("weaving areas"), δ) κεκλιμένες ράμπες αυτοκινητόδρομων – συγχώνευση περιοχών όπου η κυκλοφορία σε τοπικές οδούς μπορεί να συναντήσει έναν αυτοκινητόδρομο και ε) κόμβος που ενώνει αυτοκινητόδρομο με αυτοκινητόδρομο και δημιουργεί φυσική συμφόρηση λόγω της εμπλοκής μεγάλου όγκου οχημάτων στην κυκλοφορία.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας του Department of Transportation - Federal Highway Administration των Ηνωμένων Πολιτειών οι ακριβείς αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των πηγών της συμφόρησης δεν είναι ακόμη γνωστές, αλλά λαμβάνουν υπόψη τους τα δεδομένα, που εμφανίζονται στην Εικόνα 51.



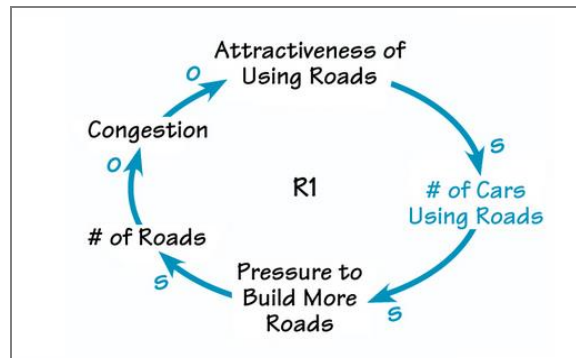
**Εικόνα 51** Σχέση Γεγονότος (Incident) και Καθυστερήσης που οφείλεται σε συμφόρηση (Bottleneck Delay) με την ένταση της κυκλοφορίας (Πηγή: [http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report/chapter2.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/chapter2.htm))

Ένα ασφαλές συμπέρασμα είναι ότι, εγκαταστάσεις με μεγαλύτερη βασική χωρητικότητα είναι λιγότερο τρωτές στην αποδιοργάνωση της κυκλοφορίας (ένα γεγονός το οποίο μπλοκάρει μια λωρίδα αυτοκινήτων έχει μεγαλύτερη επίδραση σε έναν αυτοκινητόδρομο με δύο λωρίδες κυκλοφορίας από ότι σε έναν αυτοκινητόδρομο με τρεις λωρίδες).

#### 2.5.3 Συστημική προσέγγιση του προβλήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης

Παρατηρούμε όμως, βλέποντας την Εικόνα 52, ότι η ελκυστικότητα που προκαλούν καλύτερες εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε μια αλυσιδωτή αντίδραση (Εικόνα 53).

Η αντίσταση πολιτικής (policy resistance) που προκύπτει σε αυτή την περίπτωση, οφείλεται στη δυναμική πολυπλοκότητα -τη συχνά αντιφατική συμπεριφορά πολύπλοκων συστημάτων- που προκύπτει από τις αλληλεπιδράσεις των παραγόντων (agents) του συστήματος, που σχετίζονται με την κυκλοφορία των αυτοκινήτων με την πάροδο του χρόνου (Εικόνα 52).



**Εικόνα 52** Διάγραμμα βρόχου - Σχέση Γεγονότος (Incident) και Καθυστερήσης που οφείλεται σε συμφόρηση (Bottleneck Delay) με την ένταση της κυκλοφορίας (Πηγή: <https://thesystemsthinker.com/systems-thinking-at-bmw-clearing-up-germanys-traffic-jam/>)



**Εικόνα 53** Αλυσιδωτή αντίδραση που προκαλούν οι καλύτερες εγκαταστάσεις

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, στελέχη αυτοκινητοβιομηχανιών αλλά και επιστήμονες, αναγνώρισαν ότι πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση, δεν μπορούν να λυθούν απλά με τη διαπλάτυνση ή την κατασκευή νέων δρόμων και πρότειναν λύσεις που αφορούν σε αλλαγές ολόκληρου του συστήματος μεταφοράς (transportation system), το οποίο αποτελείται εκτός από αυτοκίνητα και μηχανές, από λεωφορεία, μετρό, τραμ, σιδηρόδρομους και αεροπλάνα. Μια συστημική προσέγγιση του προβλήματος αυτού φάνηκε ότι ήταν απαραίτητη για το σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης της οδικής κυκλοφορίας, που θα μπορούσε να ενσωματώσει τις υπάρχουσες υποδομές μεταφορών και τη δύναμη των πλεονεκτημάτων τους. Μια λύση στο πρόβλημα θα μπορούσε να δοθεί εάν εκπονούνταν προγράμματα, σχετικά με τις μεταφορές. Σε αυτή τη περίπτωση οι συμμετέχοντες στα προγράμματα, πολιτικοί φορείς, πρόσωπα από υπηρεσίες του δημοσίου, επιστήμονες, αλλά και ιδιώτες (π.χ. από αυτοκινητοβιομηχανίες), θα μπορούσαν, ανταλλάσσοντας απόψεις, να καταστήσουν κατανοητές τις απόψεις τους και έτσι να επιτευχθεί μια συστημική προσέγγιση.

Σε άρθρο των Zulauf και Schneider αναφέρεται ότι το 1991 στο Μόναχο η BMW ξεκίνησε μια ολοκληρωμένη έρευνα για τις μεταφορές. Ο τίτλος του έργου ήταν COMFORT (Cooperative Management for Urban and Regional Transportation). Υποστηρίχθηκε από 50 εταιρούς, που προέρχονταν από επιχειρήσεις, τη βιομηχανία, την πολιτική και την επιστημονική κοινότητα και ως στόχο είχε να βρεθεί μια ανακουφιστική λύση στα κυκλοφοριακά προβλήματα του επιβαρυσμένου από την κυκλοφορία οχημάτων βόρειου τμήματος του Μονάχου. Η επιβάρυνση της κυκλοφορίας οφείλονταν στην κυκλοφορία οχημάτων, α) που σχετίζονται με το εμπόριο, β) που μετακινούνται λόγω διακοπών και γ) που κινούνται συστηματικά στο τμήμα αυτό του δρόμου και ήταν κάτοχοι εισιτηρίων διαρκείας. Για δύο χρόνια, 1992 και 1993, εγκαταστάθηκε στο κτίριο των περιφερειακών διοικητικών αρχών του Μονάχου ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα. Με το σύστημα αυτό συλλέγονταν δεδομένα σχετικά με την κυκλοφοριακή πυκνότητα, τα ατυχήματα και τις προειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης, τον καιρό, τις ταξιδιωτικές πληροφορίες, καθώς και τις τοπικές και υπεραστικές δημόσιες και ιδιωτικές μεταφορές. Στη συνέχεια το Κέντρο Στρατηγικής και Υπηρεσιών χρησιμοποιούσε τις πληροφορίες για να σχεδιάσει στρατηγικές κυκλοφορίας-ελέγχου, προκειμένου να παρέχει

στους χρήστες των δρόμων επίκαιρες ανακοινώσεις γύρω από την κυκλοφορία και να προτείνει στρατηγικές μετακίνησης στους ταξιδιώτες, ώστε αυτοί με τη σειρά τους, λαμβάνοντάς τις υπόψη τους, να έφθαναν στον προορισμό τους με πιο οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο. Το νέο αυτό σύστημα ελέγχου της κυκλοφορίας οδήγησε σε μείωση του χρόνου ταξιδιού, μείωση του κόστους λειτουργίας (π.χ. των λεωφορείων και των τραμ, λόγω της μείωσης του χρόνου ταξιδιού), πώση των επιπέδων ρύπανσης, περιβαλλοντικά οφέλη, μείωση των ατομικών μετακινήσεων, καθώς και μετακινήσεις με μεγαλύτερη ασφάλεια. Από το 1991 έως το 1993, η κυκλοφοριακή συμφόρηση μειώθηκε στο μεγαλύτερο τμήμα του Μονάχου κατά 30%, ο αριθμός των ατυχημάτων κατά 36% και η συχνότητα των ατυχημάτων, που σχετίζονταν με σωματικές βλάβες, κατά 34% (Zulauf & Schneider, 2016).

#### 2.5.4 Μοντελοποίηση κυκλοφοριακής συμφόρησης

Έχουν αναπτυχθεί πολλές διαφορετικές θεωρίες, που αφορούν στην μοντελοποίηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της κίνησης του κύματος, που προκαλείται από το σταμάτα-ξεκίνα και σε μικροσκοπικό και σε μακροσκοπικό επίπεδο. Σε μακροσκοπικό επίπεδο έχουν δοθεί με μαθηματικά μοντέλα πολλές και διαφορετικές ερμηνείες για τις καταστάσεις που δημιουργούνται από το σταμάτα-ξεκίνα, οι οποίες είναι πολύ πιο περίπλοκες από τις εξηγήσεις που δίνονται με πρακτικές μεθόδους (heuristic explanation). Αυτό συμβαίνει γιατί σε μικροσκοπικό επίπεδο μεμονωμένοι οδηγοί έχουν διαφορετική συμπεριφορά οδήγησης με διαφορετικές αντιδράσεις, αλλά και διαφορετικό χρόνο δράσης (Yin & Qiu, 2012). Είναι απαραίτητο να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα σε αυτό το επίπεδο λόγω της πολυεπίπεδης φύσης της κυκλοφορίας: η απόφαση ενός οδηγού μπορεί να αποτελέσει την έναρξη ενός μπουτιλιαρίσματος, ή περισσότερων μπουτιλιαρισμάτων επηρεάζοντας χιλιάδες οδηγούς, τη μισή πόλη μακριά από το σημείο έναρξης του μπουτιλιαρίσματος, μισή ώρα αργότερα, όπως συμβαίνει με το φαινόμενο της πεταλούδας (Traouez, Daudé & Langlois, 2010).

Φαίνεται ότι ο τρόπος οδήγησης και η κυκλοφοριακή συμφόρηση σχετίζονται. Καταστάσεις που συμβαίνουν στους δρόμους, τις οποίες περιγράψαμε προηγουμένως αναλύοντας τα τρία ελλοχεύοντα βαθύτερα χαρακτηριστικά της κυκλοφοριακής ροής, που βρίσκονται κάτω από τις επτά πηγές συμφόρησης, ανεξάρτητα από το αν το μπουτιλιαρίσμα που προκαλούν είναι επαναλαμβανόμενο (δηλαδή συμβαίνει τακτικά κατά τις ώρες αιχμής σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος των δρόμων), ή μη επαναλαμβανόμενο (δηλαδή προκαλείται από διάφορα περιστατικά που δημιουργούν αναστάτωση, αποδιοργάνωση στην κυκλοφορία των αυτοκινήτων), συνδέονται με την συμπεριφορά των οδηγών. Οι οδηγοί είναι οι βασικοί συντελεστές οποιασδήποτε κατάστασης. Για να πετύχει μακροπρόθεσμα οποιαδήποτε ιδέα διαχείρισης της κυκλοφορίας και να ξεφύγει από την απλή λογική της, που θέλει να λύνονται όλα τα προβλήματα της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων με την διαχείριση και μόνο του οδικού δικτύου, πρέπει να αλλάξουν τα μακροχρόνια νοητικά μοντέλα των ανθρώπων, που σχετίζονται με τα αυτοκίνητα και άλλα μέσα μεταφοράς και την κυκλοφορία τους γενικότερα.

Πρόσφατες έρευνες ασχολούνται με την ανάπτυξη Ευφυών Μεταφορών Συστημάτων - Intelligent Transportation System (ITS). Η τεχνολογία υπολογιστικής προσομοίωσης διαδραματίζει καίριο ρόλο στην ανάπτυξη αυτού του τομέα. Το 2015 οι Han et al, δημοσίευσαν έρευνα (An Urban Traffic Simulation System Based On Multi-agent Modeling) στην οποία παρουσιάστηκε και εφαρμόστηκε ένα σύστημα προσομοίωσης κυκλοφορίας πολυ-πρακτόρων (a multi-agent traffic simulation system) σε πλατφόρμα NetLogo. Οι πράκτορες, που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το σύστημα, ήταν α) τα τμήματα αστικής κυκλοφορίας, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων, β) τα οδικά τμήματα και γ) οι

διασταυρώσεις. Σε αυτή την προσομοίωση κάθε πράκτορας είχε τις βασικές ικανότητες της απόκτησης γνώσεων, της αυτονομίας, της αλληλεπίδρασης και της επικοινωνίας. Στο μοντέλο δρόμου πράκτορα (road agent model), ενσωματώθηκε η ικανότητα πρόβλεψης της ροής της κίνησης για να προκαλέσει τη δράση πρακτόρων των οχημάτων (vehicle agents) και να βοηθήσει τον πράκτορα διασταύρωσης (intersection agent) να ελέγξει το σήμα κυκλοφορίας (traffic signal). Οι πράκτορες και οι διαδραστικές ενέργειες αποτέλεσαν το σύνθετο δυναμικό σύστημα προσομοίωσης της κυκλοφορίας. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι το προτεινόμενο σύστημα κίνησης πολλαπλών πρακτόρων αποδίδει καλά την απεικόνιση της εξέλιξης της συμπεριφοράς του δυναμικού συστήματος, που σχετίζεται με την κυκλοφορία (Han et. all, 2015).

## **2.6 Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα και τη Συστημική Ανάλυση (Συστημική Δυναμική / Συστημική Σκέψη)**

Σε πολλούς τομείς εκτός εκπαίδευσης η θεωρία των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και τα αντίστοιχα λογισμικά περιβάλλοντα μοντελοποίησης και προσομοίωσης, παρουσιάζουν ήδη πολλές επιτυχημένες εφαρμογές (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015). Οι επιστήμονες μέσα από το φακό των πολύπλοκων συστημάτων παρατηρούν τη συμπεριφορά ενός συστήματος σε μακροσκοπικό επίπεδο και την ανάδυση των φαινομένων από τις αλληλεπιδράσεις των δομικών στοιχείων (ή πρακτόρων) του συστήματος σε μικροσκοπικό επίπεδο (Erstein, 1999 στο Guo & Wilensky, 2016). Η προσέγγιση των πολύπλοκων συστημάτων εκτός από επιστημονική ισχύ, παρουσιάζει και παιδαγωγικό ενδιαφέρον, γιατί έννοιες και μέθοδοι, όπως η αναδυόμενη συμπεριφορά, η αυτοοργάνωση, ο θετικός βρόχος ανατροφοδότησης και η μοντελοποίηση με πράκτορες, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να αναπτύξουν νέους νοητικούς ορίζοντες και νέα επεξηγηματικά πλαίσια σε διεπιστημονική βάση (Jacobson & Wilensky, 2006). Επιπλέον, η εμπλοκή των μαθητών στο πεδίο της Συστημικής Δυναμικής και η ανάπτυξη δεξιοτήτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη, τους βοηθά να αποκτήσουν καλύτερη κατανόηση του εαυτού τους, αλλά και της συμπεριφοράς του πραγματικού σημερινού κόσμου, δηλαδή καταστάσεων φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών.

Στην εκπαίδευση καταγράφονται παραδείγματα, τα οποία είναι μεν πολύ λιγότερα, αλλά διαρκώς αυξανόμενα (Φεσάκης & Λαζακίδου, 2015). Εμπειρικές μελέτες προτείνουν, ότι τα Agent-Based Models (ABMs) μπορούν να βοηθήσουν να δημιουργηθεί ένα κατώφλι για τη μάθηση των πολύπλοκων συστημάτων προσβάσιμο από τους μαθητές, ώστε να βοηθηθούν, μεταξύ άλλων, να ξεπεράσουν την «ντετερμινιστική-συγκεντρωτική νοοτροπία» τους (DC) (π.χ., Sengupta & Wilensky 2009, στο Guo & Wilensky, 2016).

Την τελευταία δεκαετία συζητείται διεθνώς η εισαγωγή στοιχείων από τα Πολύπλοκα Συστήματα στην Πρωτοβάθμια και στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (English, 2007). Στις ΗΠΑ το Indiana University έχει χρηματοδοτηθεί με ένα εκατομμύριο δολάρια από το National Science Foundation προκειμένου να διερευνηθούν οι αντιλήψεις των μαθητών γύρω από τα Πολύπλοκα Συστήματα (Indiana University, 2013). Ανάλογες έρευνες έχουν χρηματοδοτηθεί και διεξαχθεί από α) ανεξάρτητα ινστιτούτα, όπως το New England Complex Systems Institute (NECSI, 2016), β) κολλέγια, όπως το Carleton College στο Northfield της Μινεσότα (Carleton College, 2016), αλλά και γ) πανεπιστήμια, όπως το Πανεπιστήμιο του Σικάγο (University of Chicago, 2011). Ειδικότερα το Santa Fe Institute, που ειδικεύεται στα Πολύπλοκα Συστήματα, σε συνεργασία με άλλα ιδρύματα, στηρίζει το project GUTS (Growing Up Thinking Scientifically), που απευθύνεται σε μαθητές Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Το project GUTS,

μεταξύ άλλων, προωθεί την εξερεύνηση των Πολύπλοκων Συστημάτων με τη βοήθεια πολυπρακτορικών προσομοιώσεων της StarLogo και της NetLogo (Project GUTS, 2014). Όπως έχει αναφερθεί η StarLogo αναπτύχθηκε από τους Mitchel Resnick και Eric Klopfer του MIT στο πλαίσιο προγράμματος εκπαίδευσης εκπαιδευτικών και η NetLogo σχεδιάστηκε από τον Uri Wilenski, διευθυντή του Center for Connecting Learning του πανεπιστημίου του Northwestern (Project GUTS, 2014).

Το περιβάλλον της NetLogo, σύμφωνα με την επιστημονική βιβλιογραφία (Wilensky, 1999), είναι κατάλληλο για τη διδασκαλία πολύπλοκων, φυσικών ή κατασκευασμένων από άνθρωπο συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα έχει χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διδαχθούν πολύπλοκες πτυχές συστημάτων, όπως οικολογικών συστημάτων και οικοσυστημάτων (Vattam et al, 2011, Basu et al., 2011, στο Gkiolmas et al., 2014c). Αναφορικά με τα φυσικά συστήματα και όχι μόνο, οι ερευνητές χρησιμοποιούν στη διδασκαλία τους τη NetLogo, είτε ως περιβάλλον προσομοίωσης σε συνδυασμό με φύλλα εργασίας (Levy & Wilensky, 2008, 2011, Thompson, 2007, στο Gkiolmas et al., 2014c), είτε αφού έχουν διδάξει στο παρελθόν στους μαθητές τους βασικές αρχές προγραμματισμού με τη NetLogo, στη συνέχεια τη χρησιμοποιούν ως εκπαιδευτικό εργαλείο (Hashem & Mioduser, 2011, 2012, στο Gkiolmas et al., 2014c), είτε οι μαθητές «χτίζουν» ένα νέο μοντέλο NetLogo, χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζουν να προγραμματίζουν στη NetLogo, χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα εργαλεία της NetLogo, όπως κουμπιά (buttons), ρυθμιστές (sliders) και μετρητές (counters) και ταυτόχρονα μαθαίνουν μέσα από αυτή τη διαδικασία, σύμφωνα με τις βασικές αρχές του κονστρουκτιονισμού (Papert) (Gkiolmas et al., 2014c).

Έχουν παρουσιαστεί πολλές εργασίες, που αφορούν στα πολύπλοκα συστήματα σε σχέση α) με περιβάλλοντα μοντελοποίησης, β) μαθητές (όλων των βαθμίδων), αλλά και γ) άλλους αρχάριους στο μοντελισμό. Μερικές από αυτές είναι:

- «*Complex Systems and Education: Cognitive, Learning, and Pedagogical Perspectives*» (Jacobson & Working Group 2 Collaborators, 1999)
- «*Butterflies, traffic jams, and cheetahs: Problem solving and complex systems*» (Jacobson, 2000)
- «*Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices*» (Jacobson, 2001)
- «*Leadership of information technology for teacher education: a discussion of complex systems with dynamic models to inform shared leadership*» (Davis, 2002)
- «*Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions*» (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)
- «*Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences*» (Jacobson & Wilensky, 2006)
- «*Modeling Students Modeling Abilities: The Teaching and Learning of Complex Systems in Education*» (Lesh, 2009)

Στις υποενότητες 2.6.1 έως και 2.6.3, παρουσιάζεται μια ανασκόπηση ερευνών, που έχουν διεξαχθεί τόσο στο εξωτερικό, όσο και στην Ελλάδα, στις οποίες χρησιμοποιείται το περιβάλλον της NetLogo σε μια προσπάθεια εισαγωγής στοιχείων που αφορούν στα Πολύπλοκα Συστήματα τόσο στη Δευτεροβάθμια, όσο και στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση.

Στις υποενότητες 2.6.4 έως και 2.6.5, παρουσιάζεται μια ανασκόπηση ερευνών, που έχουν διεξαχθεί τόσο στο εξωτερικό, όσο και στην Ελλάδα, στις οποίες χρησιμοποιούνται

περιβάλλοντα μοντελοποίησης, όπως αυτό της NetLogo, σε μια προσπάθεια να αναπτύξουν οι μαθητές δεξιότητες που αφορούν στη Συστημική Σκέψη.

Στην υποενότητα 2.6.6. παρατίθενται ιστοσελίδες που αφορούν στη Συστημική Ανάλυση και στα πολύπλοκα συστήματα σε σχέση με την εκπαίδευση.

### 2.6.1 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο εξωτερικό

- «*Emergent Entities and Emergent Processes: Constructing Emergence through Multi-Agent Programming*» (Wilensky, 2001)

Τον Απρίλιο του 2001 ο Uri Wilensky παρουσίασε στο Annual Conference of the American Educational Research Association, στο Σιάτλ, την έρευνα με θέμα: «*Emergent Entities and Emergent Processes: Constructing Emergence through Multi-Agent Programming*». Στην εργασία αυτή επικεντρώθηκε σε μια σημαντική, για τότε, εξέλιξη στο σχεδιασμό γλωσσών προγραμματισμού, που ανανέωσε τη συζήτηση σχετικά με τη μάθηση μέσω προγραμματισμού. Οι νέες αυτές γλώσσες, που περιελάμβαναν στη βασική τους οντολογία αντικείμενα και θεμελιακά στοιχεία, που οργανώνονταν σε διάφορους τομείς της γνώσης, δεν ήταν άλλες από τις πολυπρακτορικές γλώσσες μοντελοποίησης StarLogo/T [(Resnick, 1999, Wilensky, 1995) στο Wilensky, 2001] και NetLogo [(Wilensky, 1999, Wilensky & Stroup, 2000) στο Wilensky, 2001] και είναι οι γλώσσες που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μελέτη, η οποία εστίαζε την προσοχή της στα συστήματα και στα αναδυόμενα φαινόμενα.

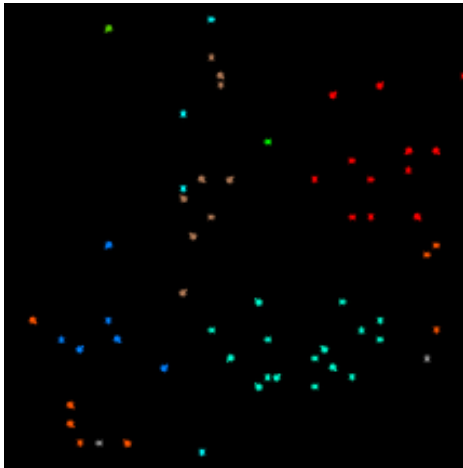
Η έρευνα έγινε με αφορμή τις απόψεις που είχαν εκφραστεί τη δεκαετία του 1980 σχετικά με τη φύση του προγραμματισμού με ηλεκτρονικούς υπολογιστές και τις δυσκολίες των παιδιών στην εκμάθηση του προγραμματισμού, αλλά και τις αμβιβολίες, που είχαν διατυπωθεί, για το κατά πόσο ο προγραμματισμός μπορεί να παίξει τον κατάλληλο ρόλο στον τομέα της εκπαίδευσης. Ορισμένοι πίστευαν ότι ο προγραμματισμός 1) είναι πολύ δύσκολος για τα περισσότερα παιδιά, 2) δεν παρέχει οποιαδήποτε μαθησιακά οφέλη και 3) δεν είναι απαραίτητος για να γίνει αντιληπτή η εκπαιδευτική δυναμική της ψηφιακής τεχνολογίας. Η άποψη αυτή περί «αντι-προγραμματισμού» (π.χ., Pea & Kurland, 1984, στο Wilensky, 2001), με το πέρασμα του χρόνου είχε αλλάξει αρκετά λόγω της αύξησης του αριθμού των υπολογιστών μέσα στις τάξεις, αλλά και του πολλαπλασιασμού των μαθημάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών, που είχαν στόχο τον σχετικό αλφαριθμητισμό των μαθητών και κατά συνέπεια την αύξηση του αριθμού των μαθητών που ασχολούνταν με τον προγραμματισμό.

Στην έρευνα συμμετείχαν μαθητές του όγδοου επίπεδου [eighth grade<sup>6</sup> (Wikipedia, 2016e)] που παρακολούθησαν μάθημα των Φυσικών Επιστημών με τη χρήση αυτών των νέων επιστημολογικά εμπλουτισμένων γλωσσών προγραμματισμού - multi-agent StarLogoT και NetLogo. Η διδακτική παρέμβαση είχε το όνομα EMERGE και διεξήχθη σε 21 συνεδρίες μέσα σε περίοδο τριών μηνών. Μέσα στην ύλη του αναλυτικού προγράμματος ενσωματώθηκε ο προγραμματισμός και η διαδικασία της μοντελοποίησης, προκειμένου να μελετηθούν η πολυπλοκότητα, η διαδικασία του παραλληλισμού και τα αναδυόμενα φαινόμενα. Οι μαθητές στην αρχή εξοικειώθηκαν με το περιβάλλον και έπειτα, εργαζόμενοι σε ζευγάρια, δημιούργησαν ένα απλό μοντέλο πληθυσμού δίνοντας διάφορα χρώματα στις χελώνες για να δείξουν ποια είναι η ηλικία τους (π.χ. κόκκινο χρώμα ήταν οι μεσόκοπες χελώνες γονείς -

---

<sup>6</sup> Στις Ηνωμένες Πολιτείες το επίπεδο αφορά συνήθως τον δεύτερο ή τον τρίτο χρόνο του Γυμνασίου (high school) (Wikipedia, 2016e).

"middle-aged" parent, μπλε χρώμα ηλικιωμένοι γονείς - "old" parent), στο οποίο διαδραματίζονταν γεννήσεις και θάνατοι μελών του πληθυσμού (Εικόνες 54 και 55).



Εικόνα 54 StarLogoT - Αυξανόμενος πληθυσμός (Wilensky, 2001)



Εικόνα 55 StarLogoT - Χελώνες που επιβίωσαν (Wilensky, 2001)

Τα αποτελέσματα της έρευνας αποτέλεσαν αδιάσειστα αποδεικτικά στοιχεία κατά των τριών αρνητικών ανωτέρω ισχυρισμών περί «αντι-προγραμματισμού» στην εκπαίδευση. Μερικά από τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν μετά από τη διδακτική παρέμβαση ήταν τα εξής: 1) όλοι οι μαθητές Γυμνασίου ήταν σε θέση να γράψουν εξελιγμένα προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών σε μια γλώσσα, που έμαθαν σε σχετικά σύντομο διάστημα, 2) δραστηριότητες προγραμματισμού οδήγησαν σε αισθητή βελτίωση στην κατανόηση θεμάτων, που αφορούσαν στις έννοιες πολυπλοκότητα, παραλληλισμός, αναδυόμενα φαινόμενα και 3) οι δραστηριότητες προγραμματισμού ήταν αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης της κατανόησης. Οι εξηγήσεις των μαθητών γύρω από την κατανόηση των αναδυόμενων φαινομένων έγιναν, αλλά και εκφράστηκαν, με τη βοήθεια των αντικειμένων της γλώσσας προγραμματισμού, κατασκευών και αρχέτυπων. Αυξήθηκε δε η ικανότητά τους να κατανοούν τα α) επίπεδα της οργάνωσης (αλλά και να τα περιγράφουν), β) την τυχαιότητα και γ) τη μεταβλητότητα.

Επίσης, αποδείχθηκε ότι όταν οι μαθητές είχαν μόνο οπτική άποψη, μέσω των προσομοιώσεων, χωρίς να έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάσουν και να τροποποιήσουν προσομοιώσεις, αυτό δεν τους οδήγησε σε τέτοια ενισχυμένα επίπεδα έκφρασης των απόψεων και των εξηγήσεών τους.

Ένα ακόμα εκπληκτικό αλλά όχι αναπάντεχο συμπέρασμα, που αφορά στους μαθητές που ασχολούνται με πολύπλοκα συστήματα και αναδυόμενα φαινόμενα και αναδείχθηκε από αυτή την έρευνα, είναι ότι αν ο χρόνος που χρειάζονται οι μαθητές για να μάθουν γύρω από δυναμικούς πληθυσμούς είναι "x" και ο χρόνος για να μάθουν τη StarLogoT είναι "y", δεν ισχύει για το σύνολο του χρόνου, που χρειάζονται και τα δύο, η γραμμική σχέση "x + y", εκτός αν το "y" είναι πολύ μικρό. Επιβεβαιώνεται λοιπόν ο κανόνας ότι «σε ένα πολύπλοκο σύστημα η αλληλεπίδραση μεταξύ των συστατικών του μπορεί να οδηγήσει τα συστήματα να συμπεριφέρονται με τρόπους που είναι πολύ διαφορετικοί από το «άθροισμα των μερών τους» (in a complex system is that interaction amongst its components can make the systems behave in ways that are very different than the "sum of their parts").

- Έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές παρόμοιες έρευνες, όπως η προηγούμενη. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις παρακάτω:
  - «*Learning through Participatory Simulations: Network-based Design for Systems Learning in Classrooms*» (Wilensky & Stroup, 1999)



- «*Modeling Emergent Phenomena with StarLogoT*» (Wilensky, 2000)
- «*Networked Gridlock: Students Enacting Complex Dynamic Phenomena with the HubNet Architecture*» (Wilensky & Stroup, 2000)
- «*Technologies to support the creation of complex systems models: Using StarLogo software with students*» (Klopfer, 2003)
- «*Promoting Complex Systems Learning through the use of Computer Modeling*» (Hashem & Mioduser, 2011a)
- «*The Contribution of Learning by Modeling (LbM) to Students' Understanding of Complexity Concepts*» (Hashem & Mioduser, 2011b)
- «*Learning by Modeling (LbM): Understanding Complex Systems by Articulating Structures, Behaviors, and Functions*» (Hashem & Mioduser, 2013)
- «*TrafficJams: Collaborative Exploration of Driving and Traffic*» (Levy, Peleg, Ofek, Dubovi, Tabor, Bluestein, & Ben-Zur, 2016)

Η έρευνα αυτή παρουσιάστηκε στο πλαίσιο της εκατονταετίας του συμποσίου AERA<sup>7</sup> που από το 1916 πραγματοποιείται κάθε χρόνο. Το θέμα αυτού του συμποσίου ήταν: «Discovery-Based STEM Learning 2.0: Are We There Yet?». Σκοπός του συμποσίου ήταν με την ευκαιρία του εορτασμού των 100 χρόνων από την Dewey's 'Democracy and Learning', να γίνει εκτίμηση του κατά πόσο εκπληρώνεται σωστά το όραμα για ουσιαστική και με νόημα μάθηση. Οι συμμετέχοντες στο συμπόσιο παρουσίασαν διερευνητικές μελέτες που αφορούσαν στο STEM ως προς το σχεδιασμό και τη γνώση.

Το προκαταρκτικό σχέδιο-πείραμα της έρευνας προσεγγίζει το δίλημμα: *μάθηση βασισμένη σε προβλήματα (problem-based), με έρευνα και σχέδιο (inquiry-based and design-based learning) ή μάθηση με καθοδήγηση*, διερευνώντας τη μάθηση με μια συμμετοχική-προσομοίωση (Resnick & Wilensky, 1998, Colella, 2000, στο Levy et.al., 2016), η οποία υποστηρίζει ανοικτού τύπου συνεργατικά εγχειρήματα (open-ended collaborative endeavors) σε ανταποκρινόμενα με περιορισμούς περιβάλλοντα (responsive constrained environments), με τη σχεδίαση, την εφαρμογή και την ερμηνεία κοινωνικών πειραμάτων.

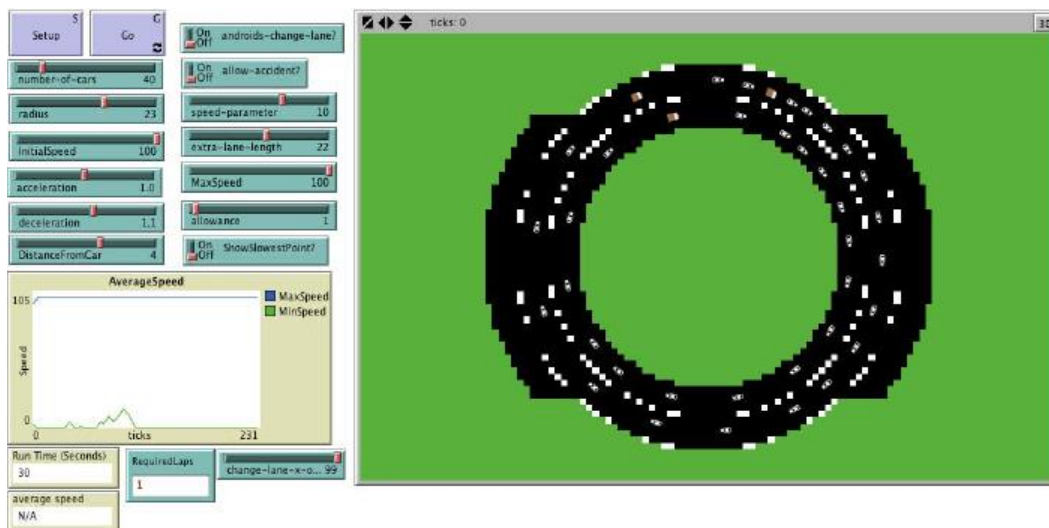
Κατά το σχεδιασμό του πειράματος λήφθηκε υπόψη η ανάλυση της κίνησης, τα παράδοξα και οι παρανοήσεις των οδηγών, όπως έχουν καταγραφεί από τον Kerner (Kerner, 2004), με αποτέλεσμα οι στόχοι να είναι: να εμφανιστούν αυτά τα παράδοξα στις αποκρίσεις του συστήματος και να ενισχυθεί η θέσπιση μεγάλου φάσματος τέτοιων προσπαθειών. Οι μαθητές που συμμετείχαν χρησιμοποίησαν την προσομοίωση TrafficJams (Levy et al., 2014), στην οποία οι οδηγοί κινούνται σε ένα δρόμο δύο λωρίδων, με σκοπό οι μαθητές «τρέχοντας» την προσομοίωση να ανακαλύψουν τις σχέσεις ανάμεσα στην οδήγηση και στην κίνηση (Εικόνα 56). Η προσομοίωση TrafficJams, που χρησιμοποιήθηκε, έχει δημιουργηθεί στο προγραμματιστικό περιβάλλον της NetLogo HubNet (Wilensky & Stroup, 1999 στο Levy et.al., 2016).

Η παρέμβαση διήρκεσε 2,5 ώρες και συμμετείχαν σε αυτή 29 μαθητές Λυκείου. Τα μαθησιακά αποτελέσματα μελετήθηκαν από τα συμπληρωμένα από τους μαθητές προ και μετά –τεστ. Μόνο 16 από τους 27 μαθητές συμπλήρωσαν και τα δύο τεστ. Χρησιμοποιήθηκαν

---

<sup>7</sup> Η Ετήσια Συνάντηση AERA είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση μελετητών στο πεδίο της εκπαιδευτικής έρευνας. Είναι μια προθήκη για πρωτοποριακές, καινοτόμες μελέτες σε ένα ευρύ φάσμα τομέων – και αφορά σε όλο το φάσμα της εκπαίδευσης από την πρωτοβάθμια έως και την τριτοβάθμια, στον αλφαριθμητικό που σχετίζεται με την ψηφιακή μάθηση αλλά και την εκμάθηση δεύτερης γλώσσας. Είναι ο «τόπος» όπου αντιμετωπίζονται οι ιδέες και τα δεδομένα που θα διαμορφώσουν την εκπαίδευση του αύριο, τις πρακτικές και τις πολιτικές και ο «τόπος» που συνδέονται οι κορυφαίοι στοχαστές των ΗΠΑ, αλλά και όλου του κόσμου.

πανομοιότυπα προ και μετά τεστ , παρατηρήσεις σχετικές με το θέμα και καταγεγραμμένα δεδομένα (data-logging).



Εικόνα 56 TrafficJams συμμετοχικό περιβάλλον προσομοίωσης (Levy et.al, 2016)

Η πρώτη πρόκληση ήταν να δημιουργηθεί σκόπιμα μια κυκλοφοριακή συμφόρηση. Οι μαθητές έκαναν δύο προτάσεις: οι οδηγοί α) να οδηγούν ο ένας πολύ κοντά στον άλλο και β) να κάνουν συχνές αλλαγές λωρίδων κυκλοφορίας. Οι μαθητές συμπεριέλαβαν και ατυχήματα, κάτι που τους ανέβασε την αδρεναλίνη και τους έδωσε χαρά.

Η δεύτερη πρόκληση ήταν να διευκολυνθεί η ομαλή κυκλοφορία. Οι μαθητές σχεδίασαν δύο στρατηγικές: α) να βρίσκονται όλα τα αυτοκίνητα σε μια λωρίδα και β) να κινούνται όλα τα αυτοκίνητα με ομοιόμορφη ταχύτητα.

Μετά από τη διερεύνηση που έκαναν συζήτησαν το πώς ένα άτομο θα μπορούσε να επηρεάσει το σύνολο και αντίστροφα, καθώς και τις προσωπικές θυσίες, που θα μπορούσαν να γίνουν προς όφελος της ομάδας. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι: «Εάν όλοι οι οδηγοί έχουν την ίδια συμπεριφορά και κρατούν αποστάσεις, η κυκλοφορία των αυτοκινήτων επιταχύνεται και αποτρέπονται τα ατυχήματα".

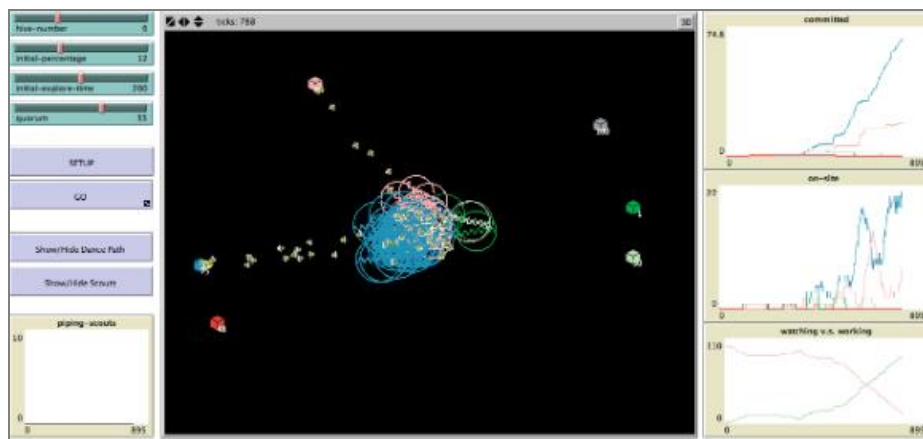
Η εκπαιδευτική σημασία αυτής της μελέτης είναι ότι προσφέρει ένα πλαίσιο αρχών σχεδιασμού προσανατολισμένο στη στήριξη της συνεργατικής ανακαλυπτικής μάθησης ενός πολύπλοκου συστήματος: συνεργατικές προσπάθειες σε ανταποκρινόμενα με περιορισμούς περιβάλλοντα (responsive constrained environments) παρέχουν μοναδικά περιβάλλοντα για ανακαλυπτική μάθηση. Η εργασία αυτή είχε ως στόχο να αυξήσει την ασφάλεια στην οδήγηση και με ένα ευρύτερο τρόπο να δημιουργήσει και να εκπαιδεύσει τους μαθητές για έναν πολιτισμό γύρω από την κατανόηση της οδήγησης, για το πώς η κυκλοφοριακή συμφόρηση δημιουργείται παρά τις περιορισμένες αιτίες δημιουργίας της.

- «Small Bugs, Big Ideas: Teaching Complex Systems Principles Through Agent -Based Models of Social Insects» (Guo & Wilensky, 2016)

Οι Yu Guo και Uri Wilensky σχεδίασαν για μαθητές Λυκείου (high school) μια Διδακτική Παρέμβαση στο προγραμματιστικό περιβάλλον της NetLogo, που την ονόμασαν BeeSmart (Εικόνα 57), με στόχο οι μαθητές αυτοί να μάθουν τις βασικές αρχές των πολύπλοκων συστημάτων.

Το μάθημα βασίστηκε στα ευρήματα της έρευνας του Thomas D. Seeley (2010), τα οποία αφορούσαν στο πώς οι μέλισσες επιλέγουν νέο τόπο προκειμένου να κατασκευάσουν μια νέα

κυψέλη. Σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας του Seeley, η διαδικασία λήψης απόφασης του σμήνους εξηγείται καλύτερα υπό το πρίσμα των πολύπλοκων συστημάτων. Το σύστημα αποτελείται από πολλαπλούς πράκτορες (multiple agents), οι οποίοι υπακούουν σε απλούς κανόνες συμπεριφοράς: εάν ένας ανιχνευτής μέλισσα ανακαλύπτει ένα χώρο που εν δυνάμει μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να κατασκευαστεί μια νέα κυψέλη, να τον ελέγξει. Έπειτα να γυρίζει πίσω στο σμήνος για να δώσει αναφορά. Η επικοινωνία μεταξύ των μελισσών γίνεται με χορευτικά λικνίσματα από τους ανιχνευτές-χορευτές. Οι μέλισσες έχουν την ενστικτώδη ικανότητα να εκτιμούν την ποιότητα των εν δυνάμει νέων κυψελών. Εάν η ποιότητα είναι υψηλή οι μέλισσες χορεύουν με ενθουσιασμό για μεγάλο διάστημα του χρόνου για να διαφημίσουν την τοποθεσία. Εάν η ποιότητα είναι χαμηλή, κάνουν ένα σύντομο και ανιαρό χορό ή δεν χορεύουν καθόλου. Οι παρατηρητές όταν δούνε το χορό στρατολογούνται προκειμένου να διερευνήσουν το χώρο που διαφημίζεται για νέα κυψέλη. Τέτοιες απλές συμπεριφορές και αλληλεπιδράσεις οδηγούν σε ένα θετικό βρόχο ανατροφοδότησης: τα σήματα που υποστηρίζουν την υψηλή ποιότητα των κυψελών ενισχύονται. Συνήθως, η περιοχή με την υψηλότερη ποιότητα τελικά δέχεται όλη την υποστήριξη και κερδίζει.



Εικόνα 57 Μοντέλο BeeSmart Hive-Finding (Guo & Wilensky, 2016)

Πραγματοποιήθηκε, λοιπόν, σε ένα Λύκειο (high school) μιας μικρής κλίμακας πιλοτική μελέτη με τη βοήθεια της σχεδιασμένης παρέμβασης, με όνομα BeeSmart, στο πλαίσιο του μαθήματος mathematical modeling. Το Λύκειο αυτό βρισκόταν σε ένα προάστιο του Σικάγο, που κατοικείται από ανθρώπους διαφόρων εθνικοτήτων. Σκοπός του μαθήματος, που παρακολούθησαν 14 μαθητές, δεν ήταν να γίνουν γενικεύσεις από τόσο μικρό δείγμα. Αντίθετα οι ερευνητές ήθελαν να δουν από κοντά το πώς αλληλεπιδρούν οι μαθητές με το BeeSmart και τι είναι δυνατό να κατορθώσουν. Οι μαθητές δούλεψαν σε ζευγάρια, αλληλεπιδρώντας με το μοντέλο, χρησιμοποίησαν τα μέσα, που τους πρόσφερε η παρέμβαση, έκαναν ερωτήσεις και συμμετείχαν σε συζητήσεις. Στο πέμπτο μάθημα οι μαθητές είχαν εξοικειωθεί πολύ με το φαινόμενο του πώς οι μέλισσες επιλέγουν νέο τόπο προκειμένου να κατασκευάσουν μια νέα κυψέλη και ήταν σε θέση να απαντήσουν την ερώτηση πιλότο της παρέμβασης "Πώς ένα σμήνος από 10.000 μέλισσες μπορεί να επιλέξει τον καλύτερο χώρο για νέα κυψέλη ανάμεσα σε πολλές επιλογές;".

Προκειμένου να διερευνηθεί τι αρχές εμπέδωσαν οι μαθητές γύρω από τα πολύπλοκα συστήματα τους δόθηκε ένα τεστ διερεύνησης αντιλήψεων πριν από την παρέμβαση και ένα μετά. Επίσης, ζητήθηκε από τους μαθητές να αλληλεπιδράσουν και με ένα άλλο μοντέλο της NetLogo, που διερευνά την αναζήτηση τροφής από μυρμήγκια (Wilensky, 1997) και να εξηγήσουν πώς θα δουλέψουν χρησιμοποιώντας τις αρχές που έμαθαν από τις μέλισσες.

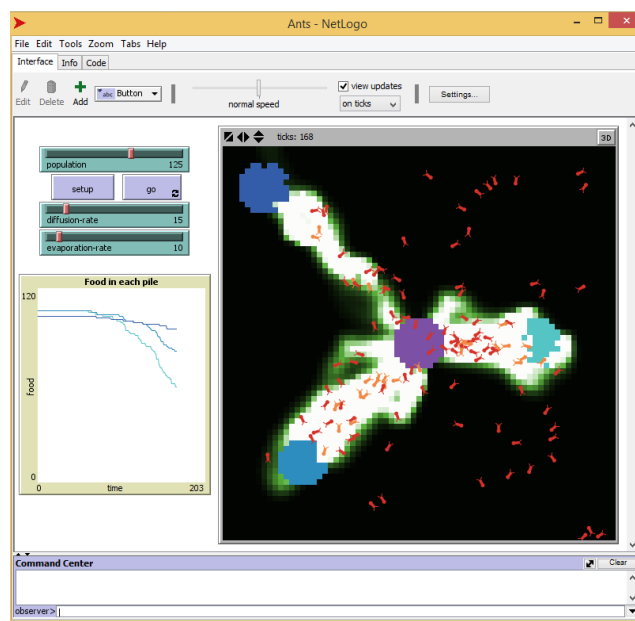
Οι περισσότεροι μαθητές στο αρχικό τεστ διερεύνησης αντιλήψεων έδωσαν απαντήσεις, που έδειξαν μια ντετερμινιστική νοοτροπία, όπως η διάσπαση των μελισσών σε ορισμένες ομάδες προκειμένου να βρουν νέες κυψέλες. Στο τελικό τεστ όλοι οι μαθητές έδωσαν καλύτερες εξηγήσεις σχετικά με τις αρχές των πολύπλοκων συστημάτων, όπως η τυχαιότητα, η αλληλεπίδραση, ο βρόχος ανάδρασης, και η ομοιογένεια, προκειμένου να εξηγήσουν και τα δύο φαινόμενα, των μελισσών και των μυρμηγκιών. Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης στους μαθητές του Γυμνασίου έδειξαν ότι agent-based models (ABMs) των κοινωνικών εντόμων θα μπορούσε να είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την εισαγωγή πολύπλοκων συστημάτων σε ένα νεανικό κοινό (Guo & Wilensky, 2016).

### 2.6.2 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα

Τα τελευταία τρία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια από εκπαιδευτικούς που διδάσκουν σε σχολεία της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, να γίνει στις τάξεις εισαγωγή στοιχείων, που αφορούν στα Πολύπλοκα Συστήματα. Από τη διερεύνηση, που έγινε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής, οι περισσότερες έρευνες αφορούν σε μαθητές Λυκείου και μόνο μια σε μαθητές Γυμνασίου.

- «Πειραματική διδασκαλία με προσομοίωση σε Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo. Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση» (Γκαράς, Κωσταρίδης, και Γιάτας, 2014α)

Με αφορμή ένα μάθημα Βιολογίας Γενικής Παιδείας της Γ΄ Λυκείου στο Κεφάλαιο της Οικολογίας, έγινε εισαγωγή των μαθητών του σχολείου Πρότυπο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Αθηνών - Γεννάδειο στην προσομοίωση Πολύπλοκων Συστημάτων με το λογισμικό NetLogo. Χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο “Ants” και συγκεκριμένα στην εκδοχή του “AntsNew” (Εικόνα 58), μετά από σχετική άδεια από το Santa Fe Institute, με το οποίο προσομοιώνεται το πρόβλημα «Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση» για μια αποικία μυρμηγκιών, που συλλέγει την τροφή της. Την εκδοχή αυτή χρησιμοποιεί στα διαδικτυακά εκπαιδευτικά του προγράμματα, τα οποία σχεδιάζει, η Melanie Mitchell, καθηγήτρια στην επιστήμη των υπολογιστών (Computer Science), στο Πανεπιστήμιο του Portland και μέλος της Επιστημονικής Επιτροπής του Santa Fe Institute (SFI, 2014).



Εικόνα 58 Το interface του προγραμματιστικού περιβάλλοντος NetLogo καθώς τρέχει το μοντέλο Ants (Γκαράς, Κωσταρίδης & Γιάτας, 2014)

Το μάθημα έγινε στο εργαστήριο Πληροφορικής και οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες. Ακολουθήθηκε η “Διερευνητική Μέθοδος Διδασκαλίας”. Με ερωτηματολόγια πριν και μετά το μάθημα διερευνήθηκαν οι απόψεις, οι στάσεις και οι γνώσεις των μαθητών. Το μάθημα παρατήρησαν και αξιολόγησαν συνάδελφοι διαφόρων ειδικοτήτων. Οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να εξερευνήσουν το μοντέλο, να αντιμετωπίσουν ένα πρόβλημα, να διατυπώσουν μια πρόβλεψη, να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο για να πάρουν μια απάντηση, να αναστοχαστούν πάνω στην πρόβλεψή τους σε σχέση με την απάντηση που πήραν και να πειραματιστούν με τον κώδικα του προγράμματος. Έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον και εμπλούτισαν τις γνώσεις και τα ενδιαφέροντά τους.

Το μοντέλο στην αρχική του μορφή χρησιμοποιήθηκε για άλλους λόγους και από άλλους ερευνητές (Gkiolmas et al., 2013). Είναι προφανώς μια απλοποίηση του οικοσυστήματος των μυρμηγκιών, η οποία έχει σαν σκοπό όχι τόσο τη μελέτη του συγκεκριμένου οικοσυστήματος στο οποίο τα μυρμηγκία ζουν, αλλά των Πολύπλοκων Συστημάτων γενικώς και του συγκεκριμένου Πολύπλοκου Προβλήματος ειδικότερα, όπου μια αποικία μυρμηγκιών «ψάχνει» για τροφή. Υπάρχει μια περιοχή του χώρου που αντιστοιχεί στη φωλιά των μυρμηγκιών. Εκεί δημιουργούνται «χελώνες», που εδώ είναι τα μυρμηγκία, οι οποίες κινούνται με τυχαίο τρόπο. Όταν κάποιο από αυτά φτάσει σε κάποια ιδιαίτερα χρωματισμένη περιοχή του χώρου, στην οποία υπάρχει «τροφή», το μυρμηγκί παίρνει τροφή και κατευθύνεται προς τη φωλιά αφήνοντας ένα χημικό ίχνος. Τα κοντινά μυρμηγκία «μυρίζουν» τη χημική ουσία και πηγαίνουν και αυτά προς την τροφή. Παρότι κάθε μυρμηγκί χωριστά ακολουθεί απλούς κανόνες συμπεριφοράς, τελικά η όλη αποικία λειτουργεί σύνθετα και μη γραμμικά. Όσο περισσότερα μυρμηγκία μεταφέρουν τροφή τόσο περισσότερο ενισχύεται το «χημικό» ίχνος. Για την μακρινή τροφή είναι δύσκολο να σχηματίσουν τα μυρμηγκία ένα σταθερό ίχνος, γι’ αυτό πρώτα εξαντλούν την κοντινότερη.

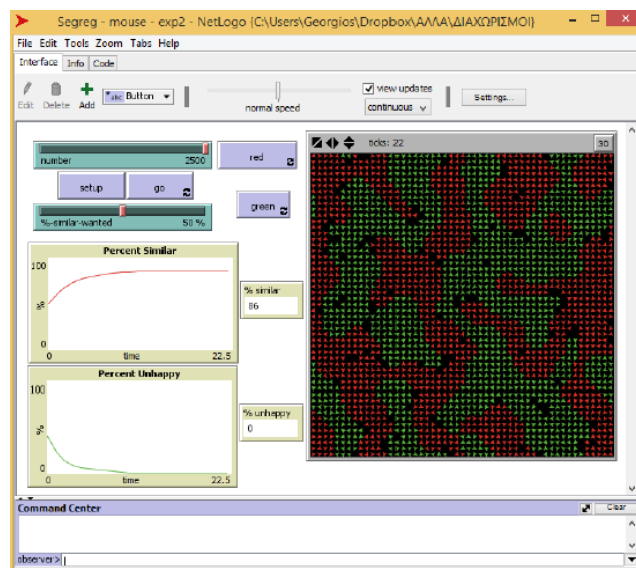
Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει μέσω της διεπαφής τρεις μεταβλητές: τον αριθμό των μυρμηγκιών, τον ρυθμό εξάτμισης του χημικού ίχνους και τον ρυθμό διάχυσης του χημικού ίχνους. Αν το ίχνος εξατμίζεται γρήγορα, δε δημιουργούνται ουρές μυρμηγκιών εύκολα. Αν πάλι εξατμίζεται αργά, τότε είναι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

Εδώ προκύπτει το περίφημο πρόβλημα «Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση» - (Exploitation vs. Exploration), χαρακτηριστικό των Πολύπλοκων Συστημάτων, γνωστό και ως «Δίλημμα της Καινοτομίας» (Gurta et al., 2006, στο Γκαράς, Κωσταρίδης & Γιάτας, 2014). Προκύπτουν λοιπόν, τα εξής ερωτήματα α) συμφέρει τα μυρμηγκία να εξαντλήσουν την πρώτη τροφή που βρήκαν ή μήπως πρέπει ταυτόχρονα να εξερευνούν για την ύπαρξη και άλλης τροφής; και β) τι μέρος του πλήθους των μυρμηγκιών συμφέρει να αφιερωθεί στην εξερεύνηση; Φυσικά το πρόβλημα που τέθηκε στο συγκεκριμένο μάθημα δεν αφορά μόνο στα μυρμηγκία, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί και σε άλλους τελείως διαφορετικούς τομείς και πεδία π.χ. προβλήματα σχετικά με πετρελαιοπηγές: α) συμφέρει να εξαντλήσουμε την πετρελαιοπηγή ή να ψάχνουμε ταυτόχρονα και για άλλες; β) τι ποσοστό του κεφαλαίου συμφέρει να δαπανήσουμε για αποδοτικότερη εκμετάλλευση της πετρελαιοπηγής σε σχέση με το ποσοστό που θα δαπανήσουμε για ανεύρεση νέων κοιτασμάτων; γ) συμφέρει να αγοράσουμε νέες τεχνολογίες ή μήπως είναι προτιμότερο να εκμεταλλευτούμε αυτές που ήδη έχουμε; αλλά και προβλήματα σχετικά με τη διδασκαλία π.χ. συμφέρει να μάθουμε νέους τρόπους διδασκαλίας ή μήπως είναι προτιμότερο να συνεχίσουμε να διδάσκουμε με τον τρόπο που ξέρουμε καλά;

Το πειραματικό αυτό μάθημα έδειξε ότι: 1) μπορεί να κινηθεί το ενδιαφέρον των μαθητών γύρω από τα Πολύπλοκα Συστήματα και τις προσομοιώσεις τους, 2) τόσο τα Πολύπλοκα Συστήματα όσο και οι προσομοιώσεις τους απαιτούν συστηματικό τρόπο διδασκαλίας ο οποίος θα έπρεπε να αρχίζει από το Δημοτικό Σχολείο και 3) η Ετεροπαρατήρηση στη διδασκαλία μπορεί να αποβεί εργαλείο όχι μόνο για τη βελτίωση της διδασκαλίας του καθενός μας αλλά και για τη βελτίωση του ίδιου του Αναλυτικού Προγράμματος.

- «Μελέτη των Κοινωνικών Διαχωρισμών με Λογισμικό Πολλαπλών Πρακτόρων – Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση» (Γκαράς, Πασχαλιώρη, & Γιάτας, 2014β).

Με αφορμή το μάθημα κοινωνιολογίας της Γ΄ Λυκείου «Ετερότητα, διαπολιτισμικές και διακοινωνιακές σχέσεις», μελετήθηκε, στην Γ΄ Τάξη του σχολείου Πρότυπο Πειραματικό Γενικό Λύκειο Αθηνών – Γεννάδειο, το πρόβλημα των διαχωρισμών στην κοινωνία. Ακολουθήθηκε η “Διερευνητική Μέθοδος Διδασκαλίας”. Πήραν μέρος 57 μαθητές από τους 69 της Γ΄ τάξης, χωρισμένοι συνολικά σε 25 ομάδες. Το μάθημα έγινε στο Εργαστήριο Πληροφορικής και οι μαθητές εργάστηκαν σε ομάδες, συμπληρώνοντας φύλλο εργασίας, το οποίο αποτέλεσε και το κριτήριο για την αξιολόγηση των ομάδων και του μαθήματος. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν το μοντέλο για να μελετήσουν το πρόβλημα «πώς οι δια-ατομικές αλληλεπιδράσεις οδηγούν σε συλλογικές αλλαγές». Έκαναν υποθέσεις για τις πιθανές εφαρμογές του μοντέλου και ακολούθησε ανατροφοδότηση και συζήτηση. Τέλος αναστοχάστηκαν με βάση την ιδιότητά τους ΠΠΣ. Το μάθημα έγινε στα πλαίσια της Ενδοσχολικής Επιμόρφωσης, της Αυτοαξιολόγησης και του προγράμματος Ετεροπαρατήρησης στα Πρότυπα Πειραματικά Σχολεία. Για τον λόγο αυτό υπήρχε παρουσία εκπαιδευτικών-αξιολογητών οι περισσότεροι από τους οποίους σχημάτισαν ομάδα και εργάστηκαν όπως οι μαθητές με το φύλλο εργασίας.



**Εικόνα 59** Το interface του προγραμματιστικού περιβάλλοντος NetLogo καθώς τρέχει το μοντέλο «segregation». Τα κουμπιά red και green και ο σχετικός κώδικας έχουν εισαχθεί από τους ερευνητές για να έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν αρχικά «σπέρματα» συγκεντρώσεων πληθυσμών (Γκαράς, Πασχαλιώρη & Γιάτας, 2014).

Μέσα στο πνεύμα των παραπάνω σκοπών του μαθήματος της κοινωνιολογίας και στο πλαίσιο της διεθνούς προσπάθειας, που γίνεται τα τελευταία χρόνια για την εισαγωγή στοιχείων από τα Πολύπλοκα Συστήματα στη Στοιχειώδη και στη Μέση Εκπαίδευση (Giolmas et al, 2013), έγινε προσπάθεια να εισαχθούν οι μαθητές της Γ΄ Τάξης Λυκείου (τρία τμήματα), στην έννοια «ανάδυση» των Πολύπλοκων Συστημάτων με αφορμή το μάθημα κοινωνιολογίας «Ετερότητα,

διαπολιτισμικές και διακοινωνιακές σχέσεις». Για το πειραματικό αυτό μάθημα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο «segregation», του λογισμικού Οπτικοποίησης και Προσομοίωσης Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo (Εικόνα 59), όπως αυτό τροποποιήθηκε από τους καθηγητές για τις ανάγκες του συγκεκριμένου μαθήματος. Οι μαθητές της Γ΄ Λυκείου ήταν σχετικά εξοικειωμένοι με το λογισμικό NetLogo καθώς το είχαν εφαρμόσει στο πλαίσιο ενός πειραματικού μαθήματος Βιολογίας Γενικής Παιδείας στο Κεφάλαιο της Οικολογίας, όπου χρησιμοποίησαν το μοντέλο “Ants” της NetLogo για να μελετήσουν το πρόβλημα «Εκμετάλλευση ή Εξερεύνηση» (Γκαράς κ.ά. 2014β).

Στο μοντέλο «segregation» σε μια λίμνη ζουν δυο ειδών χελώνες, οι πράσινες και οι κόκκινες. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον συνολικό αριθμό τους, καθώς και το ελάχιστο ποσοστό όμοιων χελωνών που επιθυμεί να έχει στη γειτονιά της κάθε χελώνα, ώστε να είναι «ευτυχισμένη». Καθώς τρέχει το πρόγραμμα κάθε «μη ευτυχισμένη» χελώνα «πηδάει» σε μια τυχαία γειτονική θέση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει η σύνθεση στο περιβάλλον των άλλων χελωνών και κατά συνέπεια το πρόγραμμα να εξελίσσεται κατά τρόπο πολύπλοκο, μη γραμμικό, μέχρι να γίνουν όλες οι χελώνες ευτυχισμένες. Το αποτέλεσμα είναι να «αναδύονται» χωρικές κατανομές σε διάφορα μοτίβα και σε διάφορα μεγέθη συσσωματωμάτων. Ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει διάφορες καταστάσεις ανάλογα με τις αρχικές του επιλογές, π.χ. μπορεί να δει ότι μικρή έστω «επιθυμία» για όμοιους γείτονες οδηγεί σε μεγάλες αλλαγές στο συνολικό μοτίβο οίκησης της λίμνης. Το μοντέλο αυτό έχει δημιουργηθεί από τον Uri Wilensky (Wilensky, 1997; 1999, στο Γκαράς, Πασχαλιώρη & Γιάτας, 2014β) και είναι εμπνευσμένο από τις μελέτες του Thomas Schelling για τα κοινωνικά συστήματα (Schelling, 1978, στο Γκαράς, Πασχαλιώρη & Γιάτας, 2014β). Έχει χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη κοινωνικών διαχωρισμών όπως π.χ. δημιουργία οικιστικών μοτίβων για ταξικούς ή φυλετικούς λόγους (Rauch, 2002; Hills, 2003, στο Γκαράς, Πασχαλιώρη & Γιάτας, 2014β). Για τις ανάγκες αυτής της εργασίας τροποποιήθηκε κατάλληλα το αρχικό μοντέλο προσθέτοντας κώδικα και τα κουμπιά *red* και *green* στη διεπαφή (Εικόνα 59), ώστε ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει αρχικά «σπέρματα» συγκεντρώσεων πληθυσμών. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να μελετηθεί το πώς τα αρχικά συσσωματώματα οδηγούν σε αλλαγές στο τελικό μοτίβο.

Οι μαθητές σε αυτό το μάθημα προβληματίστηκαν για τον κοινωνικό διαχωρισμό, ο οποίος συνδέεται άμεσα με ζητήματα ετερότητας και ιδιαίτερα με θέματα, που αφορούν στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις, αλλά και πάνω στην ίδια την υπόστασή τους ως κοινωνικά υποκείμενα, που υπόκεινται σε διαχωρισμούς και προκαλούν διαχωρισμούς. Ο προβληματισμός αυτός είναι ιδιαίτερα επίκαιρος και γόνιμος, στην εποχή της κρίσης, όπου πολλές φορές επικρατούν ακραίοι διαχωρισμοί. Περισσότερο δε αναγκαίος είναι για τους μαθητές των πόλεων, οι οποίοι ζουν τα φαινόμενα της εξάρτησης και της μετανάστευσης, τα οποία παρουσιάζουν αιτιώδη διασύνδεση με φαινόμενα κοινωνικού διαχωρισμού τόσο τοπικά όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Κίνητρο των καθηγητών ήταν α) οι μαθητές μέσα από προβληματισμό να μπορέσουν να οδηγηθούν α1) σε επαναξιολόγηση του τρόπου, που αλληλεπιδρούν με τους άλλους, α2) στη συνειδητοποίηση των στερεοτύπων και προκαταλήψεων που, πιθανότατα, καθορίζουν ή πρόκειται να καθορίσουν τις επιλογές τους και, α3) εν γένει, σε μια επανοριοθέτηση του εαυτού τους, αλλά και β) να αποτελέσει η Παρέμβαση αυτή ευκαιρία για την κατανόηση της ευθύνης του καθενός στην ενίσχυση ή διατήρηση της κοινωνικής συνοχής.

Όπως φάνηκε από τις απαντήσεις των μαθητών, αν και θεωρούν τον εαυτό τους σχετικά ευνοημένο, κυρίως όσον αφορά την ποιότητα της διδασκαλίας και το πλήθος των

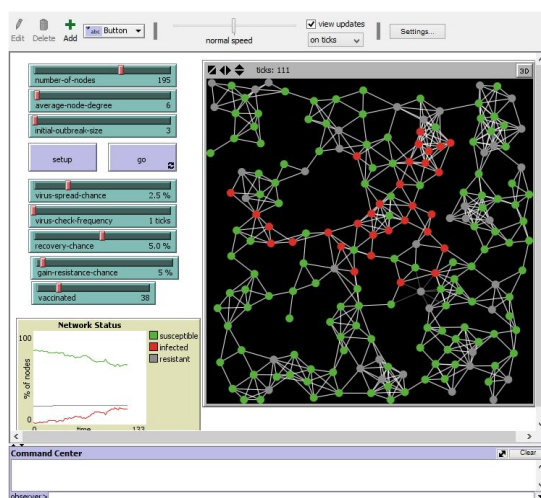
ερεθισμάτων που αποκτούν στο συγκεκριμένο σχολείο σε σχέση με τα άλλα σχολεία, δεν φαίνεται να αντιλαμβάνονται ότι έχουν γι' αυτό τον λόγο κάποια υποχρέωση απέναντι στην κοινωνία. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ανάγκη επαναπροσδιορισμού της παιδαγωγικής κατεύθυνσης και του ρόλου των Πρότυπων Πειραματικών Σχολείων.

Στην αξιολόγηση που έγινε από τους καθηγητές- παρατηρητές, η βαθμολόγηση ήταν υπερβολικά ευνοϊκή. Στις παρατηρήσεις τους οι καθηγητές διατύπωσαν την άποψη ότι το μάθημα θα έπρεπε να γίνει σε δυο διδακτικές ώρες και να συνδυαστεί με παραγωγή γραπτού λόγου. Είναι σημαντικό ότι κατά τη διάρκεια των μαθημάτων οι περισσότεροι καθηγητές-αξιολογητές επέλεξαν τον ρόλο του συμμετοχικού παρατηρητή και πολλοί από αυτούς εκδήλωσαν ενδιαφέρον για το λογισμικό και την πιθανή χρήση του.

- «Διάδοση Ίών στα Δίκτυα. Μια Διαθεματική Εργασία με το Λογισμικό NetLogo» (Γκαράς, Γιάτας, Κωσταρίδης, & Βλάσση, 2015α)

Εβδομήντα επτά (77) μαθητές της Β' Λυκείου του 1<sup>ου</sup> Πρότυπου Πειραματικού Γενικού Λυκείου Αθηνών – Γεννάδειο, πειραματίστηκαν σε δύο συνεχόμενα μαθήματα με το μοντέλο **Virus On The Net** της **NetLogo**, όπως αυτό είχε τροποποιηθεί από τους εκπαιδευτικούς για τις ανάγκες του μαθήματος. Στην Εικόνα 60 φαίνεται η διεπιφάνεια προγράμματος-χρήστη του μοντέλου, το οποίο σχεδιάστηκε για τη μελέτη της διάδοσης των ιών στα δίκτυα (Stonedahl and Wilensky 2008; Wilensky 1999, στο Γκαράς κ.ά., 2015α). Προσομοίωσαν και μελέτησαν τη διάδοση του κακόβουλου λογισμικού στα δίκτυα των υπολογιστών αλλά και τη διάδοση των μολύνσεων στους ανθρώπους. Επίσης, μελέτησαν την επίδραση των συχνών ελέγχων, του αριθμού των ακμών (συνδέσεων), της απόκτησης ανοσίας και του εμβολιασμού στη διάδοση των ιών. Οι μαθητές εργάστηκαν στο εργαστήριο Πληροφορικής του σχολείου τους. Αποθήκευσαν τα μοντέλα, που πραγματοποίησαν σε κοινό φάκελο και τα παρουσίασαν.

Η εργασία αυτή έγινε στο πλαίσιο της έρευνας, που είχαν αναλάβει οι εκπαιδευτικοί, που αφορούσε στη δυνατότητα των μαθητών να μελετήσουν και να κατανοήσουν στοιχεία από τα Πολύπλοκα Συστήματα μέσα από τα μοντέλα προσομοίωσης και οπτικής αναπαράστασης του λογισμικού NetLogo. Οι εκπαιδευτικοί προσέγγισαν την έννοια «δίκτυο», θεωρώντας ότι «Ένα δίκτυο μπορεί να αποτελεί μέρος ενός πολύπλοκου συστήματος ή μπορεί να είναι τα ίδιο ένα πολύπλοκο σύστημα (complex networks)» και έδωσαν ως «ορισμό» για την έννοια του πολύπλοκου συστήματος ότι είναι «ένα μεγάλο δίκτυο με σχετικά «απλά» μέρη χωρίς κεντρικό έλεγχο μέσα στο οποίο έχουμε μια αναδυτική πολύπλοκη συμπεριφορά» (Γκαράς κ.ά., 2015α).



Εικόνα 60 Το μοντέλο Virus On the Net της NetLogo (Γκαράς κ.ά., 2015)



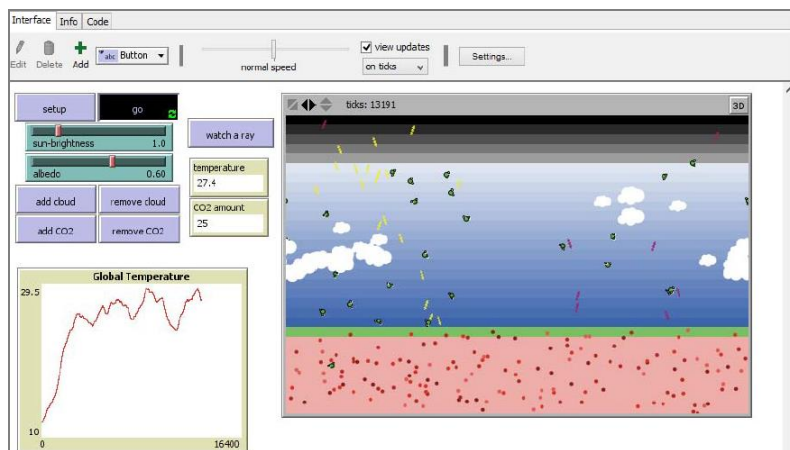
Οι μαθητές συμπλήρωσαν ερωτηματολόγιο, που διερευνούσε γνώσεις και στάσεις των μαθητών πριν και μετά τα μαθήματα και εργάστηκαν με φύλλο εργασίας. Το πρώτο μάθημα είχε σαν κεντρικό στόχο την εξοικείωση των μαθητών με το λογισμικό και το υπό μελέτη πρόβλημα, ενώ το δεύτερο μάθημα είχε σαν κεντρικό στόχο να εφαρμόσουν οι μαθητές το λογισμικό σε συγκεκριμένα προβλήματα. Στην πλειονότητά τους έδειξαν ενδιαφέρον στο μάθημα και εργάστηκαν με ευχαρίστηση, κάτι που επιβεβαίωσε προηγούμενα συμπεράσματα των εκπαιδευτικών σχετικά με την ελκυστικότητα του περιβάλλοντος της NetLogo. Τα μαθήματα αυτά – ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα των ερωτηματολογίων – ενεργοποίησαν γνωστικές λειτουργίες σχετιζόμενες με διάφορους γνωστικούς τομείς όπως είναι οι πιθανότητες, η ηθική, οι υπολογιστές, τα λοιμώδη νοσήματα και φυσικά τα δίκτυα, επιβεβαιώνοντας την άποψη του Freeman ότι η γνώση δεν κτίζεται στα νευρωνικά κυκλώματα του εγκεφάλου οπωσδήποτε με έναν απλό γραμμικό τρόπο, αλλά τις περισσότερες φορές κτίζεται με έναν τρόπο πολύπλοκο και χαοτικό (Freeman, 1995, στο Γκαράς κ.ά. 2015).

- «Εισαγωγή στις θετικές και αρνητικές αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής με προσομοίωση NetLogo» (Γκαράς, Βλάσση, & Γιάτας, 2015β).

Οι μαθητές της Β' Τάξης Λυκείου του 1<sup>ου</sup> Πρότυπου Πειραματικού Γενικού Λυκείου Αθηνών - Γεννάδειο, 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 της Χημείας. Η εργασία έγινε στο πλαίσιο της έρευνας, που ανέλαβε το σχολείο σχετικά με τη δυνατότητα μαθητών του Λυκείου να αφομοιώνουν έννοιες από τη θεωρία των Πολύπλοκων Συστημάτων. Σκοπός της εργασίας ήταν, αφενός η διερεύνηση των προηγούμενων γνώσεων των μαθητών για τη **θετική** και την **αρνητική ανάδραση**, αφετέρου η διερεύνηση 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.ά. 2013, στο Γκαράς, Βλάσση & Γιάτας, 2015β). 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 και 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 διερευνηθεί αν τα μαθήματα αυτά οδήγησαν σε αυτενεργό μάθηση.

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. Στην Εικόνα 61 φαίνεται η διεπιφάνεια προγράμματος-χρήστη του μοντέλου «climate change» της NetLogo (Tinker and Wilensky 2007; Wilensky 1999, στο Γκαράς, Βλάσση & Γιάτας, 2015β). 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.



Εικόνα 61 Η διεπιφάνεια του κλιματικού μοντέλου (Γκαράς, Βλάσση & Γιάτας, 2015)

Έγιναν έξι μαθήματα, δύο για κάθε ένα από τα τρία τμήματα της Β΄ Λυκείου (26 μαθητές σε κάθε τμήμα), με τη μορφή συνδιδασκαλίας στο εργαστήριο Πληροφορικής του σχολείου. 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.

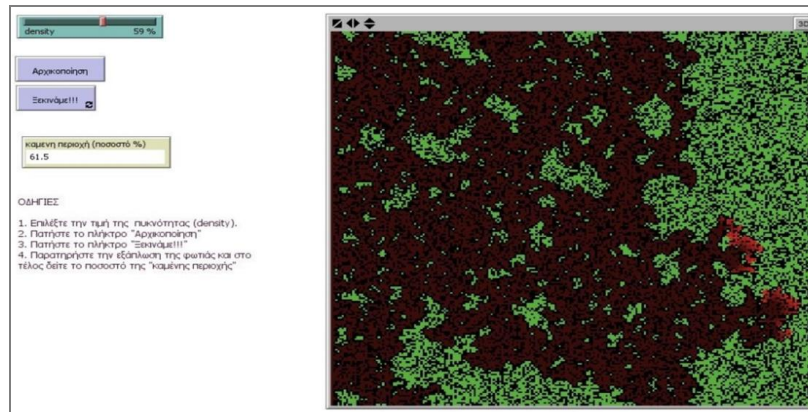
Από ότι φάνηκε τα μαθήματα αυτά εισήγαγαν στοιχειωδώς τους μαθητές στις έννοιες θετική και αρνητική ανάδραση και στο Πολύπλοκο Πρόβλημα της Παγκόσμιας Κλιματικής Αλλαγής. Πρόκειται για ένα πρόβλημα, το οποίο θα αντιμετωπίσουν στο μέλλον και τα μαθήματα αυτά συνέβαλλαν στο να αποκτήσουν τα εφόδια για 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.

- «Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου να προσεγγίσουν έννοιες πολυπλοκότητας εργαζόμενοι με τη βιβλιοθήκη μοντέλων της NetLogo; Ευρήματα από μια πρώτη διερεύνηση» (Χαλκίδης, Γκιόλμας, Στούμπα, Κονταξή, & Σκορδούλης, 2016).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και τα ευρήματα, από μια διδακτική παρέμβαση στη Β΄ Γυμνασίου του 2ου Πειραματικού Γυμνασίου Αθήνας. Βασικοί γενικοί στόχοι – ερωτήματα της παρέμβασης ήταν α) να διερευνηθεί η δυνατότητα να αντιληφθούν οι μαθητές κάποιες βασικές έννοιες της πολυπλοκότητας, όπως είναι αυτή της «κρίσιμης κατάστασης» και της «μη προβλέψιμης συμπεριφοράς» μέσα από διερευνητικού τύπου προσέγγιση και σε πραγματικές σχολικές συνθήκες και β) να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής μιας τροποποιημένης εκδοχής μέρους του υλικού, που σχεδιάστηκε για μεγαλύτερες ηλικίες, στην εκπαιδευτική διαδικασία του Γυμνασίου, καθώς η μέχρι τώρα ερευνητική εμπειρία προέρχεται από εφαρμογές σε μεγαλύτερες ηλικίες (Gkiolmas et al., 2012; 2013; 2016, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016).

Στη διδακτική παρέμβαση χρησιμοποιήθηκε μια ελαφρά τροποποιημένη εκδοχή του μοντέλου «Fire» (Wilensky, 1997, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016) από τη βιβλιοθήκη μοντέλων της «NetLogo». Το μοντέλο αναπαριστά ένα δάσος που καίγεται (αρχίζοντας από ένα μέτωπο φωτιάς στην αριστερή του πλευρά). Ο χρήστης μεταβάλλει την πυκνότητα δασοκάλυψης

(μεταβλητή εισόδου), παρατηρεί την εξέλιξη του φαινομένου, την τελική χωροταξία της καμένης περιοχής του δάσους και τελικά το μοντέλο επιστρέφει, ως μεταβλητή εξόδου, το ποσοστό του καμένου δάσους (Εικόνα 62).



Εικόνα 62 Στιγμιότυπο από την εκτέλεση του μοντέλου «Φωτιά στο Δάσος» (Χαλκίδης κ.ά., 2016)

Στη διδακτική αυτή παρέμβαση έλαβαν μέρος 27 μαθητές, οι οποίοι εργάστηκαν σε μικρές ομάδες (2-3 ατόμων) ακολουθώντας οδηγίες και συμπληρώνοντας τα φύλλα εργασίας, που δημιουργήθηκαν για τη διδακτική παρέμβαση. Το πρώτο (εκτενέστερο) φύλλο εργασίας είναι ομαδικό και τα υπόλοιπα ατομικά. Στα φύλλα εργασίας που χρησιμοποιήθηκαν εντοπίζονται εννέα φάσεις της διδακτικής παρέμβασης. Στις φάσεις 1-5 οι μαθητές συμπλήρωσαν από κοινού το φύλλο εργασίας, ενώ από τη φάση 6 και μετά συμπλήρωσαν ατομικό φύλλο εργασίας.

Η υλοποίηση της παρέμβασης έγινε στο εργαστήριο Πληροφορικής κατά το χρόνο διδασκαλίας του μαθήματος της Πληροφορικής. Αξιοποιήθηκε η δυνατότητα της δίωρης συνεχόμενης διδασκαλίας του μαθήματος ανά εβδομάδα, σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη στο σχολείο πρακτική των διαθεματικών συνεργασιών εντός διδακτικού ωραρίου. Η συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση θεωρήθηκε διαθεματική συνεργασία «Πληροφορικής και Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης». Ο ρόλος των εκπαιδευτικών ήταν κυρίως υποστηρικτικός, ενθαρρυντικός και διευκολυντικός, χωρίς να παρεμβαίνουν πέρα από τα διαδικαστικά και χωρίς να υποβάλλουν ιδέες στους μαθητές.

Όλες οι μετρήσεις, που λήφθηκαν από τη χρήση του μοντέλου, συμπληρώθηκαν από τους μαθητές και σε προκατασκευασμένα αρχεία του Excel, ώστε να έχουν άμεσα οπτικοποιημένες τις μετρήσεις τους σε γραφική παράσταση (με άξονες: πυκνότητα βλάστησης – ποσοστό καμένου δάσους). Τα συμπληρωμένα αρχεία αναρτήθηκαν στην «η-τάξη» του Πανελληνίου Σχολικού Δικτύου στο αντίστοιχο μάθημα Πληροφορικής. Μετά την ολοκλήρωση των δύο δίωρων (και ανεξάρτητα από το βαθμό στον οποίο είχαν ολοκληρώσει τη διαδικασία), συμπλήρωσαν τη διαδικτυακή φόρμα ανατροφοδότησης σχετικά με την αίσθηση που αποκόμισαν από τη διαδικασία. Μια εβδομάδα μετά από την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης συμπλήρωσαν μια σύντομη φόρμα (ατομικό φύλλο εργασίας) έχοντας μπροστά τους σε ένα κοινό γράφημα όλες τις μετρήσεις που έγιναν από όλες τις ομάδες κατά τη διάρκεια της διδακτικής παρέμβασης.

Διαπιστώθηκαν ικανοποιητικά αποτελέσματα και επιπλέον η παρέμβαση πήρε θετική ανατροφοδότηση από τους μαθητές. Επιβεβαιώθηκε ότι έχει νόημα η επέκταση της έρευνας σε αυτή την ηλικιακή ομάδα και σε έκταση (μεγαλύτερο δείγμα με επανασχεδιασμένη – βελτιωμένη μεθοδολογία) και παράλληλα σε άλλες έννοιες που σχετίζονται με τη θεματική της πολυπλοκότητας. Παράλληλα, διαγνώστηκαν σχετικές αδυναμίες των μαθητών καθώς και

σημεία στα οποία μπορεί να βελτιωθεί το εκπαιδευτικό υλικό, που χρησιμοποιήθηκε και η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε.

### 2.6.3 Συστημική Δυναμική - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών σχετικών με τα πολύπλοκα συστήματα στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση στην Ελλάδα

- «Χρήση απλών μορφών πολυ-πρακτορικών συστημάτων για τη διδασκαλία βασικών ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων» (Γκιόλμας, Χαλκίδης, Παπακωνσταντίνου, & Σκορδούλης, 2011)

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η χρήση πολύ-πρακτορικών συστημάτων (multi-agent-based systems) ως εργαλείο διδασκαλίας για την κατανόηση και εμπέδωση, από μέρους των διδασκόμενων, κάποιων βασικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τα οικολογικά συστήματα ως Πολύπλοκα Συστήματα (Complex Systems). Το πολύ-πρακτορικό σύστημα προσομοίωσης και μοντελοποίησης που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό της NetLogo (version 4.0.4) και από τη Βιβλιοθήκη Μοντέλων (Models' Library), που διαθέτει, επελέγησαν συγκεκριμένα μοντέλα, τα οποία τροποποιήθηκαν κατάλληλα και δημιουργήθηκαν παραλλαγές τους, οι οποίες εξυπηρετούσαν τους διδακτικούς σκοπούς της έρευνας. Τα μοντέλα αυτά ήταν το "Fire" και το "Wolf Sheep Predation". Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια συνεντεύξεων που έδωσαν προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Αθήνας, σε συνδυασμό με την αλληλεπίδρασή τους με κάθε μοντέλο στον υπολογιστή. Οι 17 φοιτητές είχαν την ευκαιρία να αλληλεπιδρούν σε όλη τη διάρκεια της συνέντευξης, παράλληλα με τις απαντήσεις τους στις ερωτήσεις του ερευνητή. Σε κάποιες περιπτώσεις δόθηκε η ευκαιρία να γίνουν, σε συνεργασία με τον ερευνητή, μικρές αλλά κρίσιμες αλλαγές στον κώδικα της NetLogo και να ελέγξουν οι φοιτητές τα αποτελέσματα των αλλαγών στη συμπεριφορά του μοντέλου, παράλληλα με την κατανόηση σε πρώτο επίπεδο της λογικής του προγραμματισμού του μοντέλου. Όλες οι συνεντεύξεις μαγνητοφωνήθηκαν.

Το κομμάτι της έρευνας που περιγράφεται στην εργασία αυτή, αφορά τη συνέχεια της βασικής έρευνας, που έγινε σε 85 προπτυχιακούς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Αθήνας, οι οποίοι παρακολουθούσαν το μάθημα «Φυσικές Επιστήμες και Περιβάλλον: Εργαστηριακή Προσέγγιση», το ακαδημαϊκό έτος 2009-2010 (Gkiolmas et al., 2010a, στο Γκιόλμας, κ.ά., 2011).

Όπως φαίνεται από τα προαναφερόμενα ευρήματα, οι ερευνητές θεώρησαν ότι η χρήση προεκτάσεων των μοντέλων της NetLogo βοηθάει τους διδασκόμενους (εδώ υποψήφιους εκπαιδευτικούς) να συλλάβουν και να αισθητοποιήσουν καλύτερα βασικές ιδιότητες των πολύπλοκων συστημάτων στη Φύση. Συγκεκριμένα η επεξεργασία των συνεντεύξεων οδήγησε στα εξής συμπεράσματα:

α) Με τη χρήση των τροποποιημένων μοντέλων της NetLogo και την αλληλεπίδραση με αυτά σε υπολογιστή, οι προπτυχιακοί φοιτητές και μελλοντικοί εκπαιδευτικοί κατορθώνουν να συλλάβουν σε σημαντικό βαθμό σημαντικές πτυχές και ιδιότητες των πολυπλόκων συστημάτων και συγκεκριμένα i) το ότι η συλλογική συμπεριφορά του συστήματος διαφέρει και είναι πιο σύνθετη από την απλή επαλληλία των συμπεριφορών των επιμέρους μελών του, ii) ότι τα συστήματα αυτά στη Φύση συνήθως διέρχονται από μια κρίσιμη φάση, όπου η συμπεριφορά τους αλλάζει άρδην, αλλά και είναι μη προβλέψιμη, iii) ότι σε ένα πολύπλοκο σύστημα ενυπάρχουν ως δυνατές εξελίξεις η ευστάθεια και η αστάθεια και τέλος iv) ότι η αύξηση του βαθμού πολυπλοκότητας σε ένα οικολογικό σύστημα (όπως ένα τροφικό δίκτυο) το καθιστά κατά κανόνα πιο ευσταθές.

β) Έχοντας τη δυνατότητα να προτείνουν μικρές αλλαγές στον προγραμματισμό ενός πολυπρακτορικού μοντέλου και να προβλέψουν και κατόπιν να ελέγξουν τις επιδράσεις αυτών των μικρών αλλαγών, οι φοιτητές αποκτούν δυνατότητες κατανόησης του τρόπου με τον οποίον τα πολυπρακτορικά υπολογιστικά μοντέλα μοντελοποιούν φυσικά φαινόμενα.

γ) Εισάγονται στην πράξη σε διδασκαλίες συμβατές με θεωρίες μάθησης και τεχνικές, όπως ο κατασκευαστικός εποικοδομητισμός (constructionism), η διερευνητική μάθηση, η «δοκιμή-και-λάθος» ("trial-and-error") κ.λπ., κάτι που εκτιμάται ότι θα τους φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο στη μελλοντική τους σταδιοδρομία ως εκπαιδευτικών, ειδικότερα αν επιθυμούν να εντάξουν τις ΤΠΕ μέσα στη διδασκαλία τους στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση.

- «*Ecosystem Food-webs as Dynamic Systems: Educating Undergraduate Teachers in Conceptualizing Aspects of Food-webs' Systemic Nature and Comportment*» (Karamanos, Gkiolmas, Chalkidis, Skordoulis, Papaconstantinou & Stavrou, 2012)

Η έρευνα αυτή έγινε προκειμένου να εξοικειωθούν Έλληνες υποψήφιοι εκπαιδευτικοί σε Δημοτικό Σχολείο, με έννοιες της συστημικής δυναμικής φύσης του οικοσυστήματος, που αφορά στα τροφικά πλέγματα, αλλά και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα. Το δείγμα αποτελούνταν από 85 φοιτητές του Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης, του Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι φοιτητές είχαν επιλέξει το προαιρετικό θέμα του φθινοπωρινού εξαμήνου: "Περιβαλλοντική Επιστήμη: Μια Εργαστηριακή προσέγγιση». Στους φοιτητές αρχικά δόθηκαν ειδικά σχεδιασμένα φύλλα εργασίας (pre-test worksheets), προκειμένου να διερευνηθούν οι πρότερες γνώσεις και αντιλήψεις τους γύρω από τη δομή και τις ιδιότητες των τροφικών πλεγμάτων ως συστήματα. Η διδασκαλία έγινε με καθοδηγητικό τρόπο (instructional-teaching) και εκτυλίχθηκε σε τέσσερις φάσεις.

Στην πρώτη φάση οι φοιτητές συμπλήρωσαν φύλλα εργασίας, που τους είχαν δοθεί, επεξεργαζόμενοι πραγματικά δεδομένα σχετικά με κουκουβάγιες **Τυτώ**<sup>8</sup> [tyto alba (Wikipedia, 2016f)]. Στη δεύτερη φάση ζητήθηκε από τους φοιτητές να αλληλεπιδράσουν με το λογισμικό του υπολογιστή αρχικά για να ανακατασκευάσουν το τροφικό-πλέγμα των Τυτώ και έπειτα να χρησιμοποιήσουν το System Dynamics Modeler του περιβάλλοντος της NetLogo (έκδοση 4.0.4), ως ένα διαδραστικό εργαλείο μάθησης. Στην τρίτη φάση οι φοιτητές, αφού εξοικειώθηκαν με τον Modeler, χρησιμοποιώντας το απλό μοντέλο του οικοσυστήματος θηρευτής-θήραμα με όνομα: "Wolf Sheep Predation (docked)", αλληλεπιδράσαν με μια παραλλαγή του Modeler, που δημιουργήθηκε με σκοπό να μάθουν πράγματα για τη σταθερότητα και την αστάθεια των τροφικών-πλεγμάτων ως συστήματα και κατ'επέκταση και των οικοσυστημάτων. Στην τελευταία φάση δόθηκαν στους φοιτητές να συμπληρωθούν τα τελικά φύλλα (post-test) και μερικοί από αυτούς ρωτήθηκαν σχετικά με περαιτέρω ιδέες, προβλέψεις και πιθανές επεκτάσεις της γνώσης, που είχαν κατακτήσει.

Τα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν βοήθησαν στην εξαγωγή συμπερασμάτων, τα όποια ήταν ενθαρρυντικά και σχετίζονταν με το γεγονός ότι οι φοιτητές φάνηκε να έχουν αντιληφθεί τα τροφικά πλέγματα ως δυναμικά συστήματα.

- «*A Constructionist Method for Teaching Teachers about Basic Properties of Complex Systems, using a NetLogo Model*» (Gkiolmas, Chalkidi, Karamanos, Papaconstantinou, & Skordoulis, 2012)

---

<sup>8</sup> Γλαυκόμορφο πτηνό της οικογένειας των Τυτονιδών, που απαντά και στον ελλαδικό χώρο. Η επιστημονική ονομασία του είδους είναι *Tyto alba* και περιλαμβάνει 32 υποείδη (Wikipedia, 2016f).

Η ερευνητική αυτή έκθεση συζητά μια κονστρουκτιβιστική προσέγγιση, που χρησιμοποιήθηκε για να διδάξει υποψήφιους Έλληνες Δασκάλους, οι οποίοι σπούδαζαν στο σχετικό τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών, σχετικά με πέντε συγκεκριμένες ιδιότητες των Πολύπλοκων Συστημάτων, με τη χρήση του περιβάλλοντος προγραμματισμού και μοντελοποίησης της NetLogo και ειδικά με τη χρήση ενός μοντέλου NetLogo, που ονομάζεται “Ants”. Οι πέντε αυτές ιδιότητες ήταν (i) η αυτο-οργάνωση, (ii) η έλλειψη κεντρικού ελέγχου ή κάποιου αρχηγού, (iii) η ανάδυση μιας συνολικής (σαν την ανθρώπινη νοημοσύνη) συμπεριφοράς μέσω της τοπικής ανταλλαγής ενός απλού συνόλου πληροφοριών, (iv) η μη επαναληψιμότητα, ακόμα και με τις ίδιες αρχικές συνθήκες (στοχαστικές ιδιότητες) και (v) η ύπαρξη των κρίσιμων τιμών για ορισμένες παραμέτρους.

Η έρευνα που διεξήχθη ήταν μέρος ενός ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος, το οποίο είχε ως κεντρικό ερευνητικό ερώτημα: *εάν και σε ποιο βαθμό τα μοντέλα της NetLogo μπορούν να βοηθήσουν τους μελλοντικούς εκπαιδευτικούς να αντιληφθούν τις ιδιαίτερες ιδιότητες Πολύπλοκων Συστημάτων, που σχετίζονται με τη φύση*. Οι φοιτητές, που έλαβαν μέρος στην έρευνα, υποβλήθηκαν σε συνεντεύξεις διάρκειας περίπου μιας ώρας, η οποία έγινε μπροστά από έναν υπολογιστή στον οποίο «έτρεχε» το μοντέλο “Ants” της NetLogo. Οι 15 φοιτητές, που έλαβαν μέρος στην έρευνα, κατά τη διάρκεια της συνέντευξης αλληλεπίδρασαν με το μοντέλο με κονστρουκτιβιστικό τρόπο μάθησης και συζήτησης, μάθηση μέσα από έρευνα. Μετά την ολοκλήρωση των συνεντεύξεων έγινε ενδελεχής εξέταση των αποτελεσμάτων και προέκυψε το συμπέρασμα ότι: η χρήση μοντέλων της NetLogo μπορεί να βοηθήσει υποψήφιους Δασκάλους να αντιληφθούν τις υπό διερεύνηση πέντε βασικές ιδιότητες των Πολύπλοκων (Προσαρμοζόμενων) Συστημάτων (*Complex (Adaptive) Systems*) και να οικοδομήσουν μια αναπαράσταση της συμπεριφοράς τους.

- «*Multi-Agent Models, made in NetLogo, for teaching simple properties of Complex natural Systems, and their instructional use*» (Gkiolmas, Papaconstantinou Chalkidis, & Skordoulis, 2014a)

Η έρευνα αυτή εστίασε στη χρήση απλών μοντέλων της NetLogo με σκοπό τη διδασκαλία βασικών χαρακτηριστικών απλών Φυσικών συστημάτων. Ειδικότερα, διδάχθηκαν εκτενώς απλοποιημένα μοντελοποιημένα οικοσυστήματα. Ένα τέτοιο βασικό χαρακτηριστικό είναι η κρίσιμη συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων. Χρησιμοποιήθηκε το κατάλληλα τροποποιημένο μοντέλο της βιβλιοθήκης της NetLogo “Fire” (Wilensky, 1997, στο Gkiolmas 2014a). Ο βασικός σκοπός της έρευνας ήταν να δημιουργηθεί μια διδακτική μεθοδολογία - και η διδακτική ακολουθία, που απορρέει από αυτή - με σκοπό να διδαχθούν μελλοντικοί εκπαιδευτικοί γύρω από τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά πολύπλοκων φυσικών συστημάτων χωρίς να χρησιμοποιηθεί απαιτητικός μαθηματικός φορμαλισμός. Ο τρόπος διδασκαλίας ακολούθησε την κονστρουκτιβιστική προσέγγιση - που χρησιμοποιείται συνήθως σε Logo-like περιβάλλοντα - και η ειδική διδακτική μεθοδολογία, που εφαρμόστηκε, ήταν η «Μάθηση μέσα από Έρευνα» [Inquiry-Based Learning (IBL)].

Στην έρευνα έλαβαν μέρος 85 προπτυχιακοί φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα κύρια ευρήματα της έρευνας παρουσιάστηκαν σε σχέση με την πτυχή της «κρίσιμης συμπεριφοράς» των πολύπλοκων φυσικών συστημάτων.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το μοντέλο της NetLogo βοήθησε τους εκπαιδευόμενους να εξοικειωθούν με την ιδέα ότι δεν είναι πάντοτε γραμμική η σχέση μεταξύ της «αιτίας» και του «αποτελέσματος» (ή της «δράσης» και του «γεγονότος»). Επίσης, η αλληλεπίδρασή τους με μοντέλο της NetLogo τους βοήθησε να αντιληφθούν την κρίσιμη

φάση, ως ξεχωριστή φάση σε ένα πολύπλοκο σύστημα και διαφορετική από τις φάσεις «πριν» και «μετά» το κρίσιμο σημείο. Οι περισσότεροι από τους εκπαιδευόμενους είδαν αυτή τη φάση ως απότομη αλλαγή και λιγότεροι μπόρεσαν να δουν ότι είναι μια «φάση απρόβλεπτη», ενός μη ντετερμινιστικού αποτελέσματος. Το ίδιο συνέβη με την τυπική διδασκαλία γύρω από τα πολύπλοκα συστήματα, όμως στην περίπτωση αυτού του είδους διδασκαλίας την αντιλήφθηκαν περισσότερο ως μια απότομη αλλαγή, παρά ως μια «φάση του απρόβλεπτου». Επιπροσθέτως, σχετικά με την εξήγηση γύρω από τις τιμές των κρίσιμων σημείων, δεν φάνηκε η διδασκαλία με τη NetLogo να ήταν πιο αποτελεσματική από την τυπική διδασκαλία (προφορική ή μέσα από βιβλία).

Σε κάθε περίπτωση το γενικό συμπέρασμα είναι ότι είναι ενθαρρυντικά τα αποτελέσματα, που σχετίζονται με την αντίληψη των εκπαιδευόμενων από την Τριτοβάθμια Εκπαίδευση – μελλοντικών εκπαιδευτικών – για τη συμπεριφορά των μοντελοποιημένων πολύπλοκων φυσικών συστημάτων. Αυτό το συμπέρασμα ενισχύεται και από τη χρήση επιπλέον εργαλείων, διεθνώς αποδεκτών, για τη μέτρηση της μάθησης και της κατανόησης των πολύπλοκων φυσικών συστημάτων. Αυτά τα εργαλεία είναι i) το *Structure-Behaviour-Function (SBF)* μοντέλο για τη μάθηση και ii) η σύγκριση των *“Complex Systems Expert” vs “Complex Systems Novice”*, όσον αφορά τη διανοητική και προφορική ή γραπτή αναπαράσταση τέτοιων φυσικών συστημάτων.

- *«Learning about Populations in Ecosystems by “Building Them From Inside” with NetLogo: A Constructionist Approach for Teaching Population Ecology’s Principles»* (Gkiolmas, Chalkidis, Papaconstantinou, Iqbal, & Skordoulis, 2014b)

Η εργασία αυτή επικεντρώθηκε στην εκπαιδευτική πτυχή της χρήσης του περιβάλλοντος της NetLogo, προκειμένου να διδάξει σε προπτυχιακούς φοιτητές, του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, τις βασικές αρχές της συμπεριφοράς οικοσυστημάτων και διερευνήθηκε αν μια συμμετοχική-προσομοίωση βάσει οδηγιών μπορεί να έχει καλά μαθησιακά αποτελέσματα. Βασικά χαρακτηριστικό των φοιτητών αυτών ήταν ότι το υπόβαθρό τους στις Φυσικές Επιστήμες ήταν περιορισμένο και ότι ήταν οι μελλοντικοί εκπαιδευτικοί σε σχολεία, διαφόρων επιπέδων εκπαίδευσης. Οι 17 φοιτητές κατά τη διάρκεια του φθινοπωρινού εξαμήνου 2012-2013 είχαν επιλέξει το προαιρετικό θέμα: "Περιβαλλοντική Επιστήμη: Μια Εργαστηριακή προσέγγιση». Οι φοιτητές κάθονταν μπροστά από έναν υπολογιστή ανά δύο ή ανά τρεις και υποβλήθηκαν σε συνεντεύξεις διάρκειας περίπου μιάμισης ώρας. Οι συνεντεύξεις ήταν ημι-δομημένες και διεξήχθησαν τόσο με τη χρήση φύλλων εργασίας, όσο και με τη χρήση του υπολογιστή, στον οποίο ήταν εγκατεστημένα τα μοντέλα της NetLogo *“Wolf Sheep Predation”* (Wilensky, 1997, στο Gkiolmas, 2014b) και *“Wolf Sheep Predation (docked)”* (Wilensky, 2005, στο Gkiolmas, 2014b), το οποίο χρησιμοποιήθηκε μαζί με ένα άλλο εργαλείο διδασκαλίας της NetLogo, το *“System Dynamics’ Modeler”* (Wilensky, 2005, στο Gkiolmas, 2014b). Κάθε φοιτητής έδινε προφορικές απαντήσεις, που καταγράφονταν από τον ερευνητή σε μια ψηφιακή συσκευή εγγραφής, συμπληρώνοντας και ολοκληρώνοντας παράλληλα και το φύλλο εργασίας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν διαφάνειες ενός αρχείου PowerPoint, στο οποίο υπήρχαν μενού, όπου οι φοιτητές έκαναν - κάθε φορά - ειδικές "επιλογές" από τα κουμπιά των "μενού" και αποφάσιζαν ποια θα πρέπει να είναι η «συμπεριφορά» του/των πράκτορα/ων στην επόμενη εκτέλεση του μοντέλου.

Η νέα ιδέα, που παρουσιάζεται σε αυτή την έρευνα είναι ότι, οι φοιτητές, χρησιμοποιώντας τη NetLogo, προσπαθούν να αντιληφθούν τη συμπεριφορά και του κάθε πράκτορα [agent's ("turtle's") behavior], αλλά και τη συλλογική συμπεριφορά των πρακτόρων. Αποφεύχθηκε με

κάθε τρόπο η διδασκαλία του προγραμματισμού σε NetLogo, ακόμη και σε εισαγωγικό επίπεδο. Επίσης, οι προπτυχιακοί φοιτητές πλοηγήθηκαν σε ένα μενού, κάνοντας κάποιες συγκεκριμένες επιλογές σχετικά με το πώς συμπεριφέρονται οι πράκτορες και έτσι - κατά κάποιο τρόπο - "έκτισαν" τη συμπεριφορά του μοντελοποιημένου οικοσυστήματος. Ο κονστрукτιβιστικός στόχος για τους εκπαιδευόμενους ήταν να οικοδομήσουν ένα NetLogo-μοντέλο οικοσύστημα, το οποίο να λειτουργεί ιδανικά, υπό ορισμένες προϋποθέσεις.

Μέσα από αυτή την εργασία, η οποία ήταν μέρος μιας ευρύτερης έρευνας στο πλαίσιο ενός διδακτορικού που αφορούσε στην εκπαιδευτική χρήση της NetLogo για Φυσικά και ειδικότερα τα οικοσυστήματα ως πολύπλοκα συστήματα, έγινε εμφανές ότι: α) μέσα από την αλληλεπίδραση με τα μοντέλα, οι φοιτητές μπορούν να αντιληφθούν τις αρχές των φυσικών και περιβαλλοντικών συστημάτων. Ειδικότερα, κατασκευάζοντας Πολυπρακτορικά μοντέλα (Multi-Agent-based) από "μέσα", οι φοιτητές οδηγούνται στην κατανόηση της συμπεριφοράς των πρακτόρων, χωρίς να χρειαστεί να έχουν εισαχθεί στις αρχές του προγραμματισμού και β) οι εκπαιδευόμενοι τελικά έγιναν πιο ικανοί στο να κατασκευάζουν μοντέλα των Φυσικών συστημάτων και των Οικοσυστημάτων, όχι "από το μηδέν», αλλά αποφασίζοντας μέρος της συμπεριφοράς των πρακτόρων. Η ικανότητα αυτή είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του πώς θα συμπεριφερθούν μοντελοποιημένα συστήματα όταν οι κανόνες είναι διαφορετικοί. Από την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας βγήκε το συμπέρασμα ότι ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας εκπληρώθηκαν μέχρι ένα σημείο. Επίσης, από τις συνεντεύξεις φάνηκε, ότι οι φοιτητές θα μπορούσαν ενδεχομένως, με τη χρήση απλών μοντέλων NetLogo, αλλά και παραλλαγών τους, καθώς και μέσω της πλοήγησής τους σε ειδικά διαμορφωμένες διεπαφές, να μάθουν πώς να ενεργούν και να «σκέφτονται» ως μέλη ενός φυσικού συστήματος ή οικοσυστήματος και επομένως να κατανοήσουν τις λειτουργίες και τις συμπεριφορές τους.

- «An alternative use of the NetLogo modeling environment, where the student “thinks” and “acts” like an Agent, in order to teach concepts of Ecology» (Gkiolmas, Chalkidis, Paraconstantinou, Iqbal, & Skordoulis, 2014c)

Σε αυτή την έρευνα, χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον της NetLogo με σκοπό φοιτητές να αλληλεπιδράσουν με μοντέλα με έναν πιο ουσιαστικό τρόπο, ώστε να κατανοήσουν καλύτερα την έννοια του "ρόλου"- “role” ενός "παράγοντα"-“agent”. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε, ως μέρος μιας ευρύτερης έρευνας, με συνεντεύξεις, και web-page-like interface menu selections, σε ένα δείγμα 17 φοιτητών του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών (μελλοντικών εκπαιδευτικών Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης). Οι φοιτητές αυτοί κατά τη διάρκεια του χειμερινού εξαμήνου 2011-2012 είχαν επιλέξει το μάθημα με θέμα: «Φυσικές Επιστήμες και Περιβάλλον: Μια Εργαστηριακή Προσέγγιση» και ήταν μέρος ενός ευρύτερου δείγματος 85 φοιτητών. Ο ερευνητικός σκοπός ήταν να μελετηθεί ο βαθμός στον οποίο το περιβάλλον της NetLogo μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές α) να εξοικειωθούν και να αντιληφθούν τα συστήματα στη Φύση - και κυρίως τα οικοσυστήματα – ως Πολύπλοκα Συστήματα, καθώς επίσης β) να μάθουν τις βασικές ιδιότητες τέτοιων συστημάτων. Τα μοντέλα της NetLogo τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα ήταν οι παραλλαγές δύο βασικών μοντέλων της Βιβλιοθήκης της NetLogo: α) "Fire" (Wilensky, 1997a στο Gkiolmas, et al., 2014c) και β) “Ants” (Wilensky, 1997b στο Gkiolmas, et al., 2014c).

Οι 17 φοιτητές, που έλαβαν μέρος στην έρευνα, κάθονταν ανά δύο ή ανά τρεις μπροστά από έναν υπολογιστή και υποβλήθηκαν σε συνεντεύξεις διάρκειας περίπου μιάμιση ώρας. Οι



συνεντεύξεις ήταν ημι-δομημένες και διεξήχθησαν τόσο με τη χρήση φύλλων εργασίας, όσο και με τη χρήση του υπολογιστή, στον οποίο ήταν εγκατεστημένα τα μοντέλα που προαναφέρθηκαν. Κάθε φοιτητής έδινε προφορικές απαντήσεις, που καταγράφονταν από τον ερευνητή σε μια ψηφιακή συσκευή εγγραφής, συμπληρώνοντας και ολοκληρώνοντας παράλληλα και το φύλλο εργασίας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν διαφάνειες ενός αρχείου PowerPoint, στο οποίο υπήρχαν μενού, όπου οι φοιτητές έκαναν - κάθε φορά - ειδικές "επιλογές" από τα κουμπιά των "μενού" και αποφάσιζαν ποια θα πρέπει να είναι η «συμπεριφορά» του/των παράγοντα/ων στην επόμενη εκτέλεση του μοντέλου. Σε μεταγενέστερο στάδιο, οι υπολογιστές αποτέλεσαν ένα δίκτυο, στο οποίο όλοι οι πράκτορες του μοντέλου του οικοσυστήματος δρούσαν μαζί, ώστε οι φοιτητές μπορούσαν να δουν στην οθόνη το συνολικό αποτέλεσμα των επιλογών και των ενεργειών τους.

Η έρευνα αυτή ήταν μέρος μιας ευρύτερης έρευνας στο πλαίσιο ενός διδακτορικού, που αφορούσε στην εκπαιδευτική χρήση της NetLogo για Φυσικά και ειδικότερα τα οικοσυστήματα ως πολύπλοκα συστήματα. Οι στόχοι της έρευνας ήταν: α) να βοηθήσει τους φοιτητές να αντιληφθούν σε βάθος μοντέλα φυσικών και περιβαλλοντικών συστημάτων (Multi-Agent-based), ώστε να κατανοήσουν τη συμπεριφορά των παραγόντων, χωρίς να χρειαστεί να ασχοληθούν με το προγραμματιστικό μέρος του μοντέλου και β) οι φοιτητές να αποκτήσουν την ικανότητα να κατασκευάζουν μοντέλα των Φυσικών συστημάτων και των Οικοσυστημάτων, όχι "από το μηδέν», αλλά αποφασίζοντας τη συμπεριφορά των παραγόντων, μια ικανότητα που είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του πώς θα συμπεριφερθούν μοντελοποιημένα συστήματα όταν οι κανόνες είναι διαφορετικοί.

Από την ανάλυση των δεδομένων της έρευνας βγήκε το συμπέρασμα ότι ο σκοπός και οι στόχοι της έρευνας εκπληρώθηκαν ως ένα σημείο. Σε σύγκριση με άλλες παρόμοιες προσπάθειες να διδαχθούν οι βασικές ιδιότητες και οι σχέσεις μέσα στα Οικοσυστήματα (Vattam, et al, 2011, Basu et al, 2011, Hmelo-Silver, et al, 2011, στο Gkiolmas, et al., 2014c), η συγκεκριμένη έρευνα επιτυγχάνει κάποια αποτελέσματα βασιζόμενη στην αλληλεπίδραση των φοιτητών με το ίδιο το μοντέλο, αλλά και στη δυνατότητα που τους δίνεται να κάνουν επιλογές σε σχέση με αυτό. Επίσης, φάνηκε από τις συνεντεύξεις σε αυτό το μικρό δείγμα, ότι οι φοιτητές θα μπορούσαν ενδεχομένως, με τη χρήση απλών μοντέλων NetLogo, αλλά και παραλλαγών τους, καθώς και μέσω της πλοήγησης τους σε ειδικά διαμορφωμένες διεπαφές, να μάθουν πώς να ενεργούν και να «σκέφτονται» ως μέλη ενός φυσικού συστήματος ή οικοσυστήματος και, επομένως, να κατανοήσουν τις λειτουργίες και τις συμπεριφορές τους.

Επίσης, αποδείχθηκε, σύμφωνα με την άποψη των ερευνητών, ότι η χρήση του περιβάλλοντος της NetLogo αποτελεί μια καλή νέα τακτική για να διδάσκονται στους μαθητές και στους μέλλοντες εκπαιδευτικούς βασικές πτυχές των περιβαλλοντικών συστημάτων και των οικοσυστημάτων, με τη βοήθεια υπολογιστικών περιβαλλόντων μοντελοποίησης.

#### **2.6.4 Συστημική Σκέψη - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο εξωτερικό**

Ερευνητές και εκπαιδευτικοί έχουν τονίσει τη σημασία της ανάπτυξης των δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης κατά τη διαδικασία της μάθησης συγκεκριμένων επιστημονικών πεδίων, όπως η οικολογία, οι Φυσικές και οι Κοινωνικές Επιστήμες, ως προϋπόθεση για την εννοιολογική κατανόηση των θεμάτων που διδάσκονται (Hogan & Thomas, 2001, Klopfer & Resnick 2003, Stieff & Wilensky, 2003, Wilensky & Reisman, 2006, στο Evagorou et.all., 2009). Μια επίσης σημαντική παράμετρος που αφορά στις δεξιότητες της Συστημικής Σκέψης, αλλά και στα πολύπλοκα συστήματα, είναι ότι θα πρέπει οι σκεπτόμενοι με Συστημική Σκέψη, να

είναι σε θέση α) να αναλύουν τις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών δομικών στοιχείων ενός συστήματος και να διερευνούν τις αναδυόμενες ιδιότητες, β) να αναλύουν φαινόμενα και προβλήματα σε ευρύτερα πλαίσια, γ) να λαμβάνουν υπόψη τους τις πολλαπλές σχέσεις αιτίας-αποτελέσματος, δ) να ανακαλύπτουν και να αναπαριστούν δυναμικές διεργασίες (καθυστερήσεις, βρόχους ανάδρασης, ταλαντώσεις), που διέπουν τα πρότυπα συμπεριφοράς του συστήματος, ε) να προβλέπουν τις μακροπρόθεσμες συνέπειες και τα πιθανά αποτελέσματα ενεργειών του παρόντος και ζ) να καταλαβαίνουν τις αλλαγές, που συμβαίνουν σε ένα σύστημα με την πάροδο του χρόνου (Booth Sweeny & Sterman, 2001, Kim, 1999, Maani & Maharaj, 2004, Ossimitz, 2000, Richmond, 2001, στο Evagorou et.all., 2009).

Στο εξωτερικό έχουν γίνει αρκετές έρευνες που αφορούν στην καλλιέργεια της Συστημικής Σκέψης σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, αλλά υπάρχουν και ιστοσελίδες, που αφορούν σε βασικά στοιχεία της Συστημικής Δυναμικής (system dynamics basics) και μπορούν να φανούν χρήσιμα είτε σε μαθητές ή φοιτητές, είτε σε εκπαιδευτικούς, είτε σε γονείς, τα οποία περιέχουν οδηγίες, σχέδια μαθημάτων, ή ακόμα και δειγματικά μοντέλα (sample models) (βλέπε υποενότητα 2.6.6). Ενδεικτικά αναφέρουμε έρευνα που διεξήχθη το 2004, στην οποία βασίσθηκε η Διδακτική Παρέμβαση της παρούσας εργασίας.

- «*Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education*» (Assaraf & Orion, 2004)

Οι Assaraf & Orion το 2004 διεξήγαγαν μια μελέτη σχετική με την ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης σε μαθητές όγδοου επίπεδου (eighth grade)<sup>9</sup>. Το δείγμα της έρευνας ήταν 70 μαθητές από τρία τμήματα δύο διαφορετικών σχολείων μιας κεντρικής πολύ πυκνοκατοικημένης αστικής περιοχής του Ισραήλ, που μελέτησαν τον κύκλο του νερού. Κύριος στόχος της έρευνας ήταν να αξιολογήσει, στο πλαίσιο του συστήματος γη (earth systems), την ανάπτυξη των δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης μεταξύ των μαθητών αυτών. Στην έρευνα αυτή διερευνήθηκαν τα ακόλουθα ερωτήματα: 1. Μπορούν οι μαθητές Γυμνασίου και Λυκείου να ασχοληθούν με πολύπλοκα συστήματα; 2. Τι επηρεάζει τη δυνατότητα των μαθητών στην ανάπτυξη Συστημικής Σκέψης; 3. Τι είδους σχέσεις υπάρχουν μεταξύ των γνωστικών συνιστωσών της Συστημικής Σκέψης;

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, που διεξήγαγαν οι ερευνητές, προέκυψε ότι υπάρχουν οκτώ αναδυόμενα χαρακτηριστικά της Συστημικής Σκέψης, που θα μπορούσε να αναπτύξει ο άνθρωπος γενικότερα στο πλαίσιο μελέτης συστημάτων (Assaraf & Orion, 2004):

1. Η ικανότητα να εντοπίσει τα συστατικά ενός συστήματος και των διαδικασιών στο πλαίσιο του συστήματος.
2. Η ικανότητα να εντοπίσει τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος.
3. Η ικανότητα να οργανώσει τα συστατικά και τις διαδικασίες των συστημάτων σε ένα πλαίσιο σχέσεων.
4. Η ικανότητα να κάνει γενικεύσεις.
5. Η ικανότητα να εντοπίσει τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος.
6. Η ικανότητα να κατανοήσει τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος.
7. Η ικανότητα να κατανοήσει την κυκλική φύση των συστημάτων.
8. Σκέψη μέσα στο χρόνο: αναδρομή και πρόβλεψη

<sup>9</sup> Στις Ηνωμένες Πολιτείες το eighth grade επίπεδο αφορά συνήθως τον δεύτερο ή τον τρίτο χρόνο του Γυμνασίου (high school) (Wikipedia, 2016fd).

Η δομή της έρευνας περιελάμβανε τρεις φάσεις. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με βάση μια σειρά από περίπου 10 ποσοτικά και ποιοτικά ερευνητικά εργαλεία [Groundwater system dynamic nature Questionnaire (GDN), Cyclic Thinking Questionnaire (CTQ), Global Magnitude Questionnaire (GMQ), Drawing (D), Word association (WA), Concept maps (CM), The hidden dimension inventory (HD), The factory inventory (FI) και Repertory Grid (RG)].

Σε σχέση με τη Συστημική Σκέψη τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι οι οκτώ δεξιότητες της Συστημικής Σκέψης μπορούν να ταξινομηθούν σε επίπεδα και να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Assaraf & Orion, 2004) (Πίνακας 6):

- Η 1<sup>η</sup> κατηγορία περιλαμβάνει «την ικανότητα να εντοπίσουν τα συστατικά ενός συστήματος» και «την ικανότητα να εντοπίσουν τις διαδικασίες στο πλαίσιο του συστήματος». Και οι δύο ικανότητες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν μαζί ως «Δεξιότητα που αφορά στην ανάλυση του συστήματος».
- Η 2<sup>η</sup> κατηγορία περιλαμβάνει «την ικανότητα να προσδιορίσουν τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος» και «την ικανότητα να προσδιορίσουν τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος».
- Η 3<sup>η</sup> κατηγορία περιλαμβάνει «την ικανότητα να κατανοήσουν την κυκλική φύση των συστημάτων», «την ικανότητα να οργανώσουν τα συστατικά και τις διαδικασίες των συστημάτων σε ένα πλαίσιο σχέσεων» και «την ικανότητα να κάνουν γενικεύσεις».
- Η 4<sup>η</sup> κατηγορία περιλαμβάνει «την ικανότητα να κατανοούν τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος» και «την ικανότητα να κάνουν αναδρομή και πρόβλεψη».

**Πίνακας 6** Ταξινόμηση των οκτώ δεξιοτήτων της Συστημικής Σκέψης σε επίπεδα

<b>Κατηγορίες Δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης, που αφορούν στα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα</b>	<b>Ικανότητες που περιλαμβάνουν</b>
<b>1<sup>η</sup> Κατηγορία</b> Δεξιότητα που αφορά στην ανάλυση του συστήματος	Να εντοπίζουν τα συστατικά ενός συστήματος. Να εντοπίζουν τις διαδικασίες στο πλαίσιο του συστήματος.
<b>2<sup>η</sup> Κατηγορία</b> Δεξιότητες που αφορούν στις σχέσεις των συνιστωσών του συστήματος – Δυναμική αντίληψη	Να προσδιορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος. Να προσδιορίζουν τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος.
<b>3<sup>η</sup> Κατηγορία</b> Δεξιότητες που αφορούν στην ιδέα του ότι ζούμε σε έναν κόσμο, που ανακυκλώνεται-cycling world. Η κυκλική αντίληψη χρησιμεύει ως ένας μηχανισμός για τον προσδιορισμό των διαπροσωπικών σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών και την οργάνωσή τους σε ένα δίκτυο, προϋποθέτει δε την κατανόηση της δυναμικής του υπό μελέτη συστήματος.	Να κατανοούν την κυκλική φύση των συστημάτων. Να οργανώνουν τα συστατικά και τις διαδικασίες των συστημάτων σε ένα πλαίσιο σχέσεων. Να κάνουν γενικεύσεις (δυναμική και κυκλική αντίληψη).
<b>4<sup>η</sup> Κατηγορία</b> Δεξιότητες που αφορούν στην αναγνώριση των προτύπων και των αλληλεξαρτήσεων, που δεν φαίνονται στην επιφάνεια, αλλά και στην κατανόηση ότι ορισμένες από τις αλληλεπιδράσεις, που παρουσιάζονται εντός του συστήματος, συνέβησαν στο παρελθόν, ενώ μελλοντικά γεγονότα μπορεί να είναι αποτέλεσμα αυτών των αλληλεπιδράσεων (Εικόνα 43 το φαινόμενο του ντόμινο).	Να κατανοούν τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος.  Να κάνουν αναδρομή και πρόβλεψη.

Τα ευρήματα της έρευνας οδήγησαν σε μια πολύ σημαντική υπόθεση, ότι υπάρχει μια ιεραρχία που διέπει αυτές τις τέσσερις ομάδες. Κάθε ομάδα των δεξιοτήτων, με τη σειρά που αναφέρονται, χρησιμεύει ως βάση για την ανάπτυξη της επόμενης υψηλότερης ομάδας δεξιοτήτων.

Η έρευνα έδειξε ότι παρά τις ελάχιστες αρχικές ικανότητες Συστημικής Σκέψης των μαθητών, οι περισσότεροι από αυτούς σημείωσαν κάποια σημαντική προσωπική πρόοδο στις δεξιότητες Συστημικής Σκέψης τους και το ένα τρίτο από αυτούς έφτασε, στο πλαίσιο του κύκλου του νερού, στο υψηλότερο επίπεδο της Συστημικής Σκέψης. Διαπιστώθηκε ότι δύο ήταν οι βασικοί παράγοντες της διαφορετικής προόδου των μαθητών: (α) οι ατομικές γνωστικές ικανότητες των φοιτητών και (β) το επίπεδο της συμμετοχής τους στις δραστηριότητες ολοκλήρωσης της γνώσης κατά τη διάρκεια της μάθησης μέσα από την έρευνα (inquiry-based learning).

### 2.6.5 Συστημική Σκέψη - Ανασκόπηση παρεμφερών ερευνών στην Εκπαίδευση στην Ελλάδα

- «Η Συστημική Σκέψη στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Ένα το ζητούμενο, δύο οι επιλογές» (Σχίζα, 2006)

Η εργασία αυτή είναι θεωρητική. Η συγγραφέας αναφέρει ότι: «Από τα πρώτα της βήματα, η Περιβαλλοντική Εκπαίδευση συνδέθηκε με τη Συστημική Σκέψη και οι όροι «σύστημα» και «συστημική προσέγγιση» εισήλθαν δυναμικά, όχι μόνο στο λεξιλόγιο αλλά και στον προβληματισμό των εκπαιδευτικών, που ενσωματώθηκαν στους κόλπους της. Για να μπορέσουμε ωστόσο να προχωρήσουμε στο διδακτικό σχεδιασμό των Σχολικών Προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης «συστημικά», δεν αρκεί να έχουμε μια αόριστη και συχνά συγκεχυμένη εικόνα για το «σύστημα». Αντίθετα, χρειάζεται να έχουμε μια σαφή και ολοκληρωμένη εποπτεία του τρόπου με τον οποίο οι θεωρητικοί της Συστημικής Σκέψης συλλαμβάνουν και πραγματεύονται την έννοια του συστήματος. Και αυτό, διότι δεν υπάρχει μια «συστημική προσέγγιση» αλλά δυο και μάλιστα με χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να συγκεραστούν, αφού θεμελιώνονται σε διαφορετικά επιστημολογικά πλαίσια».

Για να συμβάλει προς αυτήν την κατεύθυνση, η εισήγηση εκτυλίσσεται σε δυο επίπεδα. Σ' ένα πρώτο επίπεδο, για να παρουσιάσει τις δυο τάσεις σχολές της Συστημικής Σκέψης, τη «Συστημική των Παρατηρούμενων Συστημάτων» και τη «Συστημική του Παρατηρητή» και τις αντίστοιχες «Σκληρές» (Hard) και «Μαλακές» (Soft) Συστημικές Μεθοδολογίες, προκειμένου να φωτίσει το επιστημολογικό τους υπόβαθρο. Σ' ένα δεύτερο, για να υποστηρίξει ως περισσότερο συμβατή με τη φυσιογνωμία της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, τη Συστημική του Παρατηρητή και να αναδείξει την παιδαγωγική της σημασία.

Μετά από τη διατύπωση των θεωρητικών συμπερασμάτων γίνεται η παρακάτω επισήμανση: «Ολοκληρώνοντας τις σκέψεις μας, δεν θα μπορούσαμε να μην επισημάνουμε ότι ένας διδακτικός σχεδιασμός που θεμελιώνεται στη σχέση του μαθητή με τον «άλλο»-συμμαθητή, αποτελεί, στην ουσία, το σχέδιο πάνω στο οποίο θα μπορούσε να οικοδομηθεί η παγκόσμια ανθρώπινη «συν-βίωση» με όρους αλληλεγγύης και αλληλοκατανόησης. Με αυτήν την έννοια και στο βαθμό που όλες οι καινοτόμες δράσεις θα εξακολουθήσουν να συνυπάρχουν με τη σχολική αγωγή και να ενσωματώνουν στους κόλπους τους νέους εκπαιδευτικούς, ο διδακτικός σχεδιασμός των Σχολικών Προγραμμάτων θα εμπλουτίζε τη φαρέτρα της εκπαιδευτικής κοινότητας απέναντι στο πρόταγμα της αόριστης, ως προς το υποκείμενό της ή τους όρους της,

«βιωσιμότητας», που προωθούν οι όψιμα «ευαισθητοποιημένες» διεθνικές κρατικο-οικονομικές οντότητες για να υπερασπίσουν τα αναπτυξιακά τους σχέδια».

- «*Η Συστημική Δυναμική ως Εργαλείο Υποστήριξης της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης*» (Κονταξάκη & Βρυώνης, 2013)

Η εργασία αυτή είναι θεωρητική. Οι συγγραφείς αναφέρουν ότι: «Περιβαλλοντικά θέματα και προβλήματα είναι πολύπλοκα φαινόμενα που τέμνουν πολλούς επιστημονικούς τομείς. Μοντελοποίηση και προσομοίωση διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στην κατανόηση και την ερμηνεία των φαινομένων αυτών. Η *συστημική δυναμική* είναι μια μεθοδολογία, που αναπτύχθηκε με διττό στόχο: αφενός να διαμορφώσει και, αφετέρου, για την προσομοίωση σύνθετων φαινομένων. Έτσι, η *συστημική δυναμική* μπορεί να είναι πολύ υποστηρικτική στην ανάλυση των περιβαλλοντικών ζητημάτων και την παρακολούθηση περιβαλλοντικών αλλαγών με την πάροδο του χρόνου». Επίσης, προτείνουν «τη χρήση του λογισμικού *συστημικής δυναμικής* στο πλαίσιο της εφαρμογής περιβαλλοντικών προγραμμάτων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση». Το λογισμικό που προτείνεται είναι το Vensim PLE (Ventana Systems UK), που διατίθεται μέσω της ιστοσελίδας <http://www.ventanasystems.co.uk/>. Με βάση τη δυναμική του συστήματος, από τη μια πλευρά η έρευνα των περιβαλλοντικών θεμάτων πραγματοποιείται προς μια ολιστική και διεπιστημονική προσέγγιση. Από την άλλη πλευρά, παιδαγωγικές δραστηριότητες στις οποίες οι μαθητές συμμετέχουν στην ανάλυση, μοντελοποίηση και προσομοίωση, προωθούν την ανάπτυξη της δημιουργικότητας και της κριτικής σκέψης.

Ως συμπεράσματα αναφέρονται τα εξής:

α) Τα οφέλη από την υλοποίηση της παραπάνω πρότασης είναι πολλαπλά. Καταρχάς, η χρήση της *συστημικής δυναμικής* ως μεθοδολογίας μοντελοποίησης λογικών διεργασιών θα καθοδηγήσει τους μαθητές στην αναγνώριση των ποικίλων παραμέτρων των περιβαλλοντικών προβλημάτων και θα συμβάλλει στην απόκτηση δεξιοτήτων ανάλυσης και σχεδιασμού συστημάτων. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές ασκούνται στην προσέγγιση πολύπλοκων ζητημάτων με τρόπο ρεαλιστικό, ενώ παράλληλα μαθαίνουν να συνδυάζουν αποσπασματικές γνώσεις σε μια ενιαία ολότητα (Μπίλλα, 2007, στο Κονταξάκη & Βρυώνης, 2013).

β) Η χρήση του λογισμικού *συστημικής δυναμικής* ως εργαλείου απεικόνισης της δυναμικής συμπεριφοράς συστημάτων, θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση της αλληλεξάρτησης που υπάρχει μεταξύ των πολλαπλών παραμέτρων που εμπλέκονται στα περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς και στην οπτικοποίηση του αποτελέσματος, που επιφέρει η επιβολή διαφορετικών αρχικών συνθηκών στην μελλοντική εξέλιξη ενός περιβαλλοντικού προβλήματος.

γ) Η συστημική δυναμική θεωρείται ότι αποτελεί ένα εργαλείο λογισμού (mindtool) που χρησιμοποιεί μια λογική η οποία διαφέρει από αυτήν της γραμμικής αιτιότητας. Ο όρος *εργαλείο λογισμού* ορίστηκε και πρωτο-χρησιμοποιήθηκε από τον Jonassen (2000) ως «*εργαλείο λογισμού το οποίο εμπλέκει τους μαθητεύμενους σε μια δημιουργική και κριτική διαδικασία για οτιδήποτε μαθαίνουν...*». Όπως υποστηρίζει ο ίδιος, τα εργαλεία λογισμού παρέχουν ένα πλήθος δραστηριοτήτων, που βοηθούν και ενισχύουν τη νόηση με αποτέλεσμα οι μαθητές να «εξαναγκάζονται» κατά κάποιο τρόπο να υιοθετήσουν ένα μοντέλο λογισμού παρόμοιο με αυτό των ειδικών.

- «Using Simulations of NetLogo as a Tool for Introducing Greek High-School Students to Eco-Systemic Thinking1 Introduction» (Gkiolmas, Karamanos, Chalkidis, Skordoulis, Paraconstantinou & Stavrou, 2013)

Σε αυτή την εργασία γίνεται διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του περιβάλλοντος προγραμματισμού της NetLogo (έκδοση 4.0.4), όσον αφορά στην ενίσχυση μαθητών της Β' Λυκείου (16-17 ετών - διαφόρων επιπέδων επιδόσεων) της Ελληνικής Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, ώστε να κατανοήσουν τη δομή απλών οικοσυστημάτων και για να μοντελοποιήσουν τη συστημική συμπεριφορά των οικοσυστημάτων αυτών, αντιλαμβανόμενοι τα χαρακτηριστικά της πολυπλοκότητάς τους. Διερευνώνται τα συστημικά χαρακτηριστικά ενός απλού μοντέλου οικοσυστήματος, που αποτελείται από μόνο ένα θήραμα και ένα αρπακτικό. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα "Wolf Sheep Predation Model" (Wilensky, 1997, στο Gkiolmas et.all., 2013), και το "Wolf Sheep Predation (docked)" (Wilensky, 2005, στο Gkiolmas et.all., 2013), που είναι μοντέλα της βιβλιοθήκης της NetLogo (έκδοση 4.0.4). Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης έρευνας, που αφορά στη διδασκαλία της Πολυπλοκότητας των Οικοσυστημάτων σε μαθητές Λυκείου, με τη χρήση των ΤΠΕ. Εκτός από την προφορική διδασκαλία, οι μαθητές κλήθηκαν να «τρέξουν» προσομοιώσεις NetLogo κάνοντας συγκεκριμένες ενέργειες σε σχέση με τα μοντέλα, απαντώντας ταυτόχρονα σε ερωτήσεις των φύλλων εργασίας που τους είχαν δοθεί.

Προκειμένου να «μετρηθεί» η βελτίωση της Συστημικής Σκέψης των μαθητών χρησιμοποιήθηκε ο Πίνακας 7 και συγκεκριμένα δόθηκε έμφαση στην τέταρτη στήλη. Οι τρεις πρώτες στήλες του Πίνακα έχουν δημιουργηθεί από τον Jacobson και υπάρχουν στην κλασική του εργασία στην οποία έκανε σύγκριση του τρόπου σκέψης ενός «αρχάριου» και ενός «ειδικού» σε έννοιες, που αφορούσαν στα νοητικά μοντέλα και στις πεποιθήσεις τους για τα πολύπλοκα συστήματα (Jacobson, 2001, στο Gkiolmas et.all., 2013). Η τέταρτη στήλη του Πίνακα αφορά στη συσχέτιση της ικανότητας της Συστημικής Σκέψης με κάθε ένα από τα στοιχεία των άλλων στηλών που διερευνήθηκαν. Ας σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη έρευνα η συσχέτιση γίνεται μόνο για τις κατηγορίες 1., 4., 6., 7. και 8.

**Πίνακας 7** Juxtaposition of the complex systems novices' and experts' mental models and beliefs, those related to systems' thinking, as taken by Jacobson (Gkiolmas et.all., 2013)

Category of Component Belief	Component Beliefs Associated with Clockwork Mental Model	Component Beliefs Associated with Complex Systems Mental Model	Associated System-Thinking Ability
1. Understanding phenomena	Reductive (e.g., step-wise sequences, isolated parts)	Nonreductive: whole-is-greater-than-the-parts	Seeing <b>only</b> the stocks vs. Seeing all the stocks <b>and</b> the flows <b>and</b> the arrows <b>and</b> the faucet controls
4. Action effects	Small actions → small effects	Small action → big effect	Seeing a <b>proportional</b> increase/decrease in the stock and the flow vs. Seeing a <b>non-proportional</b> increase/decrease in the stock and the flow
6. Complex actions	From complex rules	From simple rules	Seeing a stock as affecting <b>only very close</b> stocks by the neighbouring flows vs. Seeing a stock as affecting <b>even very distant</b> stocks by arrays of flows
7. Final causes or purposefulness of natural phenomena	Teleological	Nonteleological or stochastic	<b>Not observing</b> the arrows, i.e. the "closed" feedback loops, seeing only "open" procedures vs. <b>Observing</b> the arrows, i.e. the "closed" feedback loops, AND NOT seeing only "open" procedures
8. Ontology	Static structures Events	Equilibration processes	Seeing the stocks as reaching a <b>final, constant</b> size and the flows as stopping vs. Seeing the stocks as reaching a <b>final constant</b> size <b>but</b> the flows as <b>never</b> stopping

Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και ένα διαφορετικό μοντέλο αντιμετώπισης της γνώσης και της μάθησης γύρω από τα πολύπλοκα συστήματα, πολύ δημοφιλές στον τομέα των Επιστημών της Αγωγής. Το μοντέλο αυτό, είναι το “SBF - Structure, Behavior and Function”, που δημιουργήθηκε κυρίως από την Cindy Hmelo-Silver και τους συνεργάτες της (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000, Hmelo-Silver. & Pfeffer, 2004, Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007, στο GKiolmas et.all., 2013). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο θεωρείται ότι κάποιος έχει επαρκή γνώση σε σχέση με τα πολύπλοκα συστήματα αν μπορεί να περιγράψει με ακριβείς όρους α) τη Δομή (Structure), δηλαδή τα τμήματα, που αποτελούν το σύστημα, β) τη Συμπεριφορά (Behavior), δηλαδή τους αλγόριθμους που διέπουν το σύστημα και τον τρόπο που εκτελούνται ώστε να λειτουργεί το σύστημα, και γ) τη Λειτουργία (Function), δηλαδή ποιες ενέργειες εκτελεί το σύστημα σε παρατηρήσιμο επίπεδο. Στη συγκεκριμένη έρευνα δόθηκε έμφαση μόνο στις πτυχές "Structure" ("S") και "Function" ("F"), (Πίνακας 8).

**Πίνακας 8** The S-F elements of the modeled Wolves-Sheep-Grass ecosystem and their respective system dynamics’ depictions (GKiolmas et.all., 2013)

Properties and Aspects of the modeled ecosystem as system, related to the SBF Conceptual Model.	Elements of this Property and Aspect	System Dynamics Expression of this Element
Structure	S1) The Wolves S2) The Sheep S3) The Grass	S1) A box (“stock”) called “wolves” or “wolves’ population” or equivalent S2) A box (“stock”) called “sheep” or “sheep’s population” or equivalent S3) A box (“stock”) called “grass” or “amount of grass” or equivalent
Function	F1) Wolves eat sheep F2) Sheep eat or do not eat grass F3) Wolves die if they do not find something to eat for some time F4) Sheep die if they do not find something to eat for some time (in the case: “grass plays a role”) F5) Sheep die due to predation by wolves F6) Grass is reduced when eaten by sheep (in the case: “grass plays a role”) F7) New wolves are added due to wolves’ births F8) New sheep are added, due to sheep’s births F9) Grass is replaced with a certain rate (in the case: “grass plays a role”)	F1) An arrow showing the predation or something equivalent F2) An arrow showing the eating of grass (loss of grass) or something equivalent F3) Something depicting the deaths of wolves F4) Something depicting the deaths of sheep F5) Something depicting the deaths of sheep due to predation F6) An arrow depicting the loss of grass F7) Something depicting the addition of wolves F8) Something depicting the addition of sheep F9) Something describing the replacement of grass

Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε και το System Dynamics Modeler της NetLogo, που σχετίζεται με το μοντέλο: “Wolf Sheep Predation (docked)”.

Οι συγγραφείς της εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς της έρευνας (μικρό μέγεθος του δείγματος, απουσία προ-τεστ και μετα-τεστ αξιολογήσεις) και τους περιορισμούς σε σχέση με τη διδασκαλία (λίγες ώρες διδασκαλίας, οι μαθητές εργάστηκαν σε θέμα που δεν σχετίζεται με το πρόγραμμα σπουδών της τάξης τους), υποστηρίζουν ότι από την έρευνα αυτή εξήχθησαν σημαντικά συμπεράσματα. Τα συμπεράσματα αυτά είναι τα παρακάτω:

- α) Ο συνδυασμός της χρήσης μοντέλων της NetLogo και του System Dynamics Modeler, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να βελτιώσουν την κατανόησή τους, αλλά και τις ικανότητες συστημικής ανάλυσης ενός απλού μοντελοποιημένου οικοσυστήματος.
- β) Οι μαθητές, ως «αρχάριοι», μπορούν να κινηθούν προς την κατεύθυνση ενός «ειδικού», ή τουλάχιστον σε σχέση με μερικές από τις πτυχές του πολύπλοκου συστήματος.

- γ) Οι χαμηλού επιπέδου ικανότητες Συστημικής Σκέψης των μαθητών παρέμειναν και μετά από την εμπλοκή τους με τη NetLogo στα ίδια επίπεδα.
- δ) Οι υψηλού επιπέδου ικανότητες Συστημικής Σκέψης των μαθητών ήταν απύσες και πριν και μετά από την εμπλοκή τους με τη NetLogo, κάτι που δείχνει ότι η εμπλοκή των μαθητών με τη NetLogo συνήθως ενισχύει το μέσο επίπεδο ικανοτήτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη.

Μια βασική ιδέα αυτής της έρευνας και ένα συμπέρασμα που εξάγεται, είναι ότι ένας εκπαιδευόμενος, ο οποίος είναι αδύναμος στο να μπορεί (i) να δει λεπτομερείς δομές σε ένα σύστημα, (ii) να δει βρόχους, (iii) να κάνει πρόβλεψη της εξέλιξης, που αφορά σε ένα σύστημα που εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου, (iv) να παρατηρήσει μεγάλης εμβέλειας αλληλεπιδράσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος και (v) να κάνει γενικεύσεις, που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του συστήματος, σίγουρα θα ωφεληθεί, κατά κάποιο τρόπο, αν αυτός/τη διδαχθεί την έννοια του συστήματος όχι μόνο με τη γραφική παράσταση της Συστημικής Δυναμικής, αλλά και με τη μελέτη (και την αλληλεπίδραση) μιας πολυπρακτορικής προσομοίωσης (agent-based simulation), όπως π.χ. ενός μοντέλου της NetLogo. Αυτό συμβαίνει γιατί ένας «αρχάριος» δεν μπορεί να απαντήσει εύκολα σε ερωτήσεις μέσω γραφικών ή μαθηματικών αναπαραστάσεων.

- *«Η Συστημική Δυναμική στην Εκπαίδευση για το Περιβάλλον και την Αειφορία. Μια διδακτική πρόταση»* (Κυροδήμου, Φεσάκης & Φλογαΐτη, 2015)

Στην παρούσα εργασία προσεγγίζεται η έννοια της Αειφορίας μέσα από τη δυναμική της διάσταση και τις πολύπλοκες σχέσεις, που αναπτύσσονται μεταξύ των οικονομικών, κοινωνικών και των περιβαλλοντικών συνιστωσών της. Η Συστημική Δυναμική με τις προτεινόμενες δραστηριότητες μοντελοποίησης αγγίζει και την Αειφορία στα περιβαλλοντικά προβλήματα από τα οποία αναδύεται. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μια μελέτη περίπτωσης, που σκοπό έχει να αποκαλύψει την αποτελεσματικότητα και την επίδραση της Συστημικής Δυναμικής στην προσπάθεια κατανόησης της έννοιας της αειφορίας. Επίσης, προτείνεται μια διδακτική προσέγγιση της Αειφορίας μέσα από δραστηριότητες μοντελοποίησης δυναμικών συστημάτων και λήψης αποφάσεων με το λογισμικό μοντελοποίησης STELLA. Η προτεινόμενη προσέγγιση περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την εφαρμογή και την αξιολόγηση μιας σειράς διδακτικών παρεμβάσεων που αφορούν στη μελέτη και στην κατασκευή μοντέλων οικολογικών προβλημάτων, αλλά και στην προσομοίωση των σχετικών δυναμικών τους συστημάτων ώστε να αναζητηθούν αειφορικές πολιτικές διαχείρισης. Υλοποιήθηκε τον Ιούνιο του 2014 σε φοιτητές του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών “Θεωρία, πράξη και αξιολόγηση του εκπαιδευτικού έργου” (ΘΕΠΑΕΕ), με κατεύθυνση σπουδών: «Περιβαλλοντική Εκπαίδευση για την αειφόρο ανάπτυξη» του τμήματος Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής και Ψυχολογίας (Φ.Π.Ψ.). Το δείγμα αποτελούνταν από 8 φοιτητές του ΠΜΣ για το έτος 2013-2014 από τους οποίους οι 7 ήταν γυναίκες και ένας άνδρας. Η διδακτική παρέμβαση υλοποιήθηκε σε δύο τρίωρες συναντήσεις.

Η παραπάνω έρευνα αφορούσε σε ένα μικρό δείγμα εκπαιδευομένων και τα αποτελέσματά της δεν επιτρέπουν να εξαχθούν γενικευμένα συμπεράσματα. Ωστόσο οι δραστηριότητες μοντελοποίησης έδειξαν ότι οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να κατασκευάσουν μοντέλα αναπαράστασης ενός φαινομένου της πραγματικότητας, να εξερευνήσουν τις δυναμικές πτυχές τους και να εξετάσουν προβλέψεις και υποθέσεις σχετικά με τη συμπεριφορά τους. Μέσα από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας ανοίγει ο δρόμος επέκτασης



εφαρμογής της και σε σχολεία της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Οι διαδικασίες μοντελοποίησης μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης να κατανοήσουν τα περιβαλλοντικά προβλήματα και κατ' επέκταση τα προβλήματα της κοινωνίας, που προκαλούν σύγχυση.

### 2.6.6 Ιστοσελίδες-Συστημική Ανάλυση, Πολύπλοκα Συστήματα και Εκπαίδευση

Στη σελίδα <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/references.shtml> απαριθμούνται δημοσιεύσεις τοποθετημένες με χρονολογική σειρά, στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί ή αναφερθεί το περιβάλλον της NetLogo ή / και μοντέλα του. Η λίστα αυτή δεν είναι πλήρης, δεδομένου ότι για να συμπεριληφθεί κάποια δημοσίευση πρέπει να σταλεί η σχετική εργασία στη διεύθυνση [netlogo-refs@ccl.northwestern.edu](mailto:netlogo-refs@ccl.northwestern.edu).

Επιπλέον στη σελίδα <http://www.academia.edu/Documents/in/Netlogo>, υπάρχουν δημοσιευμένες εργασίες, στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί πολυπρακτορικά περιβάλλοντα, όπως αυτό της NetLogo.

Στη διεύθυνση [http://conference.systemdynamics.org/past\\_conferences/](http://conference.systemdynamics.org/past_conferences/) υπάρχουν τα πρακτικά από όλα τα ετήσια διεθνή συνέδρια της Systems Dynamic Society. Ανάμεσα στα συνέδρια αυτά είναι και το 26ο Παγκόσμιο Συνέδριο Συστημικής Δυναμικής, που πραγματοποιήθηκε στην Ελλάδα το 2008 από τις 20 έως τις 24 Ιουλίου (<http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/index.html>), το οποίο φιλοξένησε περισσότερους από 500 επιστήμονες από όλο το πλανήτη (Systems Dynamic Society, 2012). Στο συνέδριο αυτό παρουσιάστηκαν και εργασίες σχετικές με την Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση (K-12) [*Assessing the Effectiveness of Systems Thinking Interventions in the Classroom*] (Hopper & Stave, 2008), *«A Taxonomy of System Dynamics Pedagogic Techniques»* (Kennedy, 2008), *«K-12 Open Discussion»* (Stuntz, 2008) και *«Teaching Your Children System Dynamics/System Thinking»* (Fisher & Stuntz, 2008)].

Επίσης όποιος επιθυμεί μπορεί να συνδεθεί απευθείας με ιστοσελίδες, που αφορούν σε βασικά στοιχεία της Συστημικής Δυναμικής (system dynamics basics), είτε είναι μαθητής ή φοιτητής και μπορούν να φανούν χρήσιμες είτε σε μαθητές ή φοιτητές, είτε σε εκπαιδευτικούς, είτε σε γονείς, οι οποίες περιέχουν οδηγίες, σχέδια μαθημάτων, ή ακόμα και δειγματικά μοντέλα (sample models). Μερικές από αυτές είναι:

- The Creative Learning Exchange: <http://clexchange.org>
- The Waters Foundation: [www.watersfoundation.org](http://www.watersfoundation.org)
- CC Modeling Systems: [www.ccmodelingsystems.com](http://www.ccmodelingsystems.com)
- Forio Online Simulations: <http://forio.com>

## 2.7 Πρωτοτυπία της Έρευνας

Από τη διερεύνηση που έγινε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής διαπιστώνουμε ότι στην Ελλάδα τα τελευταία μόλις τρία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια εισαγωγής στοιχείων από τα Πολύπλοκα Συστήματα, αλλά και καλλιέργεια της Συστημικής Σκέψης σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Η συντριπτική πλειονότητα των ερευνών αφορά σε μαθητές Λυκείου και μόλις δύο αφορούν σε μαθητές Γυμνασίου (GKiolmas et.all., 2013 και Χαλκίδης κ.ά., 2016).

Η Διδακτική Παρέμβαση, που σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε με αφορμή αυτή την έρευνα, αλλά και η διδακτική προσέγγιση, που ακολουθήθηκε σε μαθητές της Β΄ Τάξης (Τμήμα Β1΄) και Γ΄ Τάξης (Τμήμα Γ2΄) του Β΄ Αρσακείου-Τοσιτσείου Γυμνασίου Εκάλης, του σχολικού έτους 2016-2017, αποτελεί και για τις σταθερές του Σχολείου μου, αλλά και για τις σταθερές γενικότερα της υποχρεωτικής εκπαίδευσης επιπέδου Γυμνασίου, εξαίρεση και πρωτοτυπία.

Μια ακόμα πρωτοτυπία, που αφορά στην έρευνα αυτή είναι ότι υιοθετείται η λογική της σχεδίασης και δημιουργίας εκπαιδευτικού υλικού και όχι της χρησιμοποίησης ήδη υπάρχοντος υλικού. Η διαδικασία σχεδίασης και δημιουργίας εκπαιδευτικού υλικού με τη χρήση των ΤΠΕ, και όχι η απλή εφαρμογή, είναι μια πρόκληση για τον εκπαιδευτικό. Εφαρμόζοντας στην τάξη το υλικό που έχει δημιουργήσει, θέτει υπό κρίση τις ιδέες, τη διδακτική προσέγγιση, που υιοθετεί (δασκαλοκεντρική ή μαθητοκεντρική με τις ανάλογες προεκτάσεις), τα εργαλεία που επέλεξε (συμβατικά ή των ΤΠΕ), και ουσιαστικά το σύνολο των επιλογών αλλά και των γνώσεών του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 3.1 Περιβάλλον της έρευνας

**Σχολείο και Περιοχή:** Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Ιδιωτικό Σχολείο - Β΄ Αρσάκειο-Τοσίτσειο Γυμνάσιο Εκάλης, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Εκάλης του Δήμου Διονύσου στο Νομό Αττικής.

**Χώρος διεξαγωγής της έρευνας:** Ο χώρος στον οποίο εφαρμόστηκε η Διδακτική Παρέμβαση, ώστε να ληφθούν τα απαραίτητα δεδομένα και να ολοκληρωθεί η έρευνα, ήταν το Β Εργαστήριο Πληροφορικής, το οποίο είναι ένα από τα τέσσερα Εργαστήρια Πληροφορικής που διαθέτει το σχολικό συγκρότημα των Αρσακείων-Τοσιτσείων Σχολείων της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης της Εκάλης. Το εργαστήριο διαθέτει 14 υπολογιστές για τους μαθητές και τις μαθήτριες, ένα σαρωτή, ένα βιντεοπροβολέα, έναν εκτυπωτή και έναν υπολογιστή για τον καθηγητή. Επίσης, σε κάθε υπολογιστή είχε εγκατασταθεί το λογισμικό της NetLogo (Έκδοση 5.3.1.)

**Δείγμα:** Το δείγμα της συγκεκριμένης έρευνας περιλαμβάνει 47 μαθητές της Β΄ και Γ΄ Τάξης Γυμνασίου του σχολικού έτους 2016-2017. Συγκεκριμένα οι 26 είναι μαθητές του Β1΄ τμήματος της Β΄ Τάξης Γυμνασίου, εκ των οποίων τα 8 είναι αγόρια και τα 19 κορίτσια (ηλικίας 13-14 ετών) και οι 21 είναι μαθητές του Γ2΄ τμήματος της Γ΄ Τάξης Γυμνασίου, εκ των οποίων τα 11 είναι αγόρια και τα 10 κορίτσια (ηλικίας 14-15 ετών) (Πίνακας 9).

Πίνακας 9 Δείγμα της έρευνας

Τάξη/Τμήμα	Φύλο		Σύνολο	Ηλικία (σε έτη)
	Αγόρια	Κορίτσια		
B1΄	8 / 30,8%	18 / 69,2	26 / 100%	13-14
Γ2΄	11 / 52,4	10 / 47,6	21 / 100%	14-15

Πίνακας 10 Αριθμητική και ποσοστιαία κατανομή του χαρακτηρισμού του γενικού βαθμού ετήσιας προόδου των μαθητών, του προηγούμενου σχολικού έτους

Σχολικό έτος 2015-2016	Τάξη / Τμήμα	Φύλο	Βαθμολογική Κλίμακα									
			"Ανεπαρκώς" 01-09		"Μέτρια" 10-12		"Καλά" 13-15		"Πολύ καλά" 16-18		"Άριστα" 18-20	
			#	%	#	%	#	%	#	%	#	%
A1΄ τωρινό	A		-	-	-	-	-	-	3	11,11	5	19,23
	K		-	-	-	-	-	-	6	22,22	12	46,15
	<b>B1΄</b>	<b>Σύνολο</b>	-	-	-	-	-	-	<b>9</b>	<b>33,33</b>	<b>17</b>	<b>65,38</b>
B2΄ τωρινό	A		-	-	-	-	1	4,76	6	28,57	4	19,05
	K		-	-	-	-	1	4,76	2	9,52	7	33,33
	<b>Γ2΄</b>	<b>Σύνολο</b>	-	-	-	-	<b>2</b>	<b>9,52</b>	<b>8</b>	<b>38,09</b>	<b>11</b>	<b>52,38</b>

# Αριθμητική κατανομή του χαρακτηρισμού του γενικού βαθμού ετήσιας προόδου  
% Ποσοστιαία κατανομή του χαρακτηρισμού του γενικού βαθμού ετήσιας προόδου  
A Αγόρια  
K Κορίτσια

Παρόλο που το Σχολείο είναι Ιδιωτικό οι μαθητές και οι μαθήτριες προέρχονται από διάφορες κοινωνικοοικονομικές τάξεις. Οι επιδόσεις των μαθητών και των μαθητριών και η συμπεριφορά τους είναι ποικίλες. Η συμπεριφορά στο Σχολείο δεν είναι μετρήσιμη, όπως

είναι η επίδοση, γιατί δεν βαθμολογείται. Όσον αφορά στην επίδοση, στον Πίνακα 10 φαίνεται η αριθμητική και ποσοστιαία κατανομή του χαρακτηρισμού του γενικού βαθμού ετήσιας προόδου των μαθητών, που είναι ο μέσος όρος των βαθμών των μαθημάτων του σχολικού έτους, για το προηγούμενο σχολικό έτος, δηλαδή το 2015-2016, όταν οι μαθητές της Β΄ και της Γ΄ Τάξης ήταν μαθητές της Α΄ και Β΄ Τάξης αντίστοιχα.

Παρατηρώντας τον Πίνακα 10 διαπιστώνουμε ότι και στα δύο τμήματα, το προηγούμενο σχολικό έτος, οι μαθητές είχαν υψηλές επιδόσεις. Αυτό αποτέλεσε κίνητρο για να εφαρμοσθεί η Διδακτική Παρέμβαση και στο τμήμα της Β΄ Τάξης, παρόλο που ηλικιακά ήταν παρακινδυνευμένο.

**Οργάνωση δείγματος:** Οι μαθητές σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης, εργάστηκαν ομαδοσυνεργατικά σε ομάδες των 2-3 ατόμων. Οι ομάδες αυτές δημιουργήθηκαν από τους ίδιους τους μαθητές και τις μαθήτριες. Το εντυπωσιακό, αλλά αναμενόμενο, ήταν ότι όλες οι ομάδες αποτελούνταν από άτομα του ίδιου φύλου (Πίνακας 11).

Πίνακας 11 Σύσταση ομάδων

Τάξη / Τμήμα	Αριθμός Ομάδων Αγοριών		Αριθμός Ομάδων Κοριτσιών		Σύνολο ομάδων		Σύνολο ομάδων
	των 2	των 3	των 2	των 3	των 2	των 3	
B1΄	4	0	9	0	13	0	13
Γ2΄	4	1	5		9	1	10

Κατά τη διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης κάθε ομάδα καθόταν μπροστά από έναν από τους 14 υπολογιστές, αλλά κάθε φορά στον ίδιο.

Οι μαθητές και οι μαθήτριες εργάστηκαν ακολουθώντας οδηγίες και συμπλήρωσαν ένα *Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων*, πριν και μετά από τη Διδακτική Παρέμβαση, αλλά και ένα *Φύλλο Εργασίας*. Το Φύλλο Εργασίας αποτέλεσε τον πυρήνα της Παρέμβασης. Το υλικό αυτό δημιουργήθηκε ειδικά με σκοπό να εφαρμοσθεί στην τάξη στο πλαίσιο της έρευνας.

Επίσης, στα αρχικά στάδια της Διδακτικής Παρέμβασης, δόθηκε στους μαθητές η δυνατότητα εξερεύνησης του περιβάλλοντος της NetLogo.

**Χρόνος υλοποίησης και διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης:** Η Διδακτική Παρέμβαση υλοποιήθηκε τις τρεις τελευταίες εβδομάδες του Νοεμβρίου του 2016 και για την ολοκλήρωσή της χρειάστηκαν 11 διδακτικές ώρες, ξεχωριστές για κάθε τμήμα. Οι περισσότερες από αυτές τις ώρες καλύφθηκαν με συνεχόμενα διδακτικά δίωρα, αφού είχε εξασφαλιστεί η απαραίτητη άδεια από τη Διευθύντρια του Σχολείου και η συναίνεση των εκπαιδευτικών του Σχολείου, που με προθυμία έδωσαν ώρες προκειμένου να υλοποιηθεί και ολοκληρωθεί με επιτυχία η Διδακτική Παρέμβαση.

**Εμπλεκόμενες γνωστικές περιοχές:** Η Διδακτική Παρέμβαση υλοποιήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος της Πληροφορικής και συγκεκριμένα εντάχθηκε στον Άξονα προσδοκώμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων στην κατηγορία *Διερευνώ, ανακαλύπτω και λύνω προβλήματα* για τη Β΄ Τάξη και *Διερευνώ, σχεδιάζω και λύνω προβλήματα* για τη Γ΄ Τάξη (Νέο Πρόγραμμα Σπουδών Πληροφορικής, 2011; Εγκύκλιος, 2016).

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Αρσάκεια Τοσίτσεια Σχολεία λειτουργούν από το σχολικό έτος 2012-2013 με 40/ωρο Εβδομαδιαίο Ωρολόγιο Πρόγραμμα, δηλαδή πενθήμερο οκτώωρο Ω.Π. Συνέπεια αυτού είναι ότι, διδάσκονται στα Σχολεία επιπλέον αντικείμενα που σχετίζονται με Αθλητισμό και Πολιτισμό, Επιστήμες (όπως Πειράματα Φυσικής, Χημείας και Βιολογίας, αλλά και Προγραμματισμό), Αγωγή Υγείας και Σταδιοδρομίας κ.ά. Ως εκ τούτου υπάρχει η δυνατότητα εκπόνησης διαθεματικών συνεργασιών εντός του διδακτικού ωραρίου. Μελλοντικά θα μπορούσαν Παρεμβάσεις αυτού του είδους να εφαρμοσθούν μέσα σε ένα τέτοιο πλαίσιο και να εμπλακούν εκπαιδευτικοί διαφόρων ειδικοτήτων, όπως Φυσικοί, Βιολόγοι, Χημικοί, Κοινωνιολόγοι κ.ά.

**Προαπαιτούμενες γνώσεις:** Για την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης δεν υπήρχαν προαπαιτούμενες γνώσεις.

**Ρόλος της εκπαιδευτικού-ερευνήτριας:** Ο ρόλος της εκπαιδευτικού κατά τη διάρκεια της παρέμβασης ήταν κυρίως υποστηρικτικός, ενθαρρυντικός και διευκολυντικός, χωρίς να κάνει καίριες παρεμβάσεις, πέρα από τα απαραίτητα διαδικαστικά και χωρίς να υποβάλλει ιδέες στους μαθητές.

Η παρότρυνση της εκπαιδευτικού-ερευνήτριας ήταν να μην υπάρχει κίνηση των μαθητών και των μαθητριών κατά τη διάρκεια του μαθήματος μέσα στην αίθουσα, προκειμένου να μην διαδοθούν – μετακινηθούν ιδέες ή απόψεις από ομάδα σε ομάδα και επηρεάσουν τη συμπεριφορά ή τις σκέψεις των συμμετεχόντων στην έρευνα. Παρόλα αυτά υπήρξε κίνηση, αλλά αρκετά περιορισμένη.

**Αντιλήψεις και παρανοήσεις των μαθητών:** Οι μαθητές έρχονται στο σχολείο έχοντας κάποιες αρχικές πεποιθήσεις – αντιλήψεις, που αφορούν και σε επιστημονικές έννοιες. Πολλές φορές παρατηρούνται παρανοήσεις στις αντιλήψεις των μαθητών για υπό μελέτη φαινόμενα και έννοιες. Το ίδιο συμβαίνει και με το θέμα που διαπραγματεύεται η συγκεκριμένη Διδακτική Παρέμβαση. Η αντίληψη (νοοτροπία), που έχουν οι μαθητές και η οποία επιχειρήθηκε να αντιμετωπιστεί με τη συγκεκριμένη Διδακτική Παρέμβαση, αφορά στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα (Resnick, 1994a) (βλέπε ενότητα 1.10).

**Διδακτική προσέγγιση της Διδακτικής Παρέμβασης:** Η Διδακτική Παρέμβαση βασίστηκε βασίστηκε στην ομαδοσυνεργατική προσέγγιση, τη μάθηση μέσα από διερεύνηση. Εντάσσεται επομένως θεωρητικά 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 εξερεύνησαν το υπό παρατήρηση μοντέλο, αντιμετωπίζοντας ένα βασικό ερώτημα-πρόβλημα: **Ποια είναι η αιτία, που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;** Διατύπωσαν προβλέψεις, χρησιμοποιώντας το μοντέλο για να πάρουν απαντήσεις, αναστοχάστηκαν, πάνω στις προβλέψεις τους σε σχέση με τις απαντήσεις που έδωσαν και τις απαντήσεις που έλαβαν.

Επίσης, μερικοί από τους μαθητές, με την ολοκλήρωση της διερεύνησης, περιηγήθηκαν στη βιβλιοθήκη της NetLogo ανοίγοντας και άλλα μοντέλα, όπως το Ants, το Rabbits Grass Weeds κ.ά.

**Σχεδίαση του εκπαιδευτικού υλικού της Διδακτικής Παρέμβασης:** Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση του εκπαιδευτικού υλικού είναι το 5E (Bybee et. Al., 2006). Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει 5 φάσεις την Ενεργοποίηση/Engagement, την Διερεύνηση-Εξερεύνηση/Exploration, την Ερμηνεία-Εξήγηση/Explanation, την Επεξεργασία-Εφαρμογή/Elaboration και την Αξιολόγηση/Evaluation (βλέπε υποενότητα 1.6.3).

### 3.2 Ερευνητική μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε

**Είδος της έρευνας:** Στην προκειμένη περίπτωση και δεδομένου ότι η εκπαιδευτική έρευνα στην προσπάθειά της να δημιουργήσει νέα γνώση πρέπει να μην περιορίζεται από την παράδοση (βλέπε υποενότητα 1.6.1), πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη έρευνα αξιοποιώντας στοιχεία από το είδος της έρευνας που αφορά στη **μελέτη περίπτωσης**. Μια μελέτη περίπτωσης είναι μια ειδική περίπτωση που συχνά σχεδιάζεται προκειμένου να απεικονίσει μια πιο γενική αρχή (Nisbet και Watt, 1984: 72, στο Cohen, Manion & Morrison, 2012), είναι «η μελέτη ενός εν εξελίξει περιστατικού» (Adelman et al, 1980, Cohen, Manion & Morrison, 2012), το οποίο αποτελεί τμήμα ενός ευρύτερου συστήματος (π.χ. ενός παιδιού, μιας τάξης, ενός σχολείου, μιας κοινότητας).

Θα μπορούσαμε ένα πούμε ότι η μελέτη περίπτωσης ως έννοια αφορά στην κατανόηση ενός φαινομένου μέσα από τη σε βάθος μελέτη μιας συγκεκριμένης 'περίπτωσης' ή 'περιπτώσεων' με παρόμοια χαρακτηριστικά. Μια μελέτη περίπτωσης μπορεί να βοηθήσει τους αναγνώστες να καταλάβουν πώς οι ιδέες και αφηρημένες αρχές μπορούν να χωρέσουν μαζί (ibid .: 72-3, στο Cohen, Manion & Morrison, 2012).

Σύμφωνα με τους Cohen, Manion & Morrison, στη μελέτη περίπτωσης ο ερευνητής συνήθως παρατηρεί τα χαρακτηριστικά μιας μεμονωμένης μονάδας (ένα παιδί, μια κλίκα, μια τάξη, ένα σχολείο ή μια κοινότητα), σε αντίθεση με τον ερευνητή ο οποίος χειρίζεται μεταβλητές για να καθορίσει την αιτιώδη σημασία τους ή τον ερευνητή ο οποίος ζητά να απαντηθούν τυποποιημένες ερωτήσεις από μεγάλα, αντιπροσωπευτικά δείγματα ατόμων (Cohen, Manion & Morrison, 2012). Ο σκοπός μιας τέτοιας παρατήρησης είναι να εξεταστούν βαθιά και να αναλυθούν εντατικά τα πολυσχιδή φαινόμενα που αποτελούν τον κύκλο ζωής της υπό μελέτη μονάδας, με σκοπό τη διαπίστωση και εξαγωγή γενικεύσεων για τον ευρύτερο πληθυσμό στον οποίο ανήκει η μονάδα (Cohen, Manion & Morrison, 2012).

**Τύπος της έρευνας:** Γενικότερα η έρευνα, ανάλογα με τον τρόπο συλλογής των πληροφοριών, διακρίνεται σε ποσοτική και ποιοτική. Η παρούσα έρευνα μπορεί να θεωρηθεί **ποσοτική**.

Η ποιοτική έρευνα οδηγεί τον ερευνητή στη φαινομενολογική πολυπλοκότητα του κόσμου των συμμετεχόντων. Οι καταστάσεις εκθέτονται και οι συνδέσεις, οι αιτίες και οι συσχετίσεις μπορούν να παρατηρηθούν καθώς εκτυλίσσονται (Cohen, Manion & Morrison, 2000). Στις συνθήκες μέσα στις οποίες πραγματοποιήθηκε η συγκεκριμένη έρευνα και λόγω του περιορισμένου χρόνου, ήταν ανέφικτο να γίνει από την ερευνήτρια ποιοτική μελέτη των ατομικών περιπτώσεων των μαθητών (με μαγνητοφώνηση, βιντεοσκόπηση, συνεντεύξεις κ.ά.), προκειμένου να καταγραφούν οι αξίες και οι ιδιαιτερότητες του κάθε συμμετέχοντα.

Πραγματοποιήθηκε λοιπόν ποσοτική έρευνα. Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην **ποσοτική** έρευνα, σε σχέση με τις αντιλήψεις της κοινωνικής πραγματικότητας, αφορά στην αφαίρεση της πραγματικότητας, ιδίως μέσω μαθηματικών μοντέλων, με στόχο την αναπαράστασή της, προκειμένου να γίνουν συγκρίσεις και αναλύσεις και να εξαχθούν συμπεράσματα με νόημα (Barr Greenfield, 1975 στο Cohen, Manion & Morrison, 2000). Στη

συγκεκριμένη έρευνα, στο Φύλλο Εργασίας της Διδακτικής Παρέμβασης οι ερωτήσεις αφορούν, όχι σε μαθηματικό αλλά σε υπολογιστικό Μοντέλο.

**Χαρακτηριστικά της έρευνας:** Ο τρόπος που έγινε η έρευνα κατά κάποιο τρόπο δείχνει ότι εμπεριέχει στοιχεία του είδους της Νατουραλιστικής παρατήρησης. Αυτή η άποψη βασίζεται στο ότι, παρόλο που η έρευνα δεν ακολουθεί τον ποιοτικό τύπο έρευνας, το Περιβάλλον συλλογής δεδομένων είναι:

- α) Αλληλεπιδραστικό (παρατηρούνται αλληλεπιδράσεις επίσημες, ανεπίσημες, σχεδιασμένες, μη σχεδιασμένες, κ.ά.) και
- β) Προγραμματισμένο (π.χ. οι πόροι και η οργάνωσή του, το παιδαγωγικό στυλ, το πρόγραμμα σπουδών και η οργάνωσή του).

Επίσης, η εκπαιδευτικός – ερευνήτρια πολλές στιγμές ανέλαβε το ρόλο του παρατηρητή αλλά συμμετέχοντα στην έρευνα. Όπως ήδη έχει αναφερθεί, κατά τη διάρκεια της παρέμβασης, ο ρόλος της ερευνήτριας εκτός από υποστηρικτικός και ενθαρρυντικός, ήταν και διευκολυντικός. Όταν οι μαθητές ζητούσαν βοήθεια ή κάποια επεξήγηση, υπήρχε, από μέρους της, άμεση ανταπόκριση.

### 3.3 Εργαλεία της έρευνας: Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα Υποβοηθητικά εργαλεία διεξαγωγής της έρευνας και στα Εργαλεία συλλογής δεδομένων.

**Υποβοηθητικά εργαλεία διεξαγωγής της έρευνας:** Χρησιμοποιήθηκαν α) λογισμικό παρουσιάσεων (Microsoft PowerPoint 2010), με το οποίο δημιουργήθηκε παρουσίαση, η οποία αποτέλεσε και την αφορμή για την έναρξη της Παρέμβασης, β) λογισμικό επεξεργασίας κειμένου (Microsoft Word 2010), με το οποίο δημιουργήθηκε ένα Ερωτηματολόγιο και ένα Φύλλο Εργασίας και γ) λογισμικό υπολογιστικών φύλλων (Microsoft Excel 2010), με το οποίο δημιουργήθηκε υλικό σε τρία Φύλλα με σκοπό να οπτικοποιηθούν οι μετρήσεις των μαθητών σε γραφικές παραστάσεις.

**Εργαλεία συλλογής δεδομένων:** Τα εργαλεία, που χρησιμοποιήθηκαν, είναι τα εξής:

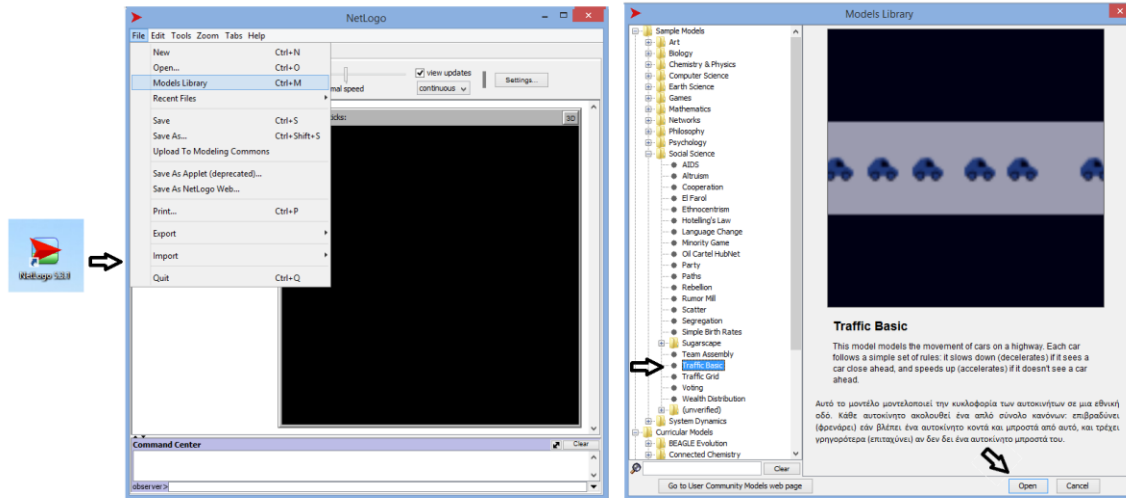
- α) Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων με όνομα **Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων** (ένα πριν και ένα μετά την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης) (**Παράρτημα Α**).

Αν θέλουμε πραγματικά κατά την εφαρμογή μιας Διδακτικής Παρέμβαση να επωφεληθούμε από τη συνεισφορά των μαθητών, καλό θα ήταν να αναπτύσσουμε εκ των προτέρων εκπαιδευτικό υλικό, χαράζοντας ταυτόχρονα μια υποθετική πορεία μάθησης και προγραμματίζοντας μια διδασκαλία που θα «χτίζεται» πάνω στις ιδέες και στη συνεισφορά των μαθητών (Gravemeijer, 2004). Αυτό προϋποθέτει ότι, εμείς, ως εκπαιδευτικοί αναπτύσσοντας το εκπαιδευτικό υλικό, αφουγκραζόμαστε και οραματιζόμαστε τις διανοητικές δραστηριότητες στις οποίες οι μαθητές μπορούν να εμπλακούν (Gravemeijer, 2004). Επίσης, εκτός από τις προτιμήσεις μας και τους δικούς μας στόχους, είναι θεμιτό να λαμβάνουμε υπόψη μας τα χαρακτηριστικά των μαθητών, καθώς και την ιστορία της μάθησής τους (Gravemeijer, 2004).

- β) Φύλλο Εργασίας με όνομα **Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic (Παράρτημα Β)**, το οποίο ήταν ο πυρήνας της Διδακτικής Παρέμβασης.

Στο Φύλλο Εργασίας εντοπίζονται τέσσερις από τις έξι Φάσεις της Διδακτικής Παρέμβασης (Β-Ε). Τα μέλη κάθε ομάδας συμπλήρωσαν από κοινού τις Φάσεις Β-Δ, ενώ η Φάση Ε του Φύλλου Εργασίας συμπληρώθηκε από κάθε μαθητή ξεχωριστά.

γ) Το Μοντέλο **Traffic Basic**, που βρίσκεται στο φάκελο Social Science της βιβλιοθήκης της NetLogo (Έκδοση 5.3.1.) (Εικόνα 63).



Εικόνα 63 Βιβλιοθήκη Μοντέλων της NetLogo (5.3.1)

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη Διδακτική Παρέμβαση ονομάζεται **Traffic Basic** (Εικόνα 63) και μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μία κατεύθυνση. Κάθε αυτοκίνητο ακολουθεί ένα απλό σύνολο κανόνων: επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό, και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), εάν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του.

Το μοντέλο δείχνει πώς η κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να προκληθεί ακόμα και χωρίς ατυχήματα, γκρεμισμένες γέφυρες, ή φορτηγά που έχουν ανατραπεί. Δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μια «κεντρική αιτία» για να σχηματιστεί ένα μπουτιλιάρισμα.

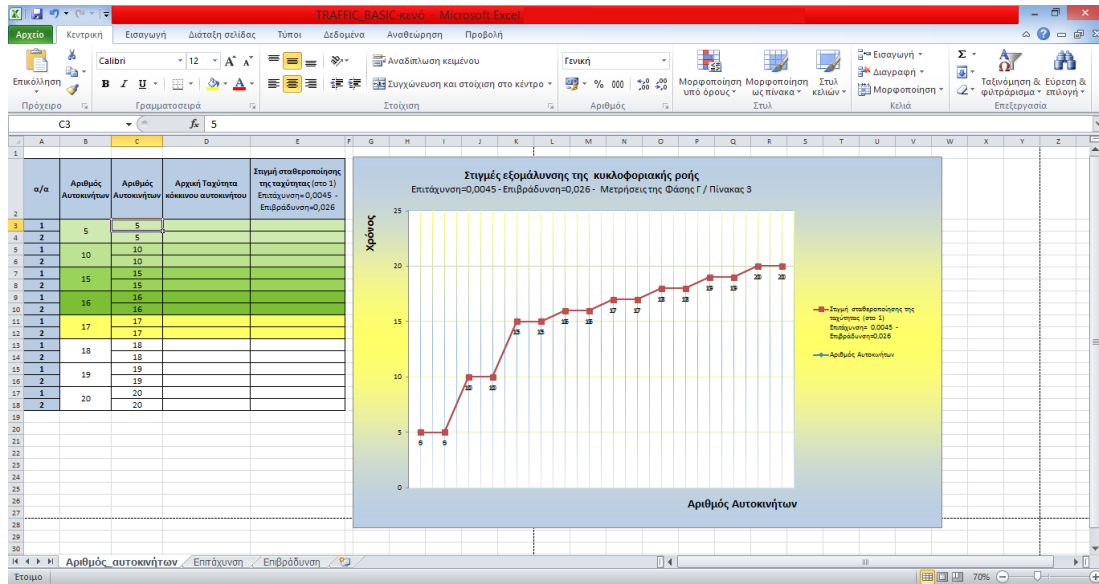
Η νοοτροπία του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset) δεν αποτελεί παρανόηση μόνο για τους επιστημονικά αδαείς μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, αλλά και για τους ενήλικες. Οι μαθητές μπορούν να απεμπλακούν από τη λογική του κεντρικού ελέγχου ερμηνεύοντας πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, όπως το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης (traffic jam).

δ) Αρχείο υπολογιστικού φύλλου με όνομα **TRAFFIC\_BASIC**, που περιείχε τρία Φύλλα (ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ – Εικόνες 64, 65 και 66 αντίστοιχα).

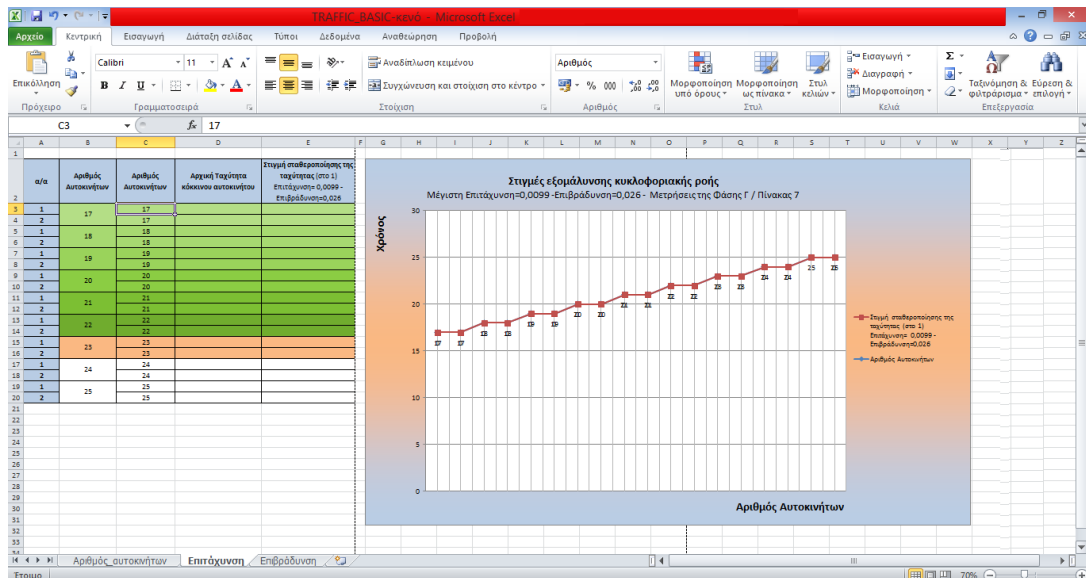
Στο προκατασκευασμένο αρχείο του Excel συμπληρώθηκαν μετρήσεις που λήφθηκαν από τους μαθητές, κατά τη διάρκεια της συμπλήρωσης των Φάσεων Β-Δ του Φύλλου Εργασίας της Διδακτικής Παρέμβασης με τη χρήση του Μοντέλου, ώστε οι μαθητές να έχουν άμεσα οπτικοποιημένες τις μετρήσεις τους σε γραφικές παραστάσεις. Οι άξονες των γραφικών παραστάσεων και στα τρία φύλλα ήταν: (Χ,Υ) = (Αριθμός αυτοκινήτων, Χρόνος), όπου ο χρόνος αφορούσε στις στιγμές εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής.



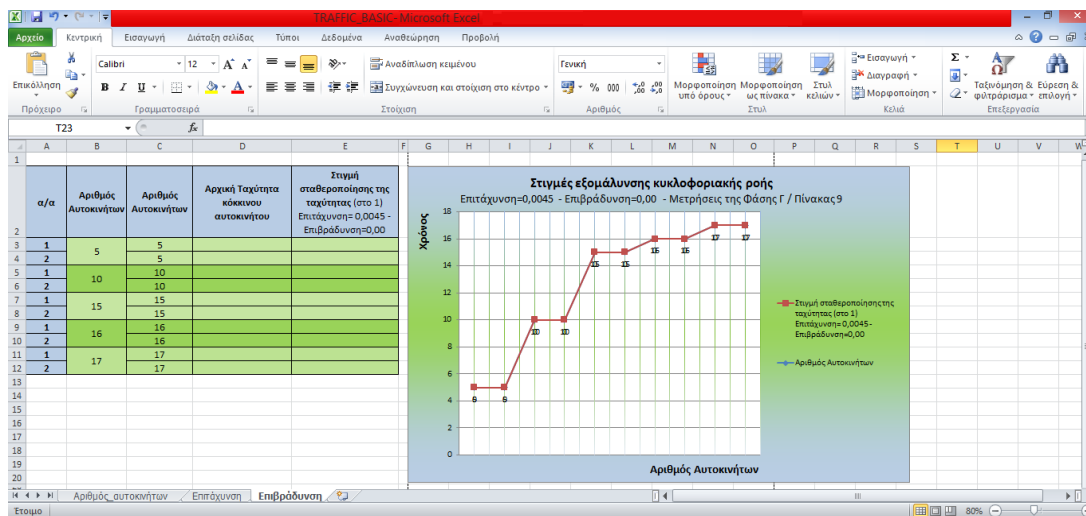
«Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση»



Εικόνα 64 1<sup>ο</sup> Φύλλο Excel: Αριθμός των αυτοκινήτων



Εικόνα 65 2<sup>ο</sup> Φύλλο Excel: ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ



Εικόνα 66 3<sup>ο</sup> Φύλλο Excel: ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ

### 3.4 Φάσεις της έρευνας

Η έρευνα ακολούθησε τις επόμενες έξι φάσεις (Α-Στ).

**Φάση Α (ατομική):** Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων Διδακτικών Ωρών αρχικά ανατέθηκε στους μαθητές να συμπληρώσουν, ατομικά, το **Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων**. Η πλειονότητα των ερωτήσεων ήταν κλειστού τύπου, δηλαδή οι ερωτώμενοι καλούνταν να επιλέξουν την απάντηση από μια σειρά επιλογών, που τους δινόταν. Οι ερωτήσεις ήταν κατηγοριακές (πολλαπλής επιλογής). Υπήρχαν όμως και ερωτήσεις ανοικτού τύπου, όπου οι μαθητές απάντησαν ελεύθερα, σε συνεχή λόγο. Σκοπός του ερωτηματολογίου ήταν:

- α) να αποτυπωθούν οι *αντιλήψεις, στάσεις, απόψεις και πιθανές γνώσεις*, που έχουν αποκρυσταλλώσει οι μαθητές από τη μέχρι τότε εμπειρία τους, αλλά και αυτές που έχουν αποκτήσει κατά το σχολικό τους βίο, σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα της έρευνας και
- β) να διαπιστωθεί εάν η χαραγμένη πορεία μάθησης ανταποκρινόταν στο επίπεδο της πλειονότητας των μαθητών.

Στη συνέχεια, η εκπαιδευτικός συνέλεξε τα Ερωτηματολόγια και πρόβαλλε στους μαθητές μια ηλεκτρονική παρουσίαση, δημιουργημένη από την ίδια, η οποία αποτέλεσε αφορμή για την έναρξη της έρευνας. Τα θέματα, που τέθηκαν στην παρουσίαση, ήταν: Γιατί συζητάμε για πολύπλοκα συστήματα; / «Το φαινόμενο της Πεταλούδας» / Τι σημαίνει Πολύπλοκο σύστημα / Σύγχρονη κοινωνία του 21ου αιώνα και υπολογιστικά εργαλεία / Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα και Εκπαίδευση / Υπολογιστικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα όπως η StarLogo και η NetLogo, με τα οποία οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν πολύπλοκα (complex) δυναμικά συστήματα, / Ιστορική διαδρομή της StarLogo / Περιβάλλον της NetLogo / Κυκλοφοριακή Συμφόρηση – Ένα πρόβλημα του χτες και του σήμερα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η εκπαιδευτικός – ερευνήτρια, στο πλαίσιο δράσεων με θέμα «*Ευρωπαϊκή Εβδομάδα Κώδικα*», που πραγματοποιήθηκαν 15-23 Οκτωβρίου 2016 υπό την αιγίδα του ΥΠ.Π.Ε.Θ., είχε εισαγάγει τους μαθητές και των δύο τμημάτων στο περιβάλλον της NetLogo, προκειμένου να γνωρίσουν την έννοια της αλγοριθμικής σκέψης και του προγραμματισμού Η/Υ. Οι μαθητές είχαν εξοικειωθεί αρκετά με το περιβάλλον, αλληλεπιδρώντας με το μοντέλο “*Rabbits Grass Weeds*” ([http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/Rabbits Grass Weeds](http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/Rabbits_Grass_Weeds)), δείχνοντας μεγάλο ενθουσιασμό και ενδιαφέρον.

Πριν ολοκληρωθεί το πρώτο δίωρο η καθηγήτρια ζήτησε από τους μαθητές να χωριστούν σε ομάδες και τους μοίρασε το **Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic**, εξηγώντας τους τι θα επακολουθήσει.

Τις επόμενες επτά Διδακτικές Ώρες οι μαθητές δούλεψαν αλληλεπιδρώντας με τον υπολογιστή και συμπληρώνοντας τα απαραίτητα πεδία του Φύλλου Εργασίας. Εξερεύνησαν το υπό παρατήρηση μοντέλο, αντιμετωπίζοντας ένα βασικό ερώτημα-πρόβλημα: **Ποια είναι η αιτία που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;** Διατύπωσαν προβλέψεις, χρησιμοποιώντας το μοντέλο για να πάρουν απαντήσεις.

**Φάση Β (ομαδική):** Οι μαθητές, ακολουθώντας τις οδηγίες του Φύλλου Εργασίας, επέλεξαν από τη βιβλιοθήκη Μοντέλων της NetLogo το Μοντέλο **Traffic Basic** (Εικόνες 63 και 67), προκειμένου να το μελετήσουν ως ένα σύστημα διερευνώντας τη λειτουργία του.

**Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Αρχικά οι μαθητές κλήθηκαν α) να παρατηρήσουν τα ήδη δημιουργημένα κουμπιά (buttons), ρυθμιστές (sliders) και τον μετρητή (counter), της προσομοίωσης και β) να κατανοήσουν, διαβάζοντας τις επεξηγήσεις του Φύλλου Εργασίας, το ρόλο που διαδραματίζουν όταν «τρέχει» το Μοντέλο.

**Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Έπειτα κλήθηκαν να «τρέξουν» μια-δυο φορές την προσομοίωση δοκιμαστικά, πατώντας αρχικά το “**setup**” για να εμφανιστούν τα αυτοκίνητα στον αυτοκινητόδρομο και θέτοντας έπειτα όποια τιμή ήθελαν στον ρυθμιστή “**number of cars**”.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Κάνοντας κλικ στο κουμπί “**go**” για να ξεκινήσουν να κινούνται τα αυτοκίνητα, κλήθηκαν να παρατηρήσουν, ότι τα αυτοκίνητα κινούνται σαν να βρίσκονται σε ένα συνεχή βρόχο, αλλά και ότι:

α) Το κόκκινο αυτοκίνητο κάθε φορά που «τρέχει» η προσομοίωση ξεκινά με διαφορετική ταχύτητα.

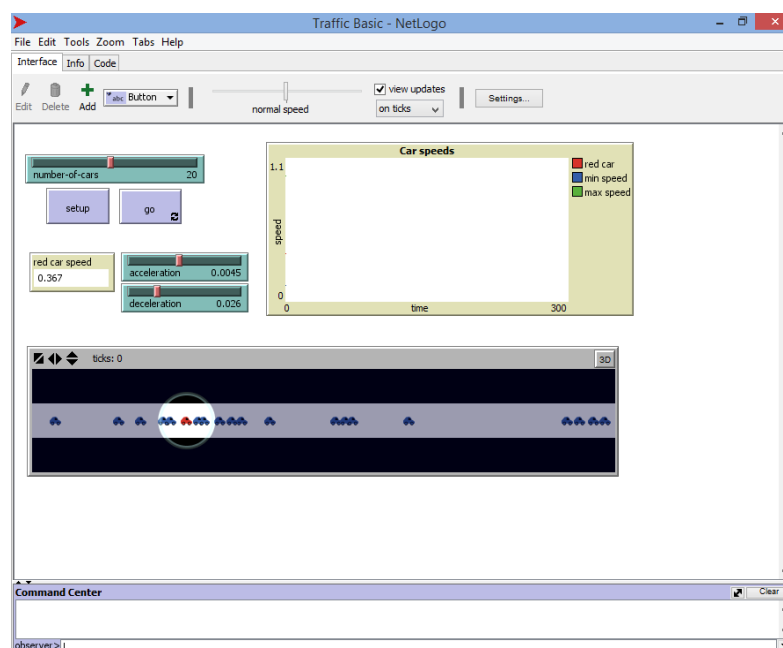
β) Το διάγραμμα “**Car speeds**” δείχνει για κάθε tick τις τρέχουσες τιμές της ταχύτητας του κόκκινου αυτοκινήτου, της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής της ταχύτητας, που καταγράφεται εκείνη τη στιγμή από κάποιο αυτοκίνητο, σε συνάρτηση με το χρόνο.

γ) Τη μεταβλητότητα - τη «σπασμωδική κίνηση» που εκτελούν τα αυτοκίνητα (το κάθε αυτοκίνητο ξεχωριστά).

Έπειτα, δίνοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” την τιμή 20, «έτρεξαν» αρκετές φορές το Μοντέλο **Traffic Basic** και κλήθηκαν να σχεδιάσουν πρόχειρα τη σχέση των αυτοκινήτων στον αυτοκινητόδρομο, δηλαδή μοτίβα κυκλοφοριακής κίνησης, που δημιουργήθηκαν ανάμεσα στις στιγμές 250-300.

Επίσης, διαπίστωσαν ότι σε αυτό το μοντέλο υπάρχουν τρεις μεταβλητές, που μπορούν να επηρεάσουν την τάση να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση (ο ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ).

**Βήμα 4<sup>ο</sup>:** Οι μαθητές απάντησαν σε μια σειρά ερωτήσεων του Φύλλου Εργασίας προκειμένου να κατανοήσουν καλύτερα τις δυνατότητες του υπό μελέτη μοντέλου.



Εικόνα 67 Μοντέλο Traffic Basic της NetLogo (5.3.1)

**Φάση Γ (ομαδική):** Σε αυτή τη Φάση οι μαθητές έκαναν διερεύνηση, προκειμένου να βρουν το πώς οι ρυθμίσεις των μεταβλητών του Μοντέλου επηρεάζουν τη ροή της κυκλοφορίας.

Η Φάση αυτή εκτυλίχθηκε σε έξι Βήματα (Βήματα 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> – Διερεύνηση της μεταβλητής «*ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων*», Βήματα 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> – Διερεύνηση της μεταβλητής «*ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ*» και Βήματα 5<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup> – Διερεύνηση της μεταβλητής «*ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ*»). Οι μαθητές χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις που πραγματοποίησαν, διατύπωσαν προβλέψεις και συμπλήρωσαν τις τιμές, που απαιτούνταν στα τρία Φύλλα του Microsoft Excel. Έτσι, τους δόθηκε η δυνατότητα να μπορέσουν να παρατηρήσουν οπτικοποιημένες πλέον τις μετρήσεις τους στις γραφικές παραστάσεις που δημιουργήθηκαν και να αναστοχαστούν σε σχέση με τις προβλέψεις τους.

Με την ολοκλήρωση της Φάσης των μετρήσεων, έγινε διεξοδική συζήτηση μεταξύ μαθητών - εκπαιδευτικού-ερευνήτριας, που αφορούσε στις αιτίες δημιουργίας της κυκλοφοριακής συμφόρησης στο υπό παρατήρηση Μοντέλο, όπου οι συνθήκες περιορίζουν τα ενδεχόμενα, αλλά και στον πραγματικό κόσμο, στον οποίο και οι ίδιοι οι μαθητές έχουν προσωπικά βιώματα.

Επιπλέον, η εκπαιδευτικός παρότρυνε τους μαθητές να παρατηρήσουν πιο προσεκτικά τις μετρήσεις, που είχαν καταγράψει σε σχέση με τις γραφικές παραστάσεις, που είχαν δημιουργηθεί, αλλά και να ξανασυζητήσουν ανά ομάδα, τις απαντήσεις – προβλέψεις, που είχαν διατυπώσει. Επίσης, τους βοήθησε να κατανοήσουν τη σχέση των μετρήσεων και των γραφικών παραστάσεων, που δημιουργήθηκαν από αυτές.

**Φάση Δ (ομαδική):** Στο σημείο αυτό του Φύλλου Εργασίας οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν, ανά ομάδα, σε ερωτήσεις που σχετίζονταν με τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στις Φάσεις Β-Γ και αφορούσαν στο Μοντέλο **Traffic Basic**. Σκοπός της Φάσης αυτής ήταν α) να απαντηθεί το πρόβλημα που είχε τεθεί (*Ποια είναι η αιτία, που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;*), το οποίο αφορά και στην αντίληψη του *κεντρικού ελέγχου*, αλλά και β) να διερευνηθεί αν οι μαθητές απέκτησαν γνώσεις, που αφορούν σε χαρακτηριστικά των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και δεξιότητες, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη (βλέπε ενότητες 2.2 και 2.3).

Τις τελευταίες δύο Διδακτικές Ώρες (από τις 11 που διήρκεσε η έρευνα), οι μαθητές απάντησαν σε δύο ατομικά ερωτηματολόγια (Φάση Ε και Φάση Στ).

**Φάση Ε (ατομική):** Δόθηκε ένα ατομικό Ερωτηματολόγιο, στο οποίο υπήρχαν 11 κλειστές και τρεις ανοιχτές ερωτήσεις, που σκοπό είχε να αποτυπωθεί η γνώμη κάθε μαθητή για το ρόλο των τριών μεταβλητών στη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης (ο ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ), αλλά και να πραγματοποιηθεί διερεύνηση σε σχέση με το βαθμό επίτευξης του σκοπού και στόχων της έρευνας (βλέπε ενότητες 2.2 και 2.3).

**Φάση ΣΤ (ατομική):** Ανατέθηκε στους μαθητές να συμπληρώσουν, ατομικά, **Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων**. Το Ερωτηματολόγιο αυτό ήταν το ίδιο σε δομή με αυτό που δόθηκε στη Φάση Α και σκοπό είχε να διαπιστωθεί εάν υπήρξε η επιθυμητή διαφορά στην κατανόηση των μαθητών, σχετικά με τις εμπλεκόμενες έννοιες, δεδομένου ότι οι μαθητές, κατά κανόνα, δεν κατανοούν και δεν αφομοιώνουν τη γνώση με τον ίδιο τρόπο. Κατά συνέπεια δεν έχουν το ίδιο επίπεδο ούτε αναπτύσσουν την ίδια συλλογιστική.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 4.1 Φάση Α και Φάση Στ (ατομικές απαντήσεις)

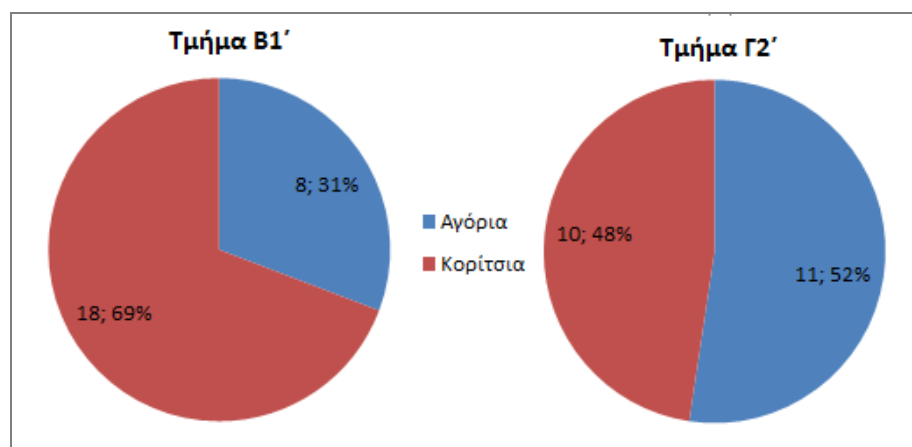
#### Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων των μαθητών

Σε όλους τους Πίνακες, που εμφανίζονται στην ενότητα αυτή, το σύμβολο # ισοδυναμεί με αριθμό μαθητών και το σύμβολο % με το ποσοστό επί του αριθμού των μαθητών.

➤ Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 1: *Σημείωσε το φύλο σου.*

Πίνακας 12 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 1.

Τάξη/Τμήμα	Φύλο				Σύνολο		Ηλικία (σε έτη)
	Αγόρια		Κορίτσια				
	#	%	#	%	#	%	
<b>B1'</b>	8	30,8	18	69,2	26	100	13-14
<b>Γ2'</b>	11	52,4	10	47,6	21	100	14-15
<b>Σύνολο</b>	19	40,6	28	59,6	47	100	13-15



Γράφημα 1 Αριθμός και ποσοστό συμμετοχής των μαθητών στην έρευνα σε σχέση με το φύλο τους

Από τον Πίνακα 12 και το Γράφημα 1 διαπιστώνουμε ότι, από τους 47 μαθητές, ηλικίας από 13-15 ετών, που συμμετείχαν στην έρευνα, τα 19 / 40,4% ήταν αγόρια και τα 28 / 59,6% ήταν κορίτσια.

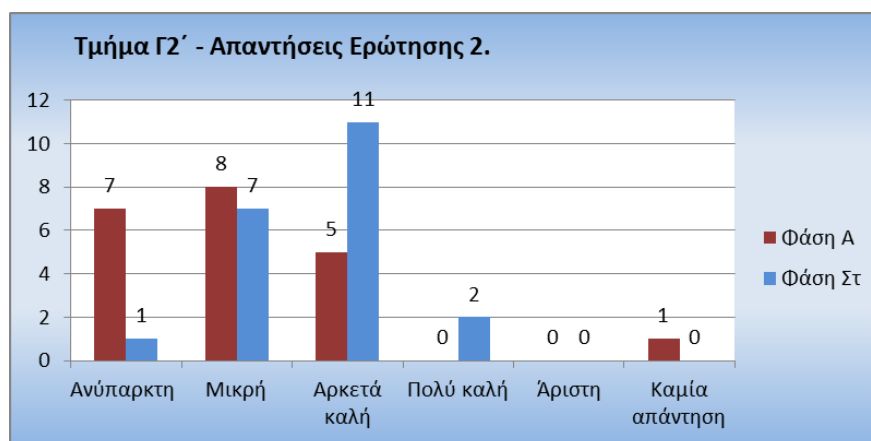
➤ Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 2: *Πώς θα αξιολογούσες την προσωπική σου κατανόηση γύρω από την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος;*

Πίνακας 13 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 2.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
<b>α</b> Ανύπαρκτη		12	46,2	4	15,4	7	33,3	1	4,8
<b>β</b> Μικρή		9	34,6	11	42,3	8	38,1	7	33,3
<b>γ</b> Αρκετά καλή		4	15,4	9	34,6	5	23,8	11	52,4
<b>δ</b> Πολύ καλή		1	3,8	2	7,7	0	0,0	2	9,5
<b>ε</b> Άριστη		0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Καμία απάντηση		0	0,0	0	0,0	1	4,8	0	0,0



Γράφημα 2 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 2 – Τμήμα Β1'



Γράφημα 3 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 2 - Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του Πίνακα 13 και τα Γραφήματα 2 και 3, διαπιστώνεται ότι:

- Πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 12/26 και 7/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, εκτίμησαν ότι η προσωπική τους κατανόηση γύρω από την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος ήταν **Ανώπαρκτη**, 9/26 του Β1' και 8/21 του Γ2' εκτίμησαν ότι ήταν **Μικρή**, 4/26 του Β1' και 5/21 του Γ2' εκτίμησαν ότι ήταν **Αρκετά Καλή** και μόνο ένας μαθητής του Β1' θεώρησε ότι ήταν **Πολύ Καλή**. Επίσης, ένας μαθητής του Γ2' δεν έδωσε καμία απάντηση.
- Μετά την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 4/26 και 1/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, εκτίμησαν ότι η προσωπική τους κατανόηση γύρω από την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος ήταν **Ανώπαρκτη**, 11/26 του Β1' και 7/21 του Γ2' εκτίμησαν ότι ήταν **Μικρή**, 9/26 του Β1' και 11/21 του Γ2' εκτίμησαν ότι ήταν **Αρκετά Καλή** και 2/26 του Β1' και 2/21 του Γ2' εκτίμησαν ότι ήταν **Πολύ Καλή**. Μόνο ένας μαθητής του Β1' δεν έδωσε καμία απάντηση.

Παρατηρούμε ότι, η άποψη της πλειονότητας των μαθητών σε σχέση με την κατανόησή τους γύρω από την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος, μετατοπίστηκε σαφώς από το **Ανώπαρκτη** και **Μικρή** (12+9)/26 και (7+8)/21 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, στο **Μικρή** και **Αρκετά Καλή**, (11+9)/26 και (7+11)/21 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, (**στόχος Γα**). Κανένας μαθητής δεν θεώρησε ότι η κατανόησή του ήταν **Άριστη** ούτε πριν ούτε μετά από τη Διδακτική Παρέμβαση και μόνο 1/21 μαθητής του Γ2 δεν απάντησε.

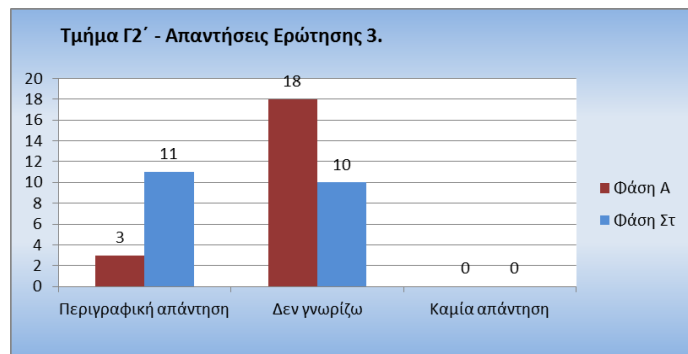
➤ Στον **Πίνακα 14** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 3**: Προσπάθησε να περιγράψεις με δικά σου λόγια και όπως εσύ την κατανοείς, την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος.

**Πίνακας 14** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 3.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
	#	%	#	%	#	%	#	%	
<b>α</b> Περιγραφική απάντηση		1	3,8	16	61,5	3	14,3	11	52,4
<b>β</b> Δεν γνωρίζω		25	96,2	8	30,8	18	85,7	10	47,6
Καμία απάντηση		0	0,0	2	7,7	0	0,0	0	0,0



**Γράφημα 4** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 3 – Τμήμα B1'



**Γράφημα 5** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 3 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 14** και τα **Γραφήματα 4** και **5**, διαπιστώνεται ότι:

- Πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης μόνο 1/26 και 3/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, έδωσαν περιγραφική απάντηση (Εικόνα 68):

**B1'**  
Αποτερείται από διάφορα ανεξαρτημένα, τα οποία  
ανερχόμενα μεταξεί τους για να βγει ένα αποτέλεσμα.

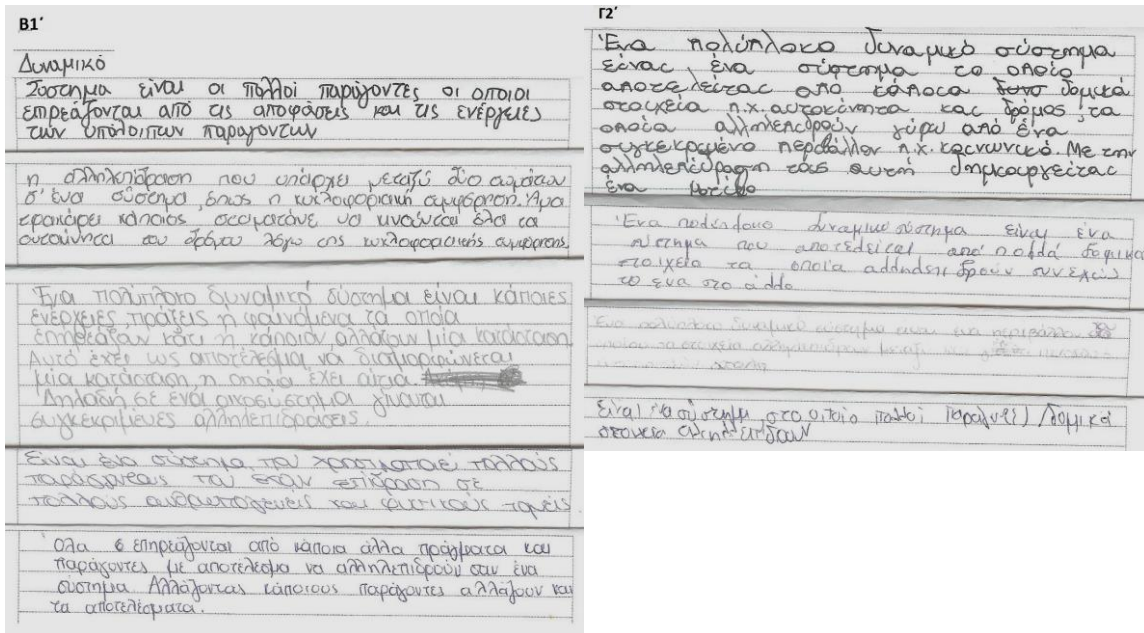
**Γ2'**  
Κατανόω την έννοια αλλά μου είναι δύσκολο να  
εξηγήσω αυτό που έχω στο μυαλό μου με λόγια.  
Μέσω πολλών άλλων τρόπων με τον οποίο διακρίνει μια  
ομάδα όπου το κάθε μέλος παίζει απόλυτα σε ώριμο  
ή όλα τα υπόλοιπα μέλη για να φέρει ένα αποτέλεσμα.

Το πολυπλοκό δυναμικό σύστημα είναι ένα σύ-  
στημα το οποίο περιέχει πολλά αντικείμενα  
τα οποία σφαιρίζονται το ένα με το άλλο.

Την έννοια του πολύπλοκου  
δυναμικού συστήματος την  
κατανόω ως μια πολύ  
δύσκολη και ελαστική και  
δυναμική κατάσταση όπου  
όπου σε καθιστάει από το  
μέρος που έχει σχέση με  
της.

**Εικόνα 68** Φάση Α – Περιγραφικές απαντήσεις Ερώτησης 3 – Τμήματα B1' και Γ2'

- Μετά την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 16/26 και 11/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, επιχείρησαν να δώσουν περιγραφική απάντηση (στόχος Γα). Μερικές από τις απαντήσεις αυτές φαίνονται στην Εικόνα 69:



Εικόνα 69 Φάση Στ – Περιγραφικές απαντήσεις Ερώτησης 3 – Τμήματα Β1' και Γ2'

Παρατηρούμε ότι σε καμία από τις περιγραφές δεν αναφέρεται η εξέλιξη ενός πολύπλοκου δυναμικού συστήματος σε σχέση με το χρόνο.

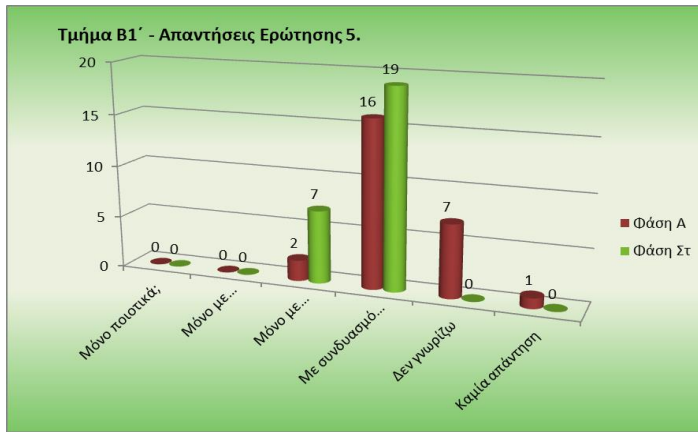
➤ Στον Πίνακα 15 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 5: Τα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα μπορούν να μελετηθούν:

Πίνακας 15 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 5.

Επιλογές	Τμήμα	Β1'				Γ2'			
		Φάση		Φάση		Φάση		Φάση	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Μόνο ποιοτικά;	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0
β	Μόνο με ανώτερα μαθηματικά;	0	0,0	0	0,0	0	0,0		0,0
γ	Μόνο με υπολογιστές (περιβάλλοντα προσομοίωσης, μοντελοποίησης);	2	7,7	7	26,9	2	9,5	1	4,8
δ	Με συνδυασμό όλων των παραπάνω τρόπων;	16	61,5	19	73,1	10	47,6	17	81,0
ε	Δεν γνωρίζω	7	26,9	0	0,0	9	42,9	2	9,5
	Καμία απάντηση	1	3,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Από τις απαντήσεις του Πίνακα 15 και τα Γραφήματα 6 και 7, αρκετοί μαθητές πριν από την Διδακτική Παρέμβαση (16/26 από το Β1' και 10/21 από το Γ2'), αλλά και περισσότεροι μετά (19/26 από το Β1' και 17/21 από το Γ2'), δείχνουν να πιστεύουν ότι η μελέτη των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, χωρίς όμως να έχουν ιδιαίτερες γνώσεις γύρω από το θέμα. Μπορεί και μόνο η περιγραφή «πολύπλοκα δυναμικά συστήματα» να τους οδηγεί στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται συνδυασμός προσεγγίσεων για την κατανόησή τους, αλλά και για την επίλυση προβλημάτων, που προκύπτουν από αυτά (στόχος Γξ).





Γράφημα 6 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 5 - Τμήμα Β1'

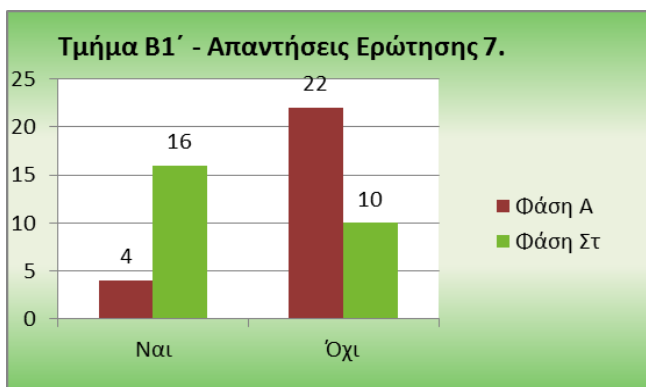


Γράφημα 7 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 5 – Τμήμα Γ2'

➤ Στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 7: Γνωρίζεις την ύπαρξη περιβαλλόντων πολλαπλών πρακτόρων;

Πίνακας 16 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 7.

Επιλογές	Τμήμα	Β1'				Γ2'			
		Φάση Α		Φάση Στ		Φάση Α		Φάση Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	4	15,4	16	61,5	2	9,5	16	76,2
β	Όχι	22	84,6	10	38,5	19	90,5	5	23,8



Γράφημα 8 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 7 - Τμήμα Β1'



Γράφημα 9 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 7 - Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του Πίνακα 16 και τα Γραφήματα 8 και 9, φαίνεται ότι μόνο 4/26 και 2/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, γνώριζαν πριν από την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης την ύπαρξη *περιβαλλόντων πολλαπλών πρακτόρων*, όπως αυτό της NetLogo. Αυτό φαίνεται να αλλάζει μετά από την Παρέμβαση, αφού 16/26 και 16/21 μαθητές του Β1' μαθητές και του Γ2' αντίστοιχα, ότι πλέον γνωρίζουν. Η σαφής αυτή διαφορά μπορεί να εμφανίζεται από την εμπλοκή των μαθητών, μέσω του Φύλλου Εργασίας, στην προσομοίωση του συγκεκριμένου μοντέλου, η οποία βασίσθηκε στην κίνηση πολλαπλών πρακτόρων – αυτοκινήτων, οι οποίοι απέδωσαν καλά την απεικόνιση της εξέλιξης της συμπεριφοράς του δυναμικού συστήματος, που σχετίζεται με την κυκλοφορία των αυτοκινήτων.

➤ Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 9: *Μια πολυπρακτορική προσομοίωση σε NetLogo:*

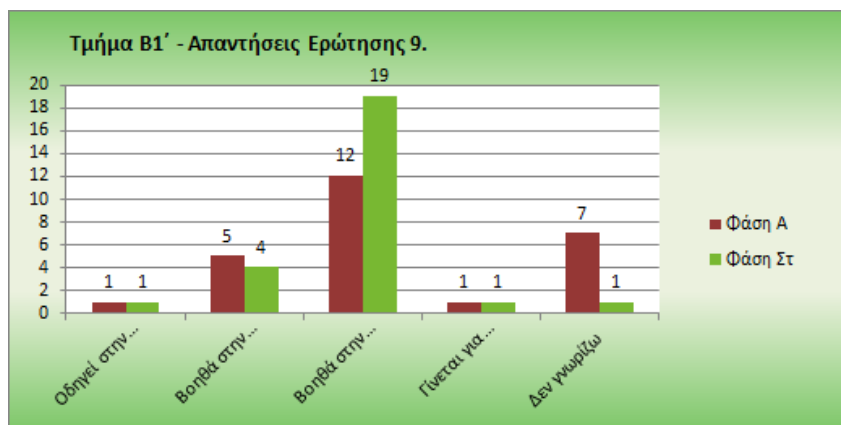
Πίνακας 17 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 9.

Επιλογές	Τμήμα	B1'				Γ2'			
		Φάση Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Οδηγεί στην τελική λύση ενός προβλήματος.	1	3,8	1	3,8	0	0,0	1	4,8
β	Βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων.	5	19,2	4	15,4	0	0,0	4	19,0
γ	Βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων και δίνει πιθανές απαντήσεις στο πρόβλημα.	12	46,2	19	73,1	8	38,1	13	61,9
δ	Γίνεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς.	1	3,8	1	3,8	2	9,5	2	9,5
ε	Δεν γνωρίζω	7	26,9	1	3,8	11	52,4	1	4,8

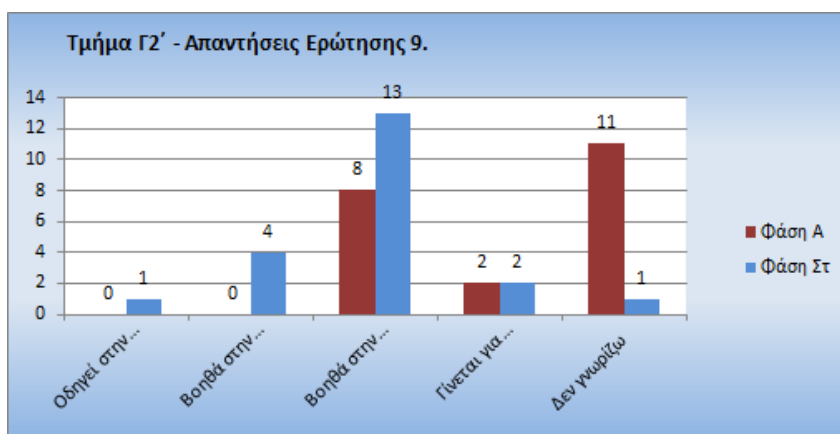
Από τις απαντήσεις του Πίνακα 17 και τα Γραφήματα 10 και 11, παρατηρούμε ότι πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 12/26 και 8/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, πίστευαν ότι *μια πολυπρακτορική προσομοίωση σε NetLogo βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων και δίνει πιθανές απαντήσεις στο πρόβλημα*, ενώ μετά την Παρέμβαση αυξήθηκε κατά πολύ ο αριθμός τους σε κάθε τμήμα, 19/26 και 13/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα (στόχος Γξ).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αύξηση αυτή φαίνεται να προήλθε από μαθητές οι οποίοι πριν την παρέμβαση δήλωσαν *Δεν γνωρίζω*, 7/26 και 11/21 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα. Τα νούμερα αυτά μετά την παρέμβαση διαμορφώθηκαν σε 1/26 για το Β1' και 1/21 για το Γ2'.

Πιθανόν αυτό να συνέβη διότι οι μαθητές αποκόμισαν θετική εντύπωση εμπλεκόμενοι με το Μοντέλο **Traffic Basic**. Το σημαντικό είναι ότι η Παρέμβαση αυτή συνέβαλε στην ενίσχυση του τεχνολογικού αλφαριθμητισμού.



Γράφημα 10 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 9 - Τμήμα Β1'



Γράφημα 11 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 9 - Τμήμα Γ2'

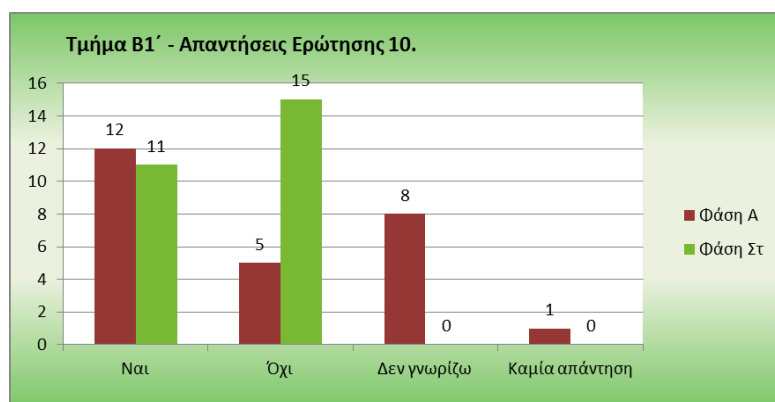
➤ Στον **Πίνακα 18** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 10**: *Αν εκτελέσουμε δυο φορές το ίδιο μοντέλο στον υπολογιστή, αν οι αρχικές συνθήκες είναι ίδιες, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα;*

Πίνακας 18 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 10.

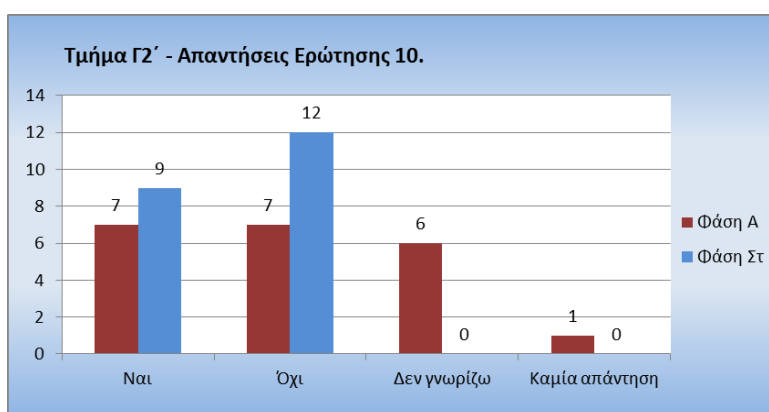
Επιλογές	Τμήμα Φάση	Β1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	12	46,2	11	42,3	7	33,3	9	42,9
β	Όχι	5	19,2	15	57,7	7	33,3	12	57,1
γ	Δεν γνωρίζω	8	30,8	0	0,0	6	28,6	0	0,0
	Καμία απάντηση	1	3,8	0	0,0	1	4,8	0	0,0

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 18** και τα **Γραφήματα 12** και **13**, παρατηρούμε ότι, πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 12/26 και 7/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν **Ναι**, ενώ 5/26 μαθητές του Β1' και 7/21 του Γ2', απάντησαν **Όχι**. Επίσης, οι 8/26 μαθητές του Β1' και 6/21 του Γ2' δήλωσαν **Δεν γνωρίζω**, για τους οποίους όμως παρατηρείται μετά από την Παρέμβαση σοβαρή μετατόπιση της άποψης τους προς το **Όχι**, αφού μόνο 1/26 και 1/21 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, δήλωσαν **Δεν γνωρίζω**. Η μετατόπιση αυτή πολύ πιθανό να προκλήθηκε από την εμπειρία που απόκτησαν οι μαθητές «τρέχοντας», στις Φάσεις Β και Γ του Φύλλου Εργασίας της Διδακτικής Παρέμβασης, το

Μοντέλο **Traffic Basic** επανειλημμένες φορές με ίδιες αρχικές συνθήκες και παρατηρώντας ότι, η εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων ήταν διαφορετική, όπως και τα μοτίβα που δημιουργούνταν, τα οποία κάποιες από αυτές τις φορές οι μαθητές κλήθηκαν να τα σχεδιάσουν. Με αυτό τον τρόπο συνειδητά ή ασυνείδητα ήρθαν αντιμέτωποι με καταστάσεις και φαινόμενα μη προβλέψιμα.



Γράφημα 12 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 10 – Τμήμα Β1'



Γράφημα 13 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 10 – Τμήμα Γ2'

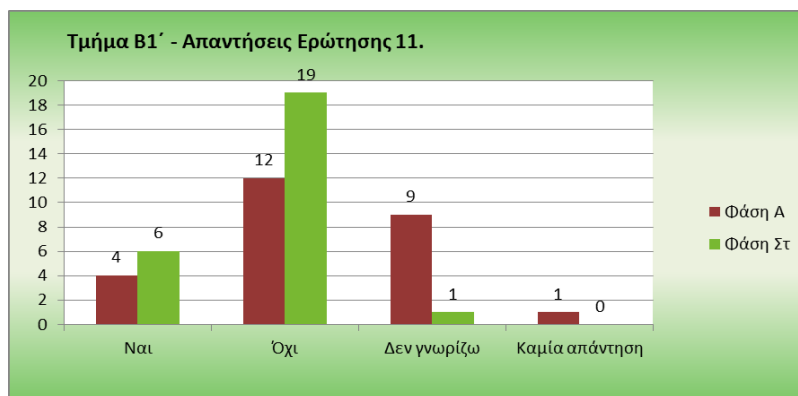
➤ Στον **Πίνακα 19** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 11**: *Αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες που αφορούν ένα φαινόμενο που αφορά σε σύστημα που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος (π.χ. κυκλοφοριακή συμφόρηση) είναι ίδιες, το ίδιο φαινόμενο θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη;*

Πίνακας 19 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 11.

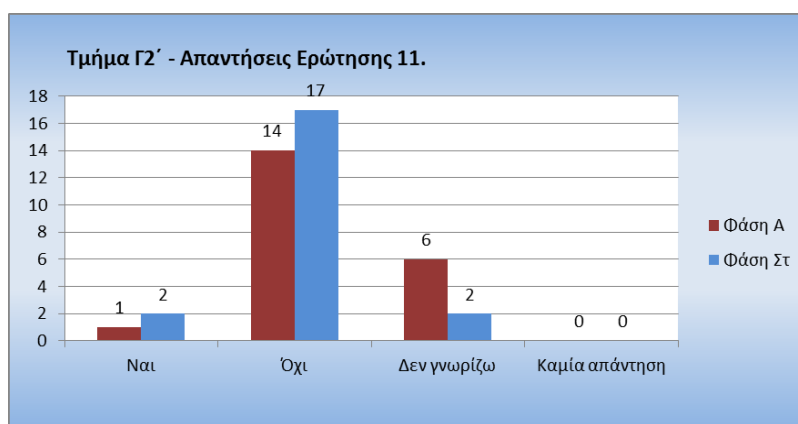
Επιλογές	Τμήμα	Β1'				Γ2'			
		Φάση Α		Φάση Στ		Φάση Α		Φάση Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	4	15,4	6	23,1	1	4,8	2	9,5
β	Όχι	12	46,2	19	73,1	14	66,7	17	81,0
γ	Δεν γνωρίζω	9	34,6	1	3,8	6	28,6	2	9,5
	Καμία απάντηση	1	3,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 19** και τα **Γραφήματα 14** και **15**, παρατηρούμε ότι, πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 4/26 και 1/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν **Ναι**, ενώ 12/26 και 14/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν **Όχι**. Επίσης, οι 9/26 μαθητές του Β1' και 6/21 του Γ2' δήλωσαν **Δεν γνωρίζω**, για τους οποίους όμως παρατηρείται και πάλι μετά από την Παρέμβαση σοβαρή μετατόπιση της άποψης τους προς το **Όχι**, αφού μόνο 1/26 και 2/21 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα δήλωσε **Δεν γνωρίζω**. Οι

Λόγοι αυτής της μετατόπισης φαίνεται να είναι παρόμοιοι με αυτούς που διατυπώθηκαν μετά από τις απαντήσεις της προηγούμενης ερώτησης (Ερώτηση 10).



Γράφημα 14 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 11 – Τμήμα Β1'



Γράφημα 15 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 11 – Τμήμα Γ2'

Στις **Ερωτήσεις 10** και **11** οι μαθητές ήρθαν αντιμέτωποι με ένα από τα χαρακτηριστικά από τα οποία πηγάζει η πολυπλοκότητα των συστημάτων, τη **Μη γραμμικότητα**. Έβγαλαν, στην πλειονότητά τους, το συμπέρασμα ότι, αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες, που αφορούν ένα φαινόμενο συστήματος που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος, όπως στην προκειμένη περίπτωση η κυκλοφοριακή συμφόρηση, είναι ίδιες, το ίδιο φαινόμενο δεν θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη (**στόχος Γδ**).

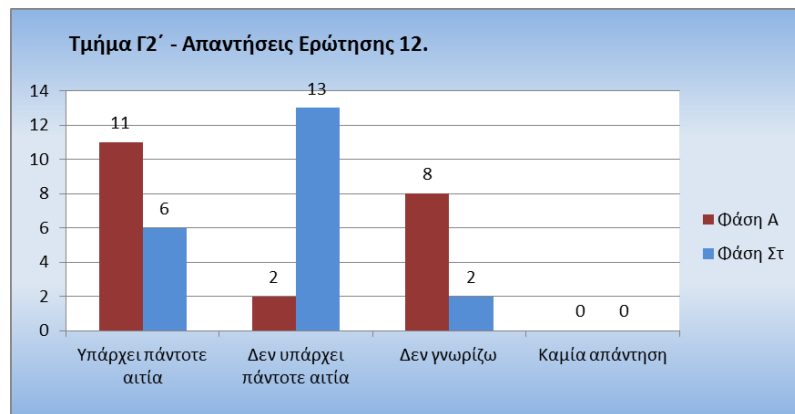
➤ Στον **Πίνακα 20** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 12.**: *Κατά τη γνώμη σου υπάρχει/δεν υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία όταν υπάρχει ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.*

Πίνακας 20 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 12.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	Β1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
<b>α</b> Υπάρχει πάντοτε αιτία		16	61,5	12	46,2	11	52,4	6	28,6
<b>β</b> Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία		2	7,7	13	50,0	2	9,5	13	61,9
<b>γ</b> Δεν γνωρίζω		7	26,9	1	3,8	8	38,1	2	9,5
Καμία απάντηση		1	3,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0



Γράφημα 16 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 12 – Τμήμα Β1'



Γράφημα 17 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 12 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του Πίνακα 20 και τα Γραφήματα 16 και 17, παρατηρούμε ότι, πριν την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης 16/26 και 11/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, πίστευαν ότι *υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία όταν υπάρχει ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή*. Οι αριθμοί αυτοί ήταν αναμενόμενοι αφού η αντίληψη του κεντρικού ελέγχου είναι βαθιά ριζωμένη στον εγκέφαλο των μαθητών, οι οποίοι θεωρούν ότι για να δημιουργηθούν μοτίβα π.χ. σμήνη πουλιών, κοπάδια ψαριών, κυκλοφοριακή συμφόρηση, είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιος αρχηγός, κάποιος κεντρικός έλεγχος. Αυτή είναι και μια από τις σημαντικές δυσκολίες, που έχουν οι μαθητές, στην κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων. Υψηλός ήταν και ο αριθμός των μαθητών που δήλωσαν **Δεν γνωρίζω**, 7/26 μαθητές του Β1' και 8/21 του Γ2', αφού οι μαθητές σε αυτή την ηλικία είναι πολύ πιθανό να μην έχουν αναρωτηθεί ποτέ για τα αίτια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης, αλλά και να μην έχουν αντιληφθεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων στους δρόμους ως ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα.

Παρατηρούμε ότι, μετά την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των μαθητών που πιστεύει ότι **δεν υπάρχει πάντοτε αιτία** για τη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης (**στόχος Γν**). Συγκεκριμένα και στα δύο τμήματα πριν την Παρέμβαση είχαν απαντήσει **Όχι** 2/26 και 2/21, ενώ μετά 13/26 και 13/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα.

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι,

- η μετατόπιση αυτή φαίνεται να έγινε από μαθητές που πριν την Παρέμβαση είχαν απαντήσει **Δεν γνωρίζω**, αφού πριν ήταν 7/26 και 8/21 στο Β1' και στο Γ2' αντίστοιχα, ενώ μετά δήλωσαν **Δεν γνωρίζω μόνο** 1/26 και 2/21, και

- ο αριθμός των μαθητών που απάντησαν στην αρχή **Ναι**, 16/26 και 11/21 μαθητές στο Β1' και στο Γ2' αντίστοιχα, μεταβλήθηκε μεν αλλά έμεινε σε υψηλά επίπεδα, 12/26 και 6/21 μαθητές στο Β1' και στο Γ2' αντίστοιχα, κάτι που αποδεικνύει ότι παρατηρούνται παρανοήσεις σε κάποιες αρχικές πεποιθήσεις – αντιλήψεις, που έχουν οι μαθητές όταν έρχονται στο σχολείο, οι οποίες πολλές φορές είναι βαθιά ριζωμένες.

Στον Πίνακα 21 φαίνονται οι απόψεις των μαθητών στην προσπάθειά τους να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις, που έδωσαν στην Ερώτηση 12. Καταγράφεται ποικιλία απόψεων και πριν και μετά την Παρέμβαση. Παρατηρούμε όμως ότι, μετά την Παρέμβαση 8/26 και 5/21 από τους μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, που θεωρούν ότι δεν υπάρχει πάντοτε αιτία όταν *υπάρχει ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή*, δίνουν ως δικαιολογία τη **Συμπεριφορά των οδηγών** (φρένο, γκάζι, λάθος ενέργειες).

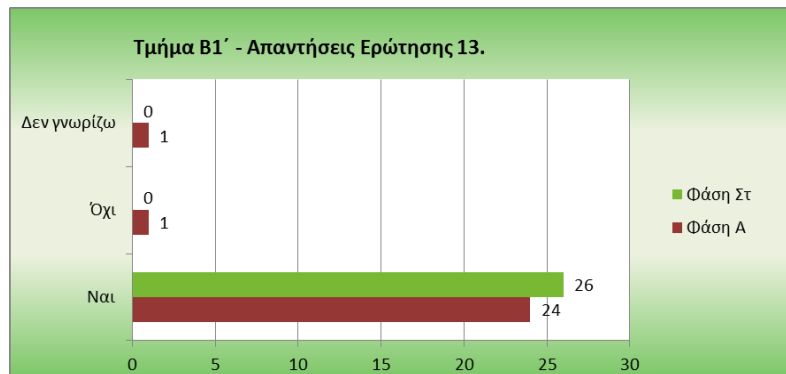
**Πίνακας 21** Φάσεις Α & Στ – Περιγραφική δικαιολόγηση απάντησης της Ερώτησης 12.

	Τμήμα Β1'				Τμήμα Γ2'			
	Φάση Α		Φάση Στ		Φάση Α		Φάση Στ	
	α Υπάρχει πάντοτε αιτία	β Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία	α Υπάρχει πάντοτε αιτία	β Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία	α Υπάρχει πάντοτε αιτία	β Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία	α Υπάρχει πάντοτε αιτία	β Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία
Γενική τοποθέτηση	6	1	2	4	4	1	2	7
Τοπικές αλληλεπιδράσεις							1	
Ατυχήματα	6		3	1	5	1		1
Πολλά αυτοκίνητα	5		2	1	2	1		
Βλάβη αυτοκινήτου							1	
Φανάρια (π.χ. χρονισμός)	2		2		2	1	1	
Έργα	2				1			
Καιρικά και φυσικά φαινόμενα	2				1		1	
Άπειρος Τροχονόμος	1							
Σταματημένο αυτοκίνητο	1		1					
Μονόδρομος μικρός	1					1		
Μείωση λωρίδων (π.χ. από 3 σε 2)					1			
Εκδήλωση			1		1			1
<b>Συμπεριφορά οδηγών (φρένο, γκάζι, λάθος ενέργειες)</b>	<b>2</b>			<b>8</b>	<b>3</b>		<b>1</b>	<b>5</b>
Απάντηση σε σχέση με το μοντέλο				3				1

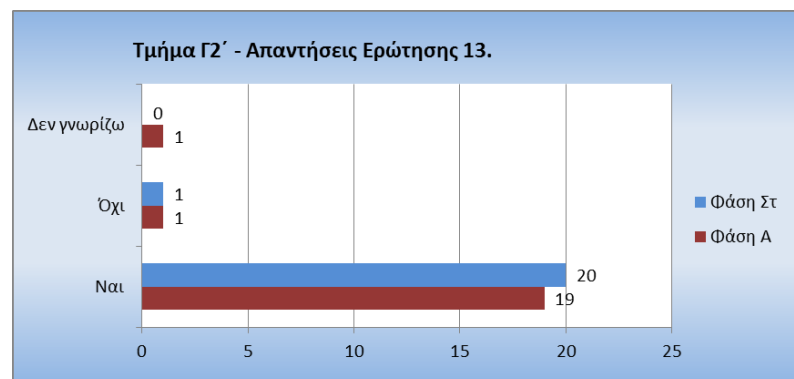
➤ Στον **Πίνακα 22** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 13**: Κατά τη διάρκεια της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους αποφάσεις και ενέργειες ενός οδηγού επηρεάζουν τις αποφάσεις και τις ενέργειες ενός ή περισσοτέρων οδηγών;

**Πίνακας 22** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 13.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	24	92,3	26	100,0	19	90,5	20	95,2
β	Όχι	1	3,8	0	0,0	1	4,8	1	4,8
γ	Δεν γνωρίζω	1	3,8	0	0,0	1	4,8	0	0,0



**Γράφημα 18** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 13 – Τμήμα B1'



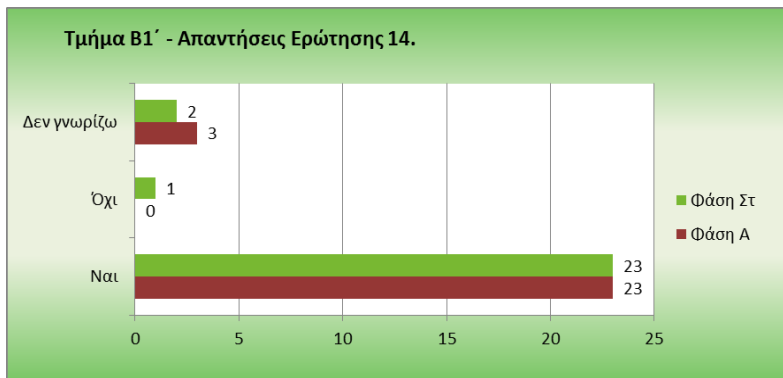
**Γράφημα 19** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 13 – Τμήμα Γ2'

➤ Στον **Πίνακα 23** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 14**: Υπάρχει περίπτωση κάποιες από αυτές τις αποφάσεις και ενέργειες να οδηγήσουν στη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης;

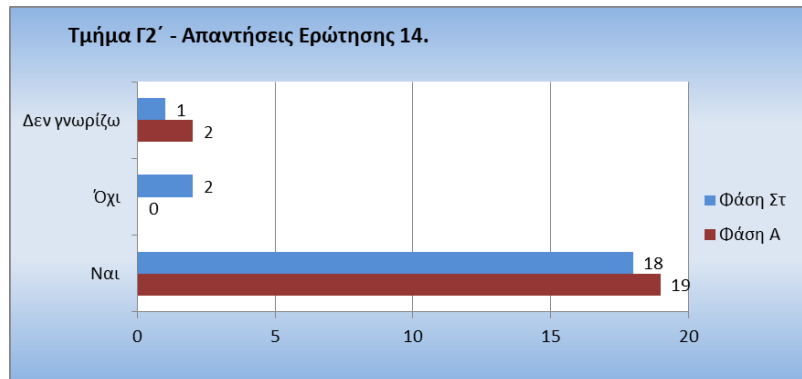
**Πίνακας 23** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 14.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	23	88,5	23	88,5	19	90,5	18	85,7
β	Όχι	0	0,0	1	3,8	0	0,0	2	9,5
γ	Δεν γνωρίζω	3	11,5	2	7,7	2	9,5	1	4,8



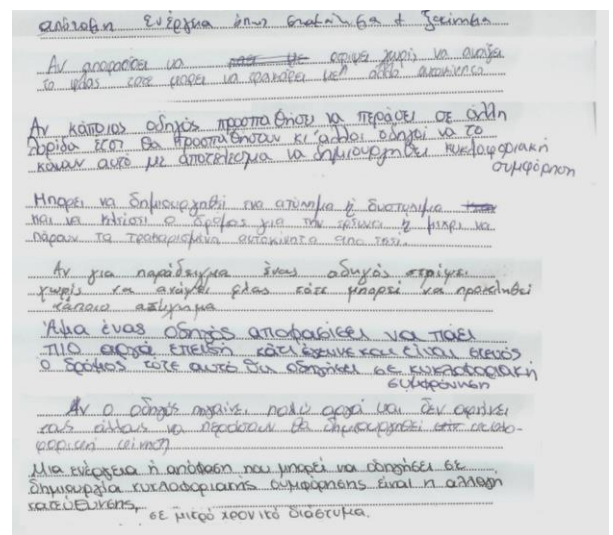
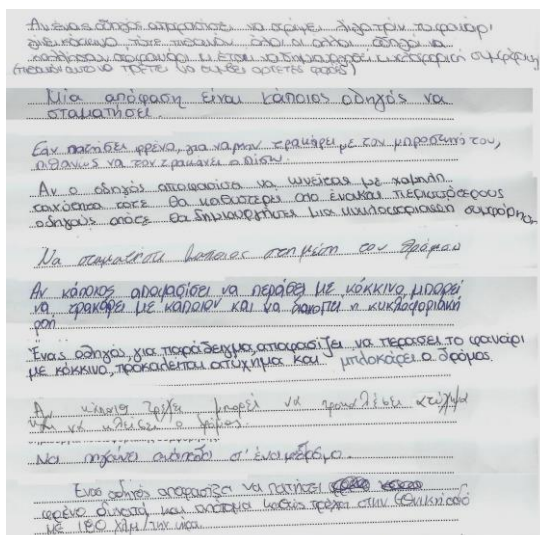


Γράφημα 20 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 14 – Τμήμα Β1'



Γράφημα 21 Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 14 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις των Πινάκων 22 και 23 και τα Γραφήματα 18, 19, 20 και 21, παρατηρούμε ότι πριν και μετά την Παρέμβαση η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών αντιλαμβάνεται την **Ισχυρή διασύνδεση (στόχος Γβ)**, που υπάρχει σε αυτό το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα και παρατηρεί την ισχυρή αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του συστήματος μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους. Πιο συγκεκριμένα παρατηρεί ότι, κατά τη διάρκεια της κίνησης των αυτοκινήτων, που εμφανίζονται στο μοντέλο, αποφάσεις και ενέργειες ενός οδηγού επηρεάζουν τις αποφάσεις και τις ενέργειες ενός ή περισσοτέρων οδηγών, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στις απαντήσεις, που δίνουν στην **Ερώτηση 14α**: Αν απάντησες Ναι να αναφέρεις μια απόφαση ή ενέργειες, που μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης (Φάση Α - Εικόνες 70 και 71 και Φάση Στ - Εικόνες 72 και 73):



Εικόνα 70 Φάση Α – Μερικές απαντήσεις Ερώτησης 14α – Τμήμα Β1'

«Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση»

Για παράδειγμα αν...
Ενας οδηγός μπορεί να αποφασίσει να...
Αν ένας οδηγός μπορεί να αποφασίσει να...
Αν ένας οδηγός αποφασίσει να...
Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
αλλά αυτοκίνητα θα πρέπει να περιμένουν...

Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
Αν ένας οδηγός αποφασίσει να παρακάμψει...
Αν ο οδηγός δεν πατήσει φρένο...
Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
Αν ένας οδηγός αποφασίσει να παρακάμψει...

Εικόνα 71 Φάση Α – Μερικές απαντήσεις Ερώτησης 14α – Τμήμα Γ2'

Μπορεί κάποιος οδηγός να σταματήσει από-
μα το αυτοκίνητό του να τα φρένα του αυτο-
κίνητα θα επιβραδύνει
Να σταματήσει ένας οδηγός όσα
και οι υδροβρακιά αναγκαστικά θα
ακαθάρταρον
Ενα αυτοκίνητο αποκτάει να κινείται αλλά
εφόσον τα αυτοκίνητα πίσω του αναγκαστικά
και αυτά να κινούνται, έτσι δημιουργείται
κυκλοφοριακή συμφόρηση
Μπορεί κάποιος να αποφασίσει να σταματήσει από-
μα το αυτοκίνητό του να τα φρένα του αυτο-
κίνητα θα επιβραδύνει...

Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
Αν ένας οδηγός αποφασίσει να παρακάμψει...
Αν ο οδηγός δεν πατήσει φρένο...
Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
Αν ένας οδηγός αποφασίσει να παρακάμψει...

Εικόνα 72 Φάση Στ – Μερικές απαντήσεις Ερώτησης 14α – Τμήμα Β1'

Π.χ. Αν ένας οδηγός αποφασίσει να...
Ναι, και μπορεί κάποιος να αποφασίσει να...
Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
αλλά αυτοκίνητα θα πρέπει να περιμένουν...

Π.χ. Αν ένας οδηγός αποφασίσει να...
Ναι, και μπορεί κάποιος να αποφασίσει να...
Να αποφασίσει να παρακάμψει τότε...
αλλά αυτοκίνητα θα πρέπει να περιμένουν...

Εικόνα 73 Φάση Στ – Μερικές απαντήσεις Ερώτησης 14α – Τμήμα Γ2'

Παρατηρούμε ότι στη Φάση Α οι μαθητές και των δύο τμημάτων αναφέρουν κατά κανόνα αποφάσεις και ενέργειες, που μπορεί να οδηγήσουν σε δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης, τις οποίες έχουν αντιληφθεί από τα βιώματά τους.

Αντίθετα στη Φάση Στ επηρεασμένοι από την έρευνα, που πραγματοποίησαν μελετώντας το Μοντέλο Traffic Basic, στην πλειονότητά τους και σε μεγαλύτερο βαθμό οι μαθητές του Β1', εντοπίζουν την επιβράδυνση των αυτοκινήτων ως ένα βασικό παράγοντα δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης.

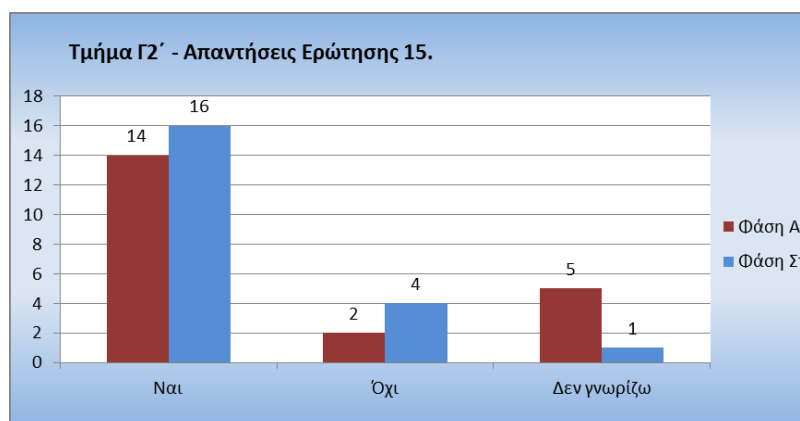
➤ Στον **Πίνακα 24** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 15**: *Η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους;*

**Πίνακας 24** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 15.

Επιλογές		Τμήμα		B1'				Γ2'			
		Φάση		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%		
α	Ναι	17	65,4	19	73,1	14	66,7	16	76,2		
β	Όχι	6	23,1	7	26,9	2	9,5	4	19,0		
γ	Δεν γνωρίζω	3	11,5	0	0,0	5	23,8	1	4,8		



**Γράφημα 22** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 15 – Τμήμα B1'



**Γράφημα 23** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 15 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 24** και τα **Γραφήματα 22** και **23**, παρατηρούμε ότι, πριν (17/26 και 14/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα) και μετά την Παρέμβαση (19/26 και 16/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα), η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών αντιλαμβάνεται, σε πρώτο επίπεδο, ότι η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους. Η **Διακυβέρνηση από την Ανατροφοδότηση** αναδεικνύεται από τους μαθητές, ως χαρακτηριστικό του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος της κυκλοφοριακής συμφόρησης (**στόχος Γγ**).

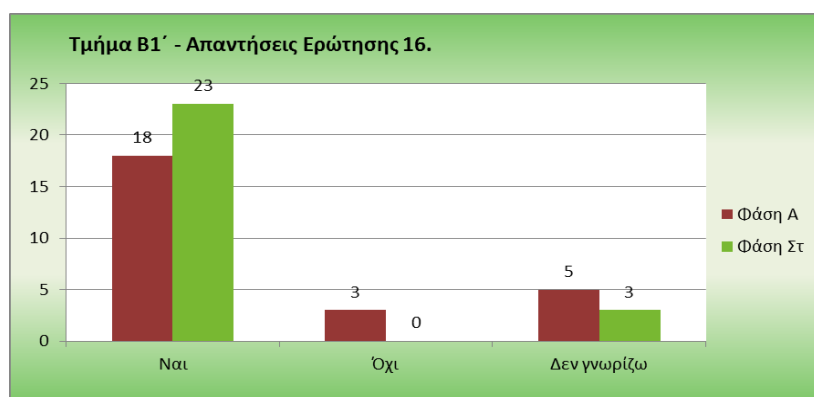
Παρατηρούμε όμως, ότι ένας μη ευκαταφρόνητος αριθμός μαθητών και από τα δύο τμήματα εξακολουθεί, μετά την Παρέμβαση, να απαντά **Όχι** (7/26 και 4/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα). Ίσως χρειάζεται οι μαθητές να ερευνήσουν και άλλα μοντέλα προκειμένου όλο και περισσότεροι να είναι σε θέση να συμπεραίνουν ότι τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάστασή τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά.

Είναι θετικό και φαίνεται από τα νούμερα ότι, μαθητές, που απάντησαν **Δεν Γνωρίζω** πριν την Παρέμβαση, 3/26 και 5/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, μετά την Παρέμβαση φαίνεται να απέκτησαν κάποια άποψη, αφού οι απαντήσεις τους μετατοπίστηκαν στο **Ναι** και στο **Όχι** και ο αριθμός των μαθητών, που απάντησαν **Δεν Γνωρίζω** μειώθηκε έως εξαφανίστηκε (0/26 και 1/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα).

➤ Στον **Πίνακα 25** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 16**: *Κατά τη γνώμη σου αποτελούν τα αυτοκίνητα, που εμπλέκονται σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα;*

**Πίνακας 25** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 16.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	Β1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
α	Ναι	18	69,2	23	88,5	8	38,1	19	90,5
β	Όχι	3	11,5	0	0,0	1	4,8		0,0
γ	Δεν γνωρίζω	5	19,2	3	11,5	12	57,1	2	9,5



**Γράφημα 24** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 16 – Τμήμα Β1'



**Γράφημα 25** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 16 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 25** και τα **Γραφήματα 24** και **25**, παρατηρούμε ότι πριν την Παρέμβαση 18/26 και 8/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν **Ναι**, νούμερο που αυξήθηκε σημαντικά μετά την Παρέμβαση 23/26 και 19/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα. Επίσης υπήρξε σοβαρή μεταβολή και στην απάντηση **Δεν γνωρίζω**, αφού από 5/26 και 12/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, που έδωσαν αυτή την απάντηση πριν την παρέμβαση μόνο 3/26 και 2/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, διάλεξαν αυτή την απάντηση. Φαίνεται ότι με την εφαρμογή της παρέμβασης οι μαθητές δείχνουν να **κατανοούν** καλύτερα την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος (**στόχος Γα**).

➤ Στον **Πίνακα 26** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 17**: *Κατά τη γνώμη σου κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις που δημιουργούνται;*

**Πίνακας 26** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 17.

Επιλογές		Τμήμα		B1'				Γ2'			
		Φάση		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%		
α	Ναι	20	76,9	24	92,3	18	85,7	17	81,0		
β	Όχι	1	3,8	0	0,0	2	9,5	3	14,3		
γ	Δεν γνωρίζω	5	19,2	2	7,7	1	4,8	1	4,8		



**Γράφημα 26** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 17 – Τμήμα B1'



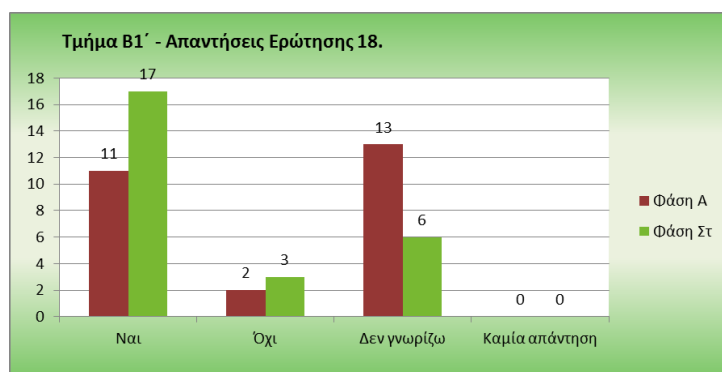
**Γράφημα 27** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 17 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 26** και τα **Γραφήματα 26** και **27**, παρατηρούμε ότι οι συντριπτική πλειονότητα των μαθητών και πριν (20/26 και 18/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα) και μετά την Παρέμβαση (24/26 και 17/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα), με μια μικρή αύξηση των μαθητών του B1', απαντούν **Ναι** και δείχνουν να παρατηρούν, ότι *κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις, που δημιουργούνται*. Από τις απαντήσεις των μαθητών φαίνεται ότι στην πλειονότητά τους **παρατήρησαν** 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, όπως π.χ. στο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης που μελετήθηκε (**στόχος Γστ**).

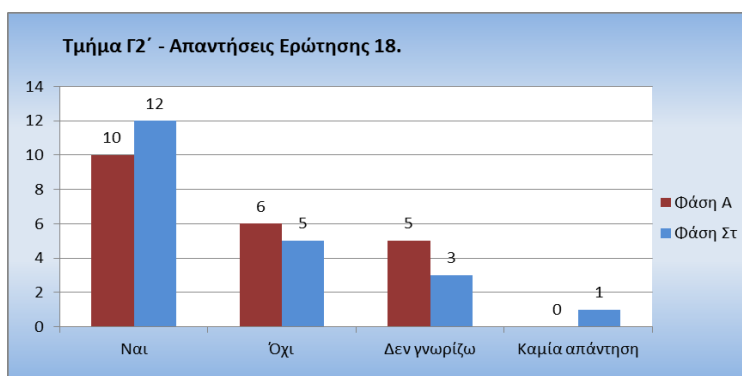
➤ Στον **Πίνακα 27** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 18**: *Τα μοτίβα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων;*

**Πίνακας 27** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 18.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
<b>α</b> Ναι		11	42,3	17	65,4	10	47,6	12	57,1
<b>β</b> Όχι		2	7,7	3	11,5	6	28,6	5	23,8
<b>γ</b> Δεν γνωρίζω		13	50,0	6	23,1	5	23,8	3	14,3
Καμία απάντηση		0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	4,8



**Γράφημα 28** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 18 – Τμήμα B1'



**Γράφημα 29** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 18 – Τμήμα Γ2'

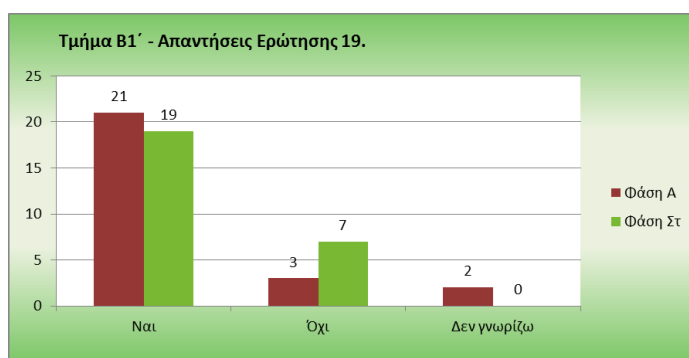
Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 27** και τα **Γραφήματα 28** και **29**, παρατηρούμε ότι, πριν την Παρέμβαση 11/26 και 10/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, πίστευαν ότι *τα μοτίβα, που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης, οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων*. Μετά την Παρέμβαση παρατηρείται μικρή αύξηση των μαθητών, που υιοθετεί αυτή την άποψη, 17/26 και 12/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα. Επίσης, παρατηρούμε ότι και μετά την Παρέμβαση εξακολουθεί να υπάρχει ένας αριθμός μαθητών που δηλώνει **Δεν Γνωρίζω** (6/26 και 3/21 του B1' και του Γ2' αντίστοιχα). Ίσως η μικρή αύξηση στην απάντηση **Ναι** και η ύπαρξη μαθητών που απαντούν **Δεν Γνωρίζω** ακόμα και μετά την Παρέμβαση να οφείλεται στην ηλικιακή ομάδα που ανήκουν οι μαθητές. Βάσει νόμων όσοι ανήκουν στην ομάδα αυτή δεν τους επιτρέπεται να οδηγούν αυτοκίνητα, με αποτέλεσμα να μην έχουν εμπειρίες, βιώματα, που θα τους βοηθούσαν να παρατηρήσουν ότι η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή και ότι 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 Γε).

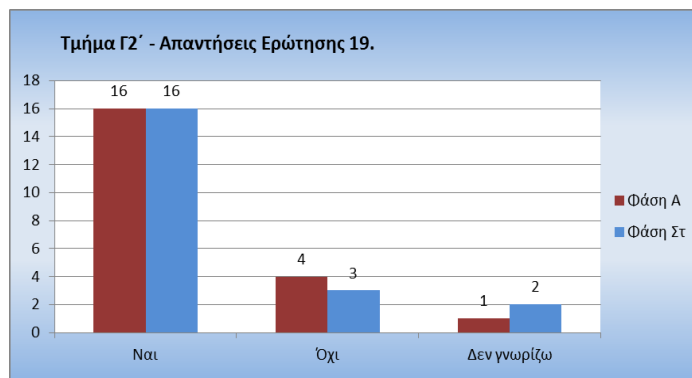
➤ Στον **Πίνακα 28** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 19**: *Υπάρχει περίπτωση, ενώ όλοι οι οδηγοί προσπαθούν να οδηγούν σωστά τα αυτοκίνητα, να δημιουργηθούν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα χωρίς να υπάρχει προφανής λόγος, όπως π.χ. ένα ατύχημα;*

**Πίνακας 28** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 19.

Επιλογές		Τμήμα	B1'				Γ2'			
		Φάση	Α		Στ		Α		Στ	
			#	%	#	%	#	%	#	%
<b>α</b>	Ναι		21	80,8	19	73,1	16	76,2	16	76,2
<b>β</b>	Όχι		3	11,5	7	26,9	4	19,0	3	14,3
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω		2	7,7	0	0,0	1	4,8	2	9,5



**Γράφημα 30** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 19 – Τμήμα B1'



**Γράφημα 31** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 19 – Τμήμα Γ2'

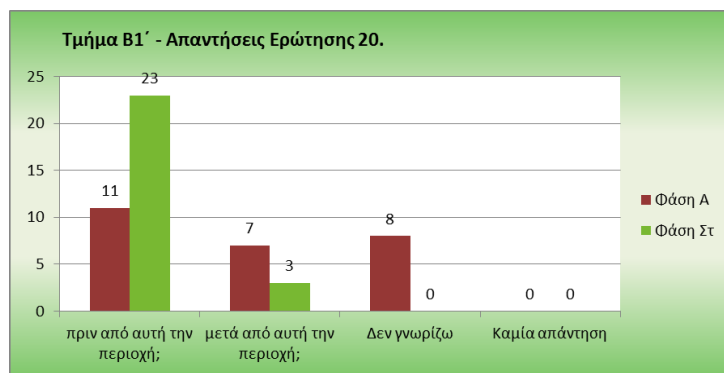
Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 28** και τα **Γραφήματα 30** και **31**, παρατηρούμε, ότι εμφανίζονται κάποιες διαφορές στον τρόπο, που τοποθετούνται οι μαθητές στα δυο τμήματα. Συγκεκριμένα, από του μαθητές του τμήματος B1' πριν την Παρέμβαση απάντησαν **Ναι** οι 21/26 και μετά οι 19/26, ενώ απάντησαν **Όχι** πριν οι 3/26 και μετά οι 7/26. Επίσης, απάντησαν **Δεν γνωρίζω** 2/26, ενώ μετά κανείς. Στο τμήμα Γ2' απάντησαν **Ναι** πριν και μετά την Παρέμβαση οι 16/21 μαθητές, ενώ **Όχι** απάντησαν πριν οι 4/26 και μετά οι 3/26 μαθητές. Επίσης, απάντησαν **Δεν γνωρίζω** 1/26, ενώ μετά 2/21. Στις απαντήσεις των μαθητών εμφανίζονται διαφορετικές τάσεις στα δύο τμήματα. Επίσης, φαίνεται ότι η Παρέμβαση δεν βοήθησε τους μαθητές να συμπεράνουν, ότι πολλές φορές τα πολύπλοκα συστήματα εμφανίζουν συμπεριφορά αντίθετη από αυτή που θα προέβλεπε κανείς με την κοινή λογική, ώστε να επιλέξουν όλοι ως απάντηση το **Ναι**. Διαπιστώνουμε ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν ότι ενδέχεται να προκύψουν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα

παρά τις καλύτερες προσπάθειες των οδηγών να κινούνται μπροστά και ομαλά (**Αντί-δαισθητική συμπεριφορά - counterintuitive behavior**) (στόχος Γζ).

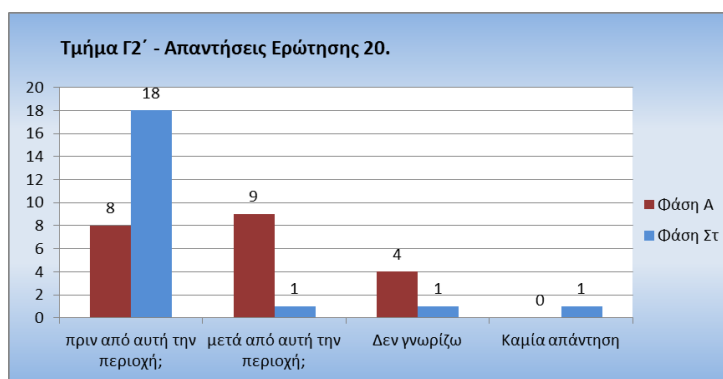
➤ Στον **Πίνακα 29** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 20**: Όταν κάποια στιγμή δημιουργηθεί σε μια περιοχή κυκλοφοριακή συμφόρηση, η συμφόρηση αυτή συμβαίνει:

**Πίνακας 29** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 20.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'				Γ2'			
		Α		Στ		Α		Στ	
		#	%	#	%	#	%	#	%
<b>α</b>	πριν από αυτή την περιοχή;	11	42,3	23	88,5	8	38,1	18	85,7
<b>β</b>	μετά από αυτή την περιοχή;	7	26,9	3	11,5	9	42,9	1	4,8
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	8	30,8	0	0,0	4	19,0	1	4,8
	Καμία απάντηση	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	4,8



**Γράφημα 32** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 20 – Τμήμα B1'



**Γράφημα 33** Φάσεις Α & Στ – Απαντήσεις Ερώτησης 20 – Τμήμα Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 29** και τα **Γραφήματα 32** και **33**, παρατηρούμε, ότι πριν την Παρέμβαση 11/26 και 8/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, πίστευαν, ότι η συμφόρηση συμβαίνει πριν από την περιοχή που δημιουργείται, ενώ 7/26 και 9/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, πίστευαν ότι, συμβαίνει μετά. Επίσης, αρκετά μεγάλος αριθμός μαθητών 9/26 και 4/21 του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, δήλωσε ότι, **Δεν γνωρίζει**.

Φαίνεται ότι η διερεύνηση, που έκαναν οι μαθητές με το Μοντέλο **Traffic Basic**, τους βοήθησε τελικά να συμπεράνουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν συμβαίνει στην περιοχή της συμφόρησης (**Αντί-δαισθητική συμπεριφορά - counterintuitive behavior**), αλλά πριν από αυτήν, αφού μετά την Παρέμβαση η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών, 23/26!!! και 18/21!!! του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, δήλωσαν ότι η συμφόρηση συμβαίνει πριν από την περιοχή που δημιουργείται, ενώ οι μαθητές, που πιστεύουν το αντίθετο, περιορίστηκαν σε 3/26!!! και 1/21!!! από το B1' και το Γ2' αντίστοιχα (στόχος Γζ).



## 4.2 Φάση Β (ομαδική επεξεργασία)

### Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic

Στην **Φάση Β** οι μαθητές εξοικειώθηκαν πολύ καλά με το μοντέλο (**στόχος Δα**), κάνοντας δοκιμές και απαντώντας σε ερωτήσεις, που ουσιαστικά τους βοήθησαν να κατανοήσουν καλύτερα τη λειτουργία του μοντέλου.

Έπειτα στο **Βήμα 4<sup>ο</sup>** τους ζητήθηκε:

**10.** Δημιουργήστε σκόπιμα μια κυκλοφοριακή συμφόρηση (κατάρρευση της κυκλοφορίας) και καταγράψτε τις τιμές των ρυθμιστών που επιλέξατε.

**13.** Να προτείνετε λύσεις, ώστε να διευκολυνθεί η ομαλή κυκλοφορία της κυκλοφοριακής συμφόρησης – κατάρρευσης, που προκαλέσατε στην ερώτηση 10.

Οι λύσεις, που έδωσαν όσες ομάδες απάντησαν, φαίνονται στον Πίνακα 30 και είναι αποτυπωμένες όπως τις διατύπωσαν οι μαθητές.

**Πίνακας 30** Φάση Β – Βήμα 4<sup>ο</sup> – Δραστηριότητες 10 και 13

Επιλογές	Τμήμα	B1'		Γ2'	
	Φάση	B		B	
		#	%	#	%
Μείωση του δείκτη του αριθμού των αυτοκινήτων.		9	75,0	8	80,0
Αύξηση του δείκτη της επιτάχυνσης.		6	50,0	2	20,0
Μείωση του δείκτη της επιβράδυνσης.		6	50,0	3	30,0
Όλα τα αυτοκίνητα την ίδια ταχύτητα.		2	16,7	0	0,0
Ίδια ταχύτητα - ίδιες αποστάσεις μεταξύ των αυτοκινήτων.		2	16,7	0	0,0
Αλλαγή της ταχύτητας των αυτοκινήτων.		1	8,3	0	0,0
Μείωση της ταχύτητας των αυτοκινήτων.		0	0,0	4	40,0
Δεν μπορεί να γίνει τίποτα.		0	0,0	1	10,0
Καμία απάντηση		1	8,3	0	0,0

# = Αριθμός ομάδων  
% = Ποσοστό επί του αριθμού των ομάδων

Παρατηρούμε ότι, οι μαθητές και των δύο τμημάτων δουλεύοντας σε ομάδες (13 ομάδες στο B1' και 10 ομάδες στο Γ2'), πριν να ξεκινήσουν τη διερεύνηση του μοντέλου, εκμεταλλεύτηκαν τη δυνατότητα, που τους δόθηκε να «πειράξουν» τους δείκτες των τριών μεταβλητών και πρότειναν σε μεγάλο ποσοστό ως λύση στο πρόβλημα την προφανή, δηλαδή, τη μείωση του αριθμού των αυτοκινήτων, χωρίς να λάβουν υπόψη τους άλλες παραμέτρους.

Οι μαθητές κατά τη διάρκεια ενασχόλησης τους με το Μοντέλο, αλλά και το Φύλλο Εργασίας Traffic Basic, διερευνώντας το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, απέκτησαν δεξιότητες, που σχετίζονται με τον ψυχοκινητικό τομέα, αφού σε μεγάλο βαθμό:

- Απέκτησαν άνεση στο χειρισμό του Μοντέλου **Traffic Basic (στόχος Δα)**.
- Επαλήθευσαν υποθέσεις, που έκαναν ελέγχοντας την ορθότητά τους με τη βοήθεια του περιβάλλοντος της NetLogo (**στόχος Δβ**).
- Χρησιμοποίησαν, κατά τη διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης, όσο το δυνατό περισσότερο τα πλεονεκτήματα, που τους προσέφερε το περιβάλλον της NetLogo (**στόχος Δγ**).

### 4.3 Φάση Δ (ομαδικές απαντήσεις)

#### Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στο Μοντέλο Traffic Basic υπάρχουν τρεις μεταβλητές, που μπορούν να επηρεάσουν την τάση να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση: Ο αρχικός ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ. Οι μαθητές έκαναν διερεύνηση, «τρέχοντας» το συγκεκριμένο μοντέλο, προκειμένου να βρουν μοτίβα, που σχετίζονται με το πώς οι ρυθμίσεις των μεταβλητών αυτών επηρεάζουν τη ροή της κυκλοφορίας, αλλά παράλληλα προσπάθησαν να δώσουν απάντηση στο πρόβλημα, που τέθηκε στο Φύλλο Εργασίας: **Ποια είναι η αιτία που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;**

Πίνακας 31 Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση)

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός Αυτοκινήτων (ΑΑ)											
		που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση											
Αριθμός Αυτοκινήτων		13 Ομάδες τμήματος Β1'						10 Ομάδες τμήματος Γ2'					
		Ελάχιστος			Μέγιστος			Ελάχιστος			Μέγιστος		
Περιπτώσεις Τιμών των Μεταβλητών		ΑΑ	#	%	ΑΑ	#	%	ΑΑ	#	%	ΑΑ	#	%
α	Μεταβλητή «ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων» Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,026 Μετρήσεις Πίνακα 4, σ.8	2	13	100,0	17	6	46,2	2	10	100,0	17	10	100,0
					18	4	30,8						
					20	2	15,4						
β1	Μεταβλητή «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0000 Επιβράδυνση=0,026 Μετρήσεις Πίνακα 6, σ.10	2	10	76,9	5	7	53,9	2	9	90,0	2	2	20,0
					5	1	10,0						
					6	2	20,0						
					10	1	10,0						
					20	2	20,0						
					23	1	10,0						
-	3	23,1	-	3	23,1	-	1	10,0	-	1	10,0		
β2	Μεταβλητή «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0099 Επιβράδυνση=0,026 Μετρήσεις Πίνακα 8, σ.12	2	13	100,0	21	2	15,4	2	10	100,0	20	1	10,0
					22	7	53,9				21	2	20,0
					23	2	15,4				22	5	50,0
					24	2	15,4				23	1	10,0
													27
γ1	Μεταβλητή «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,099 Μετρήσεις Πίνακα 10, σ.13	2	13	100,0	5	3	23,1	2	10	100,0	4	1	10,0
					6	7	53,9				6	8	80,0
					7	2	15,4				7	1	10,0
					8	1	7,7						
γ2	Μεταβλητή «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,000 Μετρήσεις Πίνακα 12, σ.15	2	13	100,0	41	13	100,0	2	10	100,0	41	10	100,0

# = Αριθμός ομάδων  
% = Ποσοστό επί του αριθμού των ομάδων

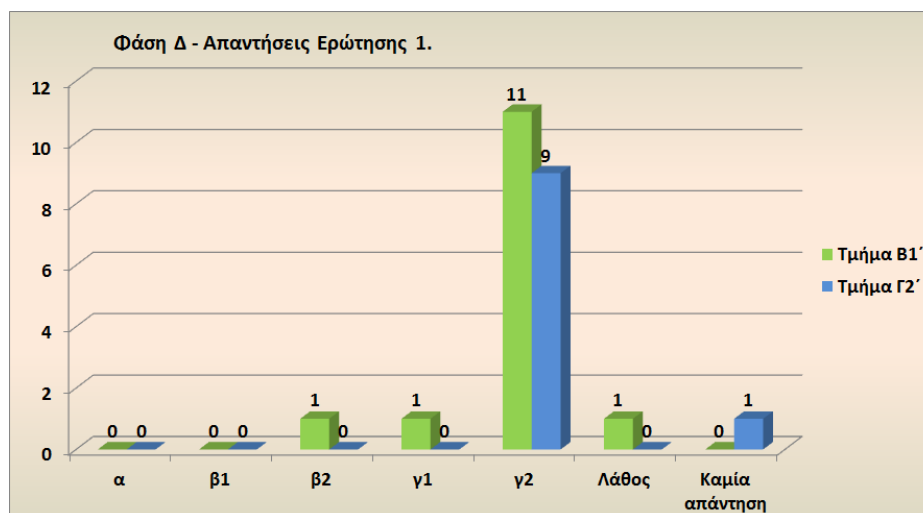
Οι μαθητές, προκειμένου να απαντήσουν, διερεύνησαν πέντε διαφορετικές περιπτώσεις. Στη Φάση Δ κλήθηκαν να συμπληρώσουν έναν Πίνακα (Πίνακας 13 του Φύλλου Εργασίας **Traffic Basic** – Φάση Δ), χρησιμοποιώντας τις απαντήσεις, που είχαν δώσει, «τρέχοντας» το Μοντέλο **Traffic Basic** για αυτές τις πέντε διαφορετικές περιπτώσεις (**στόχοι Γθ έως και Γμ**). Οι μετρήσεις όλων των μαθητών, ανά περίπτωση, καταγράφονται στον Πίνακα 31.

Από τις μετρήσεις, που φαίνονται στον **Πίνακα 31**, παρατηρούμε ότι οι μαθητές και των δύο τμημάτων, δουλεύοντας συνεργατικά με εργαλείο το Φύλλο Εργασίας, κατέγραψαν παρόμοιες μετρήσεις από τις οποίες μπορούν να διατυπωθούν χρήσιμα συμπεράσματα μέσω των παρακάτω ερωτήσεων – απαντήσεων.

➤ Στον **Πίνακα 32** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 1**: Στο μοντέλο αυτό σε ποια από τις πέντε περιπτώσεις (α, β1, β2, γ1, γ2), κυκλοφορεί ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση;

**Πίνακας 32** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 1.

Επιλογές		Τμήμα Β1'		Τμήμα Γ2'	
		Φάση Δ		Φάση Δ	
		#	%	#	%
α	Μεταβλητή: «ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων» Επιτάχυνση=0,0045 / Επιβράδυνση=0,026	0	0,0	0	0,0
β1	Μεταβλητή: «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0000 / Επιβράδυνση=0,026	0	0,0	0	0,0
β2	Μεταβλητή: «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0099 / Επιβράδυνση=0,026	1	7,7	0	0,0
γ1	Μεταβλητή: «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0045 / Επιβράδυνση=0,099	1	7,7	0	0,0
γ2	Μεταβλητή: «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ» Επιτάχυνση=0,0045 / Επιβράδυνση=0,000	11	84,6	9	90,0
	Λάθος	1	7,7	0	0,0
	Καμία απάντηση	0	0,0	1	10,0



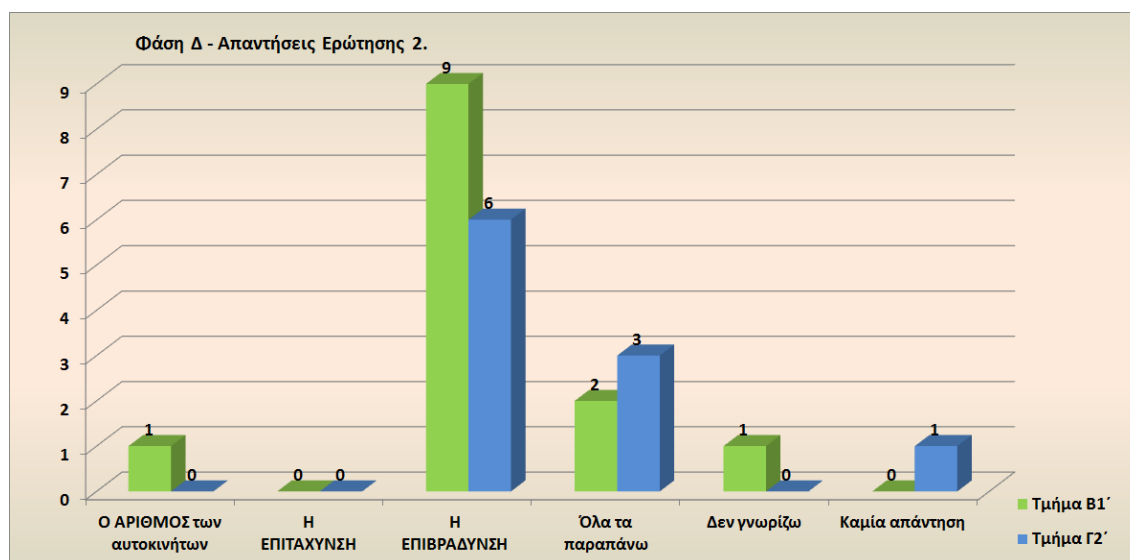
**Γράφημα 34** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 1. – Τμήματα Β1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 32** και το **Γράφημα 34**, παρατηρούμε ότι, σχεδόν όλες οι ομάδες, 11/13 και 9/10 του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, διαπίστωσαν ότι, στην περίπτωση **γ2** κυκλοφορεί ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, δηλαδή στην περίπτωση που η επιβράδυνση των αυτοκινήτων είναι μηδέν (0).

➤ Στον **Πίνακα 33** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 2: Παρατηρώντας τον Πίνακα 13 και τις γραφικές παραστάσεις των Πινάκων 3, 7 και 9, που έχουν δημιουργηθεί στο αρχείο του Microsoft Excel, ποια από τις τρεις μεταβλητές νομίζετε ότι, έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή και μπορεί να σταθεί υπεύθυνη για τη δημιουργία της κυκλοφοριακής συμφόρησης;**

**Πίνακας 33** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 2.

Επιλογές		Τμήμα	B1'		Γ2'	
			#	%	#	%
<b>α</b>	Ο αρχικός ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων		1	7,7	0	0,0
<b>β</b>	Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ		0	0,0	0	0,0
<b>γ</b>	<b>Η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ</b>		<b>9</b>	<b>63,2</b>	<b>6</b>	<b>60,0</b>
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω		2	15,4	3	30,0
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω		1	7,7	0	0,0
	Καμία απάντηση		0	0,0	1	10,0



**Γράφημα 35** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 2 – Τμήματα B1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 33** και το **Γράφημα 35**, παρατηρούμε ότι, οι περισσότερες ομάδες, 9/13 και 6/10 του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, διαπιστώνουν ότι, η μεταβλητή, που έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή και μπορεί να σταθεί υπεύθυνη για τη δημιουργία της κυκλοφοριακής συμφόρησης, είναι η **Επιβράδυνση**.

Παρατηρούμε από τις απαντήσεις των παραπάνω Πινάκων (32 και 33 ) και Γραφημάτων (34 και 35) ότι, οι μαθητές συνειδητοποίησαν ότι, όταν όλα τα αυτοκίνητα κινούνται στο δρόμο χωρίς να επιβραδύνουν, τότε δεν δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ουσιαστικά ανακάλυψαν μια κρυμμένη διάσταση του συστήματος, που σχετίζεται με τη συμπεριφορά των οδηγών, την ώρα που οδηγούν (**στόχος Γμ**).

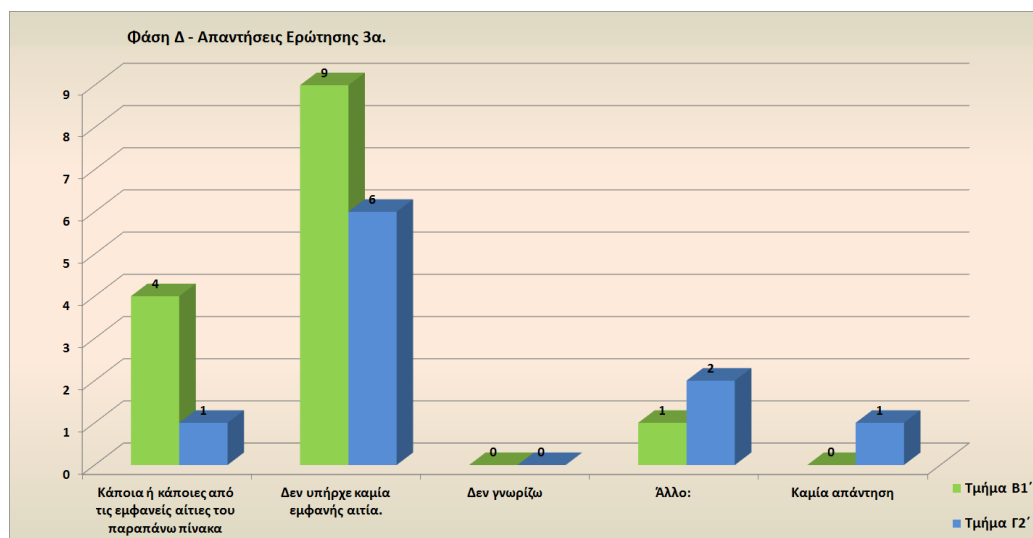
Αξιοπρόσεκτο είναι ότι, παρόλο που από τις μετρήσεις φαίνεται ξεκάθαρα ο ρόλος της Επιβράδυνσης των αυτοκινήτων, υπάρχουν ομάδες, που δυσκολεύονται να ξεχωρίσουν τη μεταβλητή αυτή από τις άλλες δύο δίνοντας την απάντηση **Όλα τα παραπάνω** (2/13 και 3/10 ομάδες του B1' και του Γ2' αντίστοιχα). Αυτό ίσως να σχετίζεται με αντιλήψεις, που είναι ριζωμένες στο μυαλό των μαθητών, αλλά και από την έλλειψη εμπειριών που έχουν λόγω ηλικίας, οι οποίες αποκτώνται με την οδήγηση.

➤ Στον **Πίνακα 34** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 3α**: *Γνωρίζοντας τις αιτίες δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης να σημειώσετε ποια ή ποιες ήταν οι αιτίες δημιουργίας της κατάρρευσης της κυκλοφορίας και της δημιουργίας ανωμαλίας στην κυκλοφοριακή ροή σε αυτό το μοντέλο.*

**Πίνακας 34** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3α.

Επιλογές		Τμήμα		Τμήμα	
		#	%	#	%
<b>α</b>	Κάποια ή κάποιες από τις εμφανείς αιτίες του παραπάνω πίνακα (κυκλώστε όποια ή όποιες αιτίες πιστεύετε ότι υπάρχουν).	4	30,8	1	10,0
	Δεν σημείωσε	(1)			
	Μεταβλητότητα της ζήτησης των δρόμων.	(2)	(30,8)	0	0,0
	Φυσική συμφόρηση "Χωρητικότητα".	(1)			
<b>β</b>	<b>Δεν υπήρχε καμία εμφανής αιτία.</b>	<b>9</b>	<b>69,2</b>	<b>6</b>	<b>60,0</b>
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	0	0,0	0	0,0
<b>δ</b>	Άλλο:	1	7,7	2	20,0
	Αριθμός αυτοκινήτων, Επιτάχυνση, Επιβράδυνση	(1)		(0)	
	Ο βαθμός και η συχνότητα της επιβράδυνσης των αυτοκινήτων	0	(7,7)	(2)	(20,0)
	Καμία απάντηση	0	0,0	1	10,0

Πριν από αυτή την ερώτηση δόθηκε Πίνακας, στον οποίο εμφανίζονται οι εμφανείς αιτίες δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης ([http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion\\_report/chapter2.htm](http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/chapter2.htm)).



**Γράφημα 36** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3α – Τμήματα Β1' και Γ2'

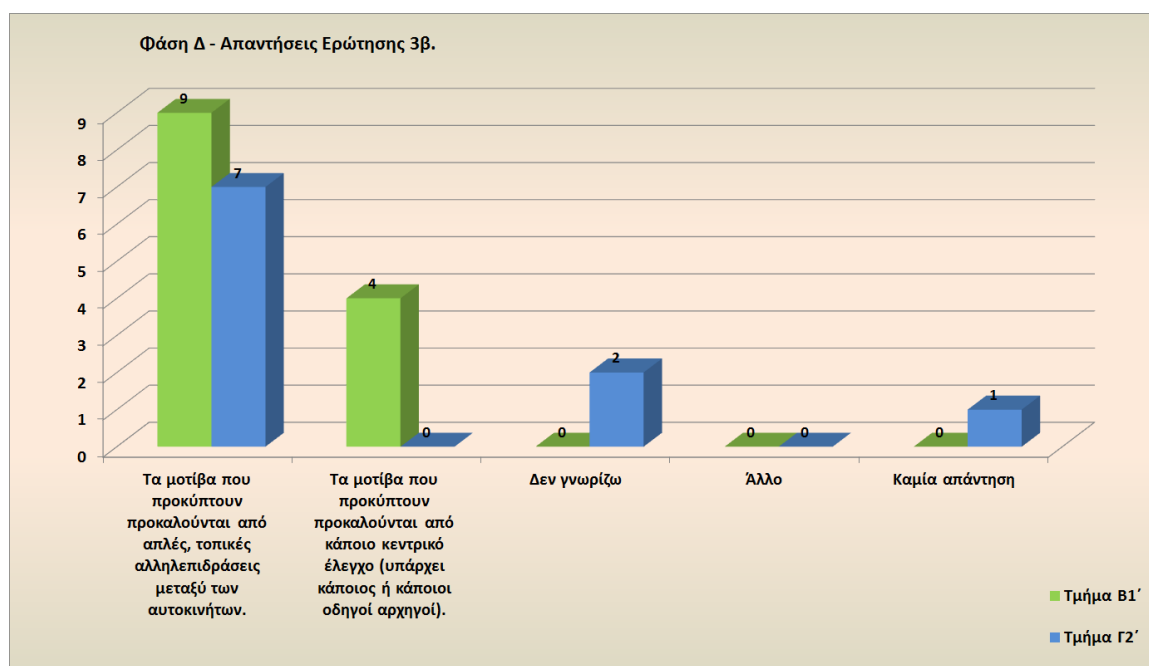
Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 34** και το **Γράφημα 36**, παρατηρούμε ότι, 9/13 και 6/10 ομάδες του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι **δεν υπήρχε καμία εμφανής αιτία** δημιουργίας της κατάρρευσης της κυκλοφορίας και της δημιουργίας ανωμαλίας στην κυκλοφοριακή ροή σε αυτό το μοντέλο.

Ας σημειωθεί ότι, 4/13 και 1/10 ομάδες του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, μπέρδεψαν τη διερεύνηση, που πραγματοποίησαν με τη βοήθεια του Μοντέλου **Traffic Basic**, με εμφανείς αιτίες δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης, που εντοπίζονται όταν τα αυτοκίνητα κυκλοφορούν σε πραγματικούς δρόμους.

➤ Στον **Πίνακα 35** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 3β**: Παρατηρώντας, στο μοντέλο αυτό, την κίνηση του κόκκινου αλλά και των άλλων αυτοκινήτων επιλέξετε την πρόταση, που θεωρείτε σωστή.

**Πίνακας 35** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3β.

Επιλογές	Τμήμα	B1'		Γ2'	
		#	%	#	%
<b>α</b>	<b>Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αυτοκινήτων.</b>	9	69,2	7	70,0
<b>β</b>	Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από κάποιο κεντρικό έλεγχο (υπάρχει κάποιος ή κάποιοι οδηγοί)	4	23,1	0	0,0
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	0	0,0	2	20,0
<b>δ</b>	Άλλο	0	0,0	0	0,0
	Καμία απάντηση	0	0,0	1	10,0



**Γράφημα 37** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3β – Τμήματα B1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 35** και το **Γράφημα 37**, παρατηρούμε ότι, 9/13 και 7/10 ομάδες του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, αποφάνθηκαν ότι, τα μοτίβα της κίνησης του κόκκινου αλλά και των άλλων αυτοκινήτων, που προκύπτουν στο μοντέλο αυτό, προκαλούνται από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αυτοκινήτων. Μόνο σε 3/13 ομάδες του τμήματος B1' παραμένει στο μυαλό των μαθητών, χωρίς να είναι και απολύτως σίγουρο, η αντίληψη του κεντρικού ελέγχου (**στόχος Γν**). Επίσης, από τις απαντήσεις των ομάδων φαίνεται ότι η πλειονότητα των μαθητών παρατηρεί την υψηλή αλληλεπίδραση των δομικών στοιχείων του συστήματος και μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους – Ισχυρή Διασύνδεση (**στόχος Γβ**).

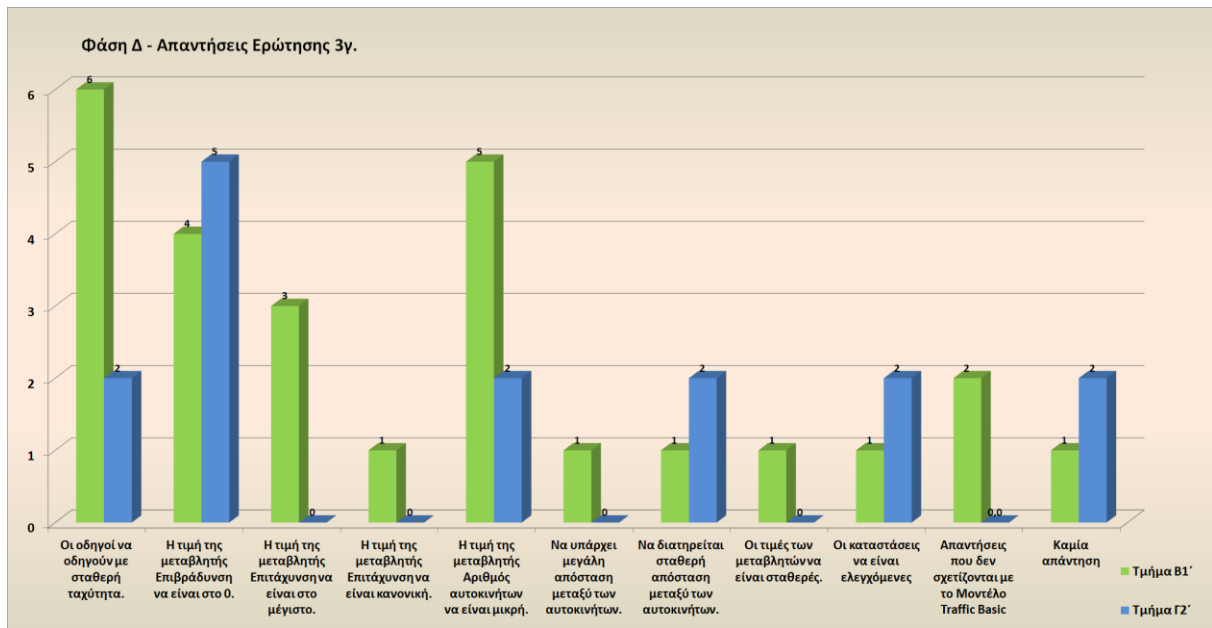
Από τις απαντήσεις των **Πινάκων 34** και **35** και τα **Γραφήματα 36** και **37**, φαίνεται ότι, η πλειονότητα των μαθητών έχει κατακτήσει την ικανότητα να προσδιορίζει τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος και της κυκλοφοριακής συμφόρησης (**στόχος Γι**), αλλά και την ικανότητα να κατανοεί τις κρυμμένες διαστάσεις του (**στόχος Γμ**). Αρχίζει λοιπόν, να αλλάζει στο μυαλό αρκετών μαθητών η αντίληψη, που αφορά στον κεντρικό έλεγχο για τη δημιουργία μοτίβων κυκλοφοριακής συμφόρησης (**στόχος Γν**).

➤ Στον **Πίνακα 36** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 3γ**, όπως τις διατύπωσαν οι μαθητές: *Να προτείνετε λύσεις ώστε στο μοντέλο αυτό να μην προκαλείται ποτέ κυκλοφοριακή συμφόρηση, κατάρρευση της κυκλοφοριακής ροής.*

**Πίνακας 36** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3γ.

Επιλογές	Τμήμα	B1'		Γ2'	
		#	%	#	%
Οι οδηγοί να οδηγούν με σταθερή ταχύτητα. <i>Να οδηγούν όλοι με μια συγκεκριμένη ταχύτητα. - Να είναι ίδια η ταχύτητα όλων των αυτοκινήτων. - Να οδηγούν με μια σταθερή ταχύτητα. - Τα αυτοκίνητα να κινούνται με σταθερή ταχύτητα. - Σταθερή ταχύτητα.</i>		6	46,2	2	20,0
Η τιμή της μεταβλητής Επιβράδυνση να είναι στο 0. <i>Η τιμή της επιβράδυνσης στο 0. - Καθόλου επιβράδυνση. - Να είναι η επιβράδυνση στο 0. - Να μην υπάρχει ελάττωση της ταχύτητας. - Να μην φρενάρουν συχνά οι οδηγοί. - Να μην πατάνε ποτέ φρένο οι οδηγοί.</i>		4	30,8	5	50,0
Η τιμή της μεταβλητής Επιτάχυνση να είναι στο μέγιστο. <i>Η τιμή της επιτάχυνσης στο μέγιστο.</i>		3	23,1	0	0,0
Η τιμή της μεταβλητής Επιτάχυνση να είναι κανονική. <i>Να υπάρχει κανονική επιτάχυνση.</i>		1	7,7	0	0,0
Η τιμή της μεταβλητής Αριθμός αυτοκινήτων να είναι μικρή. <i>Να υπάρχει μικρός αριθμός αυτοκινήτων. - Όσο πιο λίγα αυτοκίνητα τόσο λιγότερη κυκλοφοριακή συμφόρηση. - Το ποσοστό των αυτοκινήτων μικρό. - Να μειωθεί ο αριθμός των αυτοκινήτων στο δρόμο. - Να υπάρχουν λίγα αυτοκίνητα. - Λιγότερα αυτοκίνητα.</i>		5	38,5	2	20,0
Να υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ των αυτοκινήτων. <i>Τα αμάξια να έχουν πολλή απόσταση για να μην σταματούν. - Μεγάλη απόσταση μεταξύ των αυτοκινήτων.</i>		1	7,7	0	0,0
Να διατηρείται σταθερή απόσταση μεταξύ των αυτοκινήτων. <i>Να υπάρχει ίδια και σταθερή απόσταση των αυτοκινήτων μεταξύ τους. - Τα αμάξια να έχουν πολλή απόσταση για να μην σταματούν. - Να έχουν μια απόσταση μεταξύ τους ώστε να μην σταματούν.</i>		1	7,7	2	20,0
Οι τιμές των μεταβλητών να είναι σταθερές. <i>Σταθερές τιμές και δημιουργημένες ώστε να υπάρχει ομαλή κυκλοφορία.</i>		1	7,7	0	0,0
Οι καταστάσεις να είναι ελεγχόμενες <i>Να είναι πάντα ελεγχόμενες έτσι ώστε να αποφεύγεται κυκλοφοριακή συμφόρηση. - Αρξομείωση της ταχύτητας όταν πρέπει.</i>		1	7,7	2	20,0
Απαντήσεις που δεν σχετίζονται με το Μοντέλο <b>Traffic Basic</b> <i>Οι άνθρωποι να χρησιμοποιούν τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Να φτιαχτούν περισσότεροι δρόμοι.</i>		2 (1) (1)	15,4	0	0,0
Καμία απάντηση		1	7,7	2	20,0

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 36** και το **Γράφημα 38**, παρατηρούμε ότι, παρόλο, που οι λύσεις που πρότειναν οι μαθητές είναι πολλές και διαφορετικές, ομαδοποιώντας τις και λαμβάνοντας υπόψη μας, το χαμηλό, λόγω της ηλικίας τους, επίπεδο των μαθητών στη Φυσική, διακρίνουμε την ύπαρξη κάποιας λογικής κάτω από τη σκέψη τους. Απαντήσεις όπως: *Οι οδηγοί να οδηγούν με σταθερή ταχύτητα* (6/13 και 2/10 ομάδες του B1' και του Γ2' αντίστοιχα), *Η τιμή της μεταβλητής Επιβράδυνση να είναι στο 0* (4/13 και 5/10 ομάδες του B1' και του Γ2' αντίστοιχα) και *Να διατηρείται σταθερή απόσταση μεταξύ των αυτοκινήτων* (1/13 και 2/10 ομάδες του B1' και του Γ2' αντίστοιχα), δείχνουν ότι οι μαθητές προσπαθούν να **προσδιορίσουν** τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών του συστήματος (**στόχος Γι**) και τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος (**στόχος Γκ**). Επίσης, προσπαθούν να **οργανώσουν** τα συστατικά και τις διαδικασίες του συστήματος σε ένα πλαίσιο σχέσεων (**στόχος Γλ**) και να **κατανοήσουν** τις κρυμμένες διαστάσεις του (**στόχος Γμ**).



Γράφημα 38 Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3γ – Τμήματα Β1' και Γ2'



#### 4.4 Φάση Ε (ατομικές απαντήσεις)

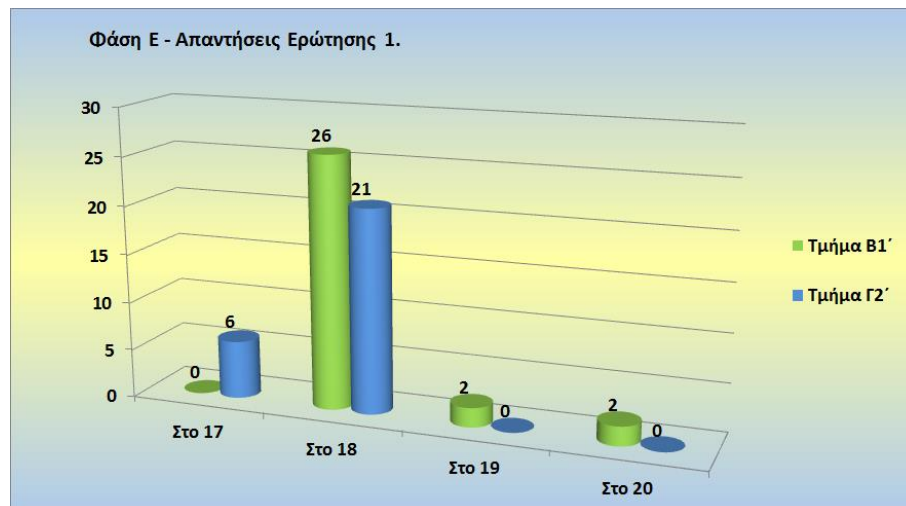
Σε όλους τους Πίνακες, που εμφανίζονται στην ενότητα αυτή, το σύμβολο # ισοδυναμεί με αριθμό μαθητών και το σύμβολο % με το ποσοστό επί του αριθμού των μαθητών.

##### Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic

➤ Στον Πίνακα 37 παρουσιάζονται οι απαντήσεις της Ερώτησης 1: Στην Εικόνα 1 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 3. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

Πίνακας 37 Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 1.

Επιλογές	Τμήμα	B1'		Γ2'	
	Φάση	E		E	
		#	%	#	%
Στο 17		0	0,0	6	28,6
<b>Στο 18</b>		<b>26</b>	<b>100,0</b>	<b>21</b>	<b>100,0</b>
Στο 19		2	7,7	0	0,0
Στο 20		2	7,7	0	0,0



Γράφημα 39 Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 1 – Τμήματα B1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του Πίνακα 37 και το Γράφημα 39, φαίνεται ότι, όλοι οι μαθητές παρατηρώντας τις μετρήσεις όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 3, διαπιστώνουν ότι «κατάρρευση» της κυκλοφορίας δημιουργείται, όταν θέτουν στο ρυθμιστή “number of cars” την τιμή 18, κρατώντας ως τιμές των ρυθμιστών “acceleration” και “deceleration” τις προεπιλεγμένες τιμές, δηλαδή 0,0045 και 0,026 αντίστοιχα (στόχος ΓΛ).

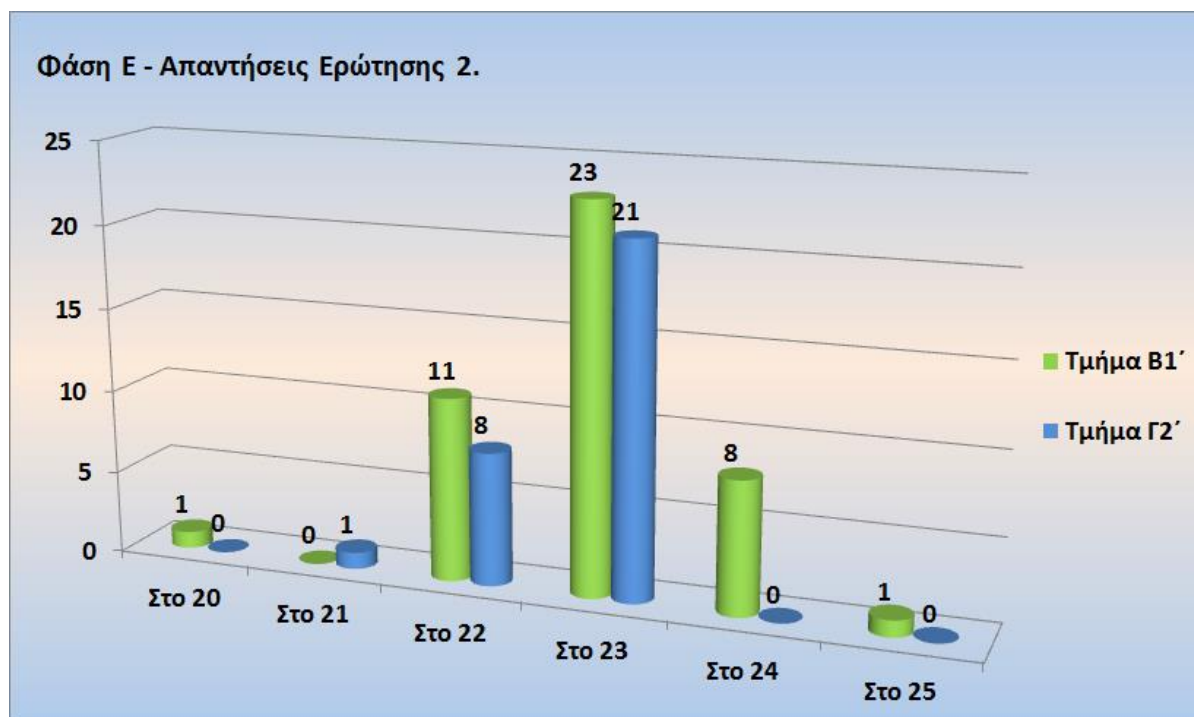
Το αποτέλεσμα αυτό είναι ενδιαφέρον και μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μετέπειτα έρευνας γύρω από αυτή την κρίσιμη φάση που εμφανίζεται στο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που αναπαριστά το υπό μελέτη Μοντέλο Traffic Basic. Το σημείο της κατάρρευσης της κυκλοφορίας μπορεί να θεωρηθεί ως ξεχωριστή φάση του συστήματος και διαφορετική από τις φάσεις «πριν» και «μετά» από αυτό. Οι μαθητές προφανώς σε πρώτο επίπεδο είδαν αυτή τη φάση ως απότομη αλλαγή και δεν είχαν τη δυνατότητα να αντιληφθούν, ότι είναι μια «φάση απρόβλεπτη», ενός μη ντετερμινιστικού αποτελέσματος.

Το ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να πούμε ότι εξάγεται από τα αποτελέσματα της Ερώτησης 2.

➤ Στον **Πίνακα 38** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 2**: Στην **Εικόνα 2** βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 7. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

**Πίνακας 38** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 2.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	Β1'		Γ2'	
		Ε		Ε	
		#	%	#	%
Στο 20		1	3,8	0	0,0
Στο 21		0	0,0	1	4,8
Στο 22		11	42,3	8	38,1
<b>Στο 23</b>		<b>23</b>	<b>88,5</b>	<b>21</b>	<b>100,0</b>
Στο 24		8	30,8	0	0,0
Στο 25		1	3,8	0	0,0



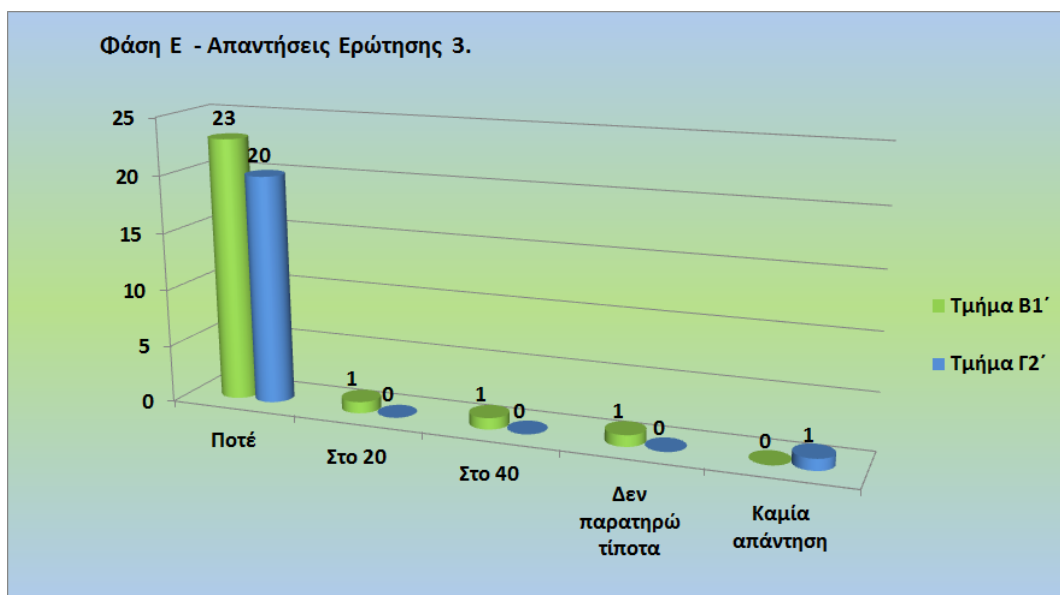
**Γράφημα 40** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 2 – Τμήματα Β1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 38** και το **Γράφημα 40**, φαίνεται ότι 23/26 και 21/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, παρατηρούν ότι, από τις μετρήσεις όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 7, το σημείο που φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας είναι όταν θέτουν στο ρυθμιστή “number of cars” την τιμή 23 και στον ρυθμιστή “acceleration” την τιμή **0,0099**, κρατώντας ως τιμή του ρυθμιστή “deceleration” την προεπιλεγμένη, δηλαδή **0,026 (στόχος ΓΛ)**.

➤ Στον **Πίνακα 39** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 3**: Στην **Εικόνα 3** βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 11. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

**Πίνακας 39** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 3.

Επιλογές	Τμήμα Β1΄		Τμήμα Γ2΄	
	Φάση Ε		Ε	
	#	%	#	%
<b>Ποτέ</b>	<b>23</b>	<b>88,5</b>	<b>20</b>	<b>95,2</b>
Στο 20	1	3,8	0	0,0
Στο 40	1	3,8	0	0,0
Δεν παρατηρώ τίποτα	1	3,8	0	0,0
Καμία απάντηση	0	0,0	1	4,8
Ποτέ	23	88,5	20	95,2



**Γράφημα 41** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 3 – Τμήματα Β1΄ και Γ2΄

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 39** και το **Γράφημα 41**, φαίνεται ότι, 23/26 και 20/21 μαθητές του Β1΄ και του Γ2΄ αντίστοιχα, παρατηρούν ότι, από τις μετρήσεις όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 11, δεν διαπιστώνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας, όσα αυτοκίνητα και να κυκλοφορούν στο δρόμο του μοντέλου. Σε αυτή την περίπτωση οι μαθητές πειραματίζονται με τις τιμές του ρυθμιστή “number of cars” από την τιμή 2 έως την τιμή 41 θέτοντας ως τιμή του ρυθμιστή “deceleration” το **0,000** και κρατώντας ως τιμή του ρυθμιστή “acceleration” την προεπιλεγμένη, δηλαδή **0,0045 (στόχος ΓΛ)**.

Για άλλη μια φορά, τώρα σε ατομικό επίπεδο, οι μαθητές συνειδητοποίησαν ότι, όταν όλα τα αυτοκίνητα κινούνται στο δρόμο χωρίς να επιβραδύνουν, τότε δεν δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το όλα αφορά τα 41 αυτοκίνητα, που διαθέτει το Μοντέλο **Traffic Basic**. Ουσιαστικά λοιπόν, επιβεβαιώνεται η ανακάλυψη, που είχαν κάνει σε επίπεδο ομάδας, που αφορά στην κρυμμένη διάσταση του συστήματος, που σχετίζεται με τη συμπεριφορά των οδηγών την ώρα που οδηγούν (**στόχος Γμ**).

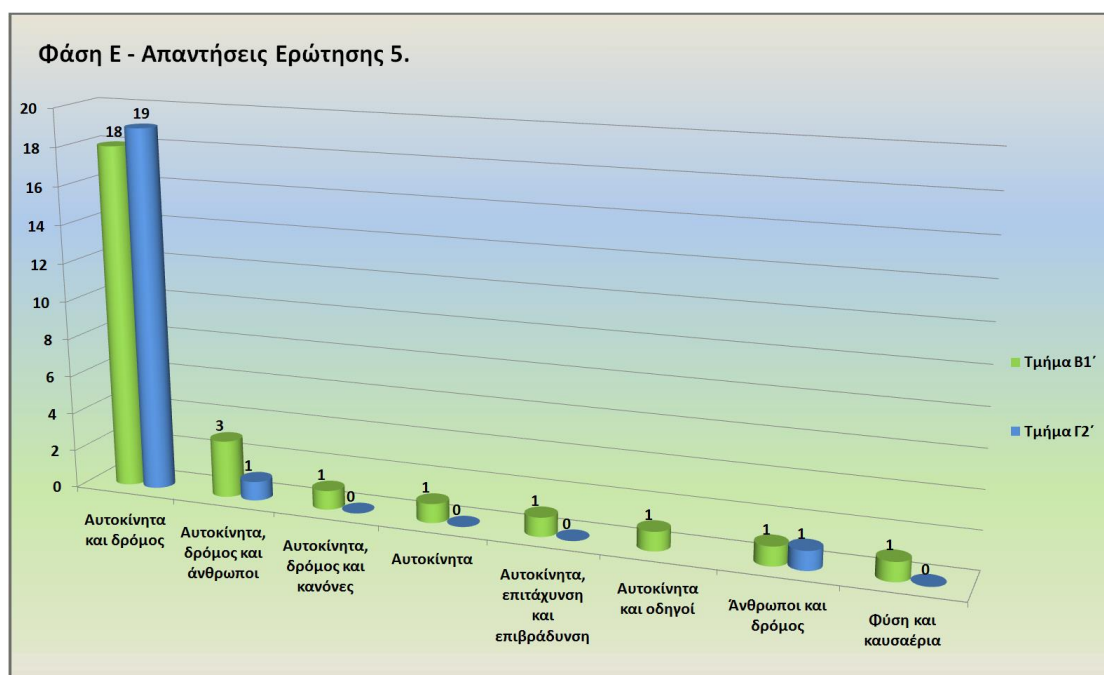
Επίσης, από τις απαντήσεις των Πινάκων **37, 38 και 39, αλλά και από τα Γραφήματα 39, 40 και 41**, φαίνεται ότι, οι μαθητές κατάφεραν να οργανώνουν τα συστατικά και τις διαδικασίες του συστήματος του μοντέλου, που μελέτησαν, σε ένα πλαίσιο σχέσεων (**στόχος ΓΛ**), που στη συγκεκριμένη περίπτωση αφορούσε α) στον προσδιορισμό του ορίου του αριθμού των αυτοκινήτων πάνω από το οποίο προκαλείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, β) στον προσδιορισμό του ρόλου της επιτάχυνσης στην εξέλιξη της κυκλοφοριακής ροής και γ) στον

προσδιορισμό του ρόλου της επιβράδυνσης των αυτοκινήτων ως καθοριστικού παράγοντα δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης.

➤ Στον **Πίνακα 40** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 5**: Το μοντέλο, που χρησιμοποιήσαμε σε αυτή τη δραστηριότητα, μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μία κατεύθυνση. **Να καταγράψεις** πάνω στην **Εικόνα 7**, στη θέση που πιστεύεις ότι είναι σωστή (**Φυσικό Σύστημα ή Σύστημα σχεδιασμένο από άνθρωπο**), τα **δομικά στοιχεία**, που αποτελούν το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα αυτού του μοντέλου.

**Πίνακας 40** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 5.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'		Γ2'	
		Ε		Ε	
	#	%	#	%	
Αυτοκίνητα και δρόμος		18	69,2	19	90,5
Αυτοκίνητα, δρόμος και άνθρωποι		3	11,5	1	4,8
Αυτοκίνητα, δρόμος και κανόνες		1	3,8	0	0,0
Αυτοκίνητα		1	3,8	0	0,0
Αυτοκίνητα, επιτάχυνση και επιβράδυνση		1	3,8	0	0,0
Αυτοκίνητα και οδηγοί		1	3,8	0	0,0
Άνθρωποι και δρόμος		1	3,8	1	4,8
Φύση και καυσαέρια		1	3,8	0	0,0



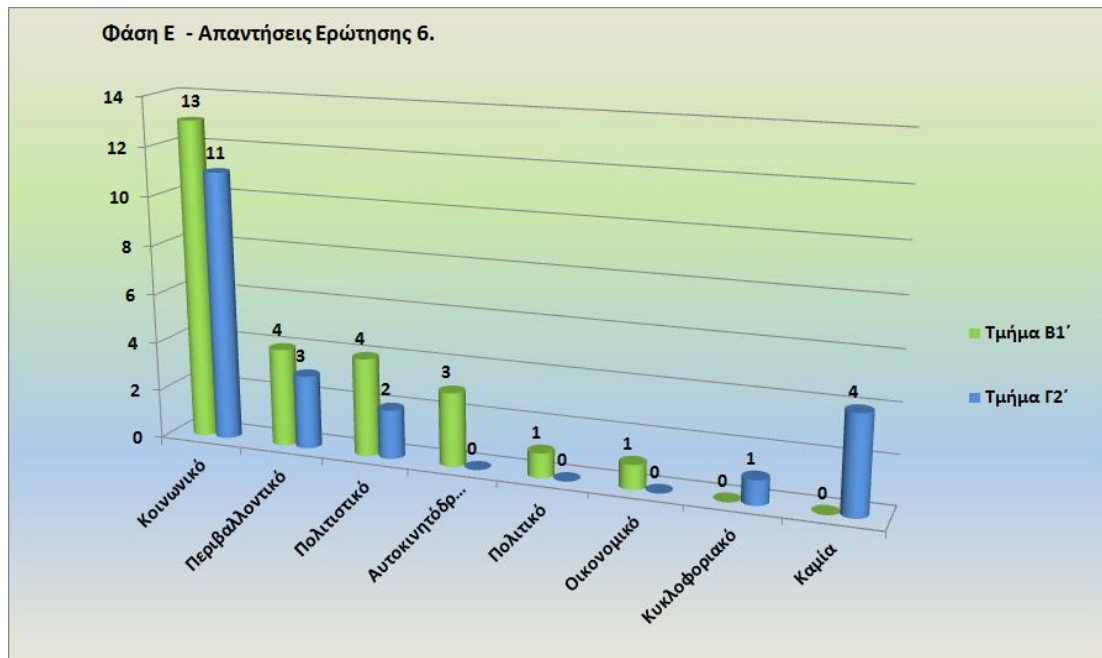
**Γράφημα 42** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 5 – Τμήματα B1' και Γ2'

Όλοι οι μαθητές και των δύο τμημάτων απάντησαν ότι το μοντέλο, που χρησιμοποιήσαμε σε αυτή τη δραστηριότητα, αποτελεί **Σύστημα σχεδιασμένο από άνθρωπο**. Επίσης, από τις απαντήσεις του **Πίνακα 40** και το **Γράφημα 42**, παρατηρούμε ότι, 18/26 και 19/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, αναγνωρίζουν τα **δομικά στοιχεία**, που αποτελούν το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα αυτού του μοντέλου. Η Δεξιότητα αυτή αφορά στην ανάλυση του συστήματος και συγκεκριμένα στον εντοπισμό των συστατικών (δομικών στοιχείων) ενός συστήματος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αναγνώρισαν ως συστατικά του συστήματος τα αυτοκίνητα και το δρόμο (**στόχος Γη**).

➤ Στον **Πίνακα 41** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 6**: *Να καταγράψεις, πάνω στην **Εικόνα 7**, ποιο κατά τη γνώμη σου είναι το ευρύτερο περιβάλλον, δηλαδή ο «χώρος», το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο εντάσσεται αυτό το σύστημα και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές του συγκεκριμένου μοντέλου (περιβαλλοντικό, οικονομικό, πολιτικό, πολιτιστικό, κοινωνικό ή άλλο).*

**Πίνακας 41** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 6.

Επιλογές	Τμήμα		Γ2'		
	Φάση	Ε		Ε	
		#	%	#	%
Κοινωνικό	13	50,0	11	52,4	
Περιβαλλοντικό	4	15,4	3	14,3	
Πολιτιστικό	4	15,4	2	9,5	
Αυτοκινητόδρομος	3	11,5	0	0,0	
Πολιτικό	1	3,8	0	0,0	
Οικονομικό	1	3,8	0	0,0	
Κυκλοφοριακό	0	0,0	1	4,8	
Καμία	0	0,0	4	19,0	



**Γράφημα 43** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 6 – Τμήματα Β1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 41** και το **Γράφημα 43**, παρατηρούμε ότι, οι μαθητές προκειμένου να ανταποκριθούν στην ερώτηση, χρησιμοποίησαν κάποιες πιθανές απαντήσεις, οι οποίες είχαν δοθεί στην εκφώνηση της άσκησης. Οι μισοί μαθητές και από τα δύο τμήματα (13/26 και 11/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα) αποφάνθηκαν ότι το ευρύτερο περιβάλλον, δηλαδή ο «χώρος», το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο εντάσσεται το σύστημα, που μελετήσαμε και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές του συγκεκριμένου μοντέλου είναι κοινωνικό. Ίσως σε αυτή τους την απόφαση να συνέβαλε και το ότι, το ίδιο το Μοντέλο μέσα στη βιβλιοθήκη της NetLogo κατατάσσεται στα Sample Models στην κατηγορία Social Science.

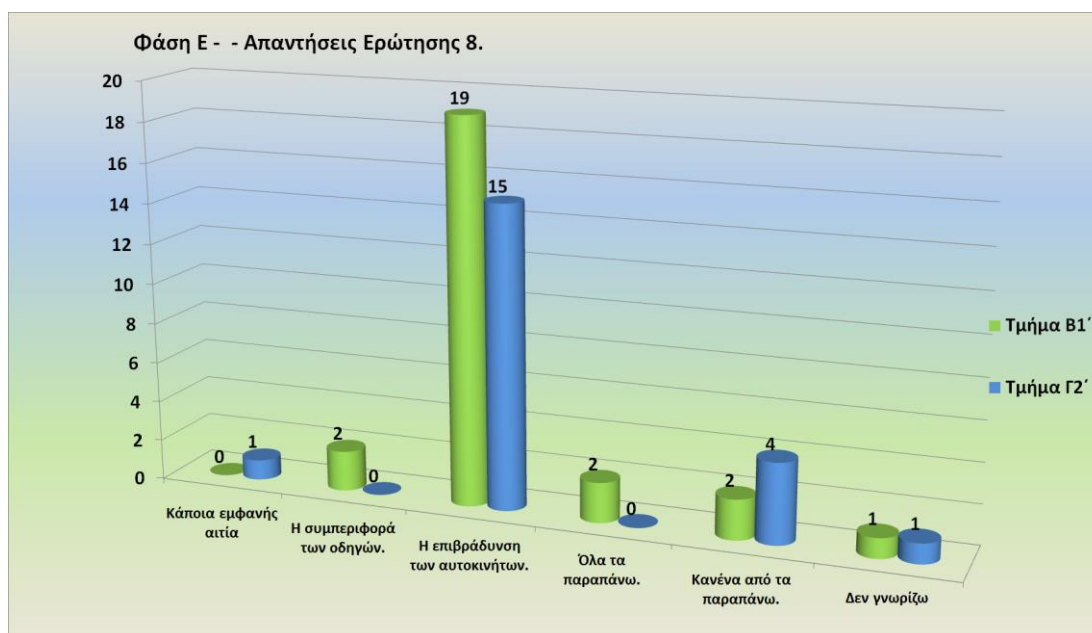
Η κατανόηση του πλαισίου μέσα στο οποίο εντάσσεται ένα πρόβλημα είναι ένα από τα κρίσιμα βήματα στην επιτυχή επίλυσή του, αφού σχετίζεται και με τα όρια, που θέτει το ίδιο

το πλαίσιο. Ο επιτυχής προσδιορισμός του πλαισίου σχετίζεται και με το **στόχο Γγ** αλλά και με το **στόχο Γε**. Παρατηρήθηκε ότι, υπήρχαν μαθητές που έδωσαν αρκετές φορές απαντήσεις που ξέφευγαν από το πλαίσιο του μοντέλου π.χ. **Πίνακας 36** Φάση Δ – Απαντήσεις Ερώτησης 3γ.

➤ Στον **Πίνακα 42** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 8**: Όπως διαπίστωσες σε αυτό το μοντέλο εμφανίζεται ένα κόκκινο αυτοκίνητο και ένα ρεύμα από μπλε αυτοκίνητα. Κάθε τόσο τα αυτοκίνητα «συσσωρεύονται» και για λίγο σταματούν να κινούνται. Ποια ή ποιές είναι η/οι αιτία/ες που προκαλούν αυτά τα μοτίβα κίνησης των αυτοκινήτων;

**Πίνακας 42** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 8.

Επιλογές	Τμήμα Φάση	B1'		Γ2'	
		Ε		Ε	
		#	%	#	%
<b>α</b>	Κάποια εμφανής αιτία	0	0,0	1	4,8
<b>β</b>	Η συμπεριφορά των οδηγών.	2	7,7	0	0,0
<b>γ</b>	Η επιβράδυνση των αυτοκινήτων.	19	73,1	15	71,4
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω.	2	7,7	0	0,0
<b>ε</b>	Κανένα από τα παραπάνω.	2	7,7	4	19,0
	Δεν γνωρίζω	1	3,8	1	4,8



**Γράφημα 44** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 8 – Τμήματα B1' και Γ2'

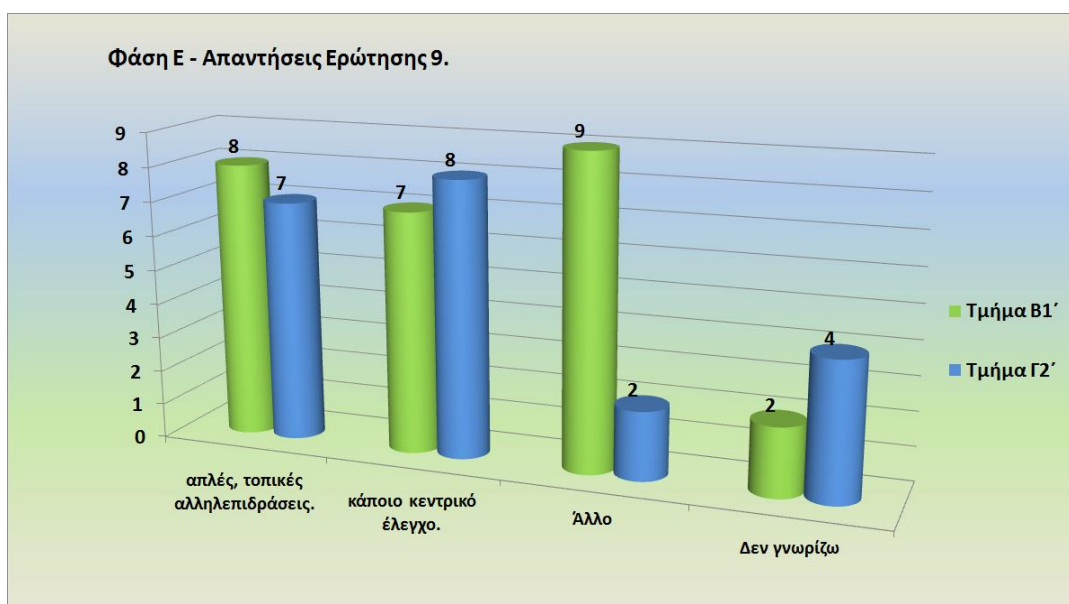
Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 42** και το **Γράφημα 44**, παρατηρούμε ότι, 19/26 και 15/21 μαθητές του B1' και του Γ2' αντίστοιχα, θεωρούν την επιβράδυνση των αυτοκινήτων ως την αιτία, που προκαλεί τα μοτίβα κίνησης των αυτοκινήτων του μοντέλου (κάθε τόσο τα αυτοκίνητα «συσσωρεύονται» και για λίγο σταματούν να κινούνται). Φαίνεται ότι οι μαθητές μελετώντας το Μοντέλο και παρατηρώντας τα μοτίβα της κυκλοφορίας, που δημιουργούνταν, συνειδητοποίησαν κάτι, το οποίο βιώνουν καθημερινά, δηλαδή τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος (**στόχος Γκ**). Εντοπίζοντας την επιβράδυνση ως τη βασικότερη αιτία της αρνητικής εξέλιξης του συστήματος, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, εκτός του ότι αρχίζουν να απαλλάσσονται από την αντίληψη του κεντρικού ελέγχου (**στόχος Γν**),

αρχίζουν να συνειδητοποιούν όλο και περισσότερο τη σχέση οδήγησης και κίνησης, κάτι το οποίο αποτελεί παρακαταθήκη για το μέλλον τους.

➤ Στον **Πίνακα 43** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 9**: Τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που προέκυψαν, προκλήθηκαν από

**Πίνακας 43** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 9.

Επιλογές		Τμήμα Β1'		Τμήμα Γ2'	
		Φάση Ε		Ε	
		#	%	#	%
<b>α</b>	απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις.	8	30,8	7	33,3
<b>β</b>	κάποιο κεντρικό έλεγχο.	7	26,9	8	38,1
<b>γ</b>	Άλλο	9	34,6	2	9,5
<b>δ</b>	Δεν γνωρίζω	2	7,7	4	19,0



**Γράφημα 45** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 9 – Τμήματα Β1' και Γ2'

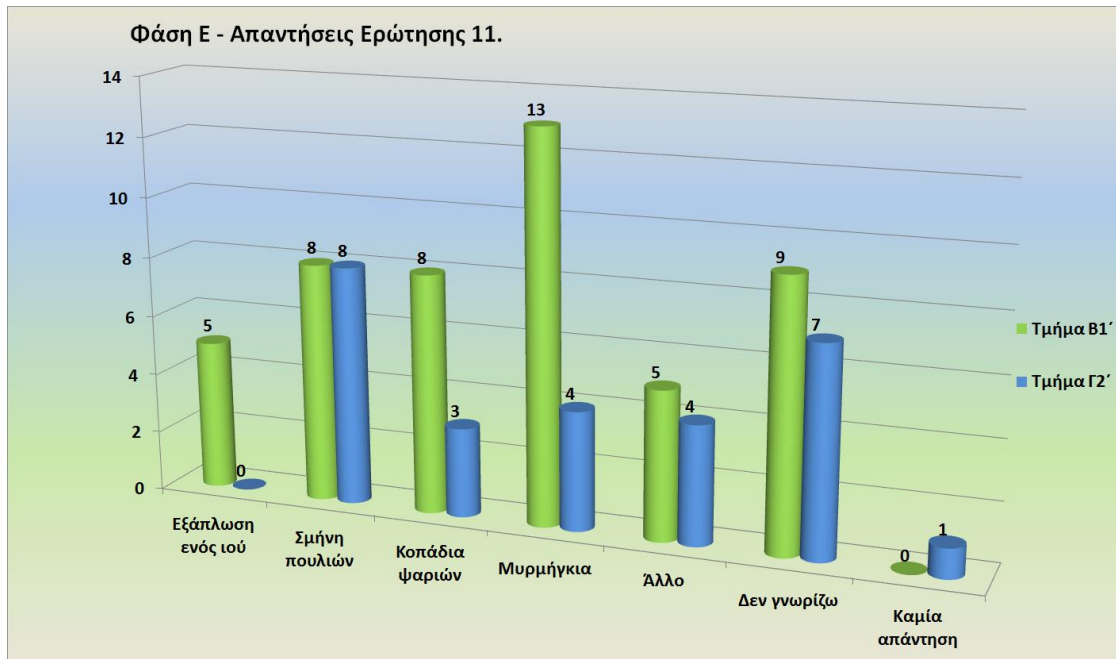
Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 43** και το **Γράφημα 45**, παρατηρούμε ότι, με την ολοκλήρωση των Φάσεων Β, Γ και Δ καταγράφεται στις απαντήσεις αυτής της ερώτησης μια σύγχυση των μαθητών αφού 8/26 και 7/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν ότι τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που προέκυψαν, προκλήθηκαν από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις και 7/26 και 8/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν ότι τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που προέκυψαν, προκλήθηκαν από κάποιο κεντρικό έλεγχο. Επίσης, υπήρξαν μαθητές, που απάντησαν **Δεν γνωρίζω**, 2/26 και 4/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα.

Παρόλο που δεν καταγράφηκε σε καμία Φάση της έρευνας, η ύπαρξη κάποιου κεντρικού ελέγχου, φαίνεται ότι είναι μια άποψη – πεποίθηση – αντίληψη, που έχουν οι μαθητές, βαθιά ριζωμένη στο μυαλό τους, η οποία αποτελεί παρανόηση, δεν αφορά μόνο στο συγκεκριμένο σύστημα και χρειάζεται να γίνει συστηματική προσπάθεια για την εξάλειψή της.

➤ Στον **Πίνακα 44** παρουσιάζονται οι απαντήσεις της **Ερώτησης 11**: Έχεις παρατηρήσει σε κάποιο από τα παρακάτω συστήματα, παρόμοια συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων με τη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων του μοντέλου που μελέτησες;

**Πίνακας 44** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 11.

Επιλογές		Τμήμα		Γ2'	
		Φάση		Ε	
		#	%	#	%
<b>α</b>	Εξάπλωση ενός ιού	5	19,2	0	0,0
<b>β</b>	Σμήνη πουλιών	8	30,8	8	38,1
<b>γ</b>	Κοπάδια ψαριών	8	30,8	3	14,3
<b>δ</b>	Μυρμήγκια	13	50,0	4	19,0
<b>ε</b>	Άλλο	5	19,2	4	19,0
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	9	34,6	7	33,3
<b>ζ</b>	Καμία απάντηση	0	0,0	1	4,8



**Γράφημα 46** Φάση Ε – Απαντήσεις Ερώτησης 11 – Τμήματα Β1' και Γ2'

Από τις απαντήσεις του **Πίνακα 44** και το **Γράφημα 46**, παρατηρούμε ότι, 9/26 και 7/21 μαθητές του Β1' και του Γ2' αντίστοιχα, απάντησαν **Δεν γνωρίζω**. Ο αριθμός αυτός των μαθητών είναι μεγάλος και ίσως μας δείχνει ότι μια τέτοια Διδακτική Παρέμβαση δεν αρκεί για να εισάγει τα παιδιά στην έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος, αλλά και στις απαραίτητες συνδέσεις, που καλό θα ήταν να μπορούν να κάνουν με τον κόσμο γύρω τους.

Το ευχάριστο είναι ότι η πλειονότητα των μαθητών φαίνεται ότι, μπόρεσε να κάνει συσχέτιση του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος της κυκλοφοριακή συμφόρησης με άλλα ως επί το πλείστον φυσικά συστήματα. Συστήματα όπως τα σμήνη πουλιών, τα μυρμήγκια, αλλά και τα κοπάδια ψαριών ήταν οι πιο δημοφιλείς απαντήσεις.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μελέτη που έγινε μέσω της Διδακτικής Παρέμβασης αποτέλεσε το αντικείμενο έρευνας, που αφορά στην «Μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων με ΤΠΕ στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση». Στο πλαίσιο της Διδακτικής Παρέμβασης μαθητές καθοδηγούμενοι διερεύνησαν το μοντέλο της κυκλοφορίας (Traffic Basic), προκειμένου να κατανοήσουν την επίδραση των παραμέτρων στην πρόκληση συμφόρησης και να γενικεύσουν τις παρατηρήσεις τους στα πολύπλοκα συστήματα.

Τα ερωτήματα που τέθηκαν στην εργασία αυτή και αφορούν σε μαθητές Γυμνασίου ήταν:

Ποια η επίδραση περιβαλλόντων μοντελοποίησης, όπως αυτό της NetLogo όσον αφορά:

- α) στην κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων,
- β) στην ανάπτυξη δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης και
- γ) στην ιδέα του κεντρικού ελέγχου (centralized mindset), που ακολουθεί η σκέψη τους, όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα;

Σχετικά με το υποερώτημα α) και τους στόχους που είχαν τεθεί, παρατηρήθηκαν τα εξής:

- Οι μαθητές μέσω της προσομοίωσης του συγκεκριμένου μοντέλου, η οποία βασίστηκε στην κίνηση πολλαπλών πρακτόρων – αυτοκινήτων και μοτιβών κίνησης και κυκλοφοριακής συμφόρησης, γνώρισαν την ύπαρξη *περιβαλλόντων πολλαπλών πρακτόρων* και συγκεκριμένα το περιβάλλον της NetLogo. Η πλειονότητά τους, μετά από τη Διδακτική Παρέμβαση, θεώρησε ότι τα *περιβάλλοντα πολλαπλών πρακτόρων* βοηθούν στην κατανόηση των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων και δίνουν πιθανές απαντήσεις σε προβλήματα, όπως αυτό που μελέτησαν εμπλεκόμενοι με το Μοντέλο **Traffic Basic**. Το σημαντικό είναι ότι, η Παρέμβαση αυτή συνέβαλε στην ενίσχυση του τεχνολογικού αλφαριθμητισμού.
- Οι περισσότεροι από τους μαθητές μελετώντας το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα του μοντέλου, μπόρεσαν να αντιληφθούν την *Ισχυρή διασύνδεση* που διαφάνηκε και παρατήρησαν την ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των δομικών στοιχείων του συστήματος, αλλά και με το περιβάλλον τους. Επίσης, παρατηρώντας ότι η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους αντιλήφθηκαν, σε πρώτο επίπεδο, το χαρακτηριστικό των πολύπλοκων συστημάτων, που αφορά στη *Διακυβέρνηση από την Ανατροφοδότηση*. Όμως, μετά την Παρέμβαση εμφανίστηκε να παίρνει την αντίθετη θέση ένας μη ευκαταφρόνητος αριθμός μαθητών και από τα δύο τμήματα. Αυτό μας υποδεικνύει ότι οι μαθητές χρειάζεται να ερευνήσουν και άλλα μοντέλα προκειμένου να είναι όλοι σε θέση να συμπεραίνουν ότι, τα πολύπλοκα συστήματα παρακολουθούν τις εξόδους τους, οι οποίες μεταβάλλουν την κατάστασή τους και επηρεάζουν τη μελλοντική τους συμπεριφορά.
- Επιπλέον, οι μαθητές συνειδητά ή ασυνείδητα «τρέχοντας» επανειλημμένες φορές το μοντέλο, ακολουθώντας τις υποδείξεις του Φύλλου Εργασίας της Διδακτικής Παρέμβασης, παρατήρησαν τα διάφορα μοτίβα κίνησης, που δημιουργούνταν και ήρθαν αντιμέτωποι με καταστάσεις και φαινόμενα μη προβλέψιμα. Επίσης, ήρθαν αντιμέτωποι με ένα από τα χαρακτηριστικά από τα οποία πηγάζει η πολυπλοκότητα

των συστημάτων τη *Μη γραμμικότητα*, διαπιστώνοντας, οι περισσότεροι από αυτούς ότι, αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες, που αφορούν ένα φαινόμενο, είναι ίδιες, όπως στην προκειμένη περίπτωση η κυκλοφοριακή συμφόρηση, το ίδιο φαινόμενο δεν θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη.

- Μεγάλος αριθμός μαθητών και όχι όλοι, υιοθέτησε την άποψη της αυτό-οργάνωσης. Ίσως αυτό να οφείλεται στην ηλικιακή ομάδα που ανήκουν οι μαθητές. Βάσει νόμων όσοι ανήκουν στην ομάδα αυτή δεν τους επιτρέπεται να οδηγούν αυτοκίνητα, με αποτέλεσμα να μην έχουν εμπειρίες, βιώματα, που θα τους βοηθούσαν να παρατηρήσουν ότι η δυναμική των συστημάτων αναδύεται ακούσια από την εσωτερική τους δομή και ότι 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 μοτίβα αυτά οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων.
- Επίσης, μεγάλος αριθμός μαθητών φαίνεται ότι παρατήρησε 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, όπως π.χ. στο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης, που μελετήθηκε (*Προσαρμοστικότητα*).
- Αντιφατικά είναι τα συμπεράσματα που αφορούν στο χαρακτηριστικό των πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, που σχετίζεται με την *Αντί-διαισθητική συμπεριφορά* - *counterintuitive behavior*. Φαίνεται ότι, η όλη διαδικασία από τη μία δεν βοήθησε τους μαθητές να κατανοήσουν ότι ενδέχεται να προκύψουν καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα, παρά τις καλύτερες 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 και από την άλλη τους βοήθησε να συμπεράνουν ότι η κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν συμβαίνει στην περιοχή της συμφόρησης αλλά πριν από αυτή. Διαπιστώθηκε δυσκολία και αντιφατικότητα στην κατανόηση του χαρακτηριστικού, που θέλει τα πολύπλοκα συστήματα να εμφανίζουν συμπεριφορά αντίθετη από αυτή, που θα προέβλεπε κανείς με την κοινή λογική.
- Μεγάλος αριθμός μαθητών οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι, για την κατανόηση, αλλά και για την επίλυση προβλημάτων, που προκύπτουν από «πολύπλοκα δυναμικά συστήματα» είναι απαραίτητη η προσέγγιση με υπολογιστές (περιβάλλοντα προσομοίωσης, μοντελοποίησης) και ότι το περιβάλλον της NetLogo προσφέρεται όχι μόνο για εκπαιδευτικούς σκοπούς, αλλά και για την κατανόηση της πολυπλοκότητας και των αλληλεξαρτήσεων των γεγονότων, που συμβαίνουν γύρω μας, άρα και για το πώς λειτουργεί ο «κόσμος».

Σχετικά με το υποερώτημα β) και τους στόχους που είχαν τεθεί, διαπιστώθηκε η θετική επίδραση του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στην ανάπτυξη δεξιοτήτων, που αφορούν στη Συστημική Σκέψη. Συγκεκριμένα:

- Υπήρξε σοβαρή μεταβολή στις απόψεις των μαθητών γύρω από την κατανόηση της έννοιας «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα». Φαίνεται ότι, η εφαρμογή της παρέμβασης αυτής βοήθησε τους μαθητές προς αυτή την κατεύθυνση. Στην πλειονότητά τους

μπόρεσαν να αναγνωρίσουν με επιτυχία τα δομικά στοιχεία του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος, που μελέτησαν. Εντόπισαν τις δυνατές ενέργειες των στοιχείων του συστήματος, που επηρεάζουν όλο το σύστημα π.χ. επιτάχυνση, επιβράδυνση ή ακόμα και σταμάτημα ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων. Επίσης, προσδιόρισαν με επιτυχία τη συσχέτιση των ανεξάρτητων κινήσεων των αυτοκινήτων, που αποτελούν το σύστημα. Δηλαδή, κατανόησαν ότι, μια ενδεχόμενη αύξηση ή μείωση της ταχύτητας ενός ή περισσότερων αυτοκινήτων θα μπορούσε να επηρεάσει την κυκλοφοριακή ροή.

- Επιπλέον, παρατηρώντας τις αλληλεξαρτήσεις των μεταβλητών του μοντέλου και τα μοτίβα της κυκλοφορίας, που δημιουργούνται ανάλογα με τις τιμές τους, συνειδητοποίησαν κάτι το οποίο το βιώνουν καθημερινά, δηλαδή τη δυναμική των σχέσεων εντός του συστήματος, όπως είναι η σχέση οδήγησης και κίνησης, κάτι το οποίο αποτελεί παρακαταθήκη για το μέλλον τους.
- Επίσης, μπόρεσαν να οργανώσουν τα συστατικά και τις διαδικασίες του συστήματος σε ένα πλαίσιο σχέσεων, δηλαδή προσδιόρισαν α) το όριο του αριθμού των αυτοκινήτων πάνω από το οποίο προκαλείται κυκλοφοριακή συμφόρηση, β) το ρόλο της επιτάχυνσης στην εξέλιξη της κυκλοφοριακής ροής και γ) το ρόλο της επιβράδυνσης των αυτοκινήτων ως καθοριστικού παράγοντα δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης.
- Τέλος, με την εφαρμογή της Παρέμβασης κατανόησαν τις κρυμμένες διαστάσεις του συστήματος, αναγνωρίζοντας πρότυπα και αλληλεξαρτήσεις, που δεν φαίνονται στην επιφάνεια, αφού διαπίστωσαν ότι πολλά προβλήματα, που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή συμφόρηση δεν μπορούν να λυθούν απλά με τη διαπλάτυνση ή την κατασκευή νέων δρόμων και ίσως και να οφείλονται στην αλλαγή της νοοτροπίας των οδηγών και της συμπεριφοράς τους την ώρα που οδηγούν.

Σχετικά με το υποερώτημα γ) και το στόχο που είχε τεθεί: «*Να συμπεράνουν ότι, δεν υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία όταν δημιουργείται ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή (κεντρικός έλεγχος-centralized mindset)*», παρατηρήθηκε ότι, ενώ πριν από την Παρέμβαση η πλειονότητα των μαθητών πίστευε ότι *υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία*, τελικά, μετά από την εφαρμογή της Παρέμβασης, παρατηρήθηκε σαφής μετατόπιση της άποψης αυτής από μια μερίδα μαθητών. Ένας, όμως, μη ευκαταφρόνητος αριθμός μαθητών έδειξε εμμονή στην αντίληψη περί κεντρικού ελέγχου κάτι, που αποδεικνύει ότι παρατηρούνται παρανοήσεις σε κάποιες αρχικές πεποιθήσεις – αντιλήψεις, που έχουν οι μαθητές όταν έρχονται στο σχολείο, οι οποίες πολλές φορές είναι βαθιά ριζωμένες.

Καταλήγοντας, μπορούμε να πούμε ότι, οι μαθητές κατά τη διάρκεια της ενασχόλησής τους με το Μοντέλο, αλλά και με το Φύλλο Εργασίας **Traffic Basic**, διερευνώντας το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που αφορά στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, σε μεγάλο βαθμό απόκτησαν άνεση στο χειρισμό του Μοντέλου **Traffic Basic**, με τη βοήθεια του περιβάλλοντος της NetLogo, επαλήθευσαν υποθέσεις που έκαναν, ελέγχοντας την ορθότητά τους, χρησιμοποιώντας, κατά τη διάρκεια της Διδακτικής Παρέμβασης, όσο το δυνατό περισσότερο τα πλεονεκτήματα, που τους προσέφερε το περιβάλλον.

Τα παραπάνω καλύπτουν τους στόχους, που είχαν τεθεί στην Παρέμβαση και αφορούν σε δεξιότητες στον ψυχοκινητικό τομέα. Στον τομέα αυτό οι δεξιότητες αφορούν στην ανάπτυξη κινητικών δεξιοτήτων, που στις μέρες μας καλύπτει το χώρο των νέων τεχνολογιών όπως και των κοινωνικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων (Bloom et al., 1956).

Λόγω περιορισμένου χρόνου δεν μπόρεσαν όλοι οι μαθητές να επεξεργαστούν προβλήματα διαφορετικά από το υπό διερεύνηση πρόβλημα. Κατά συνέπεια οι ερωτήσεις των Φάσεων Δ και Ε αφορούν στην εμπειρία, που απόκτησαν οι μαθητές μόνο από τη μελέτη που πραγματοποίησαν με τη βοήθεια του Μοντέλου **Traffic Basic** .

Ας σημειωθεί ότι, αρχικά είχαν τεθεί στόχοι, που αφορούν στις στάσεις των μαθητών . Οι στόχοι αυτοί είναι μετρήσιμοι, αφού η εκπαιδευτικός – ερευνήτρια κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της Διδακτικής Παρέμβασης παρατηρούσε και κατέγραφε τη συμπεριφορά και τη στάση των μαθητών μέσα στις ομάδες τους, αλλά και μέσα στην τάξη. Όμως λόγω του περιορισμού, που τίθεται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δεν θα αναλυθούν. Θα μπορούσε αυτό να αποτελέσει συνέχεια της συγκεκριμένης έρευνας, όπως εξάλλου θα μπορούσε να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο τάξεων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας διαπιστώνουμε ότι η Διδακτική Παρέμβαση συνέβαλε στο να διαμορφώσει η πλειονότητα των μαθητών την άποψη ότι το περιβάλλον της NetLogo προσφέρεται όχι μόνο για εκπαιδευτικούς σκοπούς, αλλά και για την κατανόηση της πολυπλοκότητας και των αλληλεξαρτήσεων των γεγονότων, που συμβαίνουν γύρω μας, άρα και για το πώς λειτουργεί ο «κόσμος». Συνέβαλε επίσης και στην ενίσχυση του τεχνολογικού αλφαριθμητισμού.

Παρόλο που το δείγμα, που έλαβε μέρος στην έρευνα αυτή, δεν ήταν αρκετά μεγάλο (47 μαθητές και μαθήτριες Β΄ και Γ΄ Τάξης Γυμνασίου), μπορούμε να πούμε ότι ως ένα σημείο η συγκεκριμένη ΔΠ πέτυχε σε μεγάλο βαθμό το σκοπό της. Διαπιστώθηκε η θετική επίδραση του περιβάλλοντος της NetLogo σε μαθητές της ηλικιακής αυτής ομάδας (μεταξύ 13-15 ετών). Συγκεκριμένα οι περισσότεροι μαθητές μπόρεσαν να αντιληφθούν την έννοια «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα» και χαρακτηριστικών της ιδιοτήτων (Πίνακας 4). Επιπλέον λαμβάνοντας υπόψη τα ευρήματα της έρευνας των Assaraf & Orion (2005) σύμφωνα με τα οποία, υπάρχουν τέσσερις ομάδες δεξιοτήτων Συστημικής Σκέψης, όπου η κάθε ομάδα χρησιμεύει ως βάση για την ανάπτυξη της επόμενης υψηλότερης ομάδας δεξιοτήτων (Πίνακας 5) η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών ανέπτυξε δεξιότητες που αφορούν α) στην ανάλυση του υπό μελέτη συστήματος (1η ομάδα), β) στις σχέσεις των συνιστωσών του (2η ομάδα), γ) στην οργάνωση των συστατικών και των διαδικασιών του σε ένα πλαίσιο σχέσεων (3η ομάδα), αλλά και δ) στην κατανόηση των κρυμμένων διαστάσεων του (4η ομάδα), φτάνοντας, στο πλαίσιο του υπό μελέτη μοντέλου της κυκλοφοριακής συμφόρησης, στο ανώτερο επίπεδο Συστημικής Σκέψης. Επίσης, ήταν σαφής η μετατόπιση της άποψης μεγάλης μερίδας μαθητών, περί κεντρικού ελέγχου που ακολουθεί η σκέψη τους όταν προσπαθούν να ερμηνεύσουν πολύπλοκα δυναμικά συστήματα.

Αξιοποιώντας το καινοτόμο περιβάλλον της NetLogo, αναπτύσσοντας εκπαιδευτικό υλικό, που να εντάσσεται στα αναλυτικά προγράμματα, 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 διαφορετικό τρόπο σκέψης, τη Συστημική Σκέψη, αποκτώντας γνώσεις, καλλιεργώντας μια σειρά από δεξιότητες, αλλά και αξιοποιώντας παράλληλα εκπαιδευτικές εφαρμογές των ΤΠΕ ως επιστημολογικά εργαλεία.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Ολοκληρώνοντας αυτή την εργασία θα μπορούσαμε να πούμε με βεβαιότητα ότι, έχει νόημα η επέκταση της έρευνας σε αυτή την ηλικιακή ομάδα. Θα μπορούσε να επανασχεδιαστεί προκειμένου να λυθούν ίσως προβλήματα, που παρουσιάστηκαν κατά την εφαρμογή της Διδακτικής Παρέμβασης, αλλά και να πραγματοποιηθεί σε μεγαλύτερο δείγμα με βελτιωμένη μεθοδολογία και παράλληλα σε άλλες έννοιες, που σχετίζονται με την πολυπλοκότητα, αλλά και τη Συστημική ανάλυση. Αντικείμενο μετέπειτα έρευνας θα μπορούσε να αποτελέσει η κρίσιμη φάση που εμφανίζεται στα πολύπλοκα δυναμικά συστήματα. Η «κρίσιμη συμπεριφορά» ή «κρίσιμη κατάσταση» (Scheffer, 2009, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016) αφορά μια συγκεκριμένη πτυχή των πολύπλοκων συστημάτων, που τόσο στην απλή της μορφή, όσο και στην αυτο-οργανούμενη μορφή της (Self Organised Criticality), απασχολεί τη βιβλιογραφία (Bak, Chen, & Tang, 1990; Bak, 2008, στο Χαλκίδης κ.ά., 2016).

Η ιδέα αυτή προέκυψε κατά τη διάρκεια της διερεύνησης του Μοντέλου **Traffic Basic**, στην οποία παρατηρήθηκε ότι σε κάποιο σημείο εμφανίζεται κατάρρευση της κυκλοφορίας. Οι μαθητές σε πρώτο επίπεδο είδαν αυτή τη φάση ως απότομη αλλαγή, δεν μπόρεσαν να αντιληφθούν ότι είναι μια «φάση απρόβλεπτη», ενός μη ντετερμινιστικού αποτελέσματος, ώστε να τη θεωρήσουν ως μια ξεχωριστή φάση του συστήματος και διαφορετική από τις φάσεις «πριν» και «μετά» από αυτό. Αυτό δεν μας εκπλήσσει, αφού η εκπαιδευτική έρευνα για τη μάθηση των μαθητών γύρω από πολύπλοκα συστήματα έχει δείξει ότι, οι μαθητές έχουν σημαντικές δυσκολίες στην κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων. Οι αρχάριοι, όταν εισάγονται στην λογική των πολύπλοκων συστημάτων, θεωρούν ότι υπάρχει μια αιτιώδης συνάφεια μεταξύ των δομικών στοιχείων, που αποτελούν το σύστημα και της εξέλιξη του συστήματος. Τα βλέπουν ως ένα ντετερμινιστικό «ωρολογιακό» σύστημα (deterministic “clockwork” system), όπου τα δομικά του στοιχεία είναι διασυνδεδεμένα, όπως είναι τα γρανάζια μεταξύ τους, σε ένα ρολόι clockwork (Jacobson, 2001). Οι Wilensky and Resnick (1999) περιέγραψαν τις δυσκολίες των μαθητών με τα πολύπλοκα συστήματα, ως μια «ντετερμινιστική-συγκεντρωτική νοοτροπία» (“deterministic-centralized mindset”) (aka DC mindset).





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 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. Ανακτήθηκε 13 Δεκεμβρίου, 2015, από <http://gk12.ciera.northwestern.edu/classroom/2014/Assaraf,%20Orion,%20N%20--%20Development%20of%20System%20Thinking%20Skills.pdf>
- Astolfi J.-P., Drouin A.-M. (1992). La moderation a l'ecole elementaire. In J.-L. Martinand, J.-P. Astolfi et al., *Enseignement et apprentissage de la modelisation en sciences*, INRP,55-117.
- Bertalanffy, L. (1968). *General Systems Theory*. New York: George Braziler. Ανακτήθηκε 18 Νοεμβρίου, 2015, από [https://monoskop.org/images/7/77/Von\\_Bertalanffy\\_Ludwig\\_General\\_System\\_Theory\\_1968.pdf](https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf)
- Bethge, T. & Horst, S. (1992). *Materialien zur Modellbildung und Simulation im Physikunterricht*, Bremen, Germany: Institut fur Didaktik der Physik, Universitat Bremen. 238 pp.
- Bloom, B., Englehart, M. Furst, E., Hill, W., & Krathwohl, D. (1956). "Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain" New York, Toronto: Longmans, Green.
- Bouvier, A. (2013). *Μάνατζμεντ και Γνωστικές Επιστήμες*. (Φ. Καλαβάσης, Α. Κοντάκος, εισ.- επιμ.). Αθήνα : Διάδραση.
- Brown, Gordon S. (1992). "Improving Education in Public Schools: Innovative Teachers to the Rescue." *System Dynamics Review*, Vol. 8, No. 1, pp. 83-89. Ανακτήθηκε 28 Ιουλίου, 2016, από [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.4260080108/epdf?r3\\_referer=wol&tracking\\_action=preview\\_click&show\\_checkout=1&purchase\\_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase\\_site\\_license=LICENSE\\_DENIED\\_NO\\_CUSTOMER](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.4260080108/epdf?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1&purchase_referrer=onlinelibrary.wiley.com&purchase_site_license=LICENSE_DENIED_NO_CUSTOMER)
- Bybee et. al. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Report for the Office of Science Education National Institutes of Health.
- Carleton College (2016). *Teaching Complex Systems with NetLogo*. Ανακτήθηκε 16 Δεκεμβρίου, 2015, από (<http://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/complexsystems/netlogo.html>)
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). *Research methods in education* (5th ed). London ; New York: RoutledgeFalmer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2012). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*. (Κυρανάκης, Στ., Μαυράκη, Μ., Μητσοπούλου, Χρ., Μπιθαρά, Π., & Φιλοπούλου, Μ., μτφ.) (Ψηφιακή έκδοση). Αθήνα: Μεταίχμιο.
- Colella, V., Klopfer, E., & Resnick, M. (2001). *Adventures in Modeling: Exploring Complex, Dynamic Systems with StarLogo*. New York Teachers College Press.
- Cox, M.J., & Webb, M.E. (2004). *ICT and Pedagogy: A Review of the Research Literature*. Coventry and London: British Educational Communications and Technology Agency/Department for Education and Skills. Ανακτήθηκε 14 Σεπτεμβρίου, 2015, από <https://books.google.gr/ICT and Pedagogy: A Review of the Research Literature>
- Davis, N. E. (2002). Leadership of information technology for teacher education: a discussion of complex systems with dynamic models to inform shared leadership. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, 11, 253-271. Ανακτήθηκε 25 Μαΐου, 2016 από <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14759390200200136>, <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14759390200200136?needAccess=true>
- English, L. D. (2007). Complex Systems in the Elementary and Middle School Mathematics Curriculum: A Focus on Modeling. *The Montana Mathematics Enthusiast*, Monograph 3, pp.139-156.

- Evagorou M., Korfiatis K., Nicolaou C. and Constantinou, C. (2009). "An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders", *International Journal of Science Education*, Vol.31 No.5, 15 March 2009, pp.655-674. Ανακτήθηκε 15 Απριλίου, 2016 από <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690701749313>
- Forrester, J., Maas, N. and Ryan C. (1976). "The System Dynamics National Model: Understanding Socio-Economic Behavior and Policy Alternatives." *Technology Forecasting and Social Change* 9: 51-68. doi:10.1016/0040-1625(76)90044-5 Ανακτήθηκε 23 Ιουλίου, 2016 από <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0040162576900445>
- Forrester, Jay W. (1989). The Beginning of System Dynamics. Banquet Talk at the international meeting of the System Dynamics Society Stuttgart, Germany. Ανακτήθηκε 20 Ιουλίου, 2016 από <http://web.mit.edu/sysdyn/sd-intro/D-4165-1.pdf>
- Forrester, Jay W. (1992). System dynamics and learner-centered-learning in kindergarten through 12th grade education. D-4337. MIT. Ανακτήθηκε 19 Ιουλίου, 2016 από <http://www.clexchange.org>
- Forrester, Jay W. (1994). Learning through system dynamics as preparation for the 21st century. D-4434-1. MIT. Presented at the Systems Thinking and Dynamic Modeling Conference for K-12 Education, June 27-29, Concord, MA. Ανακτήθηκε 19 Ιουλίου, 2016 από <http://www.clexchange.org>
- Forrester, Jay W. (2010). System Dynamics: the Foundation Under Systems Thinking Sloan School of Management Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139 Revised, December 31. Ανακτήθηκε 20 Ιουλίου 2016, από <http://static.clexchange.org/ftp/documents/system-dynamics/SD2011-01SDFoundationunderST.pdf>
- Freeman, R. A. J., Yearworth, M., & Cherruault, J.-Y. (2014). Review of Literature on Systems Thinking and System Dynamics for Policy Making. Prepared for Department for Environment, Food and Rural Affairs Ανακτήθηκε 21 Ιουλίου, 2016 από [http://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/review-of-literature-on-systems-thinking-and-system-dynamics-for-policy-making\(c6eab192-012f-4505-80c3-90890d7a8d8d\).html](http://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/review-of-literature-on-systems-thinking-and-system-dynamics-for-policy-making(c6eab192-012f-4505-80c3-90890d7a8d8d).html)
- Gkiolmas, A., Karamanos, K., Chalkidis, A., Skordoulis, C., Papaconstantinou, M., & Stavrou, D. (2013). Using Simulations of NetLogo as a Tool for Introducing Greek High-School Students to Eco-Systemic Thinking. *Advances In Systems' Science and Applications* 13(3): 275-297. Ανακτήθηκε 12 Νοεμβρίου, 2015 από [https://ccl.northwestern.edu/papers/2013/GKIOLMAS\\_ET\\_AL\\_ASSA\\_2\\_PAPER.pdf](https://ccl.northwestern.edu/papers/2013/GKIOLMAS_ET_AL_ASSA_2_PAPER.pdf)
- Gkiolmas, A., Papaconstantinou, M., Chalkidis, A., & Skordoulis, C. (2014a). Multi-Agent Models, made in NetLogo, for teaching simple properties of Complex natural Systems, and their instructional use. Παρουσιάστηκε στο 1st International Conference on "New Developments in Science and Technology Education" (NDSTE 2014), Corfu, Greece. Ανακτήθηκε 24 Ιουνίου, 2016 από [https://www.researchgate.net/publication/301358065\\_Multi-Agent\\_Models\\_made\\_in\\_NetLogo\\_for\\_teaching\\_simple\\_properties\\_of\\_Complex\\_natural\\_Systems\\_and\\_their\\_instructional\\_use](https://www.researchgate.net/publication/301358065_Multi-Agent_Models_made_in_NetLogo_for_teaching_simple_properties_of_Complex_natural_Systems_and_their_instructional_use)
- Gkiolmas, A., Papaconstantinou, M., Chalkidis, A., & Skordoulis, C. (2014b). "Learning about Populations in Ecosystems by "Building Them From Inside" with NetLogo: A Constructionist Approach for Teaching Population Ecology's Principles. Proceedings of the Constructionism. Vienna, Austria. Ανακτήθηκε 24 Ιουνίου, 2016 από [http://constructionism2014.ifs.tuwien.ac.at/papers/3.4\\_2-8511.pdf](http://constructionism2014.ifs.tuwien.ac.at/papers/3.4_2-8511.pdf)
- Gkiolmas, A., Chalkidis, A., Papaconstantinou, M., Iqbal, Z. & Skordoulis, C. (2014c). An alternative use of the NetLogo modeling environment, where the student "thinks" and "acts" like an Agent, in order to teach concepts of Ecology. Στο *9th Pan-Hellenic Conference with International Participation*:

- "ICT's in Education" (HCICTE 2014) (σσ 379–386). University of Crete, Rethymno, Greece. Ανακτήθηκε 24 Ιουνίου, 2016 από: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1501/1501.05779.pdf>
- Gravemeijer, K. P. E. (2004). Creating Opportunities for Students to Reinvent Mathematics. Paper presented at ICME 10, Copenhagen, Denmark. July 4-11
- Guo, Y., & Wilensky, U. (2016). Small Bugs, Big Ideas: Teaching Complex Systems Principles Through Agent -Based Models of Social Insects. Στο C. Gershenson, T. Froese, J. M. Siqueiros, W. Aguilar, E. J. Izquierdo, & H. Sayama (Επιμ.), *The Artificial Life Conference 2016*. Mayan Riviera, Mexico. Ανακτήθηκε 13 Δεκεμβρίου, 2016 από: <https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/alife16/978-0-262-33936-0-ch105.pdf> - <https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/alife16/ch105.html>
- Hashem, K. & Mioduser, D. (2011a). Promoting Complex Systems Learning through the use of Computer Modeling. World Academy of Science, Engineering and Technology. Ανακτήθηκε 29 Ιουνίου, 2016 από <http://muse.tau.ac.il/publications/108.pdf>
- Hashem, K. & Mioduser, D. (2011b). The Contribution of Learning by Modeling (LbM) to Students' Understanding of Complexity Concepts. International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning (IJEEEE), 1(2), 151-155, 2011. Ανακτήθηκε 12 Δεκεμβρίου, 2016 από <http://www.ijeeee.org/Papers/024-Z0007.pdf>
- Hashem, K. & Mioduser, D. (2013). Learning by Modeling (LbM):Understanding Complex Systems by Articulating Structures, Behaviors, and Functions. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 4 (4), 80, 2013. Ανακτήθηκε 12 Δεκεμβρίου, 2016 από <https://pdfs.semanticscholar.org/2ad9/49f63047a79849d1feed0e0f9b4ea5a6b4e7.pdf>
- Helbing, D. (2012). *Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*. (D. Helbing, Επιμ.). Springer. Ανακτήθηκε 19 Σεπτεμβρίου, 2016, από [http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloadaddocument/9783642240034-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1328872-p174195771](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783642240034-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1328872-p174195771)
- Hmelo-Silver, C. E. & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28, 127–138.
- Hepner, F., & Grenander, U. (1990). A Stochastic Nonlinear Model for Coordinated Bird Flocks. In S. Krasner (Ed.), *The Ubiquity of Chaos*. Washington, D.C.: AAAS Publications.
- Indiana Univ. (2013). Federal grant funding IU project to understand how children learn about complex systems. Ανακτήθηκε 22 Νοεμβρίου, 2015 από: <http://newsinfo.iu.edu/news/page/normal/24568.html>
- 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://www.pathwayuk.org.uk/uploads/9/3/2/1/9321680/\\_the\\_features\\_of\\_inquiry\\_learning\\_\\_theory\\_research\\_and\\_practice\\_eusubmitted.pdf](http://www.pathwayuk.org.uk/uploads/9/3/2/1/9321680/_the_features_of_inquiry_learning__theory_research_and_practice_eusubmitted.pdf)
- Jacobson, M., & Working Group 2 Collaborators (1999). Complex Systems and Education: Cognitive, Learning, and Pedagogical Perspectives. Planning Documents for a National Initiative on Complex Systems in K-16 Education. *Sponsored by the National Science Foundation. June 18 - 20, 1999, MIT Endicott House*. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2016 από: [http://www.necsi.edu/events/cxedk16/cxedk16\\_2.html](http://www.necsi.edu/events/cxedk16/cxedk16_2.html)
- Jacobson, M. J. (2000). Butterflies, traffic jams, and cheetahs: Problem solving and complex systems. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.

- Jacobson, M. J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6(3), 41–49.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34. Ανακτήθηκε 13 Δεκεμβρίου, 2015 από: <https://ccl.northwestern.edu/papers/jls-complex.pdf>
- Jong, T. de. (2006). Technological Advances in Inquiry Learning. AAAS, VOL 312. <https://doi.org/DOI:10.1126/science.1127750>
- 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 comporment, *Advances in Systems Science and Applications*. Vol.12 No.4 49-68. Ανακτήθηκε 24 Ιουνίου, 2016 από <https://ccl.northwestern.edu/papers/2013/ASSA1.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>
- Lèna, P. (2015). Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών για όλα τα παιδιά. Μια πρόσκληση για το μέλλον τους. (Σκουμιός, Μ., μτφ.) *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, (6), 7–18.
- Lesh, R. 2009. Modeling Students Modeling Abilities: The Teaching and Learning of Complex Systems in Education. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 45–52. Ανακτήθηκε 28 Ιουνίου, 2016 από [http://dx.doi.org/10.1207/s15327809jls1501\\_6](http://dx.doi.org/10.1207/s15327809jls1501_6).
- Levy, S. T., Peleg, R., Ofek, E., Dubovi, I., Tabor, N., Bluestein, S., & Ben-Zu, H. 2016. «TrafficJams: Collaborative Exploration of Driving and Traffic». AERA Discovery Symposium: *Discovery-Based STEM Learning 2.0: Are We There Yet?* University of Haifa, Washington, DC. Ανακτήθηκε 4 Αυγούστου, 2016 από: <http://ccl.northwestern.edu/2016/AERA2016-%20Symp-discovery-Abrahamson-et-al.pdf>
- Levy, S. T., Peleg, R., Ofek, E., Dubovi, I., Tabor, N., Bluestein, S., & Ben-Zu, H. (2016). «TrafficJams: Collaborative Exploration of Driving and Traffic». AERA Discovery Symposium: *Discovery-Based STEM Learning 2.0: Are We There Yet?* University of Haifa, Washington, DC. Ανακτήθηκε 13 Δεκεμβρίου, 2016 από: [TrafficJams: Collaborative Exploration of Driving and Traffic](http://ccl.northwestern.edu/2016/AERA2016-%20Symp-discovery-Abrahamson-et-al.pdf)
- Lunce, L. M. (2006). Simulations: Bringing the benefits of situated learning to the traditional classroom. *Journal of Applied Educational Technology*, 3(1), 37–45.
- Lyneis, Debra, et al. The future of system dynamics and learner-centered learning in K-12 education. Presented at the International System Dynamics Society Conference in Palermo. (Now available at <http://www.clexchange.org>)
- Lyneis, D. & Stuntz L. N. (2007). System Dynamics in K-12 Education: Lessons Learned. Presented at The International System Dynamics Society Conference Boston, Massachusetts July 2007. Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου, 2016, από <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.588.2706&rep=rep1&type=pdf>
- Monat, J. P., & Gannon, T. F. (2015). What is Systems Thinking? A Review of Selected Literature Plus Recommendations. *American Journal of Systems Science* 2015, ; 4(1): 11–26. <https://doi.org/doi:10.5923/j.ajss.20150401.02>. Ανακτήθηκε 19 Ιουλίου, 2016, από <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajss.20150401.02.html>
- National Research Council, (2011). A Framework for K-12Science Education: Practices Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Washington, DC: The National Academic Press.
- NECSI, (2016). NECSI Courses in Complexity. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2016 από:

- <http://necsi.edu/education/school.html>.
- NetLogo, (2016). NetLogo. Ανακτήθηκε 15 Μαΐου, 2016, από <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- Next Generation Science, (2016). Three Dimensional Learning. Ανακτήθηκε 25 Αυγούστου, 2015 από: <http://www.nextgenscience.org/three-dimensions>
- Popik, B. (2012). "Tell me and I forget; teach me and I may remember; involve me and I will learn" [Blog]. Retrieved from [http://www.barrypopik.com/index.php/new\\_york\\_city/entry/tell\\_me\\_and\\_i\\_forget\\_teach\\_me\\_and\\_i\\_may\\_remember\\_involve\\_me\\_and\\_i\\_will\\_learn/](http://www.barrypopik.com/index.php/new_york_city/entry/tell_me_and_i_forget_teach_me_and_i_may_remember_involve_me_and_i_will_learn/)
- Project GUTS, (2014). Growing Up Thinking Scientifically. Ανακτήθηκε 14 Νοεμβρίου, 2015, από: <http://www.projectguts.org/>.
- Radzicki, J.M. & Taylor A.R. (2008). Origin of System Dynamics: Jay W. Forrester and the History of System Dynamics. In: U.S. Department of Energy's Introduction to System Dynamics. Ανακτήθηκε 25 Μαΐου, 2015, από <http://www.systemdynamics.org/DL-IntroSysDyn/inside.htm>
- Resnick, M. (1994a). Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds, MIT Press, Cambridge, MA.
- Resnick, M. (1994b). NEW PARADIGMS FOR COMPUTING, NEW PARADIGMS FOR THINKING. In Y. Kafai and M. Resnick (Eds.), *Constructionism in Practice: Rethinking Learning and Its Contexts*. Presented at the National Educational Computing Conference, Boston, MA, June 1994. The MIT Media Laboratory, Cambridge, MA.
- Richardson, George P., 1991. Feedback Thought in Social Science and Systems Theory, Philadelphia, PA: University of Pennsylvania Press. 374 pp.
- Richmond, B. (1985). A User's Guide to STELLA®, High Performance Systems, Inc.
- Richmond, B., Peterson, S., Vescuso, P. (1987). An Academic User's Guide to STELLA. *Lyme, H: High Performance Systems*. Ανακτήθηκε 21 Ιουλίου 2016, από [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.4260050213/epdf?r3\\_referer=wol&tracking\\_action=preview\\_click&show\\_checkout=1&purchase\\_referrer=www.google.gr&purchase\\_site\\_license=LICENSE\\_DENIED\\_NO\\_CUSTOMER](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sdr.4260050213/epdf?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show_checkout=1&purchase_referrer=www.google.gr&purchase_site_license=LICENSE_DENIED_NO_CUSTOMER)
- Richmond, B. (1994). Systems thinking/system dynamics: Let's just get on with it. International Systems Dynamics Conference in Sterling, Scotland. Ανακτήθηκε 17 Ιουλίου, 2016, από [http://webpace.webring.com/people/ah/himadri\\_banerji/pdf/systhnk.pdf](http://webpace.webring.com/people/ah/himadri_banerji/pdf/systhnk.pdf)
- Rossouw, A. (2011). Strategic Approaches and Tools for Managing Complex Projects. Australian Institute of Project Management. Ανακτήθηκε 10 Ιανουαρίου, 2017, από <http://www.slideshare.net/antonrossouw/anton-rossouw-strategic-approaches-and-tools-for-managing-complex-projects>
- Roughgarden, J., Bergman, A., Shafir S. & Taylor, C. (1996). Adaptive Computation in Ecology and Evolution: A Guide for Future Research. In R.K. Belew and M. Mitchell, eds., *Adapting Individuals in Evolving Populations: Models and Algorithms*, (Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity), Addison Wesley, Reading, MA. pp. 25-30.
- Sahin, S. (2006). COMPUTER SIMULATIONS IN SCIENCE EDUCATION: Implications for Distance Education. Turkish Online Journal of Distance Education-TOJDE, VOL 7 Number: 4 Article: 12. Ανακτήθηκε 23 Μαΐου, 2016, από <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED494379.pdf>
- Scott, C., Deneubourg, Jean L., Franks, Nigel. R., Sneyd, J., Theraulaz, G. & Bonabeau, E. (2001). *Self-Organization in Biological Systems*, Princeton University Press. Ανακτήθηκε 15 Μαΐου, 2016, από <https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=zMgyNN6Ufj0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=Self->

Organization+in+Biological+Systems&ots=MLlxf\_KBbk&sig=mqUqqOo5NfNE3hJFgQ-Xj8TKvmE&redir\_esc=y#v=onepage&q=Self-Organization%20in%20Biological%20Systems&f=false

Seeley, T. D. (2010). *Honeybee democracy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

SFI, (2014). Complexity Explorer. Ανακτήθηκε 14 Δεκεμβρίου, 2016, από: <http://www.complexityexplorer.org/>.

Shapira, J., (2013). Inquiry-based science learning. Client's view on the education system. Ανακτήθηκε 14 Ιουλίου, 2015, από [http://www.researchgate.net/profile/Joseph\\_Shapira3/publication/271729475\\_Inquiry-based\\_Science\\_Learning\\_Client's\\_view\\_on\\_the\\_education\\_system/links/54d095110cf29ca81101c6ed.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Joseph_Shapira3/publication/271729475_Inquiry-based_Science_Learning_Client's_view_on_the_education_system/links/54d095110cf29ca81101c6ed.pdf)

Sterman, J. D. (2001). System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review*, 43(4), pp. 8-27. Ανακτήθηκε 5 Ιουλίου, 2016, από <http://cmr.ucpress.edu/content/43/4/8.full.pdf+html>

Tranouez, P., Daudé, E. & Langlois, P. (2010). A MULTIAGENT URBAN TRAFFIC SIMULATION. *Journal of Nonlinear Systems and Applications*, 2010, pp.98-106. Ανακτήθηκε 27 Αυγούστου, 2016, από <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01082692/document>

University of Chicago, (2011). Collaborative Research: Learning About Complex Systems in Middle School by Constructing Structure-Behavior-Function Models. Ανακτήθηκε 14 Νοεμβρίου, 2015, από <https://arc.uchicago.edu/reese/projects/collaborative-research-learning-about-complex-systems-middle-school-constructing-st-0>

Westra, R., H., V. (2008). *Learning and teaching ecosystem behaviour in secondary education*. PhD Dissertation. Utrecht: Freudenthal Institute, Utrecht University. Netherlands.

Wikipedia, (2016a). Stock keeping unit. Ανακτήθηκε 5 Ιανουαρίου, 2016 από [https://en.wikipedia.org/wiki/Stock\\_keeping\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Stock_keeping_unit)

Wikipedia, (2016b). Κ-12 Ανακτήθηκε 2 Ιανουαρίου, 2016 από <https://en.wikipedia.org/wiki/Κ%E2%80%9312>

Wikipedia, (2016c). Φερομόνη. Ανακτήθηκε 5 Ιανουαρίου, 2016 από <https://el.wikipedia.org/wiki/Φερομόνη>

Wikipedia, 2016d. Θεωρία ουρών αναμονής. Ανακτήθηκε 5 Ιανουαρίου, 2016 από [https://el.wikipedia.org/wiki/Θεωρία\\_ουρών\\_αναμονής](https://el.wikipedia.org/wiki/Θεωρία_ουρών_αναμονής)

Wikipedia, (2016e). Eighth grade. Ανακτήθηκε 15 Ιουνίου, 2016 από [https://en.wikipedia.org/wiki/Eighth\\_grade](https://en.wikipedia.org/wiki/Eighth_grade)

Wikipedia, (2016f). Τυτώ. Ανακτήθηκε 28 Δεκεμβρίου, 2016 από <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%85%CF%84%CF%8E>

Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3–19.

Wilensky, U. (1997). NetLogo Traffic Basic model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TrafficBasic>. 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.

Wilensky, U. (2000). Modeling Emergent Phenomena with StarLogoT. Παρουσιάστηκε στο @CONCORD.org, USA. Ανακτήθηκε 12 Δεκεμβρίου 2016, από <https://ccl.northwestern.edu/papers/modelemerg/ModelingEmergentData.html>

- Wilensky, U. (2001). Emergent Entities and Emergent Processes: Constructing Emergence through Multi-Agent Programming. Παρουσιάστηκε στο Annual Conference of the American Educational Research Association. Seattle, Wa. Ανακτήθηκε 15 Ιουνίου, 2016 από <https://ccl.northwestern.edu/papers/AERA/>
- Wilensky, U. & Stroup, W. (1999). *Learning through Participatory Simulations: Network-based Design for Systems Learning in Classrooms*. Proceedings of the Computer Supported Collaborative Learning Conference, Stanford University, December 1999. Ανακτήθηκε 16 Δεκεμβρίου, 2016 από: <http://people.cs.vt.edu/~kafura/CS6604/Papers/Participatory-Simulations-Network-Based-Design.pdf>
- Wilensky, U., & Stroup, W.M. (2000). Networked Gridlock: Students Enacting Complex Dynamic Phenomena with the HubNet Architecture. In B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), Fourth International Conference of the Learning Sciences (pp. 282-289). Mahwah, NJ: Erlbaum. Ανακτήθηκε 16 Δεκεμβρίου, 2016 από [https://www.researchgate.net/publication/228917401\\_Networked\\_Gridlock\\_Students\\_Enacting\\_Complex\\_Dynamic\\_Phenomena\\_with\\_the\\_HubNet\\_Architecture](https://www.researchgate.net/publication/228917401_Networked_Gridlock_Students_Enacting_Complex_Dynamic_Phenomena_with_the_HubNet_Architecture).
- Yin, D., & Qiu, T. Z. (2012). Traffic Jam Modeling and Simulation. Παρουσιάστηκε στο 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Anchorage, Alaska, USA.
- Youtube, (2015). Comments by Jay Forrester at the Banquet. 33rd International Conference of the System Dynamics Society. Cambridge, Massachusetts. Ανακτήθηκε 15 Δεκεμβρίου, 2016 από <https://www.youtube.com/watch?v=xMOqQcgOudY>
- Zimmerman, B., Schunk, D., (eds) (2003). Educational psychology: a century of contributions, Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Zulauf, C., A. & Schneider, F. (2016). Systems Thinking at BMW: Clearing Up Germany's Traffic Jam. Ανακτήθηκε 15 Ιουνίου, 2016, από <https://thesystemsthinker.com/systems-thinking-at-bmw-clearing-up-germanys-traffic-jam/>
- Αράπογλου, Α., Μαβόγλου, Χ., Οικονομάκος, Η. & Φύτρος, Κ. (2007). Η Ιστορία της Πληροφορίας και της Πληροφορικής. *Πληροφορική Α', Β', Γ' Γυμνασίου. Βιβλίο Μαθητή* (σελ. 26-27). Αθήνα: Έκδοση Ο.Ε.Δ.Β.
- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (2010). Κώδικας Δεοντολογίας στην Έρευνα (2η ed.). Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Ανακτήθηκε 10 Ιουνίου, 2015, από [https://www.rc.auth.gr/Documents/Static/OperationFramework/research\\_deontology\\_principles.pdf](https://www.rc.auth.gr/Documents/Static/OperationFramework/research_deontology_principles.pdf)
- Ασημακόπουλος, Ν. Α., Θεοχαρόπουλος, Ι. Χ., & Δημητρίου, Ν. Κ. (2005). Εφαρμογή της Συστημικής Σκέψης και της Συστημικής Δυναμικής στην Ανάλυση Διαδικασιών Μάθησης. Στο ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ (σσ 15–36). Ανακτήθηκε στις 2 Νοεμβρίου, 2015, από <http://www.pe04.net/lib/exe/fetch.php?media=bio:papers:par12.pdf>
- Γιώτσα, Α. (2014). *Η εφαρμογή της συστημικής θεωρίας στο χώρο του σχολείου*. Στο Κατσαρού, Ε. & Λιακοπούλου, Μ. (επιμ.) (2014). Θέματα διδασκαλίας και αγωγής στο πολυπολιτισμικό σχολείο. Θεσσαλονίκη: Εκπαίδευση Αλλοδαπών και Παλινοστούτων Μαθητών (ΕΣΠΑ). Ανακτήθηκε στις 15 Απριλίου, 2015, από [http://www.diapolis.auth.gr/epimorfotiko\\_uliko/index.php/2014-09-06-09-18-43/2014-09-06-09-35-19/38-c1-giotsa?showall=1](http://www.diapolis.auth.gr/epimorfotiko_uliko/index.php/2014-09-06-09-18-43/2014-09-06-09-35-19/38-c1-giotsa?showall=1)
- Γκαράς Γ., Κωσταρίδης Π. & Γιάτας Δ. (2014α). Πειραματική διδασκαλία με προσομοίωση σε Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo. Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση. 3<sup>ο</sup> 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. Ανακτήθηκε 16 Οκτωβρίου, 2016 από [http://hmathia14.ekped.gr/praktika14/VolC/VolC\\_175\\_188.pdf](http://hmathia14.ekped.gr/praktika14/VolC/VolC_175_188.pdf)

- Γκαράς Γ., Πασχαλιώρη Σ. & Γιάτας Δ. (2014β). 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. Ανακτήθηκε 16 Δεκεμβρίου, 2016 από [http://www.academia.edu/Μελέτη\\_των\\_Κοινωνικών\\_Διαχωρισμών\\_με\\_Λογισμικό\\_Πολλαπλών\\_Πρακτόρων-Ετεροπαρατήρηση\\_και\\_Αξιολόγηση](http://www.academia.edu/Μελέτη_των_Κοινωνικών_Διαχωρισμών_με_Λογισμικό_Πολλαπλών_Πρακτόρων-Ετεροπαρατήρηση_και_Αξιολόγηση)
- Γκαράς, Γ., Γιάτας, Δ., Κωσταρίδης, Π., & Βλάσση, Μ. (2015α). Διάδοση Ιών στα Δίκτυα. Μια Διαθεματική Εργασία με το Λογισμικό NetLogo. Παρουσιάστηκε στο 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο Καθηγητών Πληροφορικής: *Η Πληροφορική στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση - Καινοτόμες Παιδαγωγικές Πρακτικές*. Καστοριά, 24-26 Απριλίου 2015. Ανακτήθηκε 16 Οκτωβρίου, 2016 από [http://www.academia.edu/Διάδοση\\_Ιών\\_στα\\_Δίκτυα.Μια\\_Διαθεματική\\_Εργασία\\_με\\_το\\_Λογισμικό\\_NetLogo](http://www.academia.edu/Διάδοση_Ιών_στα_Δίκτυα.Μια_Διαθεματική_Εργασία_με_το_Λογισμικό_NetLogo)
- Γκαράς, Γ., Βλάσση, Μ., & Γιάτας, Δ. (2015β). Εισαγωγή στις θετικές και αρνητικές αναδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής με προσομοίωση NetLogo. Παρουσιάστηκε στο 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ: "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ και ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ για την ΑΕΙΦΟΡΙΑ". Βόλος, 8-10 Μαΐου 2015. Ανακτήθηκε 16 Δεκεμβρίου, 2016 από [http://www.academia.edu/Εισαγωγή\\_στις\\_θετικές\\_και\\_αρνητικές\\_αναδράσεις\\_της\\_Κλιματικής\\_Αλλαγής\\_με\\_προσομοίωση\\_NetLogo](http://www.academia.edu/Εισαγωγή_στις_θετικές_και_αρνητικές_αναδράσεις_της_Κλιματικής_Αλλαγής_με_προσομοίωση_NetLogo)
- Γκιόλμας, Α., Χαλκίδης, Α., Παπακωνσταντίνου, Α., & Σκορδούλης, Κ. (2011). Χρήση απλών μορφών πολυ-πρακτορικών συστημάτων για τη διδασκαλία βασικών ιδιοτήτων των πολύπλοκων συστημάτων (σσ 173–183). Παρουσιάστηκε στο 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Ένταξη και χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική διαδικασία», Πολιτιστικό και Συνεδριακό Κέντρο Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα. Ανακτήθηκε 28 Δεκεμβρίου, 2016 από <http://www.etpe.gr/custom/pdf/etpe1706.pdf>
- Γλέζου, Κ. & Γρηγοριάδου, Μ. (2003), Αξιοποίηση Logo-like περιβάλλοντος στη σχολική τάξη: εμπειρίες, προβληματισμοί και διδακτικές προτάσεις, στο Ιωσηφίδου Μ., Τζιμόπουλος Ν. (επιμ.), Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου "Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη", Τόμος Β', 269-280, Σύρος.
- Δαγδιλέλης, Β., Παπαδόπουλος, Ι., Ζαγούρας, Χ., Κόμης, Β., Κουτσογιάννης, Δ., Κυνηγός, Χ. & Ψύλλος, Δ. (2011α). Μοντέλα εισαγωγής ΤΠΕ στην εκπαίδευση. *Επιμορφωτικό Υλικό για την επιμόρφωση των εκπαιδευτικών στα Κέντρα Στήριξης Επιμόρφωσης Γενικό Μέρος - ΠΕ04*. Πάτρα, ΙΤΥ.
- Δημητρακοπούλου, Α. (2001). Το επιστημονικό πεδίο των Εκπαιδευτικών Εφαρμογών των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας και η σχέση του με την Εκπαίδευση από Απόσταση: Βασικές θεωρήσεις. Εισηγήσεις 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου «Ανοικτή και εξ'αποστάσεως εκπαίδευση». Πάτρα, Ελλάδα. Ανακτήθηκε Σεπτέμβριος 26, 2015, από <http://newtutor.pbworks.com/f/%CE%A4%CE%A0%CE%95.pdf>
- Δριμτζιάς, Β., (2013) Διδακτική Μεθοδολογία Ενότητα - *Bloom*. Ανακτήθηκε 5 Απριλίου, 2015, από <http://www.slideshare.net/vasilisd/didaktikoi-stoxoi-taxinomia-bloom>
- Εγκύκλιος, (2016). Οδηγίες για τη διδασκαλία της Πληροφορικής στο Γυμνάσιο για το σχολ. έτος 2016 – 2017. Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (πράξη 35/2016 του Δ.Σ). Ανακτήθηκε 19 Νοεμβρίου, 2016, από [http://www.minedu.gov.gr/Οδηγίες-διδασκαλία\\_Πληροφορικής\\_Γυμνάσιο\\_2016-2017](http://www.minedu.gov.gr/Οδηγίες-διδασκαλία_Πληροφορικής_Γυμνάσιο_2016-2017)
- Έκθεση Δικτύου Ευρυδίκη, (2012). Αναπτύσσοντας Βασικές Ικανότητες στο Σχολείο στην Ευρώπη: Προκλήσεις και Ευκαιρίες χάραξης Πολιτικής [http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic\\_reports/145EL.pdf](http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/145EL.pdf)



- Κατσέλη, Χ. (2014). *Το σχολείο ως ανοικτό κοινωνικό σύστημα*. Μεταπτυχιακό: Εκπαίδευση και Μάθηση - Συνεχιζόμενη Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση. Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης.
- Κασσέτας, Α. (2016). Γνωστική δομή. Ανακτήθηκε 23 Φεβρουαρίου, 2016, από <http://users.sch.gr/kassetas/educ09anaparast.htm>
- Κόμης, Β. (2004). Εισαγωγή στις Εκπαιδευτικές Εφαρμογές των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών. Αθήνα, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών.
- Κοντάκος, Α. (2011). *Συστημική Εκπαιδευτική Ηγεσία* στο: ΘΕΜΑΤΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ 4. Επικοινωνία και Διακυβέρνηση Εκπαιδευτικών Συστημάτων. Επιμ. Καλαβάσης Φ., Κοντάκος Α., Αθήνα: Διάδραση.
- Κοντάκος, Α. (2014α). *Θεωρίες και Μοντέλα Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού* [πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Π.Μ.Σ. Θεωρίες και Μοντέλα Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΤΕΠΑΕΣ, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015. Ρόδος.
- Κοντάκος, Α. (2015α). *Βήματα στη διαμόρφωση μιας θεωρίας Σχολικής Ανάπτυξης ή Ανάπτυξης σχολικών Μονάδων* [πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Π.Μ.Σ. Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική προσέγγιση. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΤΕΠΑΕΣ, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015. Ρόδος.
- Κοντάκος, Α. (2015β). *Σχολική Αποτελεσματικότητα και Σχολική Βελτίωση* [πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Π.Μ.Σ. Διδακτική Θετικών Επιστημών και Τ.Π.Ε. στην Εκπαίδευση: Διεπιστημονική προσέγγιση [πανεπιστημιακές σημειώσεις]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ΤΕΠΑΕΣ, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015. Ρόδος.
- Κονταζάκη, Σ., & Βρυώνης, Η. (2013). Η Συστημική Δυναμική ως Εργαλείο Υποστήριξης της Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης. *Περιοδικό της Π.Ε.ΕΚ.Π.Ε, «για την ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ εκπαίδευση»*, 4(49). Ανακτήθηκε στις 02/11/2015. [http://www.peekremagazine.gr/article/4\(49\)-2013](http://www.peekremagazine.gr/article/4(49)-2013)
- Κυροδήμου, Ε., Φεσάκης, Γ., & Φλογαΐτη, Ε. (2015). Η Συστημική Δυναμική στην Εκπαίδευση για το Περιβάλλον και την Αειφορία Μια διδακτική πρόταση. Παρουσιάστηκε στο 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Βόλος. Ανακτήθηκε στις 2 Νοεμβρίου, 2015, από [http://www.kpe.gr/7\\_congress/papers/sat\\_fourth/kirodimou\\_et\\_al.pdf](http://www.kpe.gr/7_congress/papers/sat_fourth/kirodimou_et_al.pdf)
- Μάνεση, Σ. (2014). *Ο εκπαιδευτικός οργανισμός ως ανοικτό κοινωνικό σύστημα: βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ο ιδιαίτερος ρόλος του σχολικού ηγέτη*. Περιοδικό : Τα Εκπαιδευτικά, τ. 109-110, περίοδος: Ιανουάριος-Ιούνιος 2014. Ανακτήθηκε 15 Απριλίου, 2015, από [http://www.taekraideutika.gr/ekp\\_109-110/10.pdf](http://www.taekraideutika.gr/ekp_109-110/10.pdf)
- Νέο Πρόγραμμα Σπουδών Γυμνασίου, 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](http://digitalschool.minedu.gov.gr/info/newps/Νέο_Π.Σ._Πληροφορικής).
- Παπαδάκης, Σ., Χατζηπέρης, Ν. (2001). Βασικές Δεξιότητες στις Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας. Γ' ΚΠΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ: ΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ. Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων. Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.
- Πολέμη-Τοδούλου, Μ. (2010). Η συστημική προσέγγιση-κλειδί για έναν νέο εκπαιδευτικό σχεδιασμό. *Μετάλογος, Τεύχος 18*, Συστημική Εταιρεία Βορείου Ελλάδος. Ανακτήθηκε 15 Απριλίου, 2015, από [http://www.medies.net/\\_uploaded\\_files/desd\\_health\\_gr\\_11/todoulou\\_for\\_webpage.pdf](http://www.medies.net/_uploaded_files/desd_health_gr_11/todoulou_for_webpage.pdf)
- Σκουμιός, Μ. (2015). *Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες που βασίζεται στην έρευνα (Διερευνήσεις): Inquiry Based Science Education (IBSE)*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Ρόδος: Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
- Σχίζα, Κ. (2006). "Η Συστημική Σκέψη στην Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: ένα το ζητούμενο, δυο οι

επιλογές”. Παρουσιάστηκε στο 2ο Συνέδριο Σχολικών Προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, Αθήνα, 15-17 Δεκεμβρίου 2006. Ανακτήθηκε 25 Σεπτεμβρίου, 2016, από [http://kre-kastor.kas.sch.gr/kre/yliko/sppe2/oral/PDFs/663-672\\_oral.pdf](http://kre-kastor.kas.sch.gr/kre/yliko/sppe2/oral/PDFs/663-672_oral.pdf)

Τσίρος, Ν. (2005). *Η θεματική των κοινωνικών αντιθέσεων και συγκρούσεων στη συστημική θεωρία του Niklas Luhmann*. Ηλ. Περιοδικό Θέσεις, τ. 90, περίοδος: Ιανουάριος- Μάρτιος 2005. Ανακτήθηκε 14 Απριλίου, 2015, από [http://www.theseis.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=882&Itemid=29](http://www.theseis.com/index.php?option=com_content&task=view&id=882&Itemid=29)

Φεσάκης, Γ., Δημητρακοπούλου, Α. & Καλαβάσης Φ. (2001α). Δραστηριότητες μοντελοποίησης με χρήση Η/Υ στη Β/θμια εκπαίδευση. Διερεύνηση και πειραματική εφαρμογή σε μαθητές Γ΄ Λυκείου, Στο Β., Μακράκης (επιμ.), *Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση και στην Εκπαίδευση από Απόσταση*, Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου με διεθνή συμμετοχή, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Κρήτης, 8-10 Ιουνίου στο Ρέθυμνο, Εκδόσεις Ατραπός, σελ. 673-688.

Φεσάκης, Γ. (2014). Κεφάλαιο 2.0 Θεωρίες μάθησης εκπαιδευτικές προσεγγίσεις και ΤΠΕ. *Εισαγωγή στις εκπαιδευτικές εφαρμογές των ΤΠΕ* (σελ. 5).

Φεσάκης, Γ. & Λαζακίδου, Γ. (2015). Εφαρμογές της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης δυναμικών συστημάτων στην διακυβέρνηση των εκπαιδευτικών οργανισμών. Παρουσιάστηκε στο Έβδομη Επιστημονική Διημερίδα Εκπαιδευτικού Σχεδιασμού με Διεθνή Συμμετοχή «Συστημική Ανάπτυξη Εκπαιδευτικών Μονάδων: Τεχνολογική και Παιδαγωγική Συνύφανση», Ρόδος. Ανακτήθηκε 14 Νοεμβρίου, 2015, από <http://www.researchgate.net/publication/277657785>

Χαλκίδης, Α., Γκιόλμας, 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, Ν. Papachristos, Α. Tsiara, Ρ. Chalki (eds.), *Proceedings of the 10th Pan-Hellenic and International Conference "ICT in Education"*, Ioannina: HAICTE. 23-25 September 2016. ISSN 2529-0916, ISBN 978-960-88359-8-6. Ανακτήθηκε 27 Οκτωβρίου, 2016 από: [http://www.academia.edu/Μπορούν\\_μαθητές\\_Γυμνασίου\\_να\\_προσεγγίσουν\\_έννοιες\\_πολυπλοκότητας\\_εργαζόμενοι\\_με\\_τη\\_βιβλιοθήκη\\_μοντέλων\\_της\\_NetLogo;\\_Ευρήματα\\_από\\_μια\\_πρώτη\\_δ\\_ιερεύνηση](http://www.academia.edu/Μπορούν_μαθητές_Γυμνασίου_να_προσεγγίσουν_έννοιες_πολυπλοκότητας_εργαζόμενοι_με_τη_βιβλιοθήκη_μοντέλων_της_NetLogo;_Ευρήματα_από_μια_πρώτη_δ_ιερεύνηση)

## Παραρτήματα



## Παράρτημα Α





## Φάση Α

### Ερωτηματολόγιο διερεύνησης αντιλήψεων, στάσεων, απόψεων και γνώσεων των μαθητών

Ημερομηνία: .....

Όνοματεπώνυμο: .....

Να απαντήσεις στις παρακάτω ερωτήσεις είτε σημειώνοντας ένα **x** στο κουτάκι που επιθυμείς, είτε καταγράφοντας τις απόψεις σου.

1. Σημείωσε το φύλο σου:

α	Άνδρας	
β	Γυναίκα	

2. Πώς θα αξιολογούσες την προσωπική σου κατανόηση γύρω από την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος;

α	Ανύπαρκτη	
β	Μικρή	
γ	Αρκετά καλή	
δ	Πολύ καλή	
ε	Άριστη	

3. Προσπάθησε να περιγράψεις με δικά σου λόγια και όπως εσύ την κατανοείς, την έννοια του πολύπλοκου δυναμικού συστήματος.

α		
β	Δεν γνωρίζω	

4. Άτυπα «πολύπλοκο δυναμικό σύστημα (complex dynamic system) είναι ένα δύσκολο στην κατανόησή του σύστημα, το οποίο αποτελείται από ένα σύμπλεγμα οντοτήτων/αντικειμένων/δομικών στοιχείων, που σχετίζονται μεταξύ τους και αλληλεπιδρούν είτε μεταξύ τους, είτε και με το περιβάλλον του συστήματος, επηρεάζοντας την εξέλιξή τους αλλά και την εξέλιξη όλου του συστήματος κατά την πάροδο του χρόνου με μη αναλυτικά προβλέψιμο τρόπο».

«Περιβάλλον» του συστήματος είναι ο «χώρος», το «πλαίσιο», μέσα στο οποίο εντάσσεται το σύστημα και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές.

Επίσης δίνονται και οι παρακάτω ορισμοί, που αφορούν στη Δομή, στην Συμπεριφορά και στη Λειτουργία ενός συστήματος (Hmelo, Holton & Kolodner, 2000, Hmelo-Silver. & Pfeffer, 2004, Hmelo-Silver, Marathe & Liu, 2007, στο GKiolmas et al., 2013):

**Δομικά στοιχεία του συστήματος (Structure):** Οι οντότητες/τα αντικείμενα, που αποτελούν το σύστημα.

**Συμπεριφορά του συστήματος (Behavior):** Οι ξεχωριστές διαδικασίες, που διέπουν το σύστημα, αλγόριθμοι, προκειμένου αυτό να λειτουργεί με τον τρόπο, που το χαρακτηρίζει.

**Λειτουργία του συστήματος(Function):** Οι ενέργειες, που εκτελεί το σύστημα και μπορούν να παρατηρηθούν.

Στην Εικόνα 1, που ακολουθεί, περιλαμβάνονται οντότητες και αντικείμενα του κόσμου μας, αλλά και περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα.

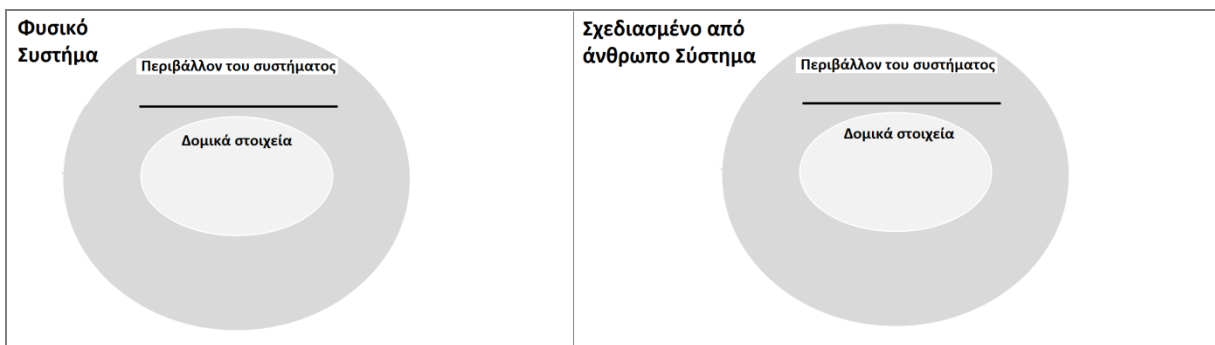


Εικόνα 1 Οντότητες και αντικείμενα του κόσμου μας, αλλά και περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά ζητήματα

α) Λαμβάνοντας υπόψη σου τον άτυπο ορισμό για το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα και παίρνοντας στοιχεία από την Εικόνα 1 να δημιουργήσεις δύο συστήματα ένα Φυσικό και ένα Σχεδιασμένο από άνθρωπο, που το καθένα να αποτελείται από **δύο τουλάχιστον Δομικά στοιχεία** (οντότητες/αντικείμενα), τα οποία **αναπτύσσουν σχέσεις και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και να τα καταγράψεις πάνω στην Εικόνα 2.**

β) Να καταγράψεις **πάνω στην Εικόνα 2** ποιο κατά τη γνώμη σου είναι το **περιβάλλον των συστημάτων** που δημιούργησες (περιβαλλοντικό, οικονομικό, πολιτικό, πολιτιστικό, κοινωνικό ή άλλο);

Για παράδειγμα αν τα Δομικά στοιχεία είναι άντρας, γυναίκα (ζευγάρι), τότε το Περιβάλλον του συστήματος ονομάζεται οικογενειακό και ανήκει στα συστήματα, που σχεδιάζονται από τον άνθρωπο.



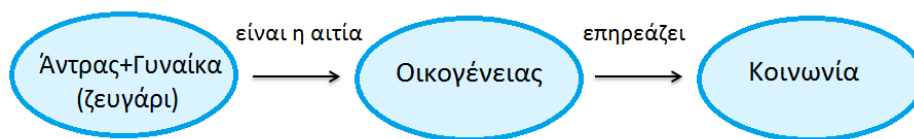
Εικόνα 2 Συστήματα

γ) Να καταγράψεις **σχέση-συσχέτιση-επιρροή, που υπάρχει μεταξύ των Δομικών στοιχείων** (οντοτήτων/αντικειμένων) που επέλεξες για να δημιουργήσεις τα συστήματα που κατέγραψες, χρησιμοποιώντας κατάλληλες λέξεις, που καταδεικνύουν αυτή τη σχέση (επηρεάζει, περιέχει, είναι, έχει ως αποτέλεσμα, είναι η αιτία κ.λπ.). Για παράδειγμα:



**Παράδειγμα: Σχεδιασμένο από άνθρωπο Σύστημα (σχέση-συσχέτιση-επιρροή)**

Ζευγάρι: Δομικά στοιχεία άντρας, γυναίκα – Περιβάλλον: Οικογενειακό



**Φυσικό Σύστημα (σχέση-συσχέτιση-επιρροή)**

**Σχεδιασμένο από άνθρωπο Σύστημα (σχέση-συσχέτιση-επιρροή)**

5. Τα Πολύπλοκα Δυναμικά Συστήματα μπορούν να μελετηθούν:

<b>α</b>	Μόνο ποιοτικά;	
<b>β</b>	Μόνο με ανώτερα μαθηματικά;	
<b>γ</b>	Μόνο με υπολογιστές (περιβάλλοντα προσομοίωσης, μοντελοποίησης);	
<b>δ</b>	Με συνδυασμό όλων των παραπάνω τρόπων;	
<b>ε</b>	Δεν γνωρίζω	

6. Έχεις ποτέ συναντήσει στα μαθητικά σου χρόνια τη γλώσσα προγραμματισμού Logo;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	

6α. Αν απάντησες Ναι τι πιστεύεις για τη γλώσσα προγραμματισμού Logo:

<b>α</b>	Είναι κατάλληλη μόνο για διδακτικούς σκοπούς.	
<b>β</b>	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσομοίωση πραγματικών προβλημάτων.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

7. Γνωρίζεις την ύπαρξη περιβαλλόντων πολλαπλών πρακτόρων;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	

8. Το πολυμεσικό προγραμματιστικό περιβάλλον Microworlds Pro το οποίο διαθέτει ως γλώσσα προγραμματισμού τη Logo, υποστηρίζει την ύπαρξη πολλαπλών πρακτόρων;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

9. Μια πολυπρακτορική προσομοίωση σε NetLogo:

<b>α</b>	Οδηγεί στην τελική λύση ενός προβλήματος.	
<b>β</b>	Βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων.	
<b>γ</b>	Βοηθά στην κατανόηση των Πολύπλοκων Δυναμικών Συστημάτων και δίνει πιθανές απαντήσεις στο πρόβλημα.	
<b>δ</b>	Γίνεται για εκπαιδευτικούς σκοπούς.	
<b>ε</b>	Δεν γνωρίζω	

**10.** Αν εκτελέσουμε δυο φορές το ίδιο μοντέλο στον υπολογιστή (δηλαδή σε μια εφαρμογή λογισμικού) αν οι αρχικές συνθήκες είναι ίδιες, θα έχουμε τα ίδια αποτελέσματα;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**11.** Αν σε κάποια στιγμή όλες οι αρχικές συνθήκες ενός φαινομένου, που αφορά σε σύστημα που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος (π.χ. κυκλοφοριακή συμφόρηση) είναι ίδιες, το ίδιο φαινόμενο θα έχει την ίδια ακριβώς εξέλιξη;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**12.** Κατά τη γνώμη σου υπάρχει/δεν υπάρχει πάντοτε κάποια αιτία, όταν υπάρχει ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή;

<b>α</b>	Υπάρχει πάντοτε αιτία	
<b>β</b>	Δεν υπάρχει πάντοτε αιτία	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

Δικαιολόγησε την απάντησή σου:

.....  
.....  
.....  
.....

**13.** Κατά τη διάρκεια της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους αποφάσεις και ενέργειες ενός οδηγού επηρεάζουν τις αποφάσεις και τις ενέργειες ενός ή περισσότερων οδηγών;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**14.** Υπάρχει περίπτωση κάποιες από αυτές τις αποφάσεις και ενέργειες να οδηγήσουν στη δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**14α.** Αν απάντησες Ναι να αναφέρεις μια απόφαση ή ενέργεια, που μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία κυκλοφοριακής συμφόρησης.

.....  
.....  
.....  
.....

**15.** Η εμπλοκή των οδηγών σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τη μελλοντική συμπεριφορά τους;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**16.** Κατά τη γνώμη σου αποτελούν τα αυτοκίνητα, που εμπλέκονται σε μια κυκλοφοριακή συμφόρηση, ένα πολύπλοκο δυναμικό σύστημα;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**17.** Κατά τη γνώμη σου κατά την εξέλιξη της κίνησης των αυτοκινήτων στους δρόμους οι οδηγοί προσαρμόζονται στις καταστάσεις, που δημιουργούνται;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**18.** Τα μοτίβα που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια μιας κυκλοφοριακής συμφόρησης οφείλονται στην αυτό-οργάνωση των εμπλεκόμενων αυτοκινήτων;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**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;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**20.** Όταν κάποια στιγμή δημιουργηθεί σε μια περιοχή κυκλοφοριακή συμφόρηση, η συμφόρηση αυτή συμβαίνει

<b>α</b>	πριν από αυτή την περιοχή;	
<b>β</b>	μετά από αυτή την περιοχή;	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	



## Παράρτημα Β



## Φύλλο Εργασίας: **Traffic Basic**

ΟΜΑΔΙΚΟ



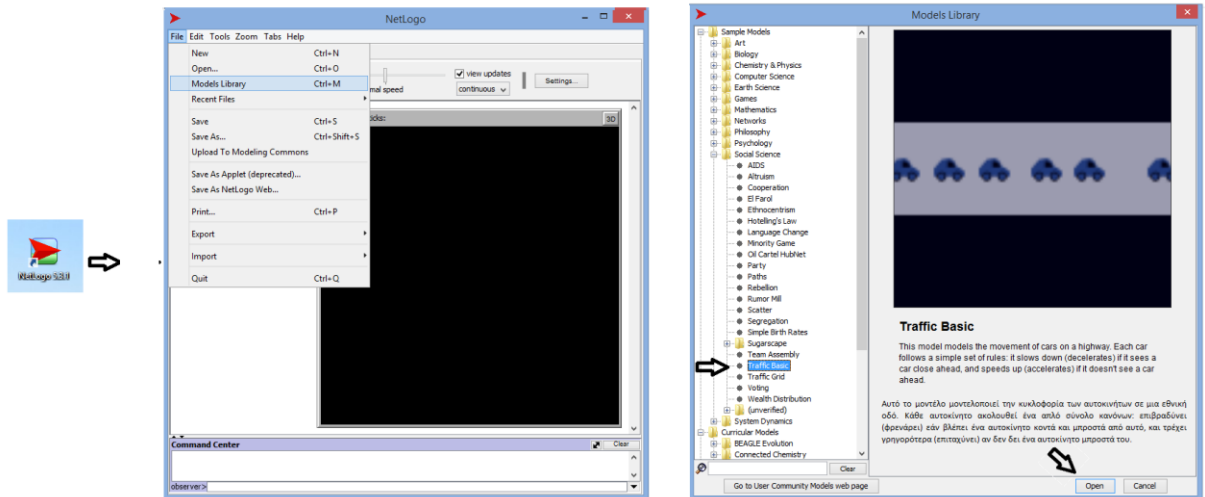
Όνοματεπώνυμο:

Ημερομηνία: .....

1. ....

2. ....

Το μοντέλο που θα χρησιμοποιήσουμε σε αυτή τη Διδακτική Παρέμβαση **μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μια κατεύθυνση**. Κάθε αυτοκίνητο ακολουθεί ένα απλό σύνολο κανόνων: **επιβραδύνει** (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και **τρέχει γρηγορότερα** (επιταχύνει), αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του.



Εικόνα 1 Βιβλιοθήκη Μοντέλων της NetLogo - Μοντέλο Traffic Basic

### Φάση Β

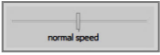
#### Βήμα 1<sup>ο</sup>

Να επιλέξετε από τη βιβλιοθήκη Μοντέλων της NetLogo το Μοντέλο **Traffic Basic** (Εικόνα 1). Θα μελετήσουμε το μοντέλο αυτό ως ένα σύστημα και θα διερευνήσουμε το πώς λειτουργεί.

Όταν εμφανιστεί το μοντέλο, παρατηρούμε, ότι στην προσομοίωση είναι ήδη δημιουργημένα κουμπιά (buttons), ρυθμιστές (sliders) και ένας μετρητής (counter).

Συγκεκριμένα:

- Όταν κάνετε κλικ στο κουμπί **“setup”** θα εμφανιστεί ένας αυτοκινητόδρομος μιας λωρίδας, στον οποίο υπάρχουν 20 αυτοκίνητα, αφού ο ρυθμιστής **“number of cars”** είναι στην τιμή 20.
- Με το ρυθμιστή **“number of cars”** μπορείτε να αλλάξετε τον αριθμό των αυτοκινήτων, που κυκλοφορούν στο δρόμο.
- Κάνοντας κλικ στο κουμπί **“go”** τα αυτοκίνητα ξεκινούν να κινούνται στον αυτοκινητόδρομο.
- Ο ρυθμιστής **“acceleration”** ελέγχει το ρυθμό, με τον οποίο επιταχύνουν τα αυτοκίνητα όταν δεν υπάρχουν αυτοκίνητα μπροστά τους.
- Όταν ένα αυτοκίνητο βλέπει ένα άλλο αυτοκίνητο μπροστά του, προσαρμόζει την ταχύτητά του και στη συνέχεια επιβραδύνει λίγο περισσότερο. Το πόσο πιο αργά πηγαίνει από το αυτοκίνητο που είναι μπροστά του ελέγχεται από το ρυθμιστή **“deceleration”**.
- Ο μετρητής **ticks** (στιγμές) αναφέρει την τρέχουσα τιμή του μετρητή **tick** (στιγμή). Το αποτέλεσμα είναι πάντοτε ένας αριθμός, που ποτέ δεν είναι αρνητικός. Κάθε tick (στιγμή) συνδέεται με την κατάσταση του μοντέλου εκείνη τη στιγμή.

Επίσης, υπάρχει και ένας προσαρμογέας της  ταχύτητας, με την οποία «τρέχει» το μοντέλο (**Adjust speed of model**).

Το διάγραμμα την ώρα που «τρέχει» το μοντέλο δείχνει σε κάθε στιγμή (tick) τρεις τιμές:

- Την γρηγορότερη ταχύτητα, οποιουδήποτε αυτοκινήτου, την αναπτύσσει εκείνη τη στιγμή (αυτό δεν υπερβαίνει το όριο ταχύτητας!).
- Την πιο αργή ταχύτητα, οποιουδήποτε αυτοκινήτου, την αναπτύσσει εκείνη τη στιγμή.
- Την ταχύτητα ενός μόνο αυτοκινήτου (χελώνα 0), που είναι βαμμένο κόκκινο έτσι ώστε να μπορούμε να το παρακολουθήσουμε.

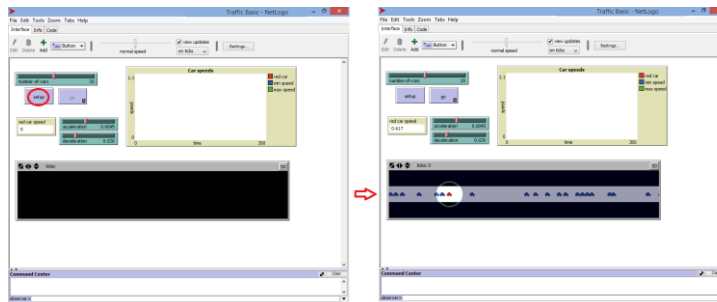
Δηλαδή, το διάγραμμα δείχνει και τις συνολικές τιμές και την τιμή για μια χελώνα, έναν πράκτορα, κάτι το οποίο μας βοηθά να παρακολουθήσουμε ταυτόχρονα τα γενικότερα πρότυπα και την ατομική συμπεριφορά.

Η εντολή **“watch”** χρησιμοποιείται για να μας διευκολύνει να επικεντρωθούμε στο κόκκινο αυτοκίνητο.

Ειδικότερα στο μοντέλο οι μεταβλητές **speed-limit** (όριο-ταχύτητας) και **speed-min** (ελάχιστη-ταχύτητα), που μπορούν να λάβουν τα αυτοκίνητα, έχουν ρυθμιστεί σε σταθερές τιμές. Δεδομένου ότι είναι οι ίδιες για κάθε αυτοκίνητο, θα μπορούσαν να έχουν οριστεί ως σταθερές παρά ως μεταβλητές της χελώνας. Ο λόγος, που έχουν καθοριστεί ως μεταβλητές χελώνας, είναι ότι θα μπορούσε κάλλιστα σε αυτό το μοντέλο να γίνουν τροποποιήσεις ή επεκτάσεις, ώστε κάθε αυτοκίνητο να έχει τις δικές του οριακές τιμές ταχύτητας.

## Βήμα 2<sup>ο</sup>

Να «τρέξετε» μια-δυο φορές την προσομοίωση δοκιμαστικά, για να εξοικειωθείτε. Βάλτε τον ρυθμιστή **“number of cars”** σε μια τιμή που θέλετε (π.χ. 30) και πατήστε πρώτα **“setup”** για να εμφανιστούν τα αυτοκίνητα στον αυτοκινητόδρομο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Μοντέλο Traffic Basic σε εξέλιξη

## Βήμα 3<sup>ο</sup>

Κάντε κλικ στο κουμπί **“go”** για να ξεκινήσουν να κινούνται τα αυτοκίνητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αυτοκίνητα κινούνται σαν να βρίσκονται σε ένα συνεχή βρόχο.

**Παρατηρήστε την ώρα που «τρέχει» το μοντέλο ότι:**

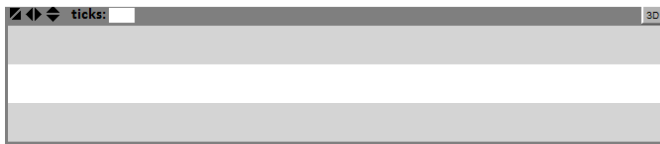
- Κάθε φορά που «τρέχετε» την προσομοίωση το κόκκινο αυτοκίνητο ξεκινά με διαφορετική ταχύτητα.
- Το διάγραμμα **“Car speeds”** δείχνει για κάθε **tick** τις τρέχουσες τιμές της ταχύτητας του κόκκινου αυτοκινήτου, της ελάχιστης και της μέγιστης τιμής της ταχύτητας, που καταγράφεται εκείνη τη στιγμή από κάποιο αυτοκίνητο, σε συνάρτηση με το χρόνο.
- Τη μεταβλητότητα - τη «σπασμωδική κίνηση» που εκτελούν τα αυτοκίνητα (το κάθε αυτοκίνητο ξεχωριστά).



**Το πρόβλημα που τίθεται προς διερεύνηση «τρέχοντας» το συγκεκριμένο μοντέλο είναι: Ποια είναι η αιτία, που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;**

Ας δοκιμάσετε να δώσετε στον ρυθμιστή “number of cars” μια συγκεκριμένη τιμή και να «τρέξετε» αρκετές φορές το μοντέλο **Traffic Basic**, χωρίς να πειράξετε τους ρυθμιστές “acceleration” και “deceleration”. Κάθε φορά, πριν «τρέξετε» το μοντέλο, πρέπει να κάνετε πρώτα κλικ στο κουμπί “setup” και έπειτα κλικ στο κουμπί “go”. Ας δοκιμάσετε με την τιμή 20.

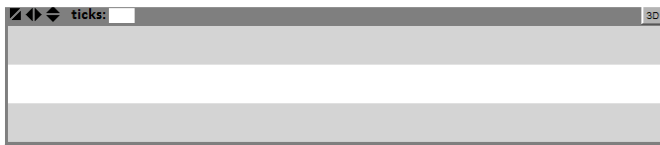
Παράλληλα με τις διαδοχικές εκτελέσεις του μοντέλου να σχεδιάστε πρόχειρα για τρεις από αυτές τη σχέση των αυτοκινήτων στον αυτοκινητόδρομο, για κάποια στιγμή ανάμεσα στις στιγμές 250-300.



Στιγμή (tick): \_\_\_\_\_

Ταχύτητα του κόκκινου αυτοκινήτου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή:

\_\_\_\_\_



Στιγμή (tick): \_\_\_\_\_

Ταχύτητα του κόκκινου αυτοκινήτου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή:

\_\_\_\_\_



Στιγμή (tick): \_\_\_\_\_

Ταχύτητα του κόκκινου αυτοκινήτου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή:

\_\_\_\_\_

Υπάρχει κάτι που παρατηρείτε σε σχέση με την κυκλοφοριακή ροή; Περιγράψτε το:

.....

.....

.....

#### Βήμα 4<sup>ο</sup>

**Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:**

**1.** Το κάθε αυτοκίνητο κάθε φορά που «τρέχει» το μοντέλο ξεκινάει από:

**α** την ίδια θέση.

ή

**β** τυχαία θέση.

**2.** Το κάθε αυτοκίνητο κάθε φορά που «τρέχει» το μοντέλο ξεκινάει με:

**α** την ίδια ταχύτητα.

ή

**β** τυχαία ταχύτητα.

**3.** Στις τρεις στιγμές που επιλέξατε και ζωγραφίσατε παρατηρήσατε ότι:

<b>α</b>	η κυκλοφορία των αυτοκινήτων είναι ομαλή.	
<b>β</b>	σε κάποια σημεία του δρόμου δημιουργείται ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή.	
<b>γ</b>	Δεν παρατήρησα τίποτα.	

4. Αν παρατηρήσατε ότι εμφανίζεται ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή να σημειώσετε ποια ή ποιες ήταν οι αιτίες δημιουργίας της ανωμαλίας στην κυκλοφοριακή ροή.

<b>α</b>	Γεγονότα που διαταράσσουν τη φυσιολογική ροή της κυκλοφορίας (τροχαία ατυχήματα, βλάβες, συντρίμμα ή μπάζα μέσα στις λωρίδες, γεγονότα που συμβαίνουν δίπλα στο δρόμο και αποσπούν την προσοχή των οδηγών, χρήση του δρόμου από π.χ. την πυροσβεστική).	
<b>β</b>	Κατασκευαστικές ή επισκευαστικές δραστηριότητες, που προκαλούν τη μείωση του αριθμού ή του πλάτους των λωρίδων του δρόμου, ή εκτροπή του δρόμου.	
<b>γ</b>	Περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των οδηγών, (μειωμένη ορατότητα είτε από αντηλιά, είτε από ομίχλη ή καπνό, καθίζηση του εδάφους, υγρή, χιονισμένη ή παγωμένη επιφάνεια οδοστρώματος).	
<b>δ</b>	Μεταβλητότητα της ζήτησης των δρόμων, η οποία προκαλεί τη μια μέρα πολλή κίνηση και την άλλη όχι.	
<b>ε</b>	Ειδικές Εκδηλώσεις (πορείες, παρελάσεις κ.ά).	
<b>στ</b>	Η διακοπή της ροής της κυκλοφορίας από συσκευές ελέγχου (φανάρια σε σιδηροδρομικές διαβάσεις, φανάρια με κακό χρονισμό κ.ά).	
<b>ζ</b>	Φυσική συμφόρηση "Χωρητικότητα", που εξαρτάται από το μέγιστο ποσό κυκλοφορίας (κίνησης), που μπορεί να μετακινείται από ένα συγκεκριμένο τμήμα αυτοκινητοδρόμου.	
<b>η</b>	Τίποτα από όλα αυτά, δεν υπήρχε καμία αιτία.	
<b>θ</b>	Δεν γνωρίζω	

5. Τι συμβαίνει όταν το κόκκινο αυτοκίνητο πλησιάσει πολύ κοντά σε αυτοκίνητο, που βρίσκεται μπροστά του;

<b>α</b>	Αναγκάζεται να ελαττώσει την ταχύτητά του.	
<b>β</b>	Αναγκάζεται να αυξήσει την ταχύτητά του.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

6. Την ώρα που «τρέχει» το μοντέλο και δημιουργείται αυτή η κυκλοφοριακή ανωμαλία, σε σημεία του δρόμου συγκεντρώνονται αρκετά αυτοκίνητα μαζί. Τι παρατηρείτε;

<b>α</b>	Τα αυτοκίνητα αυτά κινούνται πιο αργά ( προκαλείται επιβράδυνση των αυτοκινήτων).	
<b>β</b>	Τα αυτοκίνητα αυτά κινούνται πιο γρήγορα (προκαλείται επιτάχυνση των αυτοκινήτων).	

7. Διαπιστώσατε να δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της κίνησης των αυτοκινήτων καταστάσεις σταμάτα-ξεκίνα (stop-and-go);

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	

8. Στις τρεις στιγμές που επιλέξατε και ζωγραφίσατε, στη σελ. 3, η κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου

<b>α</b>	ακολουθεί ένα σύνολο από απλούς κανόνες αντιδρώντας στις κινήσεις των άλλων αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	είναι προκαθορισμένη.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω.	
<b>δ</b>	Άλλο	

9. Παρατηρήστε και πάλι την κίνηση του κόκκινου αλλά και των άλλων αυτοκινήτων και επιλέξτε την πρόταση που θεωρείτε σωστή.

<b>α</b>	Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις.	
<b>β</b>	Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από κάποιο κεντρικό έλεγχο.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	
<b>δ</b>	Άλλο	

**10.** Δημιουργήστε σκόπιμα μια κυκλοφοριακή συμφόρηση (κατάρρευση της κυκλοφορίας) και καταγράψτε τις τιμές των ρυθμιστών που επιλέξατε.

“number of cars”	
“acceleration”	
“deceleration”	

**11.** Ποιος από τους τρεις ρυθμιστές νομίζετε ότι έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή και θεωρείτε ότι μπορεί να σταθεί υπεύθυνος για τη δημιουργία της κυκλοφοριακής συμφόρησης;

<b>α</b>	Ο αρχικός ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ .	
<b>γ</b>	Η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ.	
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω.	
<b>ε</b>	Κανένα από τα παραπάνω.	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**12.** Παρατηρώντας την κίνηση των αυτοκινήτων και τα μοτίβα της κυκλοφορίας που δημιουργήσατε, να καταγράψετε τη γνώμη σας για το ποιες φαίνεται να είναι οι σχέσεις μεταξύ της οδήγησης και της κυκλοφορίας.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**13.** Να προτείνετε λύσεις, ώστε να διευκολυνθεί η ομαλή κυκλοφορία της κυκλοφοριακής συμφόρησης - κατάρρευσης που προκαλέσατε στην ερώτηση 10.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## Φύλλο Εργασίας: **Traffic Basic**

ΟΜΑΔΙΚΟ



Όνοματεπώνυμο:

Ημερομηνία: .....

1. ....

2. ....

### Φάση Γ

Σε αυτό το μοντέλο υπάρχουν **τρεις μεταβλητές, που μπορούν να επηρεάσουν την τάση να δημιουργηθεί κυκλοφοριακή συμφόρηση: Ο αρχικός ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων, η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ**. Θα ψάξουμε για **μοτίβα που σχετίζονται με το πώς οι ρυθμίσεις των μεταβλητών επηρεάζουν τη ροή της κυκλοφορίας**.

#### Βήμα 1<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων»

Σε αυτή τη φάση μετρήσεων θα προσπαθήσουμε να βρούμε **μοτίβα, που να σχετίζονται με τον ΑΡΙΘΜΟ των αυτοκινήτων και την κυκλοφοριακή ροή σε σχέση με τις προεπιλεγμένες τιμές ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ και ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ του μοντέλου**.

Ξεκινήστε δίνοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” τον αριθμό 10, κρατώντας τις προεπιλεγμένες τιμές των ρυθμιστών “**acceleration**” και “**deceleration**”, δηλαδή **0,0045 και 0,026** αντίστοιχα. Να «τρέξετε» το μοντέλο 4 φορές, καταγράφοντας στον Πίνακα 1 τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου και Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1)**.

**Πίνακας 1** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) - Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,026

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0045 - Επιβράδυνση=0,026
1	10		
2	10		
3	10		
4	10		

1. Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 1 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....  
.....

Να επαναλάβετε την ίδια ομάδα μετρήσεων δίνοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” τον αριθμό 20, κρατώντας σταθερές τις τιμές των ρυθμιστών “**acceleration**” και “**deceleration**” και καταγράφοντας στον Πίνακα 2 τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου και Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1)**.

**Πίνακας 2** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) - Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,026

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0045 - Επιβράδυνση=0,026
1	20		
2	20		
3	20		
4	20		

2. Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 2 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....  
.....

**Βήμα 2<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων»**

Σε αυτό το Βήμα θα κάνετε συγκεκριμένες μετρήσεις δίνοντας στον ρυθμιστή “number of cars” τιμές, που ξεκινάνε από τον αριθμό 5 και φτάνουν στον αριθμό 20, κρατώντας σταθερές τις τιμές των ρυθμιστών “acceleration” και “deceleration”, μετρώντας την κάθε τιμή του ρυθμιστή “number of cars” δύο φορές και συμπληρώνοντας στον Πίνακα 3 τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου** και **Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας** (στο 1).

**Πίνακας 3** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,026

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0045 - Επιβράδυνση=0,026
1	5		
2	5		
1	10		
2	10		
1	15		
2	15		
1	16		
2	16		
1	17		
2	17		
1	18		
2	18		
1	19		
2	19		
1	20		
2	20		

Μετά από τη συμπλήρωση του Πίνακα 3 να ανοίξετε το αρχείο του Microsoft Excel (Υπολογιστικά Φύλλα του Excel) με όνομα: **TRAFFIC BASIC**, που βρίσκεται αποθηκευμένο στο φάκελο **Traffic Basic** μέσα στο φάκελο του τμήματος σας.

Να συμπληρώσετε στα κατάλληλα σημεία του φύλλου με όνομα **ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων** τις μετρήσεις του Πίνακα 3.

Την ώρα που εσείς συμπληρώνετε τις μετρήσεις δημιουργείται αυτόματα μια γραφική παράσταση, που περιλαμβάνει τις μετρήσεις σας.

**1.** Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 3 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

.....

**2.** Συμφωνούν τα συμπεράσματα, που βγάλατε με αυτά που διατυπώσατε στο 1<sup>ο</sup> Βήμα (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

3. Τώρα που έχετε κάνει αυτές τις συγκεκριμένες μετρήσεις δίνοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” τιμές, που ξεκινάνε από τον αριθμό 5 και φτάνουν στον αριθμό 20 και κρατώντας τις προεπιλεγμένες τιμές των ρυθμιστών “**acceleration**” και “**deceleration**”, δηλαδή **0,0045** και **0,026** αντίστοιχα, **ποιος είναι ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση ακολουθώντας το απλό σύνολο κανόνων, που τέθηκε από την αρχή** (κάθε αυτοκίνητο επιβραδύνει (φρενάρει) εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό, και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει) αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του);

**Πίνακας 4** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση) Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,026

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
Μεταβλητή	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων»	Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,026		

4. Να ερμηνεύσετε τι κατά τη γνώμη σας σημαίνει η πρόταση **Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας του κόκκινου αυτοκινήτου** (στο 1).

.....

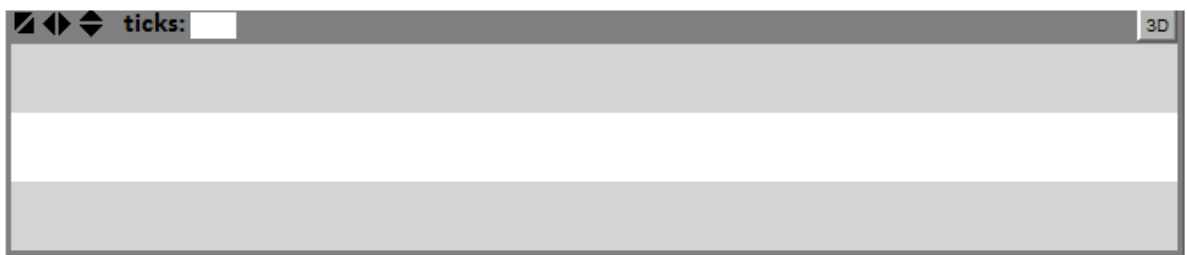
.....

.....

.....

5. Να ζωγραφίσετε μια στιγμή που η ταχύτητα του κόκκινου αυτοκινήτου έχει σταθεροποιηθεί στο 1, επιλέγοντας εσείς τον αριθμό των αυτοκινήτων.

Αριθμός αυτοκινήτων: \_\_\_\_\_



### Βήμα 3<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ»

Σε αυτή τη φάση μετρήσεων θα προσπαθήσουμε να βρούμε μοτίβα, που να σχετίζονται με την ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ και την κυκλοφοριακή ροή σε σχέση με τον αριθμό των αυτοκινήτων.



Εικόνα 3 Προσαρμογέας της ταχύτητας του μοντέλου

Ξεκινήστε δίνοντας στον ρυθμιστή “acceleration” την τιμή **0,0000**. Αφού θέσετε τον προσαρμογέα της ταχύτητας, με την οποία «τρέχει» το μοντέλο, σε ένδειξη με την οποία, το μοντέλο τρέχει γρηγορότερα (Εικόνα 3), να «τρέξετε» το μοντέλο οκτώ (8) φορές θέτοντας στον ρυθμιστή “number of cars” από δύο φορές τις τιμές 5, 10, 15, 20, κρατώντας για τον ρυθμιστή “deceleration” την προεπιλεγμένη από το μοντέλο τιμή **0,026** και καταγράφοντας στον Πίνακα 4 τις τιμές **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου** και **Στιγμή που μηδενίζεται η ταχύτητα**.

Πίνακας 5 Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0000 - Επιβράδυνση=0,026

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0000 - Επιβράδυνση=0,026	Όλες τις φορές να «τρέξετε» το μοντέλο έως τη στιγμή 3000.
1	2			
2	2			
1	3			
2	3			
1	4			
2	4			
1	5			
2	5			
1	6			
2	6			

1. Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 4 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

2. Να ζωγραφίσετε μια στιγμή, που η ταχύτητα του κόκκινου αυτοκινήτου έχει μηδενιστεί, επιλέγοντας εσείς τον αριθμό των αυτοκινήτων.

Αριθμός αυτοκινήτων: \_\_\_\_\_





**3. Με Επιτάχυνση=0,0000 και Επιβράδυνση=0,026 ποιος είναι ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση ακολουθώντας το απλό σύνολο κανόνων, που τέθηκε από την αρχή (κάθε αυτοκίνητο επιβραδύνει (φρενάρει) εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό, και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει) αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του);**

**Πίνακας 6** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση) Επιτάχυνση=0,0000 Επιβράδυνση=0,026

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
Μεταβλητή	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ»	Επιτάχυνση=0,0000 Επιβράδυνση=0,026		

**Βήμα 4<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ»**

Σε αυτό το Βήμα να δώσετε στον ρυθμιστή “**acceleration**” τη μέγιστη τιμή **0,0099**, κρατώντας για τον ρυθμιστή “**deceleration**” την προεπιλεγμένη από το μοντέλο τιμή **0,026**. Να «τρέξετε» το μοντέλο θέτοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” τις τιμές, που αναγράφονται στον Πίνακα 7, συμπληρώνοντας στον ίδιο Πίνακα τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου** και **Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας** (στο 1).

**Πίνακας 7** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0099 - Επιβράδυνση=0,026

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0099 - Επιβράδυνση=0,026
1	17		
2	17		
1	18		
2	18		
1	19		
2	19		
1	20		
2	20		
1	21		
2	21		
1	22		
2	22		
1	23		
2	23		
1	24		
2	24		

Μετά από τη συμπλήρωση του Πίνακα 7 να ανοίξετε το αρχείο του Microsoft Excel (Υπολογιστικά Φύλλα του Excel) με όνομα: **TRAFFIC BASIC**, που βρίσκεται αποθηκευμένο στο φάκελο **Traffic Basic** μέσα στο φάκελο του τμήματος σας.

Να συμπληρώσετε στα κατάλληλα σημεία του φύλλου με όνομα **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ** τις μετρήσεις του Πίνακα 7.

Την ώρα που εσείς συμπληρώνετε τις μετρήσεις δημιουργείται αυτόματα μια γραφική παράσταση που περιλαμβάνει τις μετρήσεις σας.

**1.** Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 7 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

.....

**2.** Συμφωνούν τα συμπεράσματα που βγάλατε με αυτά, που διατυπώσατε από τις μετρήσεις στους Πίνακες 5 και 6 στο 3<sup>ο</sup> Βήμα (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

.....

3. Με Επιτάχυνση=0,0099 και Επιβράδυνση=0,026 ποιος είναι ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση ακολουθώντας το απλό σύνολο κανόνων, που τέθηκε από την αρχή (κάθε αυτοκίνητο επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του);

**Πίνακας 8** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση) Επιτάχυνση=0,0099 Επιβράδυνση=0,026

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
Μεταβλητή	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ»	Επιτάχυνση=0,0099 Επιβράδυνση=0,026		

Στο 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup> Βήμα προσπαθήσαμε να βρούμε μοτίβα, που να σχετίζονται με την **ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ** και την **κυκλοφοριακή ροή** σε σχέση με τον **αριθμό των αυτοκινήτων** για δύο διαφορετικές τιμές του ρυθμιστή “acceleration”, για την τιμή **0,0000** και την τιμή **0,0099**, κρατώντας για τον ρυθμιστή “deceleration” την προεπιλεγμένη τιμή **0,026**.

Παρατηρώντας τα μοτίβα κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται με τις δύο διαφορετικές τιμές της ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ (0,0000 και 0,0099), σε τι γενικό συμπέρασμα οδηγήστε;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Βήμα 5<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ»**

Σε αυτή τη φάση μετρήσεων θα προσπαθήσουμε να βρούμε μοτίβα, που να σχετίζονται με την ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ και την κυκλοφοριακή ροή, σε σχέση με τον αριθμό των αυτοκινήτων.

Ξεκινήστε δίνοντας στον ρυθμιστή “deceleration” την μέγιστη τιμή (0,099). Να «τρέξετε» το μοντέλο 4 φορές θέτοντας στον ρυθμιστή “number of cars” τις τιμές από 2 έως 10 και στον ρυθμιστή “acceleration” την προεπιλεγμένη από το μοντέλο τιμή **0,0045**, καταγράφοντας στον Πίνακα 8 τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου** και **Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας** (στο 1).

**Πίνακας 9** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,099

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,099
1	2		
2	3		
3	4		
4	5		
5	6		
6	7		
7	8		
8	9		
9	10		

1. Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 8 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

.....

2. Με Επιβράδυνση=0,099 και Επιτάχυνση=0,0045 ποιος είναι ο ελάχιστος και ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση ακολουθώντας το απλό σύνολο κανόνων, που τέθηκε από την αρχή (κάθε αυτοκίνητο επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του);

**Πίνακας 10** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση) Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,099

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
Μεταβλητή	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ»	Επιβράδυνση=0,099 Επιτάχυνση=0,0045		

**Βήμα 6<sup>ο</sup> – Μεταβλητή «ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ»**

Σε αυτό το Βήμα να δώσετε στον ρυθμιστή “**deceleration**” την τιμή **0,000**, κρατώντας την τιμή του ρυθμιστή “**acceleration**” την προεπιλεγμένη από το μοντέλο τιμή **0,0045** και να «τρέξετε» το μοντέλο θέτοντας στον ρυθμιστή “**number of cars**” τις τιμές, που αναγράφονται στον Πίνακα 10, συμπληρώνοντας στον ίδιο Πίνακα τις τιμές: **Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου** και **Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας** (στο 1).

**Πίνακας 11** Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση=0,0045 - Επιβράδυνση=0,000

α/α	Αριθμός Αυτοκινήτων	Αρχική Ταχύτητα κόκκινου αυτοκινήτου	Στιγμή σταθεροποίησης της ταχύτητας (στο 1) Επιτάχυνση= 0,0045 Επιβράδυνση=0,000
1	5		
2	5		
1	10		
2	10		
1	20		
2	20		
1	30		
2	30		
1	40		
2	40		

Μετά από τη συμπλήρωση του Πίνακα 9 να ανοίξετε το αρχείο του Microsoft Excel (Υπολογιστικά Φύλλα του Excel) με όνομα: **TRAFFIC BASIC**, που βρίσκεται αποθηκευμένο στο φάκελο **Traffic Basic** μέσα στο φάκελο του τμήματός σας.

Συμπληρώστε στα κατάλληλα σημεία του φύλλου με όνομα **ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ** τις μετρήσεις του Πίνακα 10.

Την ώρα που εσείς συμπληρώνετε τις μετρήσεις δημιουργείται αυτόματα μια γραφική παράσταση, που περιλαμβάνει τις μετρήσεις σας.

1. Ποια συμπεράσματα βγάξετε από τις μετρήσεις του Πίνακα 9 και τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής που δημιουργούνται (Σύντομη Απάντηση);

.....

.....

.....

.....

2. Να δώσετε στον ρυθμιστή “**deceleration**” την τιμή **0,000**, στον ρυθμιστή “**acceleration**” την τιμή **0,0045** και στον ρυθμιστή “**number of cars**” την τιμή 40. Να «τρέξετε» το μοντέλο. Ενώ «τρέχει» το μοντέλο αυξήστε την **deceleration**. Σε ποιο σημείο παρατηρείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

.....

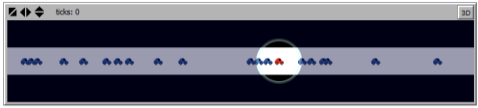
.....

.....

.....

3. Με **Επιβράδυνση=0,000** και **Επιτάχυνση=0,0045** ποιος είναι ο **ελάχιστος** και ο **μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων**, που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση ακολουθώντας το απλό σύνολο κανόνων, που τέθηκε από την αρχή (κάθε αυτοκίνητο επιβραδύνει (φρενάρει), εάν βλέπει ένα αυτοκίνητο κοντά και μπροστά από αυτό και τρέχει γρηγορότερα (επιταχύνει), αν δεν δει ένα αυτοκίνητο μπροστά του);

**Πίνακας 12** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση) Επιτάχυνση=0,0045 Επιβράδυνση=0,000

Μοντέλο Traffic Basic		Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
			
Μεταβλητή	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ»	Επιβράδυνση=0,000 Επιτάχυνση=0,0045		

Στο **5<sup>ο</sup>** και **6<sup>ο</sup> Βήμα** προσπαθήσαμε να βρούμε μοτίβα κυκλοφοριακής ροής, που να σχετίζονται με την **ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ** και την **κυκλοφοριακή ροή**, σε σχέση με τον **αριθμό των αυτοκινήτων** για δύο διαφορετικές τιμές του ρυθμιστή “**deceleration**”, για την τιμή **0,000** και την τιμή **0,099**, κρατώντας για τον ρυθμιστή “**acceleration**” την προεπιλεγμένη τιμή **0,0045**.

Παρατηρώντας τα μοτίβα κυκλοφοριακής ροής, που δημιουργούνται με τις δύο διαφορετικές τιμές της ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ (0,000 και 0,099), σε τι γενικό συμπέρασμα οδηγήσατε;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Φύλλο Εργασίας: Traffic Basic**

**ΟΜΑΔΙΚΟ**



Όνοματεπώνυμο:

Ημερομηνία: .....

1. ....

2. ....

**Φάση Δ**

Να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα χρησιμοποιώντας τις απαντήσεις, που έχετε δώσει «τρέχοντας» το μοντέλο **Traffic Basic**:

**Πίνακας 13** Αριθμός αυτοκινήτων (δρόμος χωρίς κυκλοφοριακή συμφόρηση)

Μοντέλο Traffic Basic			Αριθμός αυτοκινήτων (που μπορούν να κινούνται σε αυτό το δρόμο χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση)	
Μεταβλητές	Περιπτώσεις	Τιμές Μεταβλητών	Ελάχιστος	Μέγιστος
«ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων»	<b>α</b>	<b>Επιτάχυνση=0,0045</b> <b>Επιβράδυνση=0,026</b> (Μετρήσεις Πίνακα 4, σελ. 8)		
	<b>β1</b>	<b>Επιτάχυνση=0,0000</b> Επιβράδυνση=0,026 (Μετρήσεις Πίνακα 6, σελ. 10)		
«ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ»	<b>β2</b>	<b>Επιτάχυνση=0,0099</b> Επιβράδυνση=0,026 (Μετρήσεις Πίνακα 8, σελ. 12)		
	<b>γ1</b>	Επιτάχυνση=0,0045 <b>Επιβράδυνση=0,099</b> (Μετρήσεις Πίνακα 10, σελ.13)		
«ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ»	<b>γ2</b>	Επιτάχυνση=0,0045 <b>Επιβράδυνση=0,000</b> (Μετρήσεις Πίνακα 12, σελ.15)		

Να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις:

1. Στο μοντέλο αυτό σε ποια από τις πέντε περιπτώσεις (α, β1, β2, γ1, γ2), κυκλοφορεί ο μέγιστος αριθμός αυτοκινήτων, χωρίς να δημιουργείται κυκλοφοριακή συμφόρηση;

α		β1		β2		γ1		γ2	
---	--	----	--	----	--	----	--	----	--

2. Παρατηρώντας τον Πίνακα 13 και τις γραφικές παραστάσεις των Πινάκων 3, 7 και 9, που έχουν δημιουργηθεί στο αρχείο του Microsoft Excel, ποια από τις τρεις μεταβλητές νομίζετε ότι έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στην κυκλοφοριακή ροή και μπορεί να σταθεί υπεύθυνη για τη δημιουργία της κυκλοφοριακής συμφόρησης;

<b>α</b>	Ο αρχικός ΑΡΙΘΜΟΣ των αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	Η ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ .	
<b>γ</b>	Η ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗ.	
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω.	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**3.** Το πρόβλημα που τέθηκε στην αρχή προς διερεύνηση «τρέχοντας» το συγκεκριμένο μοντέλο ήταν: **Ποια είναι η αιτία, που προκαλεί κυκλοφοριακή συμφόρηση - κατάρρευση;**

**Παρατήρηση:** Οι εμφανείς αιτίες δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης είναι οι εξής:

<b>α</b>	Γεγονότα που διαταράσσουν τη φυσιολογική ροή της κυκλοφορίας (τροχαία ατυχήματα, βλάβες, συντρίμια ή μπάζα μέσα στις λωρίδες, γεγονότα που συμβαίνουν δίπλα στο δρόμο και αποσπούν την προσοχή των οδηγών, χρήση του δρόμου από π.χ. την πυροσβεστική).
<b>β</b>	Κατασκευαστικές ή επισκευαστικές δραστηριότητες, που προκαλούν τη μείωση του αριθμού ή του πλάτους των λωρίδων του δρόμου, ή εκτροπή του δρόμου.
<b>γ</b>	Περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν τη συμπεριφορά των οδηγών, (μειωμένη ορατότητα είτε από 안τηλιά, είτε από ομίχλη ή καπνό, καθίζηση του εδάφους, υγρή, χιονισμένη ή παγωμένη επιφάνεια οδοστρώματος).
<b>δ</b>	Μεταβλητότητα της ζήτησης των δρόμων, η οποία προκαλεί τη μια μέρα πολλή κίνηση και την άλλη όχι.
<b>ε</b>	Ειδικές Εκδηλώσεις (πορείες, παρελάσεις κ.ά).
<b>στ</b>	Η διακοπή της ροής της κυκλοφορίας από συσκευές ελέγχου (φανάρια σε σιδηροδρομικές διαβάσεις, φανάρια με κακό χρονισμό κ.ά).
<b>ζ</b>	Φυσική συμφόρηση "Χωρητικότητα" (εξαρτάται από το μέγιστο ποσό κυκλοφορίας (κίνησης), που μπορεί να μετακινείται από ένα συγκεκριμένο τμήμα αυτοκινητοδρόμου).

**3α.** Γνωρίζοντας τις αιτίες δημιουργίας κυκλοφοριακής συμφόρησης να σημειώσετε ποια ή ποιες ήταν οι αιτίες δημιουργίας της κατάρρευσης της κυκλοφορίας και της δημιουργίας ανωμαλίας στην κυκλοφοριακή ροή σε αυτό το μοντέλο.

<b>α</b>	Κάποια ή κάποιες από τις εμφανείς αιτίες του παραπάνω πίνακα (κυκλώστε όποια ή όποιες αιτίες πιστεύετε ότι υπάρχουν).	
<b>β</b>	Δεν υπήρχε καμία εμφανής αιτία.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	
<b>δ</b>	Άλλο:	

**3β.** Παρατηρώντας, στο μοντέλο αυτό, την κίνηση του κόκκινου αλλά και των άλλων αυτοκινήτων επιλέξτε την πρόταση, που θεωρείτε σωστή.

<b>α</b>	Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	Τα μοτίβα που προκύπτουν προκαλούνται από κάποιο κεντρικό έλεγχο (υπάρχει κάποιος ή κάποιοι οδηγοί αρχηγοί).	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	
<b>δ</b>	Άλλο	

**3γ.** Να προτείνετε λύσεις ώστε στο μοντέλο αυτό να μην προκαλείται ποτέ κυκλοφοριακή συμφόρηση, κατάρρευση της κυκλοφοριακής ροής.

.....

.....

.....

.....





Όνοματεπώνυμο:.....

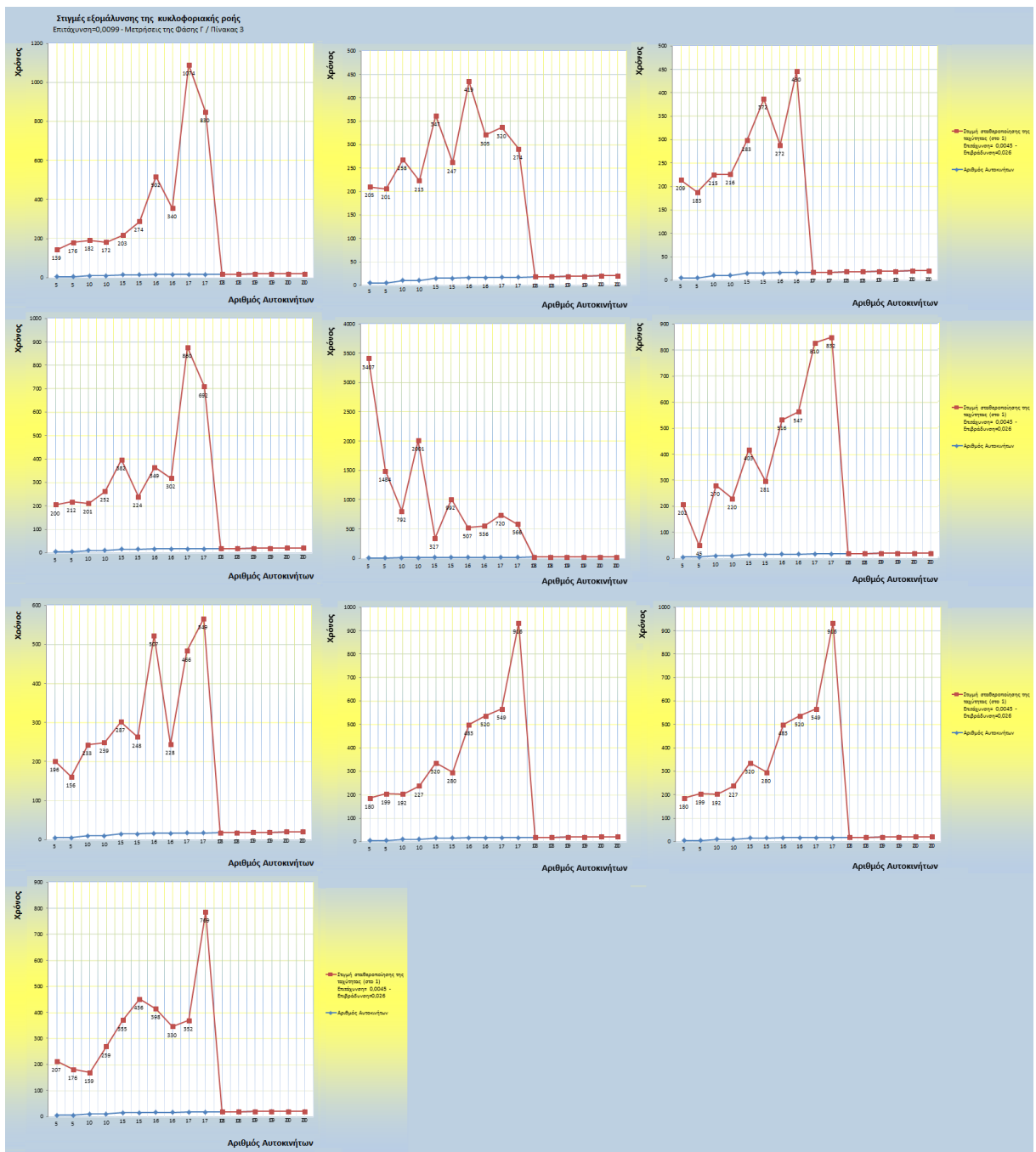
Ημερομηνία:.....

**Φάση Ε**

**Τμήμα Β1'**

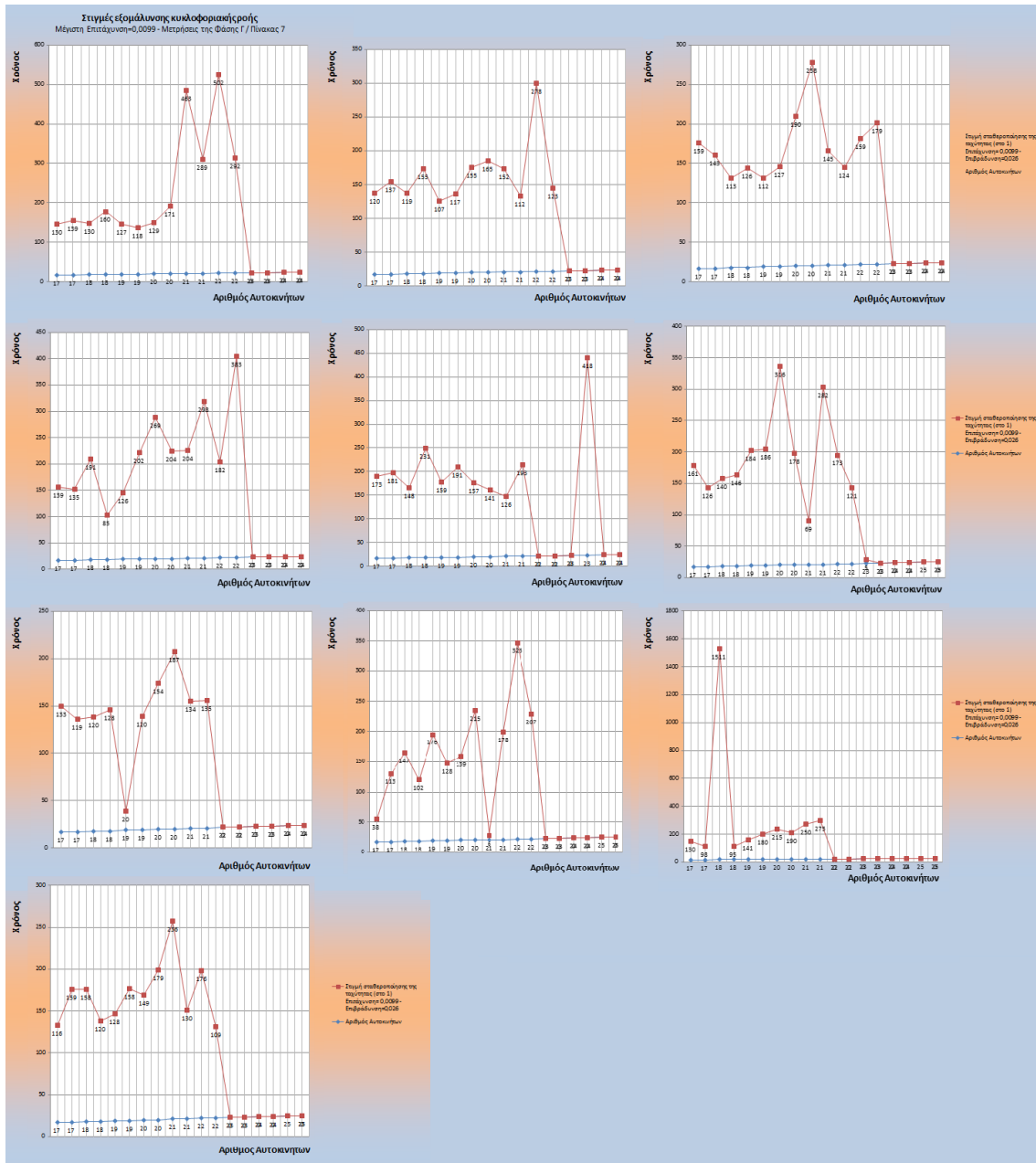
Να απαντήσεις στις παρακάτω ερωτήσεις είτε περιγραφικά, είτε επιλέγοντας με ένα x την απάντηση που θεωρείς σωστή.

1. Στην Εικόνα 4 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 3. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;



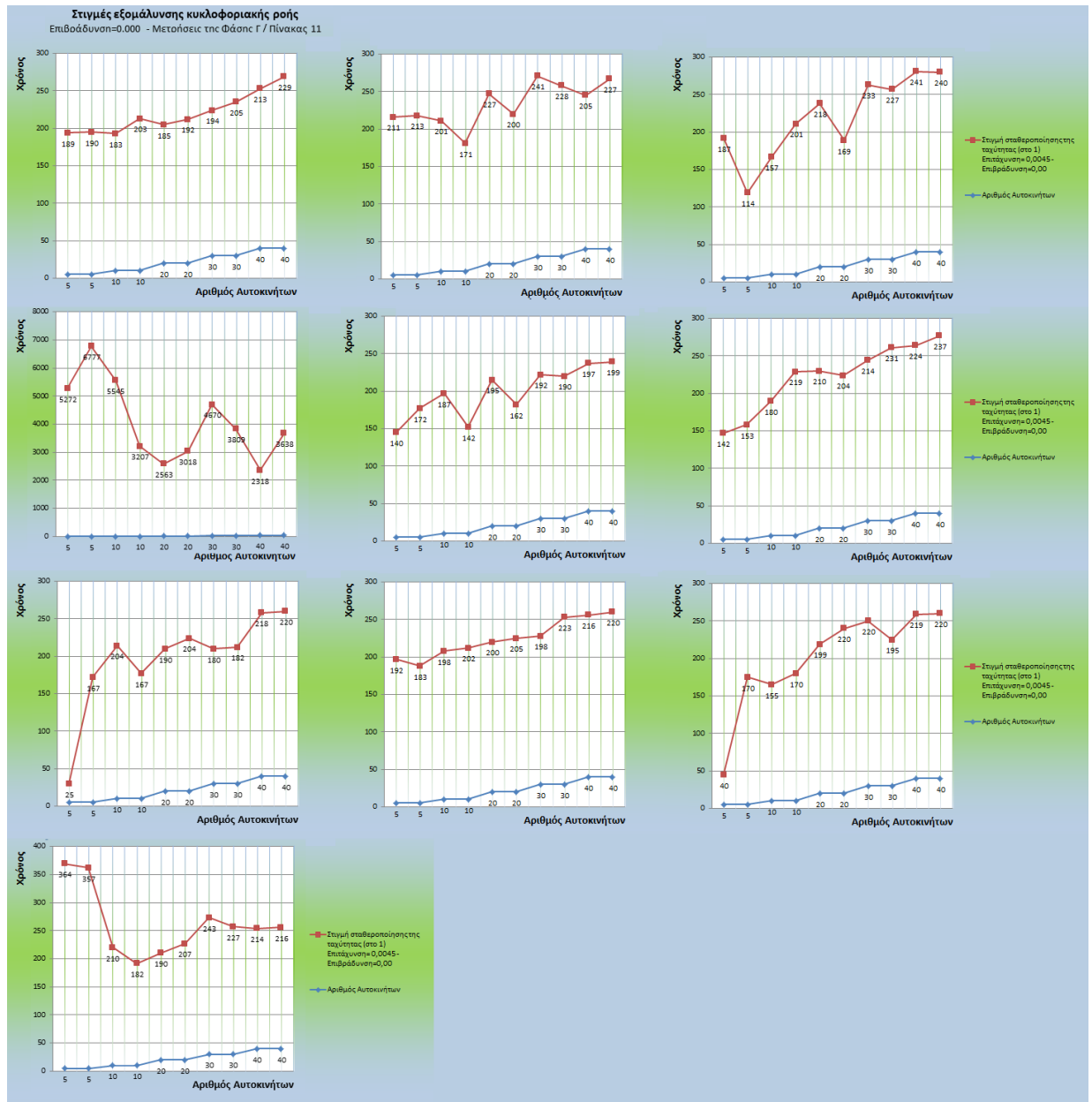
Εικόνα 4 Σχέση Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής

2. Στην Εικόνα 5 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 7. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;



Εικόνα 5 Σχέση ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ - Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής

3. Στην Εικόνα 6 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 11. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

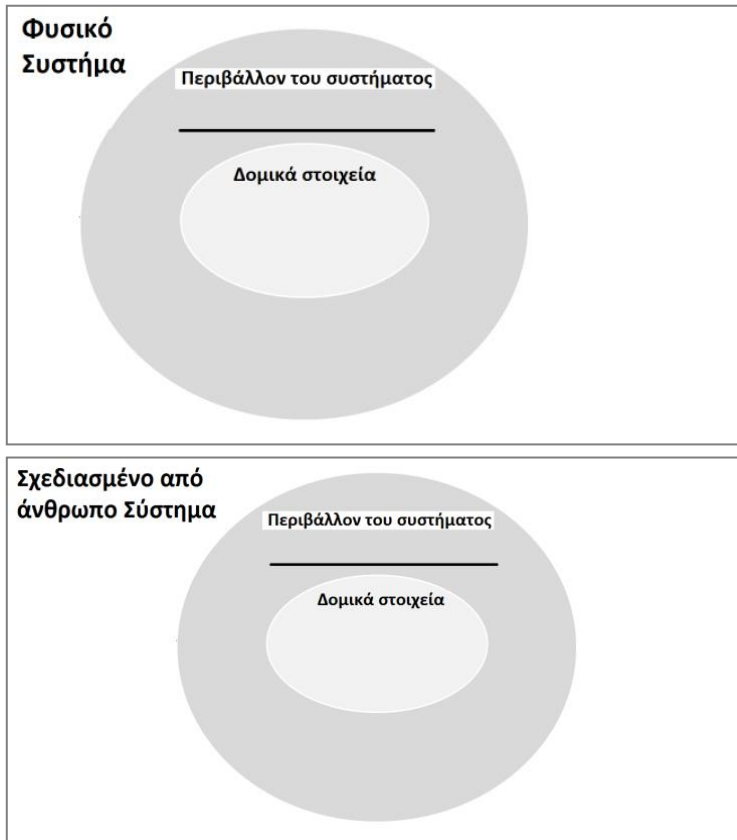


Εικόνα 6 Σχέση ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ - Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής

4. Από την εμπειρία που έχεις κυκλοφορώντας στους δρόμους της πόλης που ζεις, αναγνωρίζεις τα μοτίβα κυκλοφοριακής ροής (χωροχρονικές δημιουργίες προτύπου), που δημιουργήθηκαν «τρέχοντας» το μοντέλο;

α	Ναι	
β	Όχι	

5. Το μοντέλο, που χρησιμοποιήσαμε σε αυτή τη δραστηριότητα, μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μία κατεύθυνση. **Να καταγράψεις πάνω στην Εικόνα 7, στη θέση που πιστεύεις ότι είναι σωστή (Φυσικό Σύστημα ή Σύστημα σχεδιασμένο από άνθρωπο), τα δομικά στοιχεία, που αποτελούν το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα αυτού του μοντέλου.**



Εικόνα 7 Πολύπλοκο Δυναμικό Σύστημα του μοντέλου

6. Να καταγράψεις, πάνω στην Εικόνα 7, ποιο κατά τη γνώμη σου είναι το ευρύτερο περιβάλλον, δηλαδή ο «χώρος», το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο εντάσσεται αυτό το σύστημα και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές του συγκεκριμένου μοντέλου (περιβαλλοντικό, οικονομικό, πολιτικό, πολιτιστικό, κοινωνικό ή άλλο).

7. Υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των δομικών του στοιχείων στο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που μελετήσαμε σε αυτό το μοντέλο;

α	Ναι	
β	Όχι	
γ	Δεν γνωρίζω	

**8.** Όπως διαπίστωσες σε αυτό το μοντέλο εμφανίζεται ένα κόκκινο αυτοκίνητο και ένα ρεύμα από μπλε αυτοκίνητα. Κάθε τόσο τα αυτοκίνητα «συσσωρεύονται» και για λίγο σταματούν να κινούνται. Ποια ή ποιές είναι η/οι αιτία/ες που προκαλούν αυτά τα μοτίβα κίνησης των αυτοκινήτων;

<b>α</b>	Κάποια εμφανής αιτία (π.χ. ατύχημα, φανάρι, πεσμένο δένδρο, πορεία, κ.ά.)	
<b>β</b>	Η συμπεριφορά των οδηγών.	
<b>γ</b>	Η επιβράδυνση της κίνησης των αυτοκινήτων.	
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω.	
<b>ε</b>	Κανένα από τα παραπάνω.	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**9.** Τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής που προέκυψαν

<b>α</b>	προκλήθηκαν από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις.	
<b>β</b>	προκλήθηκαν από κάποιο κεντρικό έλεγχο.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω.	
<b>δ</b>	Άλλο	

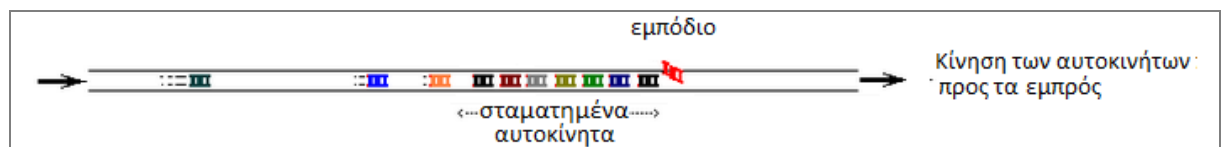
**10.** Ποια είναι η γνώμη σου για την κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου;

<b>α</b>	Η κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου ακολουθεί ένα σύνολο από απλούς κανόνες, αντιδρώντας στις κινήσεις των άλλων αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	Η κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου είναι προκαθορισμένη.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω.	
<b>δ</b>	Άλλο	

**11.** Έχεις παρατηρήσει σε κάποιο από τα παρακάτω συστήματα, παρόμοια συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων με τη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων του μοντέλου, που μελέτησες;

<b>α</b>	Εξάπλωση ενός ιού	
<b>β</b>	Σμήνη πουλιών	
<b>γ</b>	Κοπάδια ψαριών	
<b>δ</b>	Μυρμήγκια	
<b>ε</b>	Άλλο	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**12.** Ας υποθέσουμε ότι, κάποια αυτοκίνητα κινούνται σε δρόμο, που έχει μόνο μια λωρίδα κυκλοφορίας και ότι αυτή τη φορά από κάποιο εμπόδιο έχει σταματήσει η κυκλοφοριακή ροή των αυτοκινήτων και έχει προκληθεί κυκλοφοριακή ανωμαλία. (Εικόνα 8).



**Εικόνα 8** Ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή, που προκάλεσε ένα εμπόδιο.

**12α.** Ποια ή ποιες είναι οι αποφάσεις που έλαβαν οι οδηγοί όταν εμφανίστηκε το εμπόδιο.

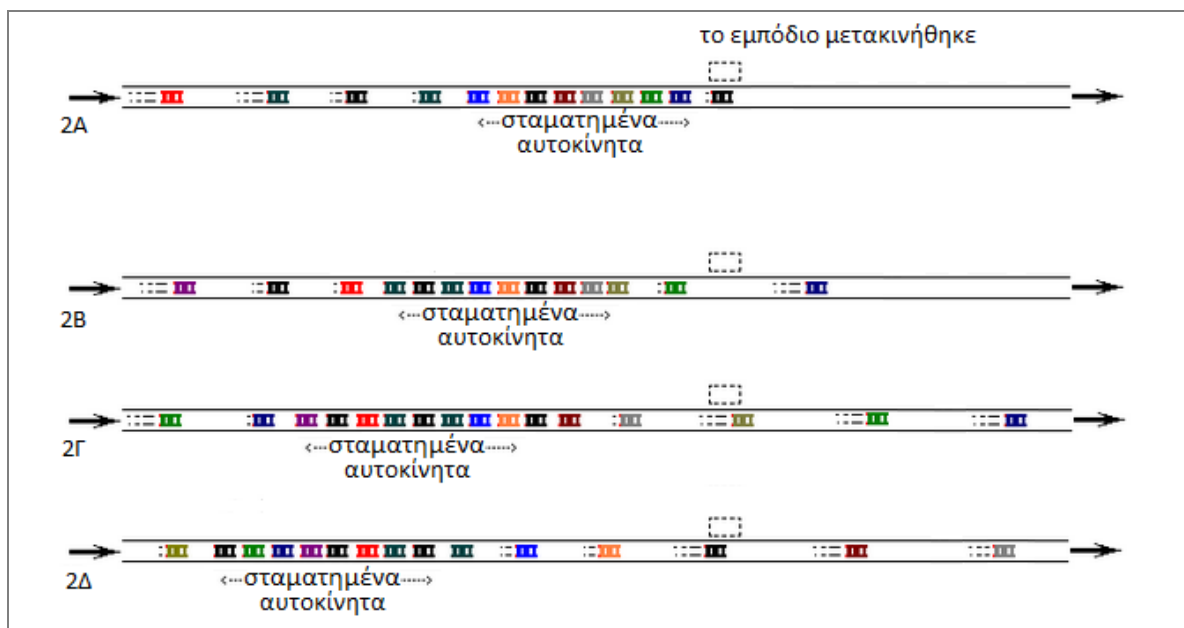
<b>α</b>	Αποφάσισαν όλοι σταδιακά να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>β</b>	Μερικοί αποφάσισαν να επιταχύνουν και μερικοί να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>γ</b>	Μερικοί αποφάσισαν να επιταχύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>δ</b>	Αποφάσισαν όλοι σταδιακά να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους και να σταματήσουν.	
<b>ε</b>	Δεν γνωρίζω	

**12β.** Επηρέασε η απόφαση του ενός οδηγού την απόφαση του άλλου;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**13.** Επίσης, ας υποθέσουμε ότι κάποια στιγμή το εμπόδιο μετακινήθηκε (Εικόνα 9). Κατά τη γνώμη σου τι συμβαίνει από τη στιγμή, που ελευθερώνεται η λωρίδα κυκλοφορίας των αυτοκινήτων;

<b>α</b>	Όλα τα αυτοκίνητα κινούνται κατευθείαν προς τα εμπρός με μεγάλη ταχύτητα και εξαφανίζεται κατευθείαν η κυκλοφοριακή ανωμαλία, που είχε προκληθεί.	
<b>β</b>	Η κυκλοφορία αποκαθίσταται σταδιακά σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.	
<b>γ</b>	Η κυκλοφορία αποκαθίσταται σε χρόνο, που δεν μπορεί να προβλεφτεί.	
<b>δ</b>	Δεν γνωρίζω	



Εικόνα 9 Κυκλοφοριακή ροή μετά την απομάκρυνση του εμποδίου

**14.** Παρατηρώντας τις Εικόνες 8 και 9 ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι κατά τη γνώμη σας σωστή;

<b>α</b>	Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, που δημιουργήθηκε από το εμπόδιο, συνέβη πριν από το σημείο, που εμφανίστηκε το εμπόδιο.	
<b>β</b>	Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, που δημιουργήθηκε από το εμπόδιο, συνέβη μετά από το σημείο, που εμφανίστηκε το εμπόδιο.	



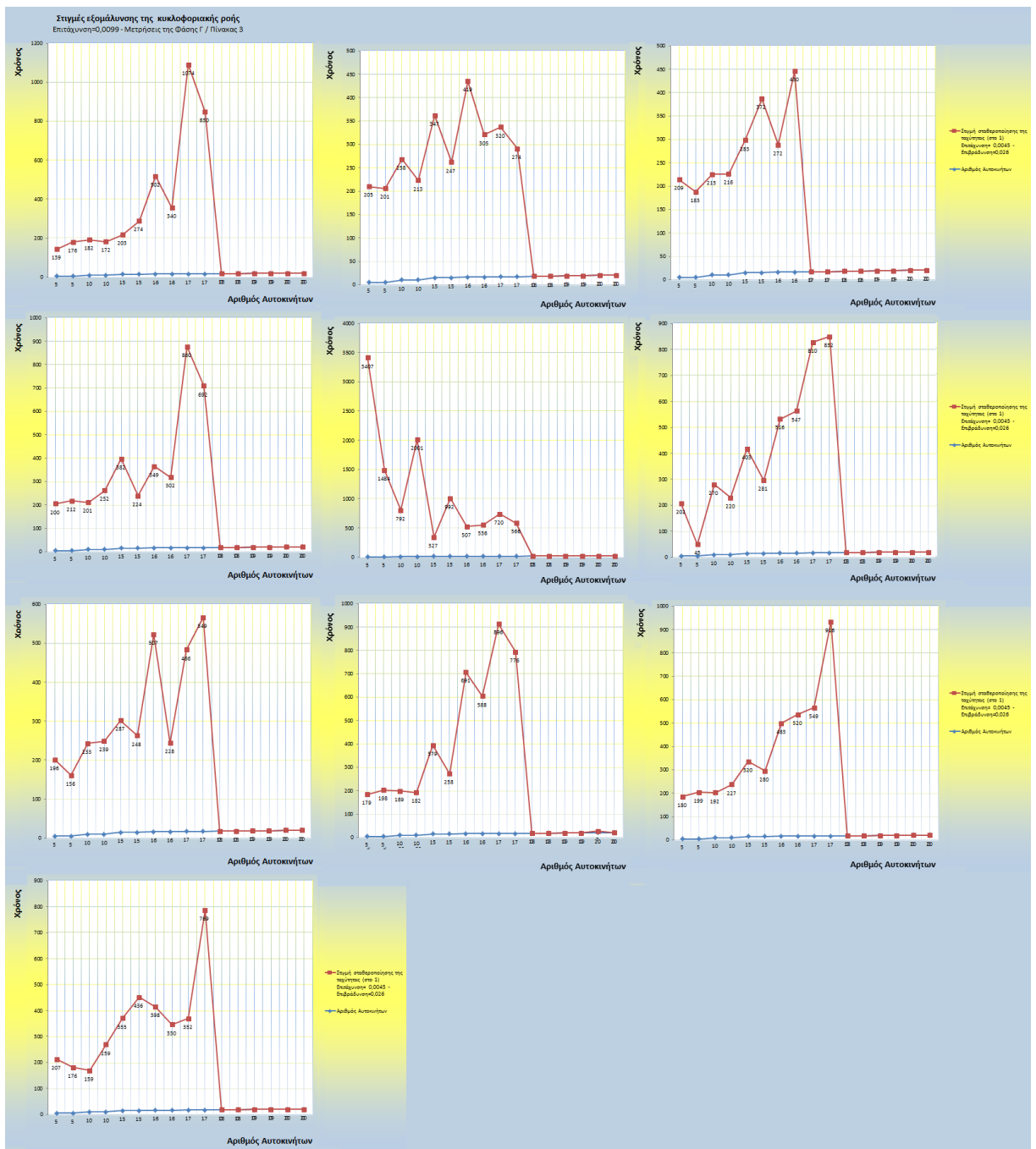
Όνοματεπώνυμο: ..... Ημερομηνία: .....

**Φάση Ε**

**Τμήμα Γ2'**

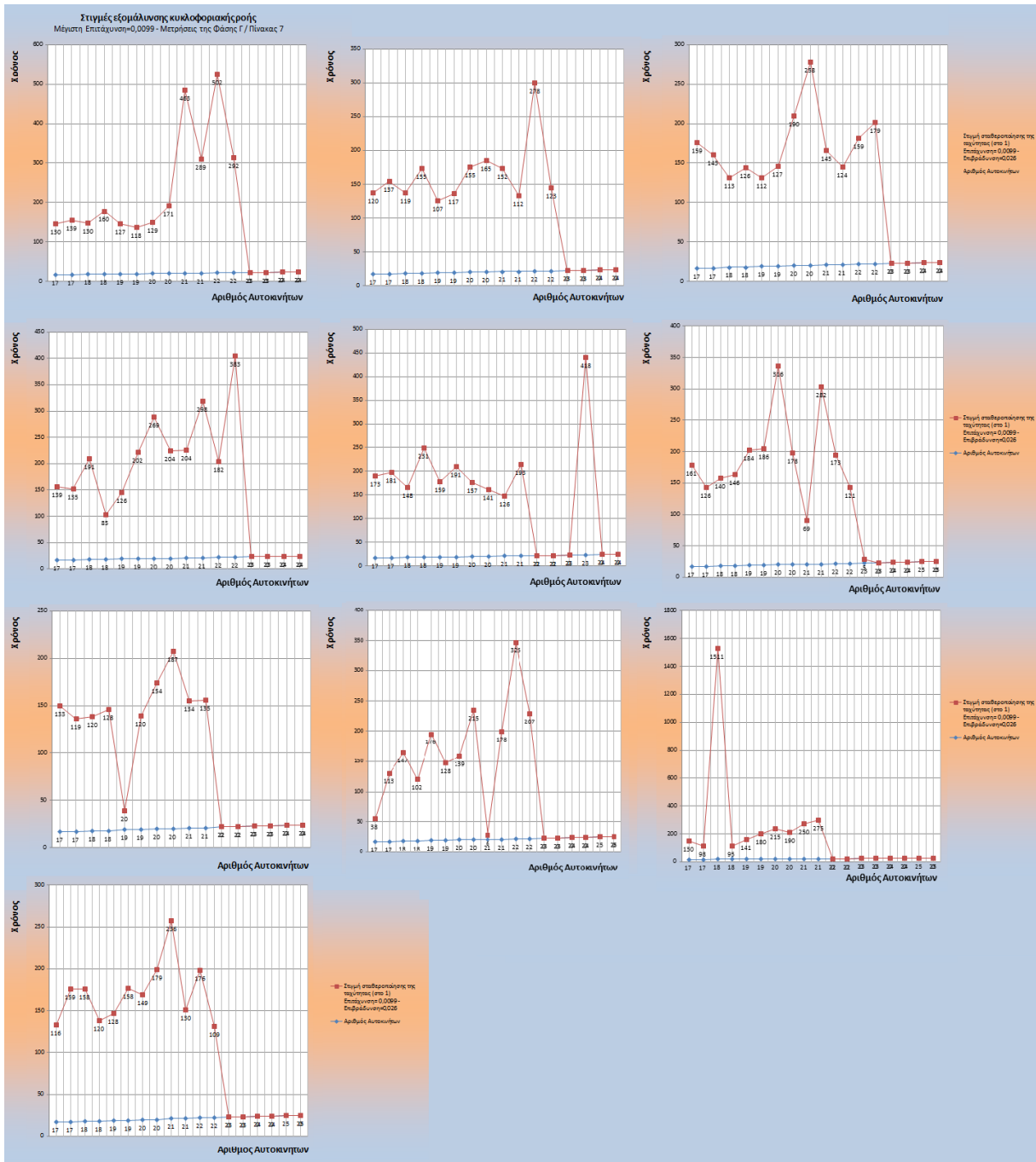
Να απαντήσεις στις παρακάτω ερωτήσεις είτε περιγραφικά, είτε επιλέγοντας με ένα x την απάντηση που θεωρείς σωστή.

1. Στην Εικόνα 4 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 3. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;



Εικόνα 4 Σχέση Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής

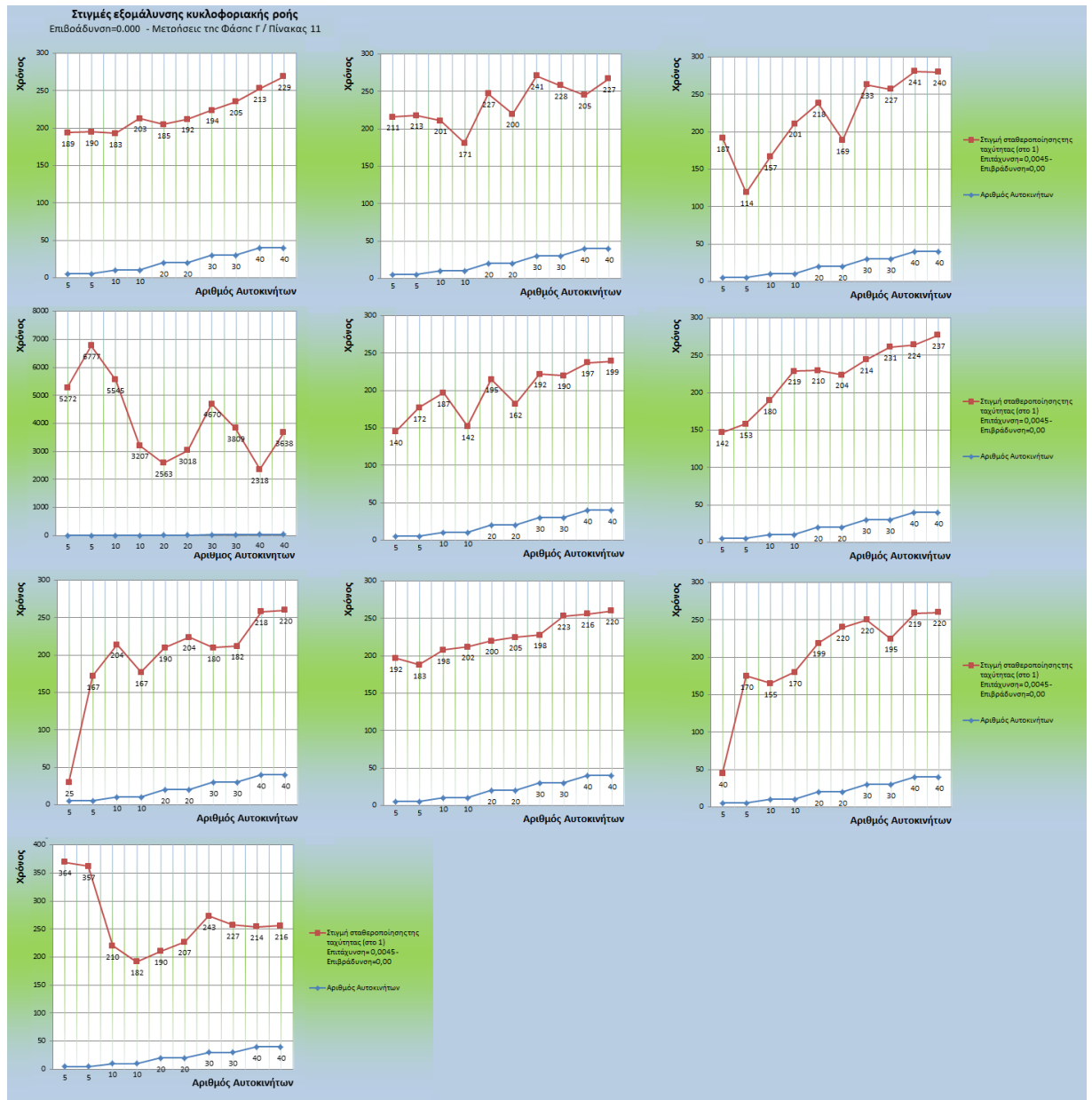
2. Στην Εικόνα 5 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 7. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;



Εικόνα 5 Σχέση ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ - Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής



3. Στην Εικόνα 6 βλέπεις συγκεντρωμένες τις μετρήσεις σχεδόν όλων των ομάδων, που αφορούν στην γραφική παράσταση του Πίνακα 11. Σε ποιο σημείο φαίνεται να δημιουργείται «κατάρρευση» της κυκλοφορίας;

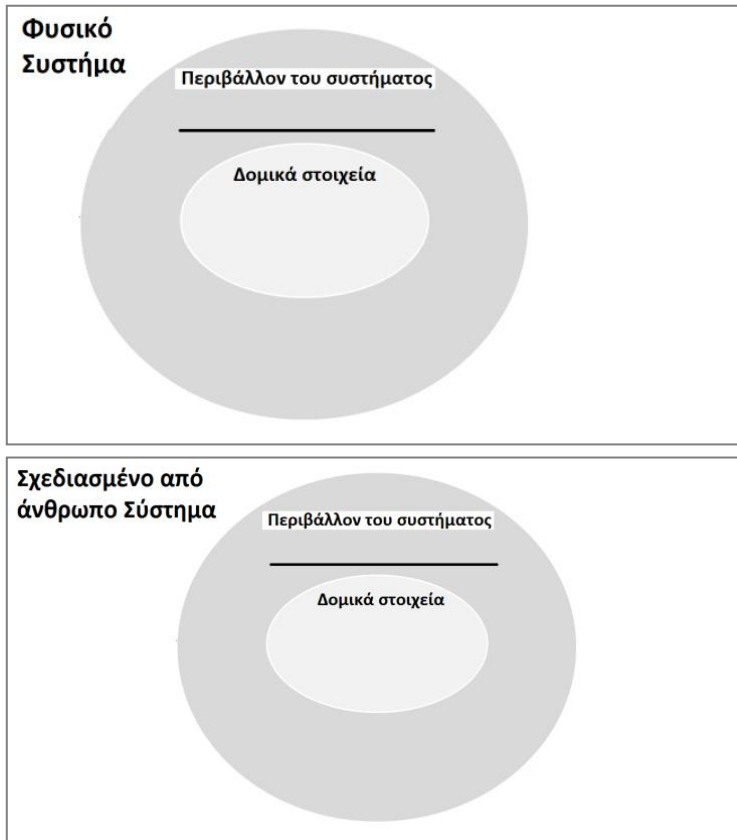


Εικόνα 6 Σχέση ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ - Αριθμού των αυτοκινήτων και στιγμής εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής ροής

4. Από την εμπειρία που έχεις κυκλοφορώντας στους δρόμους της πόλης που ζεις, αναγνωρίζεις τα μοτίβα κυκλοφοριακής ροής (χωροχρονικές δημιουργίες προτύπου), που δημιουργήθηκαν «τρέχοντας» το μοντέλο;

α	Ναι	
β	Όχι	

5. Το μοντέλο, που χρησιμοποιήσαμε σε αυτή τη δραστηριότητα, μοντελοποιεί την κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε μια εθνική οδό, τα οποία κινούνται όλα προς μία κατεύθυνση. **Να καταγράψεις πάνω στην Εικόνα 7, στη θέση που πιστεύεις ότι είναι σωστή (Φυσικό Σύστημα ή Σύστημα σχεδιασμένο από άνθρωπο), τα δομικά στοιχεία, που αποτελούν το πολύπλοκο δυναμικό σύστημα αυτού του μοντέλου.**



Εικόνα 7 Πολύπλοκο Δυναμικό Σύστημα του μοντέλου

6. Να καταγράψεις, πάνω στην Εικόνα 7, ποιο κατά τη γνώμη σου είναι το ευρύτερο περιβάλλον, δηλαδή ο «χώρος», το «πλαίσιο» μέσα στο οποίο εντάσσεται αυτό το σύστημα και στο οποίο λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες και οι συναλλαγές του συγκεκριμένου μοντέλου (περιβαλλοντικό, οικονομικό, πολιτικό, πολιτιστικό, κοινωνικό ή άλλο).

7. Υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των δομικών του στοιχείων στο πολύπλοκο δυναμικό σύστημα, που μελετήσαμε σε αυτό το μοντέλο;

α	Ναι	
β	Όχι	
γ	Δεν γνωρίζω	

**8.** Όπως διαπίστωσες σε αυτό το μοντέλο εμφανίζεται ένα κόκκινο αυτοκίνητο και ένα ρεύμα από μπλε αυτοκίνητα. Κάθε τόσο τα αυτοκίνητα «συσσωρεύονται» και για λίγο σταματούν να κινούνται. Ποια ή ποιές είναι η/οι αιτία/ες που προκαλούν αυτά τα μοτίβα κίνησης των αυτοκινήτων;

<b>α</b>	Κάποια εμφανής αιτία (π.χ. ατύχημα, φανάρι, πεσμένο δένδρο, πορεία, κ.ά.)	
<b>β</b>	Η συμπεριφορά των οδηγών.	
<b>γ</b>	Η επιβράδυνση της κίνησης των αυτοκινήτων.	
<b>δ</b>	Όλα τα παραπάνω.	
<b>ε</b>	Κανένα από τα παραπάνω.	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**9.** Τα μοτίβα της κυκλοφοριακής ροής που προέκυψαν

<b>α</b>	προκλήθηκαν από απλές, τοπικές αλληλεπιδράσεις.	
<b>β</b>	προκλήθηκαν από κάποιο κεντρικό έλεγχο.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω.	
<b>δ</b>	Άλλο	

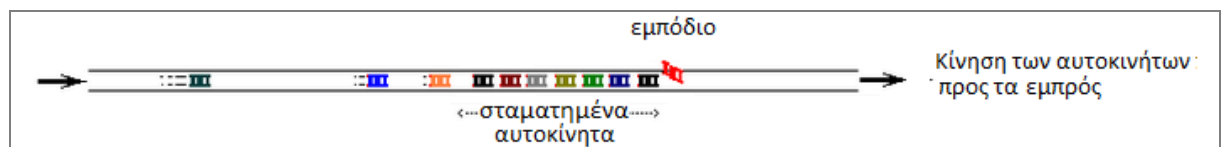
**10.** Ποια είναι η γνώμη σου για την κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου;

<b>α</b>	Η κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου ακολουθεί ένα σύνολο από απλούς κανόνες, αντιδρώντας στις κινήσεις των άλλων αυτοκινήτων.	
<b>β</b>	Η κίνηση του κόκκινου αυτοκινήτου είναι προκαθορισμένη.	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω.	
<b>δ</b>	Άλλο	

**11.** Έχεις παρατηρήσει σε κάποιο από τα παρακάτω συστήματα, παρόμοια συμπεριφορά των δομικών του στοιχείων με τη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων του μοντέλου, που μελέτησες;

<b>α</b>	Εξάπλωση ενός ιού	
<b>β</b>	Σμήνη πουλιών	
<b>γ</b>	Κοπάδια ψαριών	
<b>δ</b>	Μυρμήγκια	
<b>ε</b>	Άλλο	
<b>στ</b>	Δεν γνωρίζω	

**12.** Ας υποθέσουμε ότι, κάποια αυτοκίνητα κινούνται σε δρόμο, που έχει μόνο μια λωρίδα κυκλοφορίας και ότι αυτή τη φορά από κάποιο εμπόδιο έχει σταματήσει η κυκλοφοριακή ροή των αυτοκινήτων και έχει προκληθεί κυκλοφοριακή ανωμαλία. (Εικόνα 8).



**Εικόνα 8** Ανωμαλία στην κυκλοφοριακή ροή, που προκάλεσε ένα εμπόδιο.

**12α.** Ποια ή ποιες είναι οι αποφάσεις που έλαβαν οι οδηγοί όταν εμφανίστηκε το εμπόδιο.

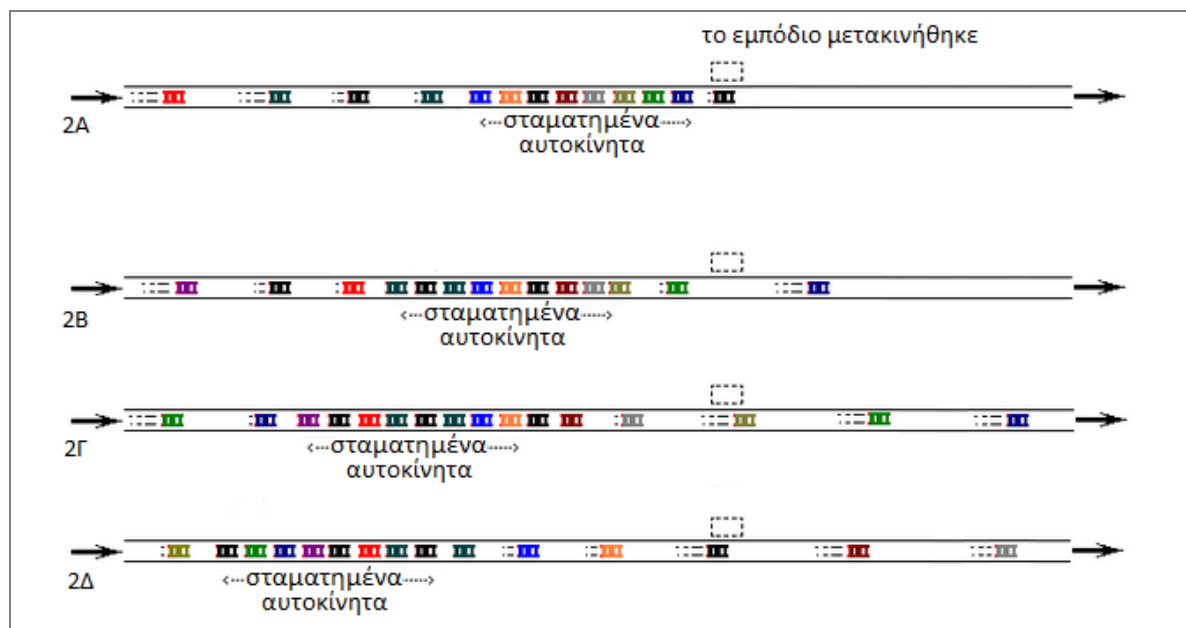
<b>α</b>	Αποφάσισαν όλοι σταδιακά να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>β</b>	Μερικοί αποφάσισαν να επιταχύνουν και μερικοί να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>γ</b>	Μερικοί αποφάσισαν να επιταχύνουν την ταχύτητά τους.	
<b>δ</b>	Αποφάσισαν όλοι σταδιακά να επιβραδύνουν την ταχύτητά τους και να σταματήσουν.	
<b>ε</b>	Δεν γνωρίζω	

**12β.** Επηρέασε η απόφαση του ενός οδηγού την απόφαση του άλλου;

<b>α</b>	Ναι	
<b>β</b>	Όχι	
<b>γ</b>	Δεν γνωρίζω	

**13.** Επίσης, ας υποθέσουμε ότι κάποια στιγμή το εμπόδιο μετακινήθηκε (Εικόνα 9). Κατά τη γνώμη σου τι συμβαίνει από τη στιγμή, που ελευθερώνεται η λωρίδα κυκλοφορίας των αυτοκινήτων;

<b>α</b>	Όλα τα αυτοκίνητα κινούνται κατευθείαν προς τα εμπρός με μεγάλη ταχύτητα και εξαφανίζεται κατευθείαν η κυκλοφοριακή ανωμαλία, που είχε προκληθεί.	
<b>β</b>	Η κυκλοφορία αποκαθίσταται σταδιακά σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.	
<b>γ</b>	Η κυκλοφορία αποκαθίσταται σε χρόνο, που δεν μπορεί να προβλεφτεί.	
<b>δ</b>	Δεν γνωρίζω	



Εικόνα 9 Κυκλοφοριακή ροή μετά την απομάκρυνση του εμποδίου

**14.** Παρατηρώντας τις Εικόνες 8 και 9 ποια από τις παρακάτω προτάσεις είναι κατά τη γνώμη σας σωστή;

<b>α</b>	Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, που δημιουργήθηκε από το εμπόδιο, συνέβη πριν από το σημείο, που εμφανίστηκε το εμπόδιο.	
<b>β</b>	Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, που δημιουργήθηκε από το εμπόδιο, συνέβη μετά από το σημείο, που εμφανίστηκε το εμπόδιο.	