

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

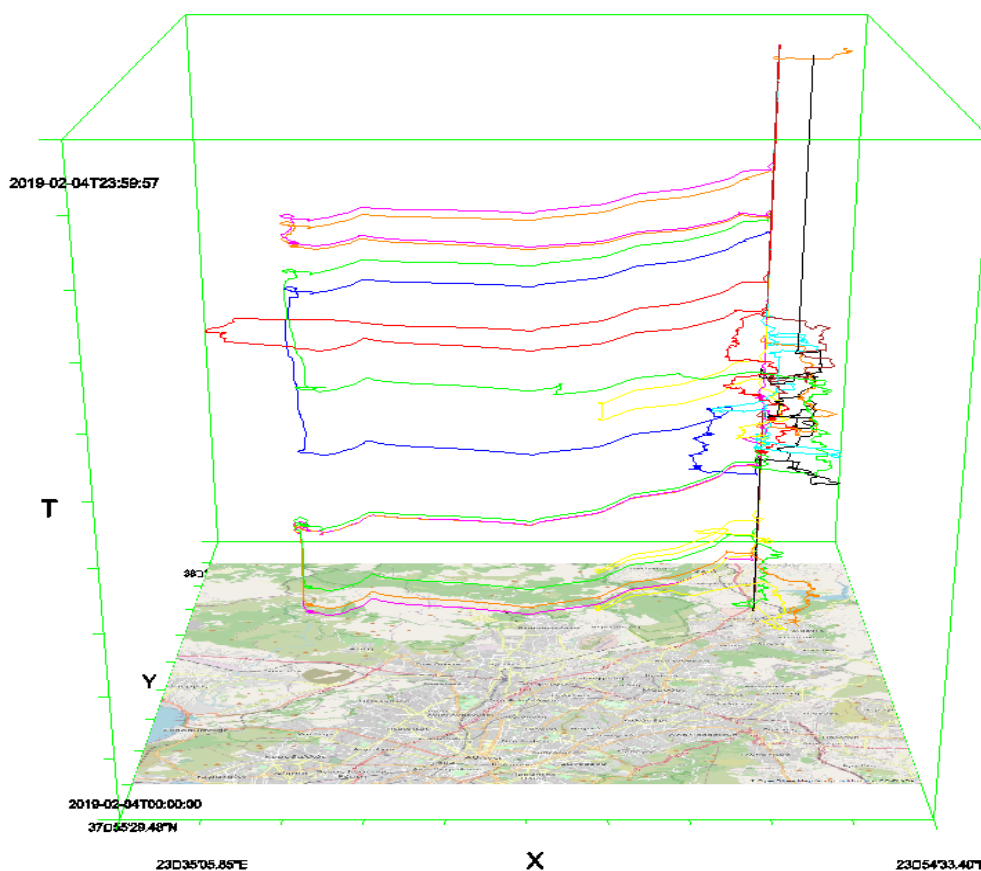
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΟΧΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»



Θεόφιλος Φάκας

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΡΟΧΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ»

Επιβλέπων Καθηγητής: Μαργαρίτα Κόκλα

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Κόκλα Μαργαρίτα

Κάβουρας Μαρίνος

Τομαή Ελένη

Θεόφιλος Φάκας

Αθήνα, Ιούλιος 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Κυρία και Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Μαργαρίτα Κόκλα που μου ανέθεσε τη μεταπτυχιακή αυτή εργασία, το θέμα της οποίας αποτελεί ένα από τα πιο σύγχρονα αντικείμενα της Επιστήμης της Γεωγραφικής Πληροφορίας .

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Ελένη Τομαή και τον κύριο Γιώργο Πανόπουλο, μέλη του Εργαστηριακού Διδακτικού Προσωπικού του Εργαστηρίου Χαρτογραφίας του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής, για την πολύτιμη βοήθεια τους που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Ένα ευχαριστώ στους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου που στάθηκαν δίπλα μου κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου πορείας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου που με βοήθησε και αυτά τα χρόνια να αποπερατώσω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η οπτικοποίηση χωροχρονικών δεδομένων με τη χρήση του χωροχρονικού κύβου και η αξιολόγηση της διαδραστικής τρισδιάστατης αυτής χωροχρονικής αναπαράστασης, καθώς και μιας δυναμικής δισδιάστατης χωροχρονικής αναπαράστασης δεδομένων τροχιάς οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα στο πλαίσιο της εργασίας, πραγματοποιήθηκε μια εμπειρική έρευνα στην οποία έγινε αξιολόγηση ενός συνόλου δεδομένων τροχιάς διάφορων οχημάτων σε ένα χωροχρονικό κύβο και ένα διαδραστικό δισδιάστατο περιβάλλον. Για τη διεξαγωγή της έρευνας, έλαβαν μέρος συμμετέχοντες οι οποίοι δεν είχαν κάποια ιδιαίτερη επαφή με το αντικείμενο και απάντησαν ένα σύνολο από ερωτήσεις που αφορούσαν τα δεδομένα και στα δύο περιβάλλοντα. Απώτερος στόχος της εργασίας είναι η ανάδειξη του περιβάλλοντος εκείνου στο οποίο οι συμμετέχοντες αντιλαμβάνονται καλύτερα την οπτικοποίηση των δεδομένων, πετυχαίνοντας το μικρότερο ποσοστό λάθους και το μικρότερο χρόνο απόκρισης στις απαντήσεις.

Λέξεις Κλειδιά: Χωροχρονικά Δεδομένα, Οπτικοποίηση Χωροχρονικών Δεδομένων, Δεδομένα Τροχιάς, Χωροχρονικός Κύβος, Δυναμική Δισδιάστατη Αναπαράσταση, Διαδραστική Τρισδιάστατη Αναπαράσταση

ABSTRACT

The objective of this study is the visualization of spatio-temporal data using the method of space-time cube and the evaluation of a dynamic two-dimensional spatio-temporal representation and of a interactive three-dimensional spatio-temporal representation of vehicle track data. More specifically, an on-the-job experiment was carried out, which took place in an educational institution and in which a set of trajectory data of various vehicles was evaluated in a three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) environment. To conduct the experiment, participants who were «non-experts» with the object took part and answered a set of questions related to the data in both environments. The ultimate goal of the work is to highlight the environment in which participants understand better the visualization of data, achieving the lowest error rate and the shortest response time to responses.

Keywords: Spatio-Temporal Data, Spatio-Temporal Visualization, Trajectory Data, Space-Time Cube, Dynamic Two-dimensional Spatiotemporal Representation, Interactive Three-dimensional Spatiotemporal Representation

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	19
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	22
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
2.2. ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ	22
2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	22
2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	23
2.2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	26
2.2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ	28
2.3. ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΣ ΚΥΒΟΣ	31
2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	31
2.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	32
2.3.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ	33
2.3.4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ	37
2.3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ	41
2.4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	45
2.5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	52
2.5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΟΧΙΑΣ (TRAJECTORY DATA)	52
2.5.2 ΕΡΕΥΝΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	60
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	60
3.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	61
3.3. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ILWIS (3D ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ)	63
3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	63
3.3.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	64
3.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	66
3.3.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ	68
3.4. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ARCGIS ONLINE (2D ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ)	71
3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	71
3.4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ARCGIS ONLINE	71

3.5. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	74
3.6. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	77
3.6.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	77
3.7. ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	80
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	80
4.2. ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	80
4.3. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	82
4.3.1 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ	82
4.3.2 ΕΡΩΤΗΣΗ 1	84
4.3.3 ΕΡΩΤΗΣΗ 2	85
4.3.4 ΕΡΩΤΗΣΗ 3	86
4.3.5 ΕΡΩΤΗΣΗ 4	87
4.3.6 ΕΡΩΤΗΣΗ 5	88
4.3.7 ΕΡΩΤΗΣΗ 6	89
4.3.8 ΕΡΩΤΗΣΗ 7	90
4.3.9 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	91
4.4. ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	93
4.5. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ	104
4.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ.....	110
4.7. ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΥΧΡΗΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	111
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	113
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	122

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην *Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας (Geographic Information Science – GIS)*, εκτιμήσεις που έχουν γίνει στην πάροδο των χρόνων έχουν δείξει ότι το 80% όλων των ψηφιακών δεδομένων που παράγονται σήμερα περιλαμβάνουν γεωχωρική αναφορά όπως είναι για παράδειγμα οι γεωγραφικές συντεταγμένες, οι διευθύνσεις, οι ταχυδρομικοί κώδικες κ.λπ. (MacEachren και Kraak, 2001). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός βέβαια πως πολλές κοινότητες που ασχολούνται με την συγκεκριμένη επιστήμη έχουν παρατηρήσει ότι αυξάνεται σταδιακά ο όγκος της γεωγραφικής πληροφορίας, αλλά και ταυτόχρονα η χρήση των δεδομένων αυτών. Και αυτό οφείλεται στον παράγοντα του τεχνολογικού, επιστημονικού αλλά και του κοινωνικού περιβάλλοντος στον οποίο λειτουργεί η χαρτογραφία, η οποία έχει αλλάξει δραματικά στο πέρασμα των χρόνων (ibid).

Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές μέθοδοι οι οποίες διαχειρίζονται τέτοιου είδους δεδομένα και έχουν σκοπό την πληροφόρηση του χρήστη – παρατηρητή. Αξίζει να αναφερθεί όμως, ότι πολλά από τα δεδομένα πέρα από τη χωρική συνιστώσα που διαθέτουν, περιλαμβάνουν και πληροφορία η οποία σχετίζεται με το χρόνο, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα της μελέτης διάφορων φαινομένων σε διάφορες χρονικές στιγμές. Απαραίτητο για την αξιολόγηση της χρονικής πληροφορίας των δεδομένων είναι να μπορεί να απεικονιστεί η χρονική συνιστώσα, καθώς γεωχωρικά δεδομένα τα οποία περιλαμβάνουν τη χρονική συνιστώσα δημιουργούν ιδιαίτερες προκλήσεις στον κλάδο/τομέα της οπτικοποίησης (Kjellin κ.ά., 2010).

Η χρονική διάσταση είναι πολύ σημαντική στη γεω-οπτικοποίηση και για αυτό τα δεδομένα που περιέχουν την χρονική πληροφορία, μπορούν να απεικονιστούν με πολλούς τρόπους. Ένας από αυτούς είναι οι χάρτες, οι οποίοι ουσιαστικά είναι διδιάστατες απεικονίσεις, καθώς αποτελούν τον πιο διαδεδομένο τρόπο αναπαράστασης της χρονικής πληροφορίας. Ωστόσο υπάρχει και η δυνατότητα αναπαράστασης των δεδομένων αυτών σε τρισδιάστατη απεικόνιση και πιο συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια συνηθίζεται να χρησιμοποιείται για την τρισδιάστατη απεικόνιση η μέθοδος του

χωροχρονικού κύβου ή αλλιώς με την επιστημονική της ονομασία Space-Time Cube (STC) καθώς ο κύβος περιλαμβάνει και την τρίτη διάσταση που αναφέρεται στο χρόνο.

Τα χωροχρονικά δεδομένα και ειδικότερα τα δεδομένα της ανθρώπινης κίνησης έχουν γίνει το επίκεντρο του ενδιαφέροντος αρκετών μελετών που ασχολούνται με τις γεωγραφικές πληροφορίες (Gonçalves κ.ά., 2015). Παρ' όλα αυτά, όσον αφορά τον κλάδο της «*Οπτικοποίησης της Χωροχρονικής Πληροφορίας*» ο οποίος στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται με το όνομα 'SpatioTemporal Visualization' δεν είναι πάρα πολλά τα λογισμικά εκείνα τα οποία έχουν τη δυνατότητα να οπτικοποιούν τη χρονική συνιστώσα των δεδομένων αυτών. Όμως αρκετές εφαρμογές στον τομέα της γεωγραφικής πληροφορίας τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούν ως τεχνική αναπαράστασης των δεδομένων την μέθοδο του χωροχρονικού κύβου η οποία πλέον αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους οπτικοποίησης της χωροχρονικής πληροφορίας καθώς επίσης και το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας.

Ο συγκεκριμένος κλάδος ωστόσο έχει διάφορους επιμέρους τομείς με τους οποίους μπορεί να ασχοληθεί κανείς. Ένας από αυτούς, με τον οποίο θα ασχοληθούμε στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία είναι η 'Οπτικοποίηση της Κίνησης' ('Movement Visualization'). Γενικά υπάρχουν δεδομένα που περιγράφουν τις κινήσεις διάφορων αντικειμένων στο χώρο, τα οποία αποκαλούνται τροχιές (Demšar και Virrantaus, 2010) και οι οποίες ουσιαστικά, όταν αναφερόμαστε στον πραγματικό κόσμο πρόκειται για μία σειρά από θέσεις για τις οποίες γνωρίζουμε τις συντεταγμένες τους (χώρος – space) και την αντίστοιχη χρονική στιγμή (χρόνος – time). Και αυτά τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν είτε μέσω διδιάστατων χαρτών είτε μέσω του χωροχρονικού κύβου, μέσω του οποίου οι αναλυτές μπορούν παρατηρήσουν τα χωρικά και χρονικά τους χαρακτηριστικά (Filho κ.ά., 2020). Μία ευρέως γνωστή και χρησιμοποιημένη μέθοδος αναπαράστασης των τροχιών είναι τα Χώρο-Χρονικά Μονοπάτια (Space-Time Paths (STPs), τα οποία ουσιαστικά αναπαριστούν τις κινήσεις των αντικειμένων στον χώρο και στον χρόνο αντίστοιχα (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Ενδεικτική αναπαράσταση τροχιών στο περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου (Πηγή: Evaluating an Immersive Space-Time Cube Geovisualization for Intuitive Trajectory Data Exploration – Jorge A. Wagner Filho, Wolfgang Stuerzlinger, Luciana Nedel, 2020)

Γενικά η οπτικοποίηση της πληροφορίας αλλά και των δεδομένων είναι ένα ενδιαφέρον θέμα στην Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας και σε παρεμφερείς κλάδους, ενώ έχει αυξηθεί η χρήση της τεχνικής αυτή σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, όπως είναι για παράδειγμα η κίνηση των αντικειμένων στον αέρα, στον χώρο αλλά και στο νερό (Ζου κ.ά., 2021). Παρ’ όλα αυτά, με την ξαφνική εμφάνιση των μεγάλων συνόλων δεδομένων κίνησης, οι παραδοσιακές μέθοδοι οπτικοποίησης εξάγουν πολύπλοκα και δύσκολα προς την κατανόηση συμπεράσματα (ibid).

Αξίζει να τονιστεί πως είναι σημαντική η επίδραση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Geographic Information Systems – GIS) στις μέρες μας όσον αφορά τον τομέα των χωροχρονικών δεδομένων λόγω των τεράστιων δυνατοτήτων που προσφέρουν και των χαρακτηριστικών που διαθέτουν μέσω διάφορων εργαλείων, τα οποία βοηθάνε στο να εξαχθούν σωστά και έγκυρα συμπεράσματα μέσα από την αναπαράσταση αυτών. Και αυτό γιατί ποικίλουν οι τρόποι που μπορούν να απεικονιστούν τέτοιου είδους δεδομένα καθώς και η εξερεύνηση αυτών από διάφορες «οπτικές γωνίες».

Για το λόγο αυτό, με βάση όσα προαναφέρθηκαν, η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία θα εστιάσει στην αναπαράσταση τροχιών από δεδομένα κίνησης σε δύο περιβάλλοντα απεικόνισης και πιο συγκεκριμένα ένα διδιάστατο και ένα τρισδιάστατο περιβάλλον, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων από τις αναπαραστάσεις αυτές στα περιβάλλοντα αυτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία σύντομη αναφορά στο αντικείμενο και το στόχο της μεταπτυχιακής εργασίας και επίσης θα γίνει μία σύντομη αναφορά στο περιεχόμενο των κεφαλαίων από τα οποία αποτελείται η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία.

1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το γενικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας έγκειται στην αναπαράσταση – οπτικοποίηση χωροχρονικών δεδομένων σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Το περιβάλλον αυτό πρόκειται για τον Χωρο-χρονικό Κύβο ή (Space-Time Cube), ο οποίος αποτελεί μία μέθοδο που τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται ως μέθοδος αναφοράς για πολλούς ερευνητές στον κλάδο των χωροχρονικών δεδομένων. Ο απώτερος στόχος της εργασίας είναι ουσιαστικά να δει κανείς σε ερευνητικό επίπεδο, πως αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι τις πληροφορίες που περιέχουν τα δεδομένα σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον και πως αντιλαμβάνονται τις ίδιες πληροφορίες σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον. Με άλλα λόγια ο σκοπός της εργασίας αφορά στην αξιολόγηση μίας δυναμικής δισδιάστατης χωροχρονικής απεικόνισης και μίας διαδραστικής τρισδιάστατης χωροχρονικής απεικόνισης δεδομένων τροχιάς οχημάτων. Για το σκοπό αυτό οι δύο κύριοι συντελεστές που λαμβάνονται πάντα υπόψη στις περισσότερες έρευνες που διεξάγονται αλλά και που έχουν διεξαχθεί ως προς το αντικείμενο, είναι α) ο χρόνος απόκρισης που χρειάζονται οι άνθρωποι για να καταλάβουν αυτό που βλέπουν στην οθόνη και β) το ποσοστό ορθότητας των απαντήσεων ή αλλιώς ποσοστό σωστών απαντήσεων, το οποίο δείχνει αν έχουν καταλάβει στην πραγματικότητα αυτό που αναπαρίσταται μέσω ερωτήσεων ή ασκήσεων που διατυπώνονται για αυτόν το σκοπό.

Τα δεδομένα κυρίως που χρησιμοποιούνται για αυτούς τους σκοπούς είναι δεδομένα τα οποία περιέχουν την πληροφορία του χρόνου και αυτό γιατί μία τρισδιάστατη αναπαράσταση χρειάζεται όπως είναι γνωστό την πληροφορία του χρόνου για να μπορέσουν αυτά να απεικονιστούν σε τρισδιάστατη μορφή. Τα δεδομένα αυτά

ονομάζονται χωρο-χρονικά δεδομένα και κατά κύριο λόγο σε όποιες μελέτες έχουν χρησιμοποιηθεί αφορούν σε αναπαράσταση αυτών και όχι τόσο σε ανάλυση, είτε είναι ποσοτική είτε στατιστική. Στη διεθνή βιβλιογραφία ο τομέας αυτός αναφέρεται με το όνομα «**Spatiotemporal Visualization**» και τα τελευταία χρόνια αυξάνονται ολοένα και περισσότερο οι έρευνες που διεξάγονται και χρησιμοποιούν τα δεδομένα αυτά, οι οποίες επεκτείνονται και έξω από το φάσμα των GIS.

Η βασική διαφορά της εργασίας αυτής με υπόλοιπες εργασίες που έχουν γίνει σχετικά με αξιολογήσεις του χωρο-χρονικού κύβου ως προς ένα δισδιάστατο περιβάλλον, είναι το δισδιάστατο περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία αυτή. Και αυτό γιατί στη συγκεκριμένη περίπτωση το 2D λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε πρόκειται για ένα Online λογισμικό και όχι για κάποιο Desktop λογισμικό, έτσι ώστε να μπορεί να υπάρξει εύκολα πρόσβαση από τον οποιονδήποτε χρήστη. Ο λόγος για το ArcGIS Online του οποίου το περιβάλλον είναι διαδραστικό και δυναμικό αλλά και αρκετά φιλικό ταυτόχρονα ως προς τον χρήστη.

Η δεύτερη διαφορά της εργασίας αφορά τον τρόπο με τον οποίο με τον οποίο έγινε η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του πειράματος. Συνήθως στις περισσότερες έρευνες χρησιμοποιείται για την ανάλυση των αποτελεσμάτων η στατιστική μέθοδος 'ANOVA', όμως στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν δύο στατιστικές μέθοδοι για τον έλεγχο της κατανομής των δειγμάτων του πειράματος και μία θεωρητική μέθοδος, η οποία μετράει την ευχρηστία ενός συστήματος, που στην προκειμένη περίπτωση το σύστημα πρόκειται για μία οπτικοποίηση, μέσα από ένα σύνολο ερωτήσεων που έχουν να κάνουν με το πόσο δυσκόλεψε ή διευκόλυνε τους χρήστες η οπτικοποίηση, και κατά πόσο ουσιαστικά ήταν αποτελεσματικό το πείραμα. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται στη διεθνή βιβλιογραφία 'System Usability Scale' ή αλλιώς SUS. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην εργασία αυτή έγινε και ποιοτική ανάλυση και ποσοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων, που συνηθίζεται να γίνεται στις περισσότερες έρευνες.

Τα υπόλοιπα κεφάλαια της μεταπτυχιακής εργασίας δομούνται ως εξής: Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μία εκτενής ανασκόπηση στις ενότητες από τις οποίες αποτελείται η εργασία, αναφέροντας αντίστοιχες μελέτες και έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με το αντικείμενο της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής εργασίας, αλλά και για τα χωροχρονικά δεδομένα γενικότερα. Επιπλέον γίνεται αναφορά στα λογισμικά που υποστηρίζουν την υλοποίηση του κύβου. Στο **Κεφάλαιο 3**, παρουσιάζεται η εμπειρική έρευνα που έχει διεξαχθεί, παρουσιάζοντας πρώτα τα δεδομένα καθώς και τα δύο λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν στην εμπειρική έρευνα, αναφέροντας σε ποιο λογισμικό αποφασίστηκε να γίνει η υλοποίηση του κύβου. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό θα διατυπωθούν τα κατάλληλα ερωτήματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εμπειρική έρευνα και θα αναφερθεί το λογισμικό εκείνο που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή της έρευνας και στο οποίο διαμορφώθηκε το ερωτηματολόγιο. Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεξαγωγή του πειράματος, παραθέτοντας τα κατάλληλα διαγράμματα και γραφήματα, καθώς και τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε και τέλος στο **Κεφάλαιο 5** αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το σύνολο της εργασίας καθώς επίσης και μερικές προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

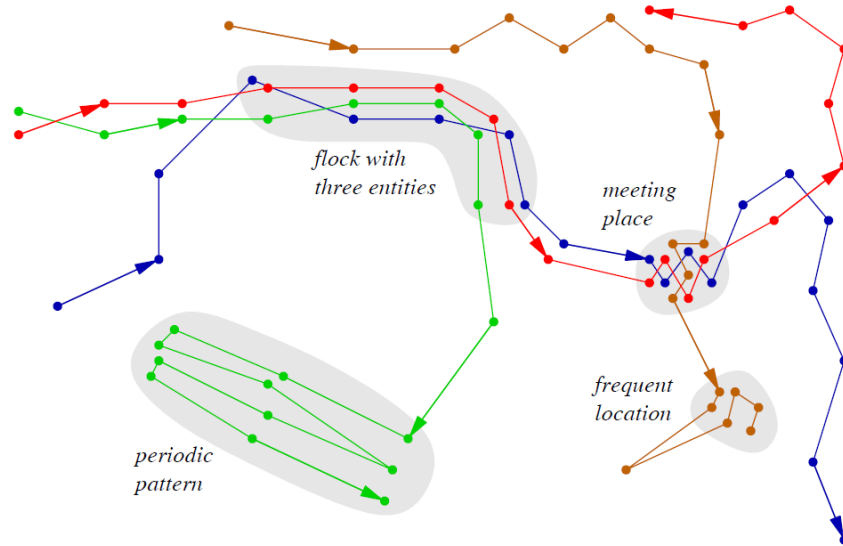
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία αναλυτική ανασκόπηση στους τομείς από τους οποίους αποτελείται η εργασία αυτή. Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη υπο-ενότητα θα γίνει μία αναφορά στον τομέα των χωροχρονικών δεδομένων όπου θα δοθεί αρχικά ο ορισμός για το τι είναι τα χωροχρονικά δεδομένα και στη συνέχεια θα γίνει μία αναφορά σε μελέτες και έρευνες που έχουν χρησιμοποιηθεί τέτοιου είδους δεδομένα. Στη συνέχεια στην δεύτερη υπο-ενότητα, θα γίνει μία αναφορά στον χωροχρονικό κύβο και πιο συγκεκριμένα, στο τι είναι και γιατί χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος στην πληθώρα των περιπτώσεων για την αναπαράσταση των χωροχρονικών δεδομένων, καθώς θα γίνει αναφορά και σε μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει δισδιάστατη αναπαράσταση για τα δεδομένα αυτά. Επίσης, θα γίνει μία αναφορά στην προέλευση της μεθόδου καθώς θα αναφερθούν μερικές μελέτες στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος και θα αναφερθούν μερικά λογισμικά στα οποία μπορεί να γίνει υλοποίηση του κύβου. Τέλος στην τρίτη υπο-ενότητα θα γίνει μία αναφορά στη μοντελοποίηση της κίνησης και πιο συγκεκριμένα στα δεδομένα τροχιάς (trajectory data), τα οποία αποτελούν και το βασικό αντικείμενο της εργασίας και στην οπτικοποίηση αυτών καθώς θα δοθεί ένας γενικός ορισμός για το τι είναι τα δεδομένα αυτά και σε τι εφαρμογές χρησιμοποιούνται.

2.2. ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ

2.2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Με τον όρο χωροχρονικά δεδομένα νοούνται τα δεδομένα τα οποία σχετίζονται με τον χρόνο και τον χώρο και πως τα δεδομένα αυτά μεταβάλλονται στην πορεία του χρόνου. Τα δεδομένα αυτά αναφέρονται σε οντότητες των οποίων οι κινήσεις τους περιγράφονται από τις τροχιές τους σε βάθος χρόνου (Gudmundsson κ.ά., 2008). Πιο γενικά θα μπορούσε να τα δει κανείς ως μοτίβα τα οποία περιγράφουν κάποια γεγονότα, τα οποία εκφράζονται μέσω των δεδομένων που τα εκπροσωπούν.

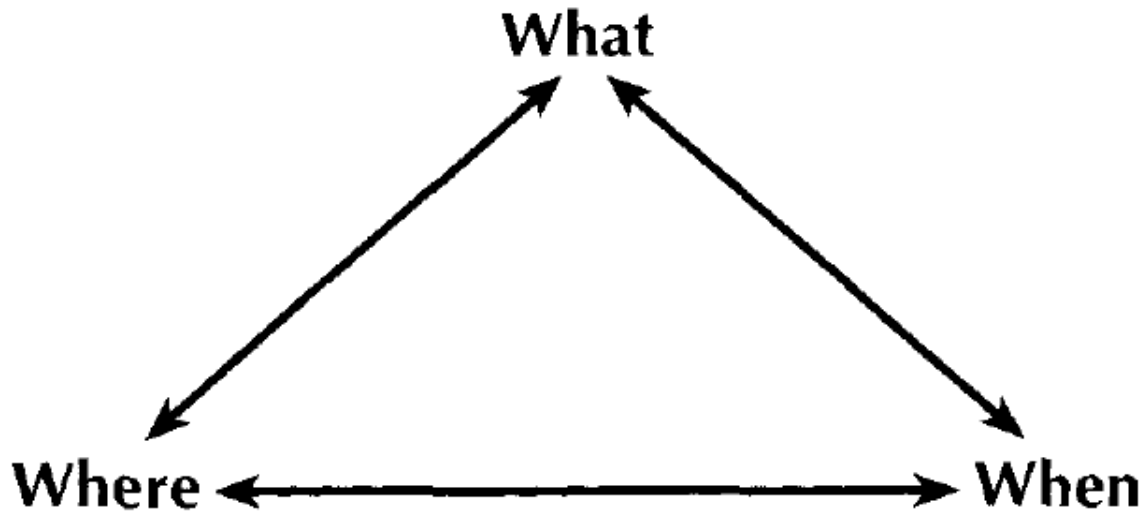


Εικόνα 2: Αναπαράσταση της τροχιάς τεσσάρων οντοτήτων σε 20 χρονικά διαστήματα (Πηγή: Movement Patterns in Spatio-Temporal Data – Joachim Gudmundsson, Patrick Laube, Thomas Wolle, 2008)

2.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Με βάση διάφορες μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν, έχει παρατηρηθεί ότι τα χωροχρονικά δεδομένα χαρακτηρίζονται από πολλές συνιστώσες. Μία από τις σημαντικότερες μελέτες που έχουν γίνει επί του θέματος ήταν αυτή της Peuquet το 1994, η οποία ασχολήθηκε με τη χωροχρονική πληροφορία και ξεχώρισε τρεις βασικές συνιστώσες οι οποίες χαρακτηρίζουν τέτοιου είδους δεδομένα. Οι συνιστώσες αυτές όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 έχουν να κάνουν με:

- ❖ **Το χώρο (where)**, δηλαδή το μέρος ή τον γεωγραφικό χώρο στον οποίο αναφέρονται τα δεδομένα,
- ❖ **Το χρόνο (when)**, δηλαδή σε ποια ή ποιες χρονικές στιγμές αναφέρονται τα δεδομένα τα οποία αναπαριστούν το γεγονός και
- ❖ **Τα αντικείμενα (what)**, δηλαδή το τι αναπαριστούν τα δεδομένα αυτά στο χώρο και στις χρονικές στιγμές τα οποία αναφέρονται.



Εικόνα 3: Οι 3 βασικές συνιστώσες των χωροχρονικών δεδομένων (Πηγή: It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems – Donna J. Peuquet, 1994)

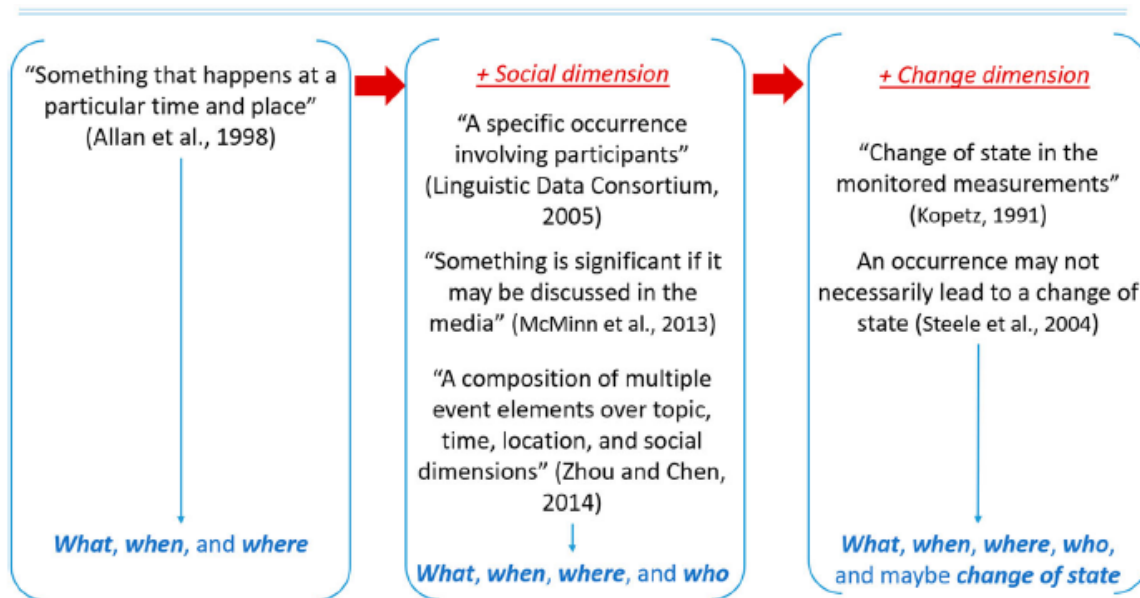
Ωστόσο τα δεδομένα αυτά πέρα από ότι αναφέρονται στον χώρο και στο χρόνο, λαμβάνουν υπόψη τους, μερικές φορές, τον ανθρώπινο παράγοντα, καθώς μπορεί σε κάποιες εφαρμογές τα γεγονότα που αναπαρίστανται να αναφέρονται σε διάφορους συμμετέχοντες. Επομένως, σε κάποιες περιπτώσεις θα προστίθεται και η **συνιστώσα 'ποιος' (who)**.

Επίσης, είναι σημαντικό να γνωρίζει κανείς ότι τα χωροχρονικά δεδομένα δεν παραμένουν αναλλοίωτα στην πορεία των χρόνων, τουλάχιστον ένα μικρό ποσοστό αυτών παραμένει και αυτό διότι υφίστανται διάφορες αλλαγές είτε αυτές οφείλονται σε φυσικά αίτια είτε σε ανθρώπινη παρέμβαση. Για το λόγο αυτό έχει παρατηρηθεί ότι οι αλλαγές που μπορούν να συμβούν σε βάθος χρόνου (Andrienko κ.ά., 2003) έχουν να κάνουν με:

- Αλλαγές ως προς την υφιστάμενη κατάσταση, δηλαδή να εμφανιστεί μία καινούργια οντότητα ή να εξαφανιστεί μία υπάρχουσα οντότητα.
- Αλλαγές ως προς τις χωρικές ιδιότητες και πιο συγκεκριμένα αλλαγές στη θέση, στον προσανατολισμό, στο μέγεθος, στη γεωμετρία μιας οντότητας κ.α.
- Αλλαγές ως προς τις θεματικές ιδιότητες και πιο συγκεκριμένα αλλαγές στη χρήση που χαρακτηρίζει τη λειτουργία της οντότητας.

Επομένως μία ακόμη συνιστώσα που προκύπτει με βάση τις αλλαγές αυτές είναι η **συνιστώσα ‘αλλαγή της κατάστασης’ (change of state)**.

Με βάση όλα τα παραπάνω εν τέλει, συμπεραίνεται ότι δεν υπάρχει αποκλειστικά ένας μόνο ορισμός για το τι σημαίνει ‘χωροχρονικό γεγονός’, καθώς ανάλογα και με την εφαρμογή που χρησιμοποιούνται τα δεδομένα αυτά μπορεί να μην υπάρχουν όλες οι παραπάνω συνιστώσες. Έτσι μπορεί σε μία εφαρμογή πέρα από τις τρεις βασικές συνιστώσες (when, where, what) που θα υπάρχουν πάντα, να μην υπάρχει η συνιστώσα ‘αλλαγή της κατάστασης’ ή μπορεί να υπάρχει εφαρμογή που να περιλαμβάνει και τις πέντε συνιστώσες (when, where, what, who, change of state). Άρα εν κατακλείδι, βάσει αυτών των περιπτώσεων διακρίνονται τρεις ορισμοί για το τι σημαίνει χωροχρονικό γεγονός:



Εικόνα 4: Ορισμοί Χωροχρονικού Γεγονότος (Πηγή: Spatiotemporal event detection: a review – Manzhu Yu, Myra Bambacus, Guido Cervone, Keith Clarke, Daniel Duffy, Qunying Huang, Jing Li, Wenwen Li, Zhenlong Li, Qian Liu, Bernd Resch, Jingchao Yang & Chaowei Yang, 2020)

2.2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

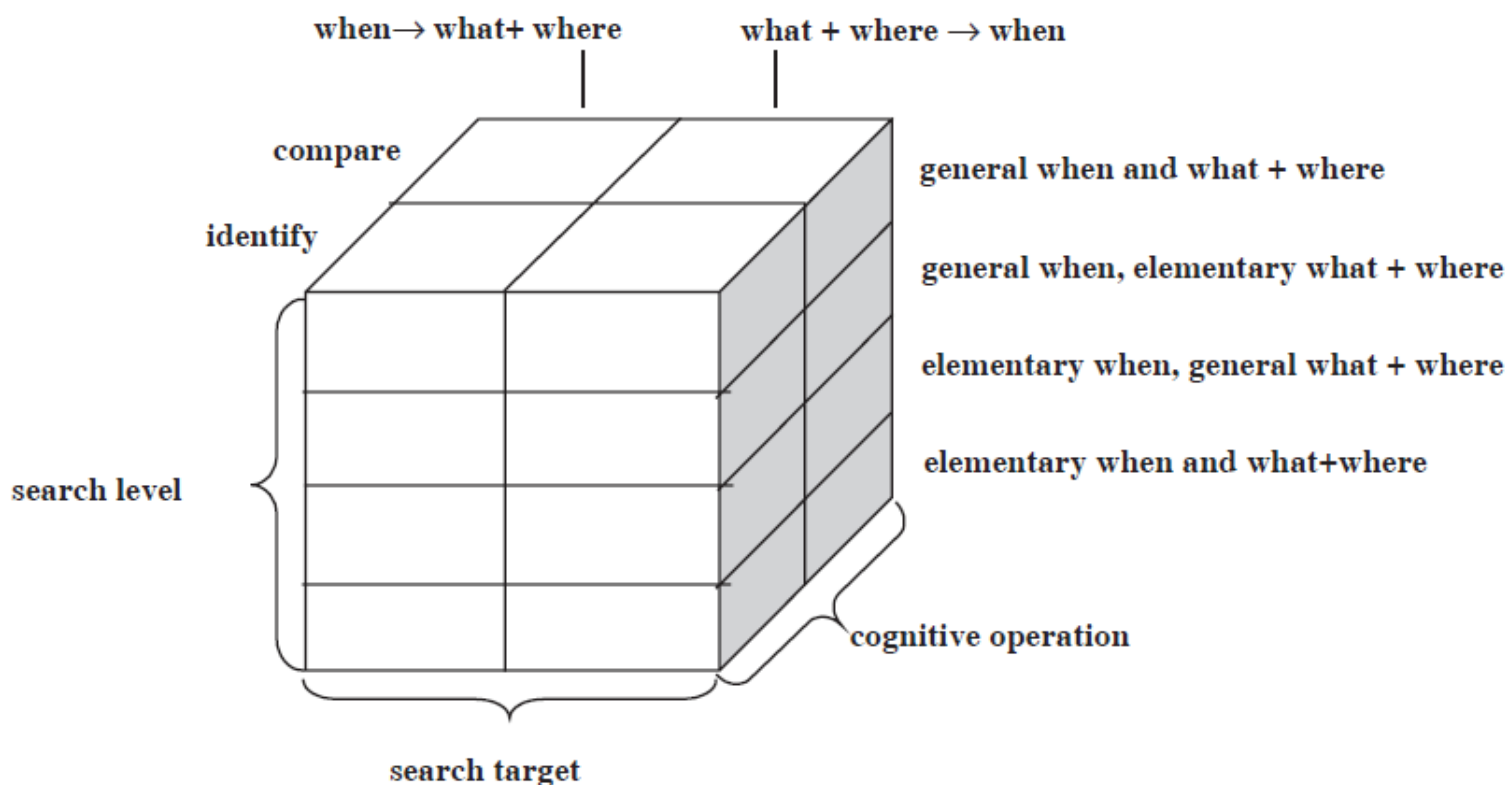
Για την αναπαράσταση τέτοιου είδους δεδομένων υπάρχουν πάρα πολλές τεχνικές ή μέθοδοι, όμως παίζει πολύ σημαντικό ρόλο η παράμετρος του χρόνου ή του χώρου ακόμα και των θεματικών χαρακτηριστικών για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου (Gatalsky κ.ά., 2004). Σύμφωνα με την Reuquet, τα ερωτήματα που μπορούν να διατυπωθούν σχετικά με τα χαρακτηριστικά των χωροχρονικών δεδομένων χωρίζονται σε τρία είδη (ibid):

- A. When (Χρόνος) + Where (Χώρος) → What (Αντικείμενα): Τέτοιου είδους ερωτήσεις περιγράφουν ένα σύνολο αντικειμένων που υπάρχουν σε μία ή περισσότερες θέσεις στο χώρο, σε μία ή περισσότερες χρονικές στιγμές.
- B. When (Χρόνος) + What (Αντικείμενα) → Where (Χώρος): Οι ερωτήσεις αυτές περιγράφουν το σύνολο των θέσεων στο χώρο που καταλαμβάνονται από ένα σύνολο αντικειμένων, σε μία ή περισσότερες χρονικές στιγμές.
- C. Where (Χώρος) + What (Αντικείμενα) → When (Χρόνος): Πρόκειται για ερωτήσεις οι οποίες περιγράφουν το σύνολο των χρονικών στιγμών στις οποίες ένα σύνολο αντικειμένων καταλαμβάνει κάποια θέση στο χώρο.

Ωστόσο πολλές φορές σε οποιοδήποτε ζήτημα, μετράει και από ποια πλευρά μελετάει κανείς το θέμα. Ο Bertin το 1983 είχε αναφέρει ότι οι ερωτήσεις που δημιουργούνται από τους παρατηρητές εξαρτώνται από τις συνιστώσες τις οποίες κανείς μελετά, καθώς διαφορετικές ερωτήσεις προκύπτουν όταν κάποιος μελετάει το συγκεκριμένο θέμα ως προς τον χρόνο και διαφορετικές ερωτήσεις προκύπτουν όταν μελετάει τον χώρο. Επομένως σύμφωνα με τον Bertin, αν εστιάσει κανείς στη χρονική συνιστώσα των χωροχρονικών δεδομένων διακρίνονται 2 επίπεδα ανάγνωσης: i) **το γενικό (general)** και ii) **το ειδικό (elementary)**.

Όπως καταλαβαίνει κανείς, το ειδικό κομμάτι εστιάζει σε ερωτήσεις που αφορούν πιο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά των δεδομένων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές και τοποθεσίες, ενώ το γενικό κομμάτι εστιάζει περισσότερο σε ερωτήσεις που αφορούν πιο γενικά χαρακτηριστικά του φαινομένου, όπως είναι για παράδειγμα η συμπεριφορά του φαινομένου στην πορεία των χρόνων, ή η κατανομή του φαινομένου στον χώρο κτλ. (Gatalsky κ.ά., 2004). Με βάση αυτή τη διάκριση επομένως προκύπτουν τα παρακάτω τέσσερα είδη ερωτήσεων, όπως φαίνονται και στην Εικόνα 5:

- A. Ειδικό 'When' και ειδικό 'What and Where': Οι ερωτήσεις αυτές αφορούν τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου σε μία θέση σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- B. Ειδικό 'When' και γενικό 'What and Where': Οι ερωτήσεις αυτές αφορούν ουσιαστικά την κατάσταση που επικρατεί σε μία τοποθεσία, σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- C. Γενικό 'When' και ειδικό 'What and Where': Οι ερωτήσεις αυτές περιγράφουν τη συμπεριφορά των χαρακτηριστικών ενός αντικειμένου σε μία θέση στην πάροδο του χρόνου.
- D. Γενικό 'When' και γενικό 'What and Where': Οι ερωτήσεις αυτές περιγράφουν την συμπεριφορά της υπό εξεταζόμενης κατάστασης σε μία θέση, στην πάροδο του χρόνου.



Εικόνα 5: Τα είδη ερωτημάτων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες τεχνικές αναπαράστασης των δεδομένων (Πηγή: Exploratory spatio-temporal visualization: an analytical review – Natalia Andrienko, Gennady Andrienko, Peter Gatalsky, 2003)

2.2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, οι τεχνικές που υπάρχουν για την αναπαράσταση τέτοιων δεδομένων είναι πολλές και μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες σύμφωνα με τους Nuija, Cook και Swayne (Andrienko κ.ά., 2003). Οι τεχνικές αυτές χωρίζονται σε:

- ✓ Τεχνικές Εστίασης, όπου οι χρήστες μπορούν να εστιάσουν στην οθόνη, να μετακινήσουν και να κάνουν περιστροφές σε επίπεδο 3D στα δεδομένα προκειμένου να πάρουν την πληροφορία που θέλουν.
- ✓ Τεχνικές Σύνδεσης, στις οποίες οι χρήστες μπορούν να συνδέσουν πολλαπλές εικόνες θέασης μεταξύ τους, προκειμένου η κάθε μεμονωμένη πληροφορία που υπάρχει σε κάθε ξεχωριστή εικόνα να ενωθεί και να γίνει μία.
- ✓ Τεχνικές Ρύθμισης, όπου οι χρήστες μπορούν να κάνουν συγκρίσεις μεταξύ των μεμονωμένων εικόνων και να τις διαχειρίζονται σε ξεχωριστά παράθυρα.

Αναφέρεται πως υπάρχουν πάρα πολλά λογισμικά τα οποία διαχειρίζονται χωροχρονικά δεδομένα και εμπεριέχουν πολλές τεχνικές για να τα αναπαραστήσουν, όπως είναι το σύστημα SraTemp το οποίο χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των υφιστάμενων αλλαγών και την οπτικοποίηση της αλλαγής της θέσης στον χώρο κάποιων δεδομένων (όσον αφορά τα χωρικά χαρακτηριστικά), καθώς επίσης και τα συστήματα TEMPEST και STEM τα οποία χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση των περιγραφικών χαρακτηριστικών των δεδομένων για επιλεγμένες τοποθεσίες σε γραφήματα χρονοσειρών. Σε επομένη ενότητα θα αναφερθούν περαιτέρω συστήματα που επεξεργάζονται τέτοια δεδομένα. Τα ερωτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν μία μέθοδο μέσω της οποίας ο χρήστης αφού επιλέξει ποιο είδος ερώτησης θα διατυπώσει μέσω του λογισμικού, του εμφανίζονται στην οθόνη τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

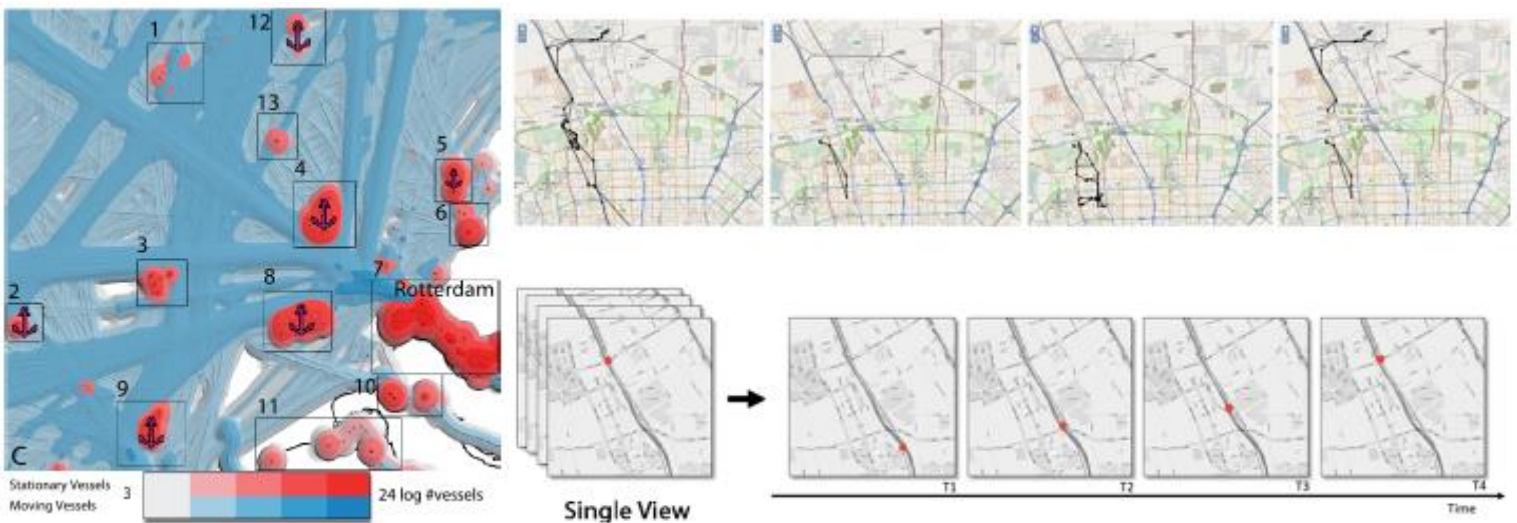
Εν συνεχεία των προηγούμενων, κατά τη διεθνή βιβλιογραφία δύο είναι οι βασικές κατηγορίες αναπαράστασης των προαναφερθέντων δεδομένων (Kjellin κ.ά., 2010) οι οποίες ενσωματώνουν τις παραπάνω τεχνικές αναπαράστασης, οι δύο εκ των οποίων μπορούν να ενσωματωθούν σε μία κατηγορία. Οι δύο κατηγορίες είναι:

1. Οι Δισδιάστατοι Χάρτες (2D Maps), στην οποία κατηγορία ενσωματώνεται και η μέθοδος αναπαράστασης των δεδομένων με κινούμενες εικόνες (Animations) και
2. Ο χωρο-χρονικός κύβος (Space-Time Cube), ο οποίος αναπαριστά τον χρόνο ως 3η διάσταση και για τον οποίο θα γίνει εκτενής ανασκόπηση στο δεύτερο κεφάλαιο.

Με βάση τα παραπάνω, η πρώτη κατηγορία ενσωματώνει μόνο τις τεχνικές σύνδεσης και ρύθμισης, διότι όπως γίνεται αντιληπτό οι χάρτες απεικονίζονται στο οριζοντιογραφικό σύστημα X-Y, ενώ η δεύτερη κατηγορία ενσωματώνει και τις τρεις τεχνικές δεδομένου ότι παρέχεται και η πληροφορία του χρόνου, που είναι ο άξονας Z.

❖ Δισδιάστατοι Χάρτες (2D Maps)

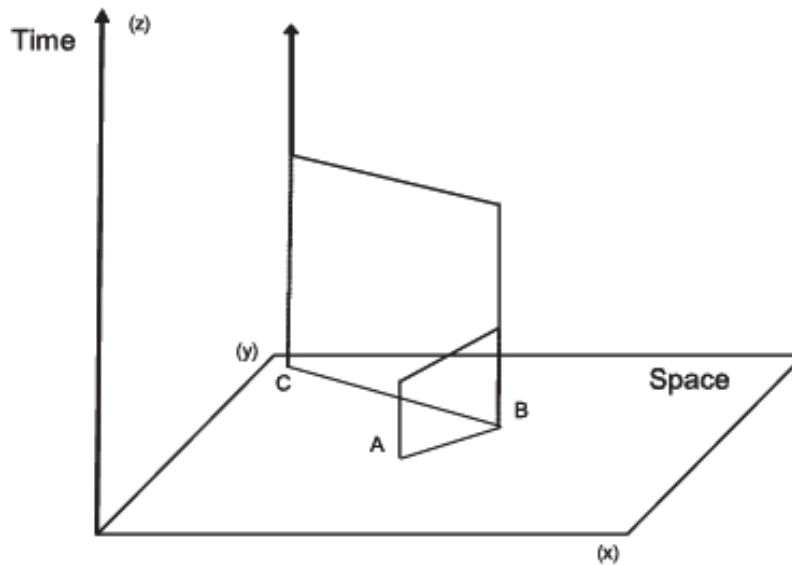
Η κατηγορία αυτή αποτελεί για πολλούς ερευνητές – μελετητές την πιο διαδεδομένη μέθοδο αναπαράστασης χωροχρονικών δεδομένων, η οποία χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες σύμφωνα με τον Kraak και τους συνεργάτες τους (Sequeira, 2014): α) στους απλούς χάρτες, β) στους πολλαπλούς χάρτες και γ) στους χάρτες αναπαράστασης κινούμενης εικόνας. Οι απλοί χάρτες είναι ουσιαστικά χάρτες οι οποίοι αναπαριστούν διάφορα φαινόμενα σε δύο διαστάσεις (x,y), ενώ οι πολλαπλοί χάρτες αναπαριστούν ένα σύνολο φαινομένων στον ίδιο χάρτη τοποθετώντας τον έναν δίπλα στον άλλον. Οι χάρτες αναπαράστασης κινούμενης εικόνας αναπαριστούν ένα φαινόμενο σε διαδοχικές χρονικές στιγμές και κάθε φορά απεικονίζεται μία θέση αυτού σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ibid).



Εικόνα 6: Παράδειγμα Απλού Χάρτη (Αριστερά), Πολλαπλού Χάρτη (Πάνω Δεξιά) και Χάρτη Αναπαράστασης Κινούμενων Σχεδίων (Κάτω Δεξιά) – (Πηγή: Spatio-Temporal Visualizer: Online tool to visualize trajectory data using a time-window – Hugo Sequeira, 2014)

❖ Χωροχρονικός Κύβος (STC)

Η κατηγορία αυτή που θα αναλυθεί παρακάτω πρόκειται για μία μέθοδο, στην οποία η συνιστώσα του χρόνου είναι ορθογωνική ως προς την επιφάνεια του χάρτη κατά μήκος ενός άξονα που είναι κάθετος στην επιφάνεια του χάρτη (Kjellin κ.ά., 2010), όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 7:



Εικόνα 7: Σχηματική Αναπαράσταση της επιφάνειας του κύβου – (Πηγή: Evaluating 2D and 3D Visualizations of Spatiotemporal Information – ANDREAS KJELLIN and LARS WINKLER PETTERSSON, 2010)

2.3. ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΣ ΚΥΒΟΣ

2.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην υπο-ενότητα αυτή θα γίνει μία αναφορά στον χωροχρονικό κύβο και ένας σχολιασμός των χαρακτηριστικών αυτού και πιο συγκεκριμένα, στο τι είναι και γιατί χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος στην πληθώρα των περιπτώσεων για την αναπαράσταση των χωροχρονικών δεδομένων. Επίσης, θα γίνει μία εκτενής ανασκόπηση στην προέλευση της μεθόδου αυτής καθώς θα αναφερθούν μερικές τεχνικές αναπαράστασης αλλά και μερικά προβλήματα που εντοπίζονται στη συγκεκριμένη τεχνική οπτικοποίησης των δεδομένων.

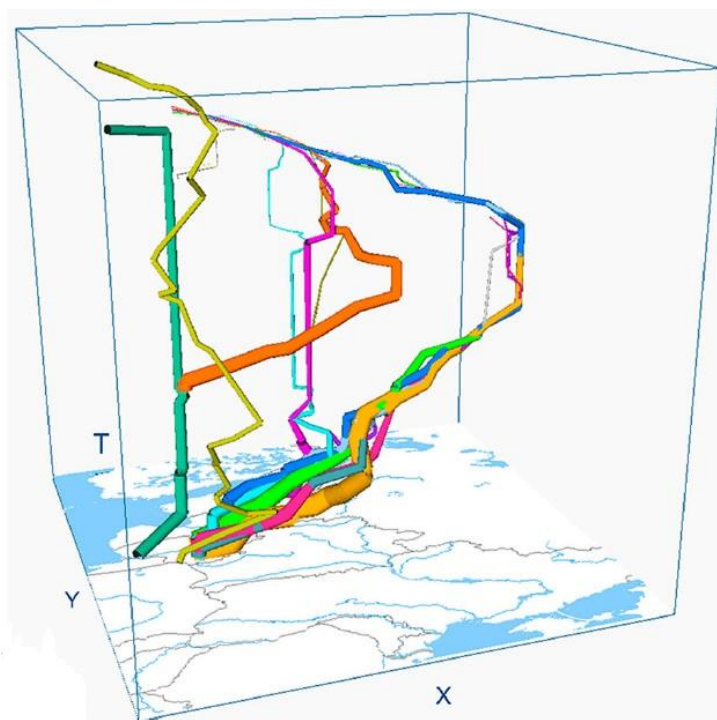
2.3.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η μέθοδος αυτή ουσιαστικά αναπαριστά τα χωροχρονικά δεδομένα σε έναν κύβο ο οποίος αποτελείται από τρεις άξονες, έναν κάθετο άξονα (άξονας z) και δύο οριζόντιους (άξονες x και y) (Bach κ.ά., 2014). Ο κάθετος άξονας χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει το χρόνο και οι άλλοι δύο ορθογωνικοί άξονες χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τον χώρο και πιο συγκεκριμένα τη θέση των αντικειμένων στο χώρο. Αυτό ουσιαστικά επιτρέπει να οπτικοποιούνται και οι τροχιές των αντικειμένων στο χώρο, οι οποίες είναι γνωστές ως Space-Time-Paths (STP) στη βιβλιογραφία.

Η μέθοδος αυτή δημιουργεί ένα τρισδιάστατο οπτικό περιβάλλον για να αναπαραστήσει διάφορα μοτίβα δεδομένων, έτσι ώστε να βοηθάει τον παρατηρητή να καταλάβει καλύτερα το πώς απεικονίζονται τα δεδομένα και το τι απεικονίζουν προκειμένου να είναι σε θέση να εξάγει τα κατάλληλα συμπεράσματα.

Ο χρήστης μέσω του υπολογιστή μπορεί να πραγματοποιήσει διάφορες δυνατότητες για να διαχειριστεί τον κύβο, όπως είναι για παράδειγμα η δυνατότητα του να περιστρέψει τον κύβο και η δυνατότητα του να εστιάσει στο τμήμα ή τμήματα που θέλει (Kristensson κ.ά., 2009).

Για να μπορέσει να αντιληφθεί κανείς το περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου, απεικονίζεται παρακάτω με τη μέθοδο αυτή η πορεία του στρατού του Ναπολέοντα στη Μόσχα την περίοδο 1812 – 1813.



Εικόνα 8: Αναπαράσταση της πορείας του στρατού του Ναπολέοντα προς τη Μόσχα την περίοδο 1812- 1813 – (Πηγή: Cartographic Design and the Space–Time Cube – Irma Kveladze, Menno-Jan Kraak & Corné P.J.M. van Elzakker, 2019)

2.3.3 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

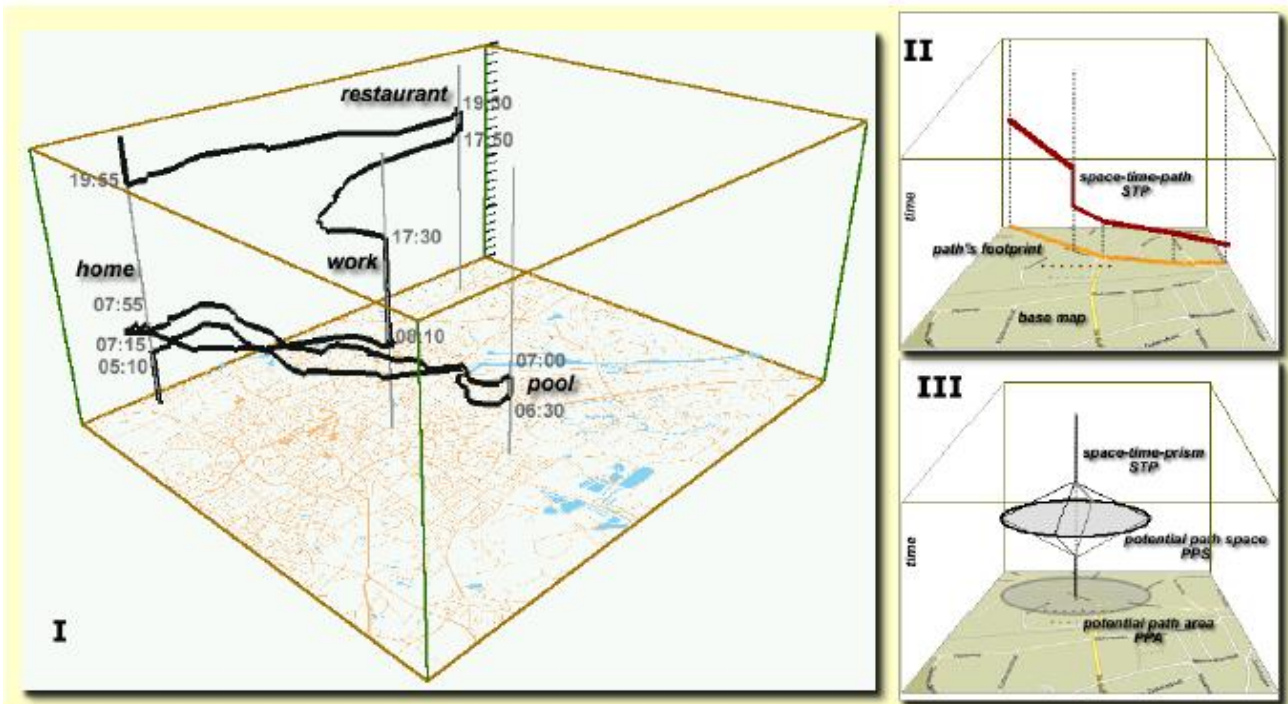
Τη μέθοδο αυτή παρουσίασε ο Hagerstrand στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και από την οπτική γωνία της οπτικοποίησης, ήταν το σημαντικότερο στοιχείο στην προσέγγιση του όσον αφορά τη γεωγραφία. Όμως την εποχή την οποία πρωτοεμφανίστηκε αυτή η μέθοδος οι δυνατότητες για τη δημιουργία γραφικών ήταν περιορισμένες σε λίγες χειροκίνητες μεθόδους, καθώς οι χρήστες μπορούσαν μόνο να χρησιμοποιήσουν την τεχνική της απλής προβολής για να παρατηρήσουν τον κύβο. Όμως αυτό στις μέρες μας, δεν αποτελεί πρόβλημα διότι υπάρχουν πάρα πολλά λογισμικά τα οποία δημιουργούν αυτόματα τον κύβο και το περιεχόμενο αυτού, όπου τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται είναι αποθηκευμένα σε διάφορες βάσεις δεδομένων.

Ο Hagerstrand στην προσέγγιση του ανέφερε πως ο χώρος και ο χρόνος είναι δύο παράγοντες οι οποίοι είναι αδιαχώριστοι. Επίσης στην προσέγγιση του ο Hagerstrand μελέτησε τη συμπεριφορά των ανθρώπων τόσο στο χώρο όσο και στον χρόνο. Έτσι όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μπορούν να απεικονιστούν και οι τροχιές των

αντικειμένων στον κύβο ή αλλιώς 'Χωροχρονικές Διαδρομές' (Space Time Paths – STP), βάσει των τριών αξόνων που διαθέτει και πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση του Hagerstrand οι τροχιές των διαδρομών των ανθρώπων για παράδειγμα σε μία μέρα. Επομένως η οπτικοποίηση των τροχιών αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην προσέγγιση του Hagerstrand. Οι εν λόγω τροχιές είναι ουσιαστικά αδιάσπαστες και δεν μπορούν να αλλάξουν ή να τροποποιηθούν διότι ο χρόνος δεν μπορεί να αναστραφεί αφού το αποτύπωμα κάθε σημείου στην διαδρομή βρίσκεται σε μία θέση σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Song κ.ά., 2021). Επιπρόσθετα, μέσω της αναπαράστασης των διαδρομών αυτών στο περιβάλλον του κύβου θα μπορούσαν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με το πόσος χρόνος χρειάζεται για να διανυθεί μια απόσταση και ποια είναι η μέση ταχύτητα που είχε το αντικείμενο στη διαδρομή αυτή. Επίσης οπτικά όσο πιο οριζόντια είναι η διαδρομή τόσο πιο γρήγορα κινείται το αντικείμενο στο χώρο, ενώ αν η διαδρομή είναι κατακόρυφη σημαίνει ότι το αντικείμενο έχει παραμείνει στάσιμο για μεγάλο χρονικό διάστημα στη συγκεκριμένη θέση. (ibid)

Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας που δόθηκε έμφαση στην προσέγγιση του Hagerstrand είναι το λεγόμενο χωροχρονικό πρίσμα (Space Time Prism) το οποίο οπτικοποιεί τον όγκο που καταλαμβάνεται σε χώρο και χρόνο στον οποίο ο άνθρωπος μπορεί ενδεχομένως να παρευρεθεί και να γυρίσει πίσω στην αρχική του τοποθεσία από την οποία ξεκίνησε.

Ένα παράδειγμα της μελέτης του απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 9: Σχήμα I: Παράδειγμα των διαδρομών του Hagerstrand σε μία μέρα στην πόλη Ενσκέντε της Ολλανδίας, Σχήμα II: Αναπαράσταση της τροχιάς και του ίχνους μίας διαδρομής, Σχήμα III: Αναπαράσταση των τοποθεσιών που μπορεί να γίνουν επισκέψιμες σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα- (Πηγή: THE SPACE-TIME CUBE REVISITED FROM A GEOVISUALIZATION PERSPECTIVE, Kraak M., 2003)

Αναφορικά με το Σχήμα III της Εικόνας, ο χώρος που σχηματίζεται γύρω από την αρχική τοποθεσία δείχνει τον πιθανό χώρο διαδρομής (Potential Path Space – PPS) και η προβολή του στο χάρτη δείχνει την πιθανή περιοχή διαδρομής (Potential Path Area – PPA). Επίσης, στο Σχήμα II, η κόκκινη κατακόρυφη γραμμή υποδηλώνει στάση στη συγκεκριμένη τοποθεσία για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Ύστερα στην πορεία των χρόνων και συγκεκριμένα κατά τις δεκαετίες 1970 και 1980 η προσέγγιση του Hägerstrand σχολιάστηκε από διάφορους άλλες μελετητές της εποχής. Σημαντική κριτική στην προσέγγιση του Hägerstrand άσκησε ο Pred το 1997, ο οποίος παρέθεσε ότι η προσέγγιση αυτή αποτελεί το πλαίσιο της επιστήμης της γεωγραφίας και είναι απλό στη σύνθεση και στο σχεδιασμό του. Όμως το πόσο εύκολο είναι να υλοποιηθεί ένα τέτοιο πλαίσιο είναι υποκειμενικό, διότι κάποιες φορές ενδέχεται να μην μπορεί να υπάρξει κάποιο διαδραστικό περιβάλλον έτσι ώστε να μπορέσουν να αναπαρασταθούν τα δεδομένα. Αυτός ήταν και ένας από τους λόγους τότε που η

μέθοδος αναπαράστασης των χωροχρονικών δεδομένων με τον χωροχρονικό κύβο δεν χρησιμοποιούταν τόσο πολύ μετά από την παρουσίαση της μεθόδου από τον Hägerstrand στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Τα τελευταία όμως χρόνια στον τομέα της γεωγραφίας υπάρχουν εφαρμογές, οι οποίες όμως έχουν αυξήσει τη χρήση της τεχνικής αυτής.

Πολλοί μελετητές βασίστηκαν τις αρχές της προσέγγισης του Hägerstrand, προκειμένου να υλοποιήσουν δικές τους ιδέες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μελέτη των Andrienko et. Al. (2003), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον χωροχρονικό κύβο για να εξερευνήσουν και να αναλύσουν την οπτικοποίηση των χωροχρονικών δεδομένων περαιτέρω εισάγοντας και άλλους παράγοντες. Όμως θα πρέπει να τονιστεί ότι ο χωροχρονικός κύβος δεν μπορεί να καλύψει όλο το εύρος των χωροχρονικών δεδομένων και δεν αποτελεί πάντα τη μοναδική λύση για την οπτικοποίηση αυτών. Για αυτό πάντα θα πρέπει σε κάθε εφαρμογή να εξετάζονται και άλλες τεχνικές οπτικοποίησης των δεδομένων και να επιλέγεται εκείνη η οποία δίνει ευδιάκριτα και κατανοητά αποτελέσματα στον παρατηρητή.

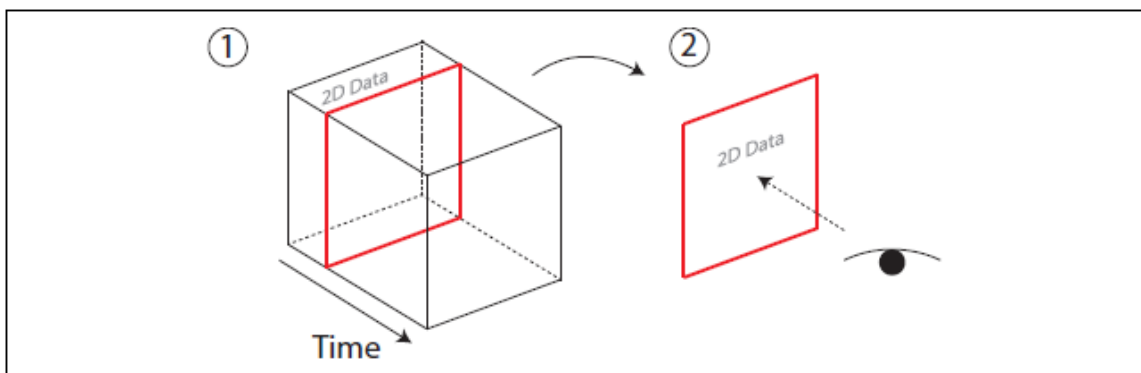
Μία άλλη σημαντική μελέτη που έγινε ήταν αυτή των Demsar και Virrantaus το 2010, οι οποίοι χρησιμοποίησαν την χωροχρονική πυκνότητα, που υπολογίζεται στο περιβάλλον του κύβου, για να επιλύσουν το πρόβλημα της επικάλυψης των τροχιών δεδομένων όταν ο όγκος των δεδομένων αυτών είναι πολύ μεγάλος με αποτέλεσμα να προκαλείται μεγάλη 'σύγχυση' στον περιβάλλον του κύβου (Zou κ.ά., 2018).

Σε επόμενη ενότητα θα αναφερθούν μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί στο πέρασμα των χρόνων που έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική του κύβου αλλά και τα χωροχρονικά δεδομένα γενικότερα.

2.3.4 ΣΤΑΤΙΚΗ ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ

Όπως έγινε κατανοητό και στις προηγούμενες ενότητες, ο χωροχρονικός κύβος έχει πάρα πολλές λειτουργίες κάτι το οποίο βοηθάει στο να απεικονίζονται καλύτερα τα χρονικά δεδομένα στην οθόνη με αποτέλεσμα να γίνεται πιο σαφές και πιο κατανοητό το τι αυτά απεικονίζουν. Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιαστούν συνοπτικά διάφορες τεχνικές στατικής οπτικοποίησης που έχουν χρησιμοποιηθεί αναδρομικά στις οποίες εμπλέκονται και οι λειτουργίες του χωροχρονικού κύβου, με τη διαφορά ότι ο χρόνος θα απεικονίζεται στον οριζόντιο άξονα από αριστερά προς τα δεξιά αντί στον κατακόρυφο. Οι πιο βασικές τεχνικές στατικής οπτικοποίησης είναι οι παρακάτω:

I. Time Cutting



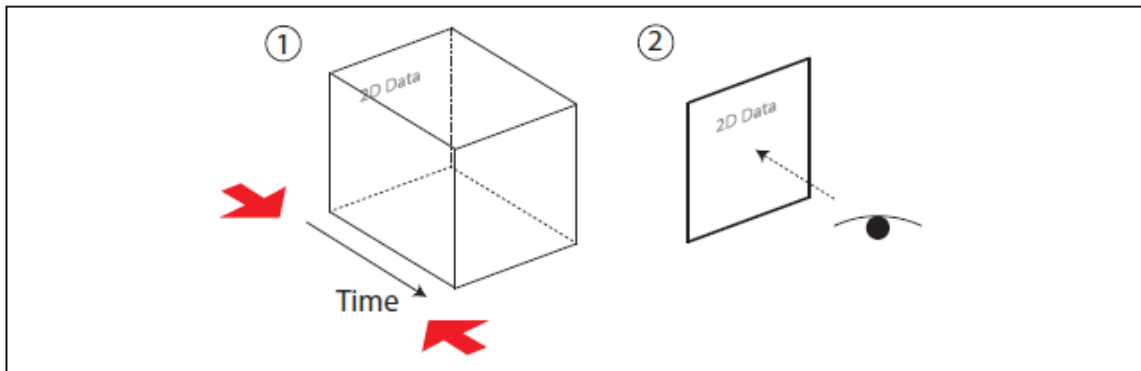
Εικόνα 10: Λειτουργία Time Cutting – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Cpendale, 2014)

Στην Εικόνα 10, στο σχήμα 1 απεικονίζεται ουσιαστικά ο κύβος με το χρονικό στιγμιότυπο το οποίο πρόκειται να εξαχθεί και στο σχήμα 2 απεικονίζεται η εικόνα που βλέπει ο παρατηρητής, η οποία είναι το συγκεκριμένο στιγμιότυπο.

Η τεχνική αυτή τις περισσότερες φορές πραγματοποιείται από κοινού μαζί με άλλες λειτουργίες καθώς υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορεί να εφαρμοστεί και σε χάρτες κινούμενης εικόνας.

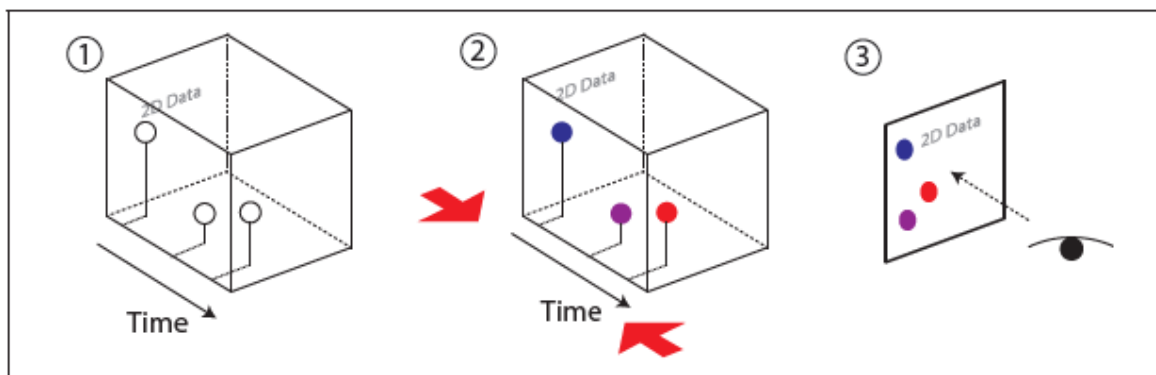
Ένα παράδειγμα της εφαρμογής αυτής της τεχνικής είναι ο χάρτης που δείχνει την πορεία του στρατού του Ναπολέοντα στη Μόσχα (απεικονίζεται παραπάνω σε προηγούμενη ενότητα αλλά με τη με τη χρήση του χωροχρονικού κύβου, βλ. Εικόνα 6).

II. Time Flattening και Colored Time Flattening



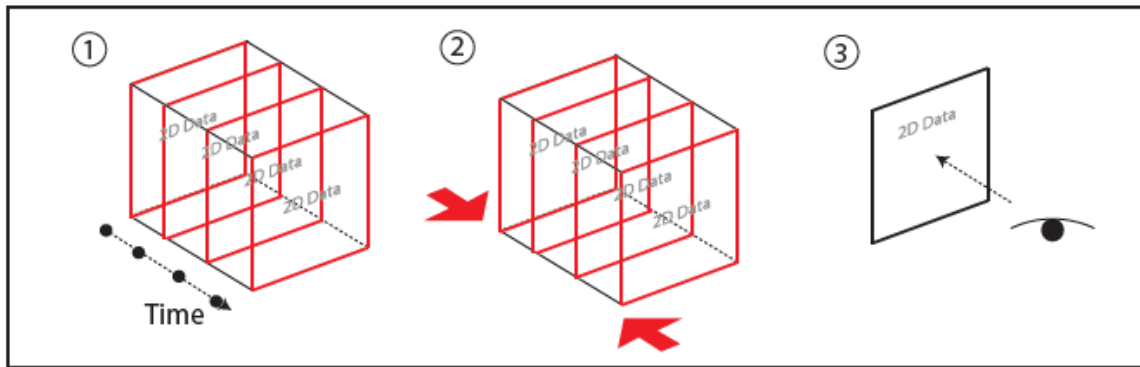
Εικόνα 11: Λειτουργία Time Flattening – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

Η τεχνική αυτή ενώνει όλα τα στιγμιότυπα από όλες τις χρονικές στιγμές έτσι ώστε ο παρατηρητής να βλέπει ως αποτέλεσμα μία δισδιάστατη εικόνα. Η τελική εικόνα που προβάλλεται περιέχει πληροφορία από διάφορες χρονικές στιγμές για ένα συγκεκριμένο γεγονός. Χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν αποκλειστικά χωρικά δεδομένα χρησιμοποιούν αυτή τη μέθοδο οπτικοποίησης, αλλά αυτό δεν σημαίνει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται απαραίτητα μόνο σε χωρικά δεδομένα. Μία άλλη παραλλαγή της μεθόδου είναι η τεχνική Colored Time Flattening όπου τα διάφορα στιγμιότυπα απεικονίζονται με κάποιο χρώμα πριν ενοποιηθούν σε μία εικόνα.



Εικόνα 12: Λειτουργία Colored Time Flattening – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

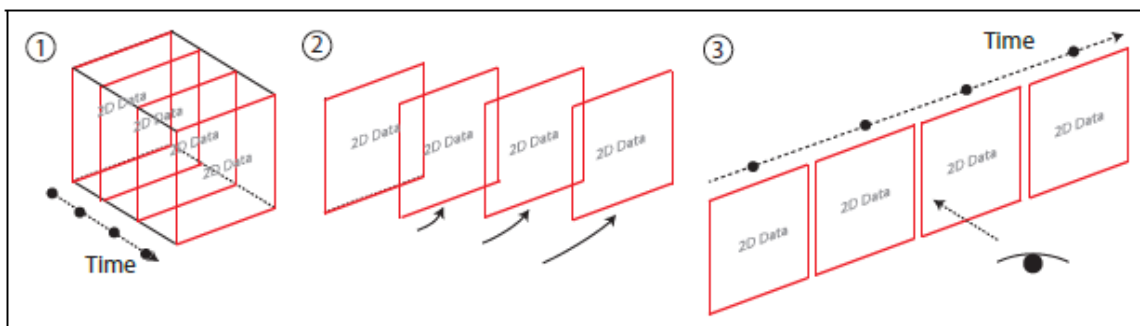
III. Discrete Time Flattening



Εικόνα 13: Λειτουργία Discrete Time Flattening – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

Η τεχνική αυτή είναι παρόμοια με αυτή της Time Flattening με τη διαφορά ότι αντί να ενωθούν όλα τα στιγμιότυπα σε μία τελική εικόνα, επιλέγονται ποια από όλα τα στιγμιότυπα θα ενωθούν προκειμένου να παραχθεί η τελική δισδιάστατη εικόνα. Σε αυτή την περίπτωση η λήψη των διάφορων στιγμιότυπων έχει γίνει σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με αποτέλεσμα να ενώνονται σε μία εικόνα και να παράγεται αυτή, ως τελικό προϊόν για το χρήστη.

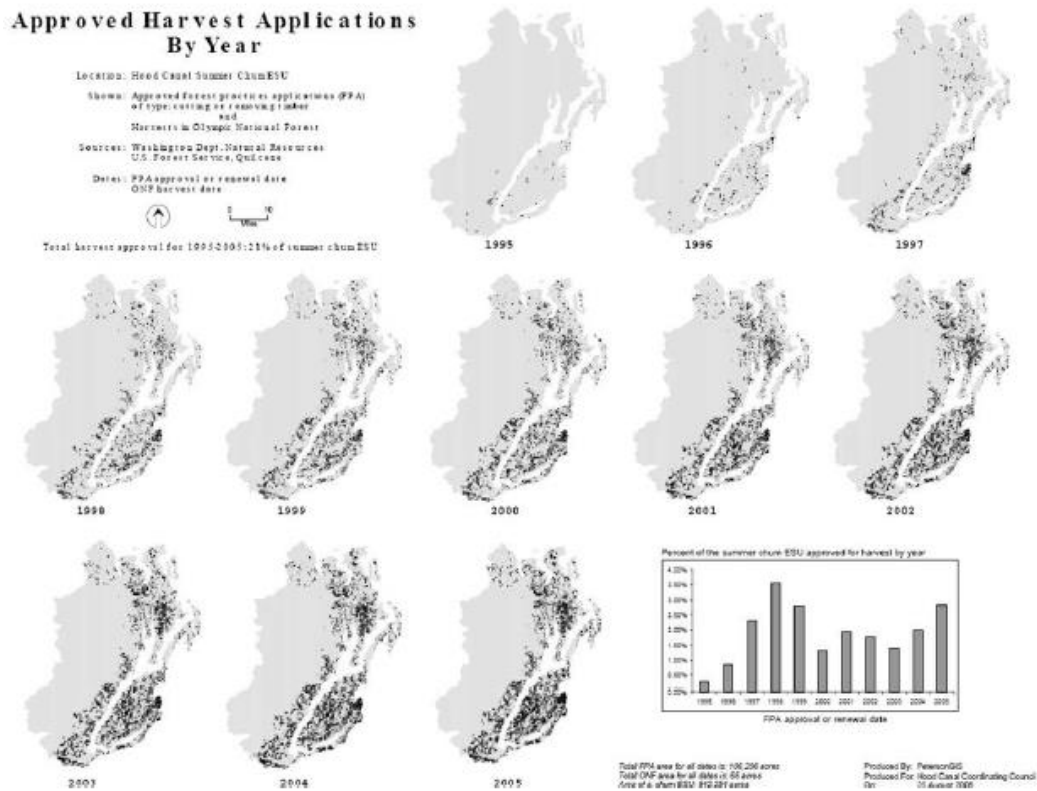
IV. Time Juxtaposing



Εικόνα 14: Λειτουργία Time Juxtaposing – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

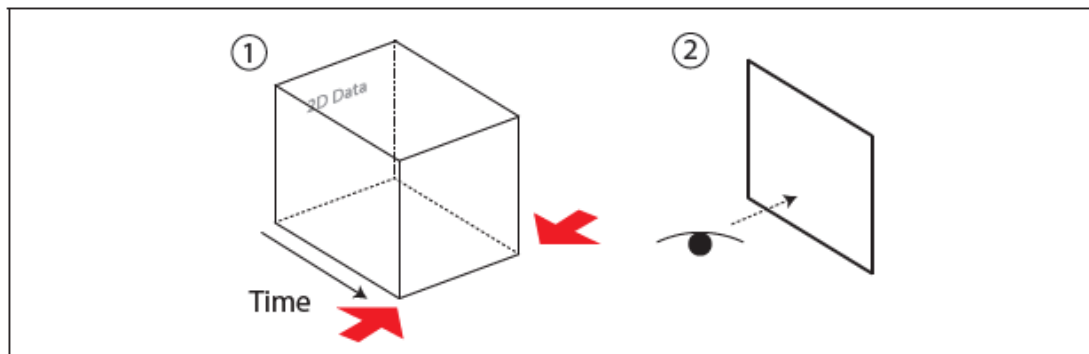
Στην τεχνική αυτή τα διάφορα στιγμιότυπα από διάφορες χρονικές στιγμές που εξάγονται, τοποθετούνται σε σειρά το ένα δίπλα στο άλλο. Η τεχνική αυτή αναπαριστά ουσιαστικά τα χρονικά δεδομένα ως τροχιές στον χώρο σε κάποιες περιπτώσεις, καθώς

σε άλλες μπορούν να αναπαρασταθούν ως δυναμικά γραφήματα, αλλά μπορούν να ιδωθούν και ως χάρτες που μεταβάλλονται στο χρόνο. Ένα παράδειγμα της τεχνικής αυτής απεικονίζεται στην Εικόνα 15:



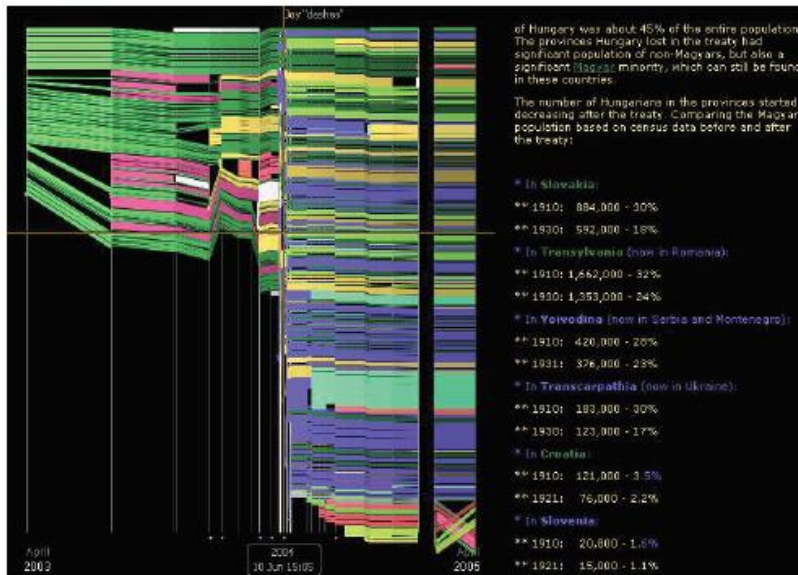
Εικόνα 15: Εφαρμογή της τεχνικής Time Juxtaposing για την αναπαράσταση δασικών εργασιών θερισμού σε βάθος 10 χρόνων – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

V. Space Flattening



Εικόνα 16: Λειτουργία Time Juxtaposing – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

Η τεχνική αυτή συρρικνώνει τον χωροχρονικό κύβο στη διεύθυνση των αξόνων που απεικονίζουν τη θέση των δεδομένων ή αλλιώς με άλλα λόγια στη διεύθυνση των αξόνων που αναφέρονται στο χώρο. Στην Εικόνα 17 απεικονίζεται ένα παράδειγμα της λειτουργίας αυτής:



Εικόνα 17: Εφαρμογή λειτουργίας Space Flattening για το ιστορικό της επεξεργασίας ενός άρθρου της Wikipedia – (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

2.3.5 ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ

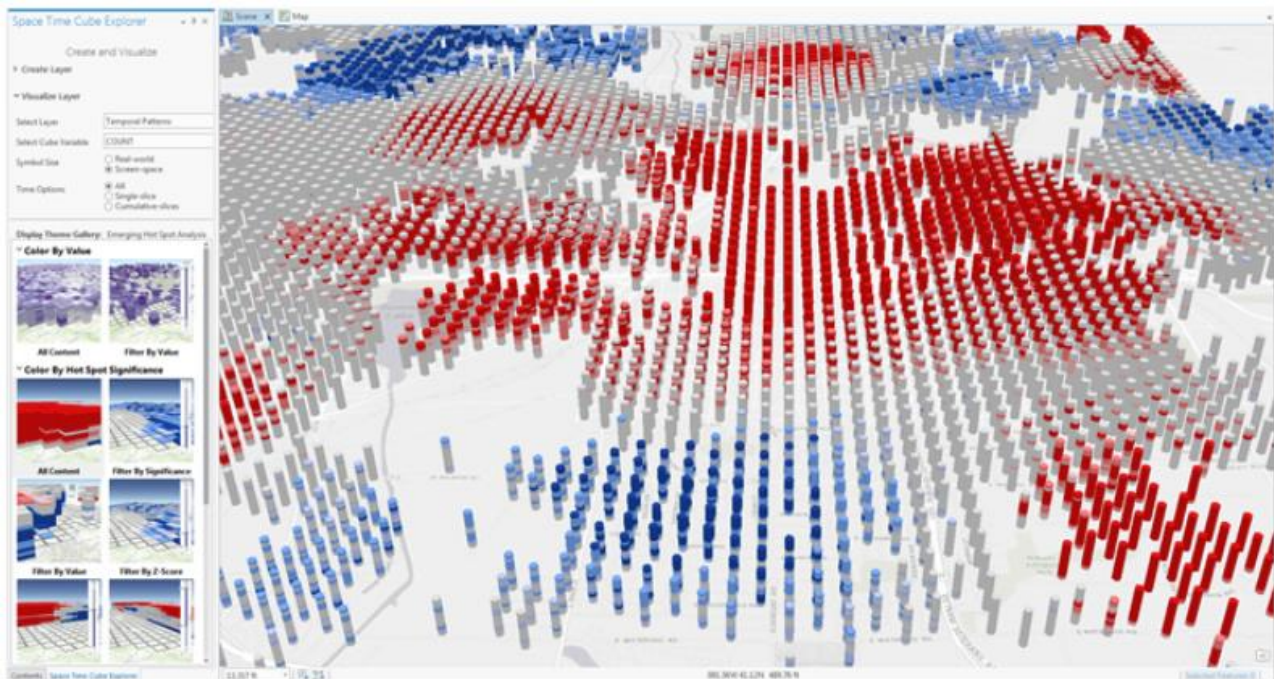
Έως και σήμερα πολλά είναι τα λογισμικά GIS (Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα), τα οποία διαχειρίζονται γεωχωρικά δεδομένα (Claudel κ.ά., 2016). Από τα υπάρχοντα λογισμικά τα δύο πιο διαδεδομένα στο ευρύ κοινό που χρησιμοποιούν τέτοια λογισμικά, δύο είναι εκείνα που ξεχωρίζουν για τις δυνατότητες και τις λειτουργίες τους ως προς τα συγκεκριμένα δεδομένα. Ο λόγος για τα:

- **ArcGIS**: Το οποίο είναι εμπορικό λογισμικό που προέρχεται από την εταιρεία ESRI.
- **QGIS**: Το οποίο είναι ανοιχτό λογισμικό και υλοποιήθηκε και αποτελεί προϊόν του οργανισμού Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).

Ωστόσο στα παραπάνω λογισμικά δεν παρέχεται η δυνατότητα υλοποίησης του χωροχρονικού κύβου. Και για αυτό το λόγο στο πέρασμα των χρόνων έχουν αναπτυχθεί

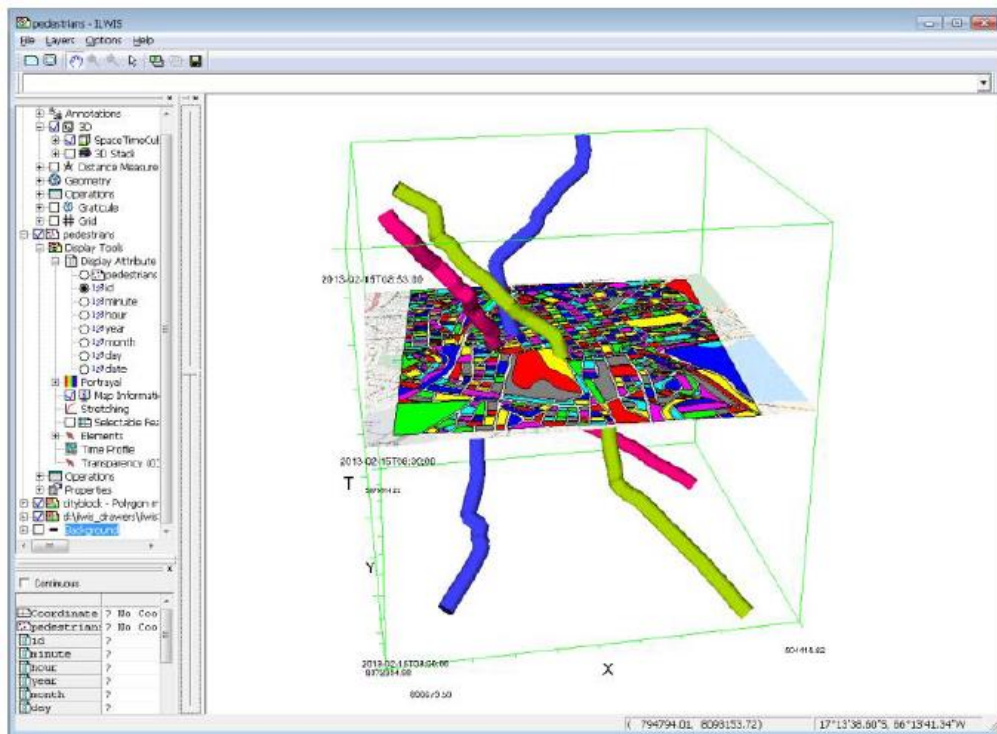
άλλα λογισμικά τα οποία διαθέτουν την λειτουργία αυτή. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικά λογισμικά, εμπορικά και ανοιχτά, τα οποία υποστηρίζουν τη δημιουργία του χωροχρονικού κύβου:

- **ArcGIS Pro:** Πρόκειται για ένα εμπορικό λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριών το οποίο υλοποιήθηκε από την εταιρεία ESRI και παρέχει τη δυνατότητα υλοποίησης του κύβου μέσω της βιβλιοθήκης 'Space Time Pattern Mining Tools'. Πιο συγκεκριμένα, η δημιουργία του κύβου μπορεί να γίνει είτε από ένα σύνολο σημείων (Create STC By Aggregating Points) είτε από προκαθορισμένες τοποθεσίες (Create STC By Defined Locations) με τον πρώτο τρόπο να αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο. Η οπτικοποίηση του κύβου γίνεται πάλι από την ίδια βιβλιοθήκη, είτε σε 2D είτε σε 3D (Visualize STC in 2D ή 3D). Τα δεδομένα μπορούν να αναφέρονται σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς, καθώς βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία του κύβου αποτελεί στα περιγραφικά χαρακτηριστικά των δεδομένων (attributes) να υπάρχει μία στήλη που να έχει format ημερομηνίας, 'Date'.



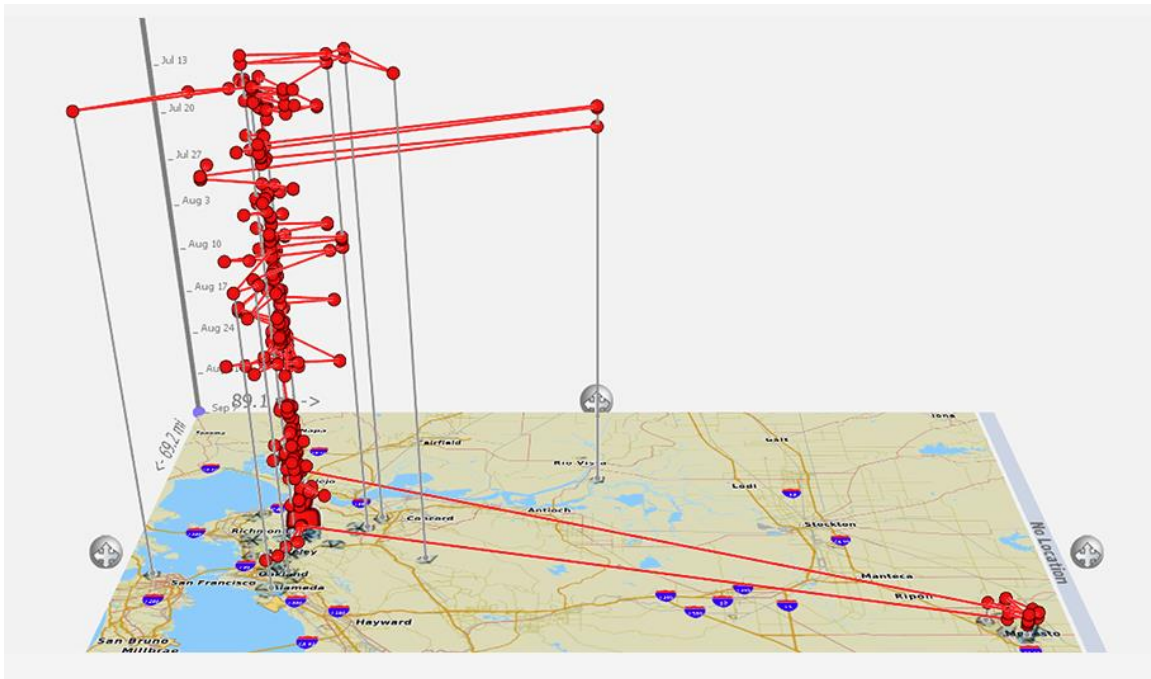
Εικόνα 18: Αναπαράσταση χωροχρονικού κύβου στο λογισμικό ArcGIS Pro (<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/the-space-time-cube-explorer>)

- **ILWIS 3.8:** Πρόκειται για ένα ανοιχτό λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριών της εταιρείας 52° North η οποία δραστηριοποιείται κυρίως στην έρευνα χωρικών πληροφοριών και διάφορων μεθόδων που σχετίζονται με τις πληροφορίες αυτές. Το πλήρες όνομα του λογισμικού είναι 'Integrated Land and Water Information System' και έχει να κάνει κυρίως με τηλεπισκόπηση υποστηρίζοντας όμως τη διαχείριση και την ανάλυση διανυσματικών (vector) και κανονικοποιημένων (raster) δεδομένων. Το λογισμικό είναι αρκετά φιλικό προς τους χρήστες και παρέχει τη δυνατότητα υλοποίησης του χωροχρονικού κύβου. Συνηθίζεται τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται να είναι στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί κάποιος χρήστης να χρησιμοποιήσει κάποιο άλλο σύστημα αναφοράς από αυτά που παρέχει το λογισμικό.



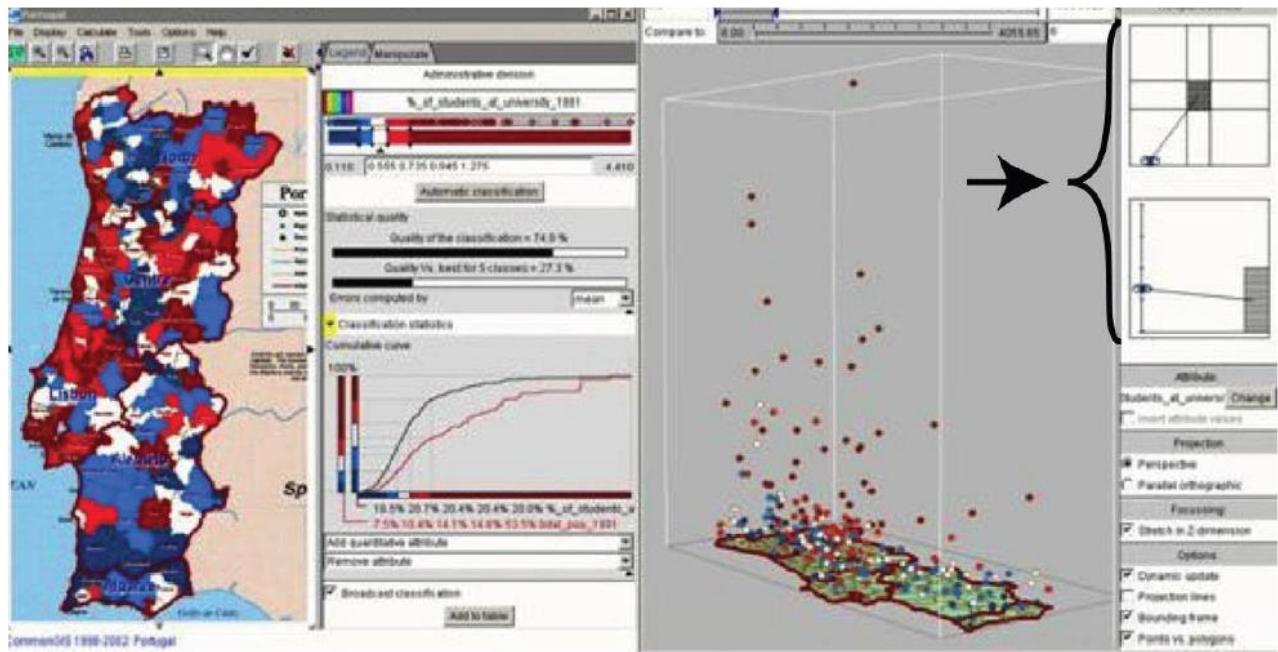
Εικόνα 19: Αναπαράσταση χωροχρονικού κύβου στο λογισμικό ILWIS (ILWIS 3.8 Map Visualization Based on ILWIS 3.8.3)

- **GeoTime Desktop:** Πρόκειται για ένα εμπορικό λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριών της εταιρείας Uncharted. Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα υλοποίησης του χωροχρονικού κύβου καθώς μπορεί να συνδεθεί με το λογισμικό ArcMap. Με τη δυνατότητα αυτή ο χρήστης μπορεί να φορτώσει δεδομένα από το ArcMap στο GeoTime και να τα επεξεργαστεί στο περιβάλλον του GeoTime. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι συγκριτικά με τα λογισμικά που αναφέρθηκαν, στο συγκεκριμένο αποτυπώνεται καλύτερα ο χωροχρονικός κύβος και ως αποτέλεσμα οπτικοποιούνται αρκετά καλύτερα τα δεδομένα.



Εικόνα 20: Αναπαράσταση χωροχρονικού κύβου στο λογισμικό GeoTime Desktop (<https://geotime.com/products/geotime>)

- **CommonGIS:** Είναι ένα λογισμικό το οποίο περιέχει αρκετές δυνατότητες για τη διαχείριση χωροχρονικών δεδομένων, καθώς περιλαμβάνει διάφορες λειτουργίες του χωροχρονικού κύβου (Bach κ.ά., 2014), συμπεριλαμβανομένων και πολλών τεχνικών αναπαράστασης του κύβου όπως αυτή του ‘Time Flattening’ που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (ibid). Σαφώς όμως παρέχεται και η λειτουργία της τρισδιάστατης απεικόνισης του κύβου με τη δυνατότητα να μπορεί κανείς να ελέγχει τον κύβο και ως προς την θέαση αλλά και ως προς τον άξονα που αναφέρεται στο χρόνο.



Εικόνα 21: Αναπαράσταση χωροχρονικού κύβου στο λογισμικό CommonGIS (Πηγή: A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations – Benjamin Bach, Pierre Dragicevic, Daniel Archambault, Christophe Hurter, Sheelagh Carpendale, 2014)

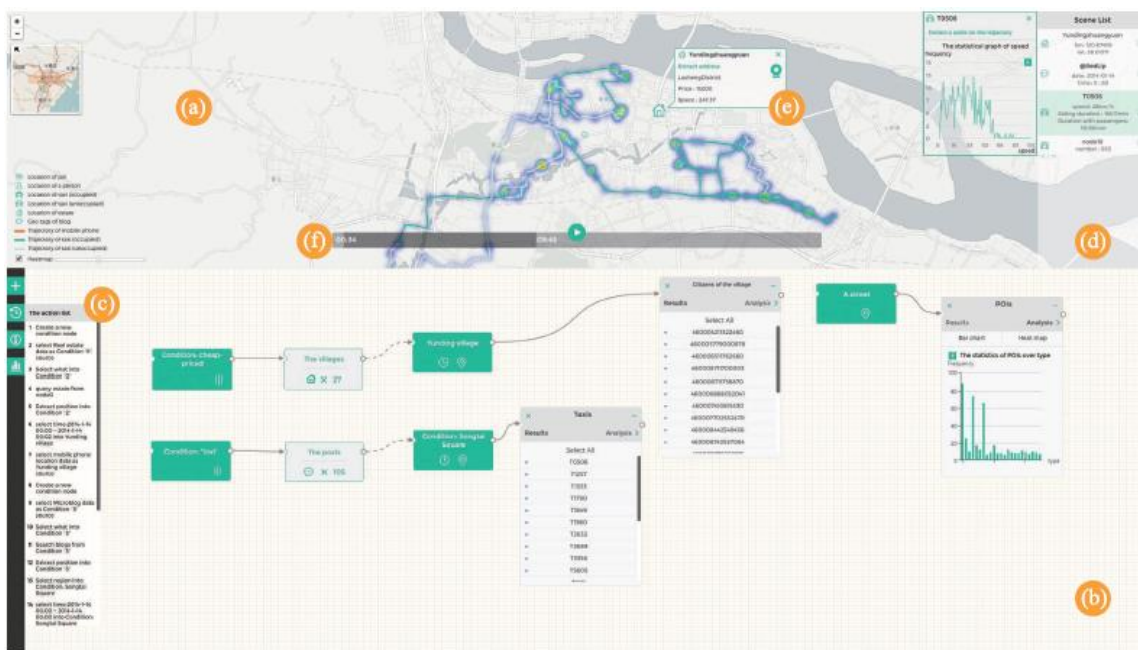
2.4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Όπως προαναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι πάρα πολλές οι έρευνες και οι μελέτες που έχουν γίνει στον τομέα της Επιστήμης της Γεωγραφικής Πληροφορίας σχετικά με τον χωροχρονικό κύβο, διότι με βάση όλα τα παραπάνω η τεχνική αυτή αποτελεί μία μέθοδο η οποία βοηθάει στο να ερμηνεύσει κανείς αποτελέσματα από διάφορες έρευνες ακόμα και να εξαγει σημαντικά συμπεράσματα που ενδεχομένως με χρήση άλλων μεθόδων, αυτό να μην ήταν εφικτό. Εκτός αυτού βέβαια είναι και πολλές οι εφαρμογές που έχουν γίνει και με άλλες πιο απλές μεθόδους που διαχειρίζονται χωροχρονικά δεδομένα και τονίζουν τη χρησιμότητα και τα χαρακτηριστικά αυτών με κύρια συνιστώσα αυτή του χρόνου.

Παρακάτω θα αναφερθούν συνοπτικά μερικές μελέτες οι οποίες διαχειρίζονται χωροχρονικά δεδομένα, καθώς κάποιες από αυτές τις εφαρμογές έχουν να κάνουν με αναλυτικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν διάφορους τύπους των δεδομένων αυτών

και κάποιες άλλες έχουν να κάνουν με την αναπαράσταση των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν από αντίστοιχα δεδομένα, μέσω της τεχνικής του χωροχρονικού κύβου.

Μία αξιόλογη εφαρμογή ήταν αυτή που πραγματοποιήθηκε από τους Wei Chen κ.α., το 2018 και αφορά μία προσπάθεια οπτικοποίησης αστικών δεδομένων (Urban Data) και πιο συγκεκριμένα μία οπτική ανάλυση των αστικών δεδομένων αυτών (VAUD – Visual Analyzer for Urban Data). Πιο συγκεκριμένα η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε για μία πόλη η οποία έχει πληθυσμό 14 εκατομμύρια κατοίκους. Για την έρευνα αυτή συλλέχθηκαν αρκετά δεδομένα, τα οποία έχουν να κάνουν με α) γεωγραφικά δεδομένα (οδικό δίκτυο), β) διάφορα σημεία ενδιαφέροντος (POIs), γ) δεδομένα κινητής τηλεφωνίας (κλήσεις και τοποθεσίες), γ) τροχιές οχημάτων (ταξί), τα οποία συλλέχθηκαν μέσω GPS και δ) προσωπικά δεδομένα (στοιχεία επιβάτη και οδηγού ταξί). Όσον αφορά τη μεθοδολογία, χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο ερωτημάτων VAUD, το οποίο δέχεται να διατυπώνουν οι χρήστες διάφορα ερωτήματα. Το μοντέλο αυτό, υποστηρίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης ερωτημάτων τα οποία σχετίζονται με ερωτήματα σε μία πηγή δεδομένων, ερωτήματα σχετικά με πίνακες προέλευσης – προορισμού (OD/ Origin – Destination) και ερωτήματα σε πολλαπλές πηγές δεδομένων, καθώς το μοντέλο αποτελείται από μία σκηνή στην οποία απεικονίζονται οι καταστάσεις και τα διάφορα αντικείμενα και στην οποία διατυπώνονται τα ερωτήματα από τους χρήστες.

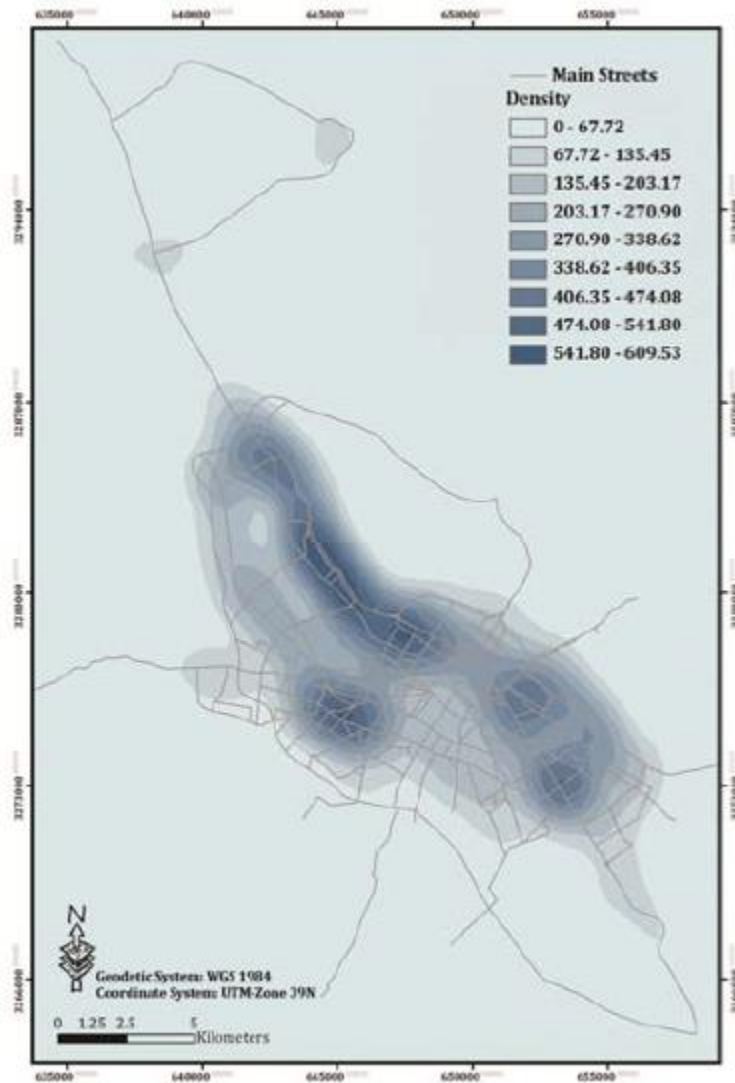


Εικόνα 22: Περιβάλλον VAUD, (α) Η προβολή της σκηνής. (β) Ο χώρος διατύπωσης των ερωτημάτων. (γ) Ο χώρος δράσης. (δ) Η λίστα σκηνών. (ε) Το εικονίδιο και τα στοιχεία του γεωγραφικού αντικειμένου (ζ) Ο χρόνος – (Πηγή: VAUD: A Visual Analysis Approach for Exploring Spatio-Temporal Urban Data – Wei Chen, Zhaosong Huang, Feiran Wu, Minfeng Zhu, Huihua Guan, Fan Zhang, and Ross Maciejewski, 2018)

Το μοντέλο αυτό το χρησιμοποίησαν οι μελετητές σε μία προσπάθεια εύρεσης ενός χαμένου κινητού τηλεφώνου, για την οποία έγινε μία ανάλυση από διάφορους χρήστες προκειμένου να αποδειχθεί ότι το μοντέλο αυτό είναι χρήσιμο για τέτοιου είδους αναλύσεις. Η διαδικασία εύρεσης συνοπτικά αφορούσε στην αναζήτηση μίας δημοσίευσης στην οποία ένας επιβάτης αναρτούσε την απώλεια του κινητού του και μέσω των σημείων ενδιαφέροντος, της ώρας ανάρτησης της δημοσίευσης, της παρακολούθησης της τροχιάς των ταξί, αλλά και τους αριθμούς τηλεφώνων των οδηγών ταξί, ο μελετητής εντόπιζε το χαμένο κινητό του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διάφορες ικανότητες του μοντέλου ήταν αποδοτικές ως προς τον σκοπό της ανάλυσης, καθώς μέσω της διασύνδεσης των κοινωνικών και των χωροχρονικών δεδομένων, μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη αποτελεσματικότητα σε θέματα αποθήκευσης, ανάλυσης και ερωτημάτων.

Μία δεύτερη αξιολογή εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας χωροχρονικά δεδομένα, ήταν αυτή που διεξάχθηκε από τους Ali Soltani και Sajad Askari το 2014 και αφορά τα τροχαία ατυχήματα (Road Traffic Accidents). Πιο συγκεκριμένα,

πραγματοποιήθηκε μία ανάλυση, όσον αφορά τα τροχαία ατυχήματα, χρησιμοποιώντας χωροχρονικά δεδομένα για την πόλη Shiraz του Iran την περίοδο 2011 – 2012 και σκοπός ήταν να βρεθούν οι τοποθεσίες στις οποίες παρατηρούνται τα υψηλότερα ποσοστά ατυχημάτων και οι περιοχές εκείνες οι οποίες έχουν τη λιγότερη ασφάλεια. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος 'Εκτίμησης της Πυκνότητας μέσω Kernel' (KED) καθώς τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση αφορούσαν στοιχεία για τον τύπο των ατυχημάτων (όχημα με μοτοσικλέτα, όχημα με όχημα, όχημα με πεζό, μοτοσικλέτα με πεζό κ.α.) και αναφερόντουσαν σε χρονικό διάστημα ενός έτους (Μάρτιος 2011 – Μάρτιος 2012). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά διαγράμματα από προγενέστερες μελέτες που απεικόνιζαν την κατανομή των ατυχημάτων στις ώρες μίας μέρας αλλά και ως προς τις ημέρες της εβδομάδας, προκειμένου να υπολογιστεί η πυκνότητα των ατυχημάτων για το χρονικό διάστημα για το οποίο συλλέχθηκαν τα δεδομένα και να γίνει η σύγκριση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γίνονται συχνά ατυχήματα στις βασικές αρτηρίες της πόλης καθώς εκεί πραγματοποιούνται οι περισσότερες δραστηριότητες ενώ υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ατυχημάτων στις περιοχές όπου υπάρχει υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση. Από το σύνολο της συγκεκριμένης μελέτης προκύπτει το συμπέρασμα ότι λαμβάνοντας υπόψη τόσο τον χρονικό παράγοντα, που είναι η κατανομή των ατυχημάτων ως προς τις ώρες της μέρας, όσο και τον χωρικό παράγοντα, που είναι οι περιοχές που έχουν υψηλή κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορεί να προκύψει ένα μοντέλο το οποίο θα πλησιάζει όλο και περισσότερο στην πραγματικότητα όσον αφορά τη συχνότητα των ατυχημάτων στις βασικές αρτηρίες της πόλης.



Εικόνα 23: Πυκνότητα Ατυχημάτων στους βασικούς δρόμους της πόλης – (Πηγή: Analysis of Intra-Urban Traffic Accidents Using Spatiotemporal Visualization Techniques – Ali Soltani, Sajad Askari, 2014)

Όσον αφορά τις μελέτες στις οποίες γίνεται χρήση της τεχνικής του χωροχρονικού κύβου, σημαντική ήταν η μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τον Per Ola Kristensson και τους συνεργάτες του το 2009 και αφορούσε μια εμπειρική έρευνα στην οποία συγκρινόταν το ποσοστό λάθους και ο χρόνος απόκρισης όταν οι συμμετέχοντες απαντούσαν ένα σύνολο ερωτήσεων, σε περιβάλλον δισδιάστατης απεικόνισης των δεδομένων και στο περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου αντίστοιχα. Σκοπός αυτού του πειράματος ήταν να δειχθεί σε ποιο από αυτά τα δύο είδη απεικόνισης οι χρήστες αντιλαμβάνονται καλύτερα αυτό που δείχνουν τα δεδομένα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένας χάρτης μιας

πανεπιστημιούπολης στη Σουηδία, ο οποίος απεικονίζει τα ίχνη των δραστηριοτήτων των ανθρώπων που βρίσκονται σε αυτόν. Ο χώρος αυτός απεικονίζεται στις Εικόνες 24 και 25 τόσο στο δισδιάστατο περιβάλλον, όσο και στο περιβάλλον του κύβου (τα διαφορετικά χρώματα που απεικονίζονται, αναπαριστούν διαφορετικά άτομα μέσα στο campus):



Εικόνες 24 και 25: Οπτικοποίηση δραστηριοτήτων στον χωροχρονικό κύβο (Αριστερά) και σε δισδιάστατο περιβάλλον (Δεξιά) – (Πηγή: An Evaluation of Space Time Cube Representation of Spatiotemporal Patterns – Per Ola Kristensson, Nils Dahlback, Daniel Anundi, Marius Bjornstad, Hanna Gillberg, Jonas Haraldsson, Ingrid Martensson, Mathias Nordvall, Josefine Stahl, 2009)

Για το πείραμα έλαβαν μέρος συνολικά 30 συμμετέχοντες, 15 άντρες και 15 γυναίκες, οι οποίοι εργάζονταν στην πανεπιστημιούπολη. Οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να απαντήσουν σε 15 ερωτήσεις, οι οποίες ανάλογα με την δυσκολία και την πολυπλοκότητα χωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες, αντίστοιχες με αυτές που διατύπωσαν οι Reuquet και Bertin. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει κάποιο μοναδικό περιβάλλον απεικόνισης, είτε δισδιάστατο είτε τρισδιάστατο, μέσω του οποίου ο παρατηρητής καταλαβαίνει απόλυτα το τι οπτικοποιούν τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκάστοτε μελέτη. Και αυτό γιατί το κάθε περιβάλλον απεικόνισης είναι αποτελεσματικό με βάση την πολυπλοκότητα της ερώτησης που διατυπώνεται. Όπως έδειξε και η μελέτη σε πιο απλές ερωτήσεις προτιμάται η χρήση της

δισδιάστατης απεικόνισης γιατί ο χρήστης καταλαβαίνει καλύτερα τι απεικονίζουν τα δεδομένα, έχει λιγότερες πιθανότητες να κάνει λάθος και απαντάει πιο γρήγορα από το να απαντούσε τις ερωτήσεις αυτές στο περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου. Αντίθετα με τη χρήση του κύβου αποδείχθηκε ότι σε πολύπλοκες ερωτήσεις οι παρατηρητές απαντάνε πιο γρήγορα σε σχέση με τη δισδιάστατη απεικόνιση καθώς γίνονται λιγότερα λάθη σε σχέση με το αν απαντούσαν τις ερωτήσεις αυτές σε περιβάλλον δισδιάστατης απεικόνισης. Άρα έχει να κάνει ξεκάθαρα η επιλογή του περιβάλλοντος απεικόνισης με το είδος της ερώτησης.

Παρόμοια με την παραπάνω εφαρμογή ήταν και η μελέτη του Jorge A. Wagner Filho και των συνεργατών του το 2020, οι οποίοι χρησιμοποίησαν τον κύβο για την ανάλυση συνόλων δεδομένων τροχιάς με σκοπό την αξιολόγηση της τεχνικής ως προς ένα αντίστοιχο 2D περιβάλλον. Τα δεδομένα αυτά είχαν χρησιμοποιηθεί σε προηγούμενη μελέτη, αυτή του Amiri και των συνεργατών του το 2015, τα οποία δημιουργήθηκαν από γραφήματα που απεικόνιζαν διασταυρώσεις οδικών αξόνων της πόλης του Δουβλίνου της Ιρλανδίας λαμβάνοντας υπόψη τις συντομότερες διαδρομές μεταξύ προκαθορισμένων σημείων. Στην έρευνα συμμετείχαν συνολικά 20 φοιτητές ηλικίας 22 χρονών οι οποίοι απάντησαν συνολικά σε 7 ερωτήσεις, κάθε μία από τις οποίες είχε διαφορετικό επίπεδο πολυπλοκότητας. Για τον σκοπό της μελέτης οι συμμετέχοντες κλήθηκαν να απαντήσουν τις ερωτήσεις αυτές βασιζόμενοι σε δύο σενάρια, όπου στο πρώτο σενάριο υπήρχαν συνολικά 3 τροχιές και στο δεύτερο υπήρχαν 24 τροχιές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το περιβάλλον του κύβου βοήθησε τους συμμετέχοντες να απαντήσουν τις ερωτήσεις αυτές, λόγω της κατανοητής οπτικοποίησης των δεδομένων, και ότι το περιβάλλον του κύβου αποτελεί ένα φιλικό περιβάλλον για αρχάριους χρήστες οι οποίοι χρησιμοποιούν πρώτη φορά την τεχνική αυτή. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι υπήρχαν και κάποιοι περιορισμοί όσον αφορά κάποιες λειτουργίες του κύβου, καθώς μερικοί συμμετέχοντες δυσκολεύτηκαν στο να απαντήσουν ορισμένες ερωτήσεις.

2.5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η «Μοντελοποίηση ή Οπτικοποίηση της Κίνησης» αποτελεί έναν γενικό όρο ο οποίος έχει να κάνει κυρίως με την κίνηση των οντοτήτων στον χώρο και πως αυτά μπορούν να αναπαρασταθούν οπτικά. Πολλοί είναι οι παράγοντες εκείνοι, από τους οποίους επηρεάζεται η κίνηση των δεδομένων, όπως επίσης πολλές είναι και οι παράμετροι εκείνες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ανάλογα και με το θέμα της έρευνας, οι οποίοι βοηθάνε στην καλύτερη αναπαράσταση της κίνησης έχοντας ως βασικό στόχο, την επιτυχημένη αντίληψη της κίνησης από τους απλούς παρατηρητές. Η κίνηση που παρατηρείται στον χώρο των GIS, αποτελείται τις περισσότερες φορές από τεράστιους όγκους δεδομένων, τα οποία πρόκειται για δεδομένα τροχιάς (trajectory data), όπου πέρα από την πληροφορία της θέσης διαθέτουν και την πληροφορία του χρόνου. Εν συνεχεία, το πως θα γίνει η αναπαράσταση της κίνησης έγκειται σε διάφορες προσεγγίσεις – μεθόδους – τεχνικές οι οποίες βοηθάνε στο να επιτευχθεί το συγκεκριμένο ζήτημα. Για το σκοπό της εργασίας, θα γίνει παρακάτω μία αναφορά στα δεδομένα τροχιάς, αφού πρώτα δοθεί ο ορισμός τους και από ποια χαρακτηριστικά αποτελούνται και έπειτα θα αναφερθούν μερικές προσεγγίσεις – μέθοδοι με βάση τις οποίες γίνεται η αναπαράσταση των δεδομένων αυτών.

2.5.1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΡΟΧΙΑΣ (TRAJECTORY DATA)

Με τον όρο δεδομένα τροχιάς, νοείται το ίχνος κάθε κινούμενου αντικειμένου στον γεωγραφικό χώρο, το οποίο αναπαρίσταται από μία σειρά από σημεία που περιλαμβάνουν χρονική πληροφορία (Kong κ.ά., 2018). Ένας παραπλήσιος ορισμός είναι αυτός που πρότειναν οι Mazimpraka και Timpf στη μελέτη τους που διεξήχθη το 2016 οι οποίοι χαρακτήρισαν τα δεδομένα τροχιάς ως τροχιές κινούμενων αντικειμένων, οι οποίες αποτελούνται από διακριτά ίχνη των αντικειμένων αυτών που κινούνται στον γεωγραφικό χώρο (ibid).

Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες και αυτό έχει να κάνει με την χρονική ακρίβεια των δεδομένων. Έτσι έχουμε παρακάτω τις εξής δύο κατηγορίες (Kong κ.ά., 2018):

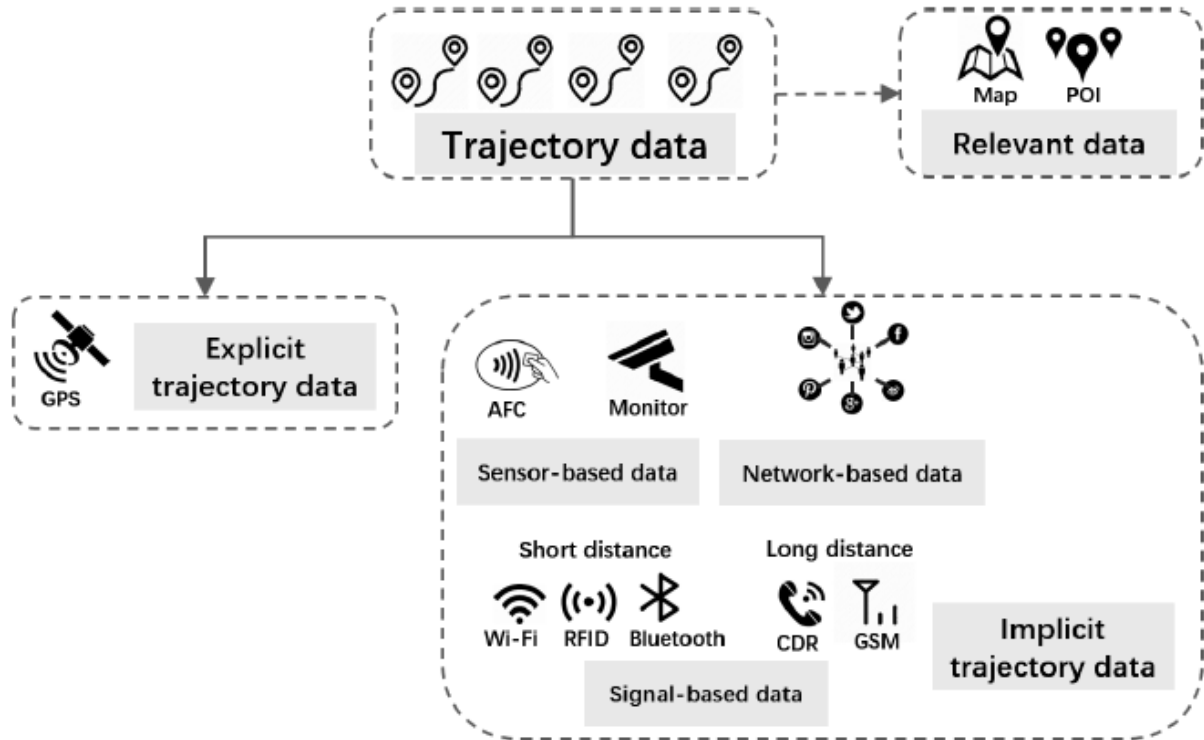
1. **‘Άμεσα’ Δεδομένα Τροχιάς (Explicit Trajectory Data)**: Πρόκειται για δεδομένα τα οποία παρέχουν πληροφορίες για τη θέση και τον χρόνο και έχουν πολύ καλή χωροχρονική συνέχεια. Τέτοια δεδομένα είναι αυτά που προέρχονται από τη συλλογή μέσω GPS, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε μελέτες και έρευνες που χρησιμοποιούν τέτοια δεδομένα. Χαρακτηριστικό των δεδομένων αυτών είναι ότι περιλαμβάνουν τις γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ), την χρονική στιγμή (t) την οποία συλλέχθηκαν και τις περισσότερες φορές και την ταχύτητα.
2. **‘Έμμεσα’ Δεδομένα Τροχιάς (Implicit Trajectory Data)**: Τα δεδομένα αυτά σε αντίθεση με τα προηγούμενα, παρέχουν μεν πληροφορίες για τη θέση και για το χρόνο, αλλά δεν έχουν καλή χωροχρονική συνέχεια. Και αυτό γιατί η συλλογή και η κατανομή των δεδομένων αυτών γίνεται τυχαία και ο όγκος τους είναι πολύ μεγάλος, δεδομένου ότι προέρχονται από πολλές πηγές. Για παράδειγμα, τέτοια δεδομένα μπορεί να συλλέξει κανείς μέσω Wi-Fi, μέσω δορυφόρων, ακόμα και από μέσα κοινωνικής δικτύωσης.

Η πλειοψηφία των δεδομένων αυτών αναπαριστά τροχιές που αποτελούν ίχνη ανθρώπινης δραστηριότητας, κυκλοφοριακής κίνησης ακόμα και ζώων (Wu και Liheng, 2022). Ωστόσο, οι τροχιές των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, μπορεί να προέρχονται είτε από δεδομένα που λαμβάνονται σε καθημερινή βάση μέσω της ανταλλαγής φωτογραφιών και μηνυμάτων, είτε από δεδομένα τα οποία λαμβάνονται από διάφορες τοποθεσίες μέσω GPS όπως προαναφέρθηκε (ibid).

Οι τροχιές που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή κίνηση, προέρχονται κυρίως από GPS αυτοκινήτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες αναλύσεις και σε αρκετές έρευνες, ενώ οι τροχιές των δραστηριοτήτων των ζώων προκύπτουν από δεδομένα που προέρχονται μέσω διαφόρων αισθητήρων.

Αξίζει να αναφερθεί ότι για τον σχηματισμό των τροχιών διάφορων αντικειμένων στον χώρο, όπως είναι για παράδειγμα οι άνθρωποι και τα οχήματα, έχουν ιδιαίτερη σημασία τα αστικά οδικά δίκτυα, το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο οι άνθρωποι και τα οχήματα κινούνται. Για το λόγο αυτό στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η αναπαράσταση των τροχιών που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή κίνηση, γίνεται με τη μορφή χάρτη στον οποίο απεικονίζονται τα διάφορα οδικά δίκτυα και το ευρύτερο περιβάλλον. Μια τελευταία πηγή δεδομένων που χρησιμοποιείται για τον σχηματισμό τέτοιων τροχιών είναι τα ‘Σημεία Ενδιαφέροντος’ (Points of Interest - POIs), τα οποία περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο πληροφορίες που σχετίζεται με κτίσματα όπως είναι για παράδειγμα ξενοδοχεία, τράπεζες, σιδηροδρομικοί σταθμοί, supermarkets κ.α.

Τα POIs και οι χάρτες θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως ξεχωριστή κατηγορία δεδομένων, η οποία θα ονομάζεται ως **‘Δεδομένα από Τρίτες Πηγές (Relevant Data)’**. Η σχηματική αναπαράσταση όσων προαναφέρθηκαν απεικονίζεται στην Εικόνα 26:



Εικόνα 26: Ταξινόμηση Δεδομένων Τροχιάς – (Πηγή: Big Trajectory Data: A Survey of Applications and Services – XIANGJIE KONG, MENGLIN LI, KAI MA, KAIQI TIAN, MENGYUAN WANG, ZHAOLONG NING, FENG XIA, 2018)

2.5.2 ΕΡΕΥΝΕΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η οπτικοποίηση των δεδομένων τροχιάς και κίνησης γενικότερα απέκτησε τεράστια σημασία τα τελευταία χρόνια, με τις έρευνες που έχουν γίνει πιο συγκεκριμένα στον τομέα της αστικής κινητικότητας (Ferreira κ.ά., 2022). Ωστόσο η χρήση αυτών και η εφαρμογή τους στον επιστημονικό τομέα εμφανίζεται στις αρχές του 19^{ου} αιώνα.

Πιο συγκεκριμένα οι πρώτες γραφικές αναπαραστάσεις της κίνησης, χρονολογούνται πίσω στο 1800, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται και οι 'χάρτες ροής' (flow maps). Δύο χάρτες ροής που ξεχωρίζουν είναι, ο χάρτης που δημιουργήθηκε από τον Harness και απεικονίζει την κίνηση των επιβατών στις πόλεις της Ιρλανδίας και ο χάρτης που απεικονίζει τη ρωσική εκστρατεία του Ναπολέοντα, που είδαμε και σε προηγούμενη ενότητα, ο οποίος δημιουργήθηκε από τον Charles Minard (Dodge και Noi, 2021).

Οι χάρτες ροής αναπαριστούν χαρακτηριστικά της κίνησης μεταξύ της προέλευσης (origin) και του προορισμού (destination) μίας διαδρομής (Gu κ.ά., 2018). Η διαδρομή μεταξύ προέλευσης και προορισμού (links) μπορεί να εκφράζει την ποιοτική ή ποσοτική φύση της κίνησης ή της ροής, καθώς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των δεδομένων O-D (Origin – Destination) εμφανίζονται οι κόμβοι και οι σύνδεσμοι μέσω διάφορων οπτικών μεταβλητών (ibid). Για παράδειγμα, ο χάρτης που δημιουργήθηκε από τον Harness, απεικονίζει πιο αναλυτικά, τον μέσο όρο των επιβατών που μεταφέρθηκαν με τα μέσα μαζικής μεταφοράς στην πρωτεύουσα της Ιρλανδίας, το Δουβλίνο (Gu κ.ά., 2018), (Dodge και Noi, 2021). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι χάρτες ροής χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της κίνησης σε γενικευμένη μορφή, ενώ οι χάρτες που αναπαριστούν τροχιές, συνιστούν λεπτομερείς χάρτες ροής που απεικονίζουν πιο αναλυτικά τη διαδρομή με μια σειρά από γραμμές που συνδέουν τα εκάστοτε σημεία διαδοχικά.

Αξιοσημείωτες ήταν οι μελέτες των Ulman (1957) και Berry (1968), οι οποίοι χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της οπτικοποίησης των ροών για να προσδιορίσουν τη δομή των χωρικών αλληλεπιδράσεων, μέσω ανάλυσης ροών εμπορευμάτων (Dodge και Noi, 2021). Ο Tobler ήταν ένας από τους πρώτους χαρτογράφους που υλοποίησε έναν χάρτη ροής μέσω ενός υπολογιστικού συστήματος και ο οποίος ήταν ένας χάρτης που είχε

βασιστεί σε πίνακα που περιείχε δεδομένα προέλευσης – προορισμού (OD data) και έδειχνε τη μετανάστευση στις πενήντα πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (Gu κ.ά., 2018).

Επίσης, όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.3, σημαντική ήταν η προσέγγιση του Hagerstrand (τέλη δεκαετίας 1960) όσο αφορά την οπτικοποίηση της κίνησης, ο οποίος με την μέθοδο που είχε σχεδιάσει (Χωροχρονικός Κύβος), αναπαριστούσε τις τροχιές της κίνησης των ανθρώπων μέσω των χωροχρονικών μονοπατιών ή διαδρομών (Space-Time Paths) και του χωροχρονικού πρίσματος (Space-Time Prism).

Οι απεικονίσεις των Harness, Minard και Tobler, έδειξαν ότι οι χάρτες ροής και οι χάρτες πυκνότητας ροής, αποτελούσαν και αποτελούν τις κυρίαρχες μεθόδους για την οπτικοποίηση της κίνησης μεταξύ των τόπων. (Dodge και Noi, 2021).

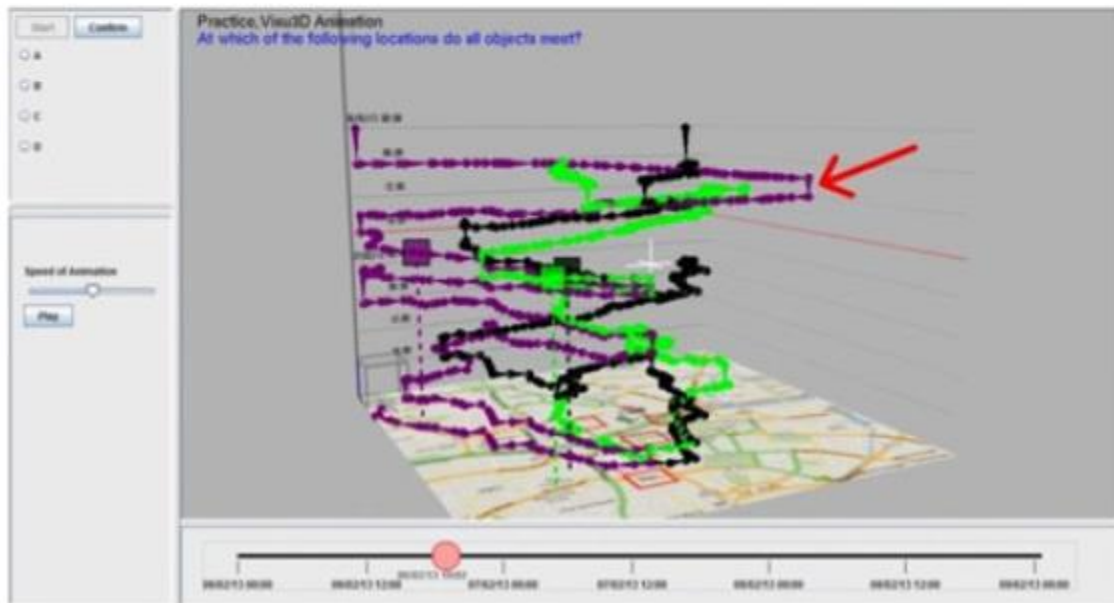
Ωστόσο, μεγάλα σύνολα δεδομένων μπορούν να προκαλέσουν πολλά οπτικά και υπολογιστικά προβλήματα στην διαδραστική εξερεύνηση των τροχιών, όπως είναι για παράδειγμα οι γραμμές σε έναν χάρτη ροής ή σε έναν χωροχρονικό κύβο (Ferreira κ.ά., 2022). Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα αντίστοιχα, μεγάλου όγκου δεδομένα τροχιάς μπορούν να προκαλέσουν σύγχυση στο περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (Zou κ.ά., 2018). Από την άλλη πλευρά είναι δύσκολο να εξάγεις συμπεράσματα ως προς τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά μεγάλου όγκου δεδομένων γιατί περιλαμβάνουν πολλές πτυχές (ibid). Για το σκοπό αυτό υπάρχει η μέθοδος της συνάθροισης (aggregation method) για τέτοιο είδους δεδομένα, η οποία δείχνει μία συνολική εικόνας της χωροχρονικής κατανομής της κίνησης (Ferreira κ.ά., 2022).

Ο Fredrikson και οι συνεργάτες του το 2003 σε μελέτη τους, είχαν προτείνει τρεις βασικούς τύπους συνάθροισης οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους συνδυασμούς για την οπτική αναπαράσταση μεγάλου όγκου δεδομένων κίνησης. Οι εν λόγω τύποι έχουν να κάνουν: i) ως προς τον χρόνο (temporal), ii) ως προς τον χώρο (spatial) και iii) ως προς την κατηγορία της πληροφορίας των δεδομένων

(thematic/categorical ή attribute), (Ferreira κ.ά., 2022). Πιο αναλυτικά ο χώρος, ο χρόνος ή η πληροφορία χωρίζονται σε ομάδες στις οποίες προβάλλονται οι τροχιές, οι οποίες απεικονίζονται ως ένα σύνολο διακριτών κινήσεων στις αντίστοιχες γεωγραφικές θέσεις με την αντίστοιχη χρονική πληροφορία (Demsar και Virrantaus, 2010).

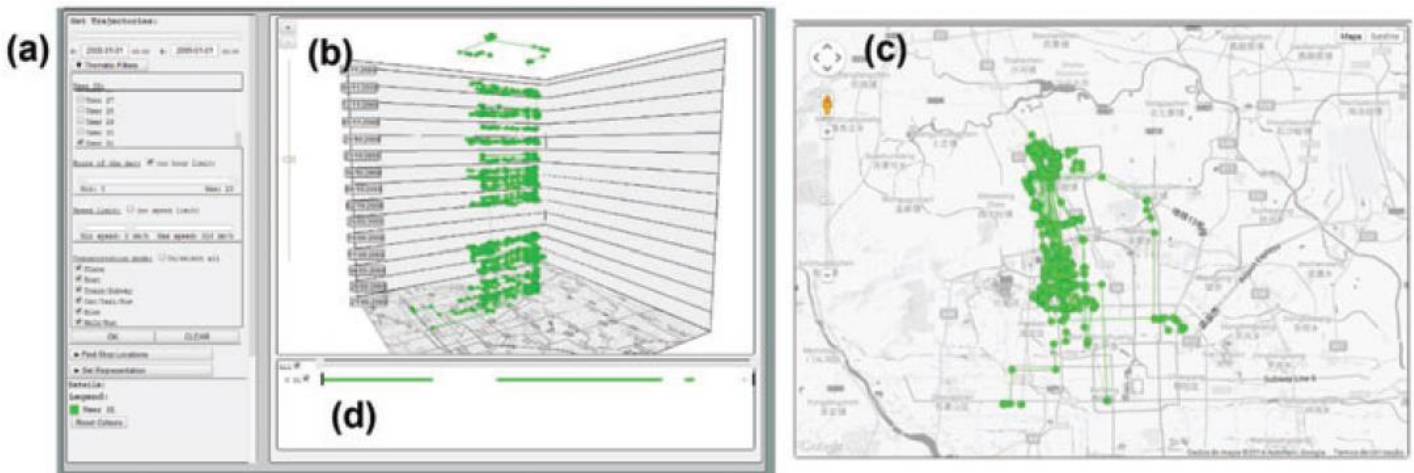
Σημαντική ήταν η μελέτη του Gao το 2015 ο οποίος χρησιμοποίησε διάφορες χωροχρονικές μεθόδους για να αναλύσει τα διάφορα μοτίβα της κίνησης των ανθρώπων στις πόλεις. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας τις καταγεγραμμένες κλήσεις κινητών τηλεφώνων ανά πόλη και συνδυάζοντας την χωροχρονική πυκνότητα, την οπτικοποίηση των δεδομένων τροχιών και την χωροχρονική αυτοσυσχέτιση πρότεινε μια ποσοτική ανάλυση για να προσδιορίσει την χωροχρονική κατανομή της κίνησης των ανθρώπων στις αστικές πόλεις.

Σημαντική ήταν η μελέτη του Amini και των συνεργατών του η οποία πραγματοποιήθηκε την ίδια χρονιά (2015) που διεξήχθη και του Gao, οι οποίοι υλοποίησαν μια εφαρμογή που την ονόμασαν Space-Time Visualizer (STV), το περιβάλλον της οποίας απεικονίζεται στην Εικόνα 27, η οποία υποστηρίζει δισδιάστατη και τρισδιάστατη οπτικοποίηση της κίνησης. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν αφορούσαν τις τροχιές τριών αντικειμένων στον χώρο, για τις οποίες διατύπωσαν διάφορα ερωτήματα αντίστοιχα με αυτά που διατύπωσαν ο Per Ola Kristensson (2009) και ο Jorge A. Wagner Filho (2020) και οι συνεργάτες τους στις δικές τους μελέτες. Η μελέτη αυτή αφορούσε σε αξιολόγηση μεταξύ των δύο οπτικοποιήσεων (2D και 3D) των δεδομένων τροχιάς, μέσω διεξαγωγής πειράματος στο οποίο έλαβαν μέρος 12 συμμετέχοντες ηλικίας 21 έως 30 ετών.



Εικόνα 27: Αναπαράσταση των τροχιών των αντικειμένων στο περιβάλλον του STV (2D: πάνω εικόνα και 3D: κάτω εικόνα) – (Πηγή: The Impact of Interactivity on Comprehending 2D and 3D Visualizations of Movement Data – Fereshteh Amini, Sebastien Rufiange, Zahid Hossain, Quentin Ventura, Pourang Irani and Michael J. McGuffin, 2015)

Την ίδια χρονιά επίσης (2015) διεξήχθη μία ακόμα σημαντική μελέτη, αυτή του Tiago Goncalves και των συνεργατών του, οι οποίοι με τη σειρά τους έκαναν αξιολόγηση του κύβου ως προς έναν στατικό χάρτη (δισδιάστατη αναπαράσταση), μέσω πειράματος, χρησιμοποιώντας δεδομένα που αφορούσαν τη μετακίνηση ενός συνόλου ανθρώπων με μεταφορικό μέσο σε ένα έτος (2008 – 2009). Για το πείραμα έλαβαν μέρος συνολικά 16 συμμετέχοντες, ηλικίας 19 έως 47 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων (14 από τους 16) του πειράματος προτίμησαν την αναπαράσταση των δεδομένων στο 2D περιβάλλον απ' ότι στον κύβο λόγω κυρίως της περισσότερης εξοικείωσης που είχαν με δισδιάστατες αναπαραστάσεις δεδομένων.



Εικόνα 28: Αναπαράσταση των δεδομένων στο περιβάλλον του κύβου (Αριστερή Εικόνα) και στον στατικό χάρτη (Δεξιά Εικόνα) (2D: πάνω εικόνα και 3D: κάτω εικόνα) – (Πηγή: The Impact of Interactivity on Comprehending 2D and 3D Visualizations of Movement Data – Fereshteh Amini, Sebastien Rufiange, Zahid Hossain, Quentin Ventura, Pourang Irani and Michael J. McGuffin, 2015)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η εμπειρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, αναφέροντας τα δύο περιβάλλοντα (2D και 3D) στα οποία έγινε η αναπαράσταση των δεδομένων τροχιάς. Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την έρευνα, βάσει των οποίων διατυπώθηκαν οι κατάλληλες ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα και θα αναφερθεί το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την διαμόρφωση του ερωτηματολογίου. Στη συνέχεια αφού πρώτα αναφερθεί ποιο λογισμικό επιλέχτηκε για την υλοποίηση του κύβου, θα παρουσιαστεί ο έλεγχος χρηστικότητας που πραγματοποιήθηκε για την οπτικοποίηση των δεδομένων της τρισδιάστατης διαδραστικής απεικόνισης αλλά και της δισδιάστατης δυναμικής απεικόνισης αντίστοιχα. Για το λόγο αυτό οι συμμετέχοντες που έλαβαν μέρος χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, όπου η κάθε ομάδα απάντησε το ίδιο σύνολο των ερωτήσεων, για τις οποίες καταγράφηκε και ο χρόνος απόκρισης. Η αξιολόγηση έγινε με βάση την ορθότητα των απαντήσεων (ποσοστό σωστών απαντήσεων) και τον χρόνο απόκρισης (ταχύτητα απόκρισης). Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι τα λογισμικά μέτρησης της χρηστικότητας που χρησιμοποιούνται προσπαθούν να διερευνήσουν τρεις άξονες, οι οποίοι είναι α) η αποτελεσματικότητα (effectiveness), β) η αποδοτικότητα (efficiency) και γ) η ικανοποίηση (satisfaction) όπου για την ικανοποίηση χρησιμοποιείται η μέθοδος 'SUS' (System Usability Scale).

3.2. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αφορούν ένα υπό-σύνολο αρχείων τα οποία εμπεριέχουν τις τροχιές 72 απορριμματοφόρων συνολικά, στο χρονικό διάστημα 01/02/2019 έως 30/04/2019. Για τις ανάγκες της εμπειρικής έρευνας χρησιμοποιήθηκαν οι τροχιές 9 μόνο απορριμματοφόρων για το χρονικό διάστημα μίας ημέρας. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε τυχαία η ημέρα '04/02/2019'. Τα δεδομένα ουσιαστικά αφορούν σημειακά δεδομένα καθώς το κάθε αρχείο αποτελείται από πολλές εγγραφές. Κάθε εγγραφή (στίγμα) των δεδομένων αποτελείται από:

- 1) Τις συντεταγμένες «φ,λ» που υποδηλώνουν τη χωρική πληροφορία,
- 2) Τον κωδικό του οχήματος,
- 3) Την ταχύτητα του οχήματος στη χρονική στιγμή που έγινε η λήψη και
- 4) Τη χρονική σήμανση ή αλλιώς «timestamp», που περιλαμβάνει την ημερομηνία και την ώρα της ημέρας κατά την οποία έγινε η λήψη του σημείου και η οποία σήμανση υποδηλώνει την χρονική πληροφορία.
- 5) Την ημερομηνία και την ώρα της ημέρας ξεχωριστά σε δύο στήλες.

Αναφορικά με τις τροχιές των οχημάτων, οι διαδρομές όλων των απορριμματοφόρων έχουν ως αφετηρία την ευρύτερη περιοχή του του Δήμου Διονύσου (Άνοιξη, Δροσιά, Σταμάτα, Ροδόπολη, Διόνυσο και Άγιο Στέφανο) και καταλήγουν στον 'ΧΥΤΑ Φυλής'. Επίσης τα δεδομένα συλλέχθηκαν με χρήση GPS.

Παρακάτω απεικονίζονται ενδεικτικά μερικές εγγραφές των αρχικών δεδομένων, όπως αυτά συλλέχθηκαν με το GPS:

```

timestamp;vehicleref;lat;lon;speed;date;time
2019-02-01 00:00:00.000;11;38,131996154785156;23,876115798950195;5,0;2019-02-01;00:00:00.000
2019-02-01 00:00:10.000;11;38,13206100463867;23,87609100341797;2,0;2019-02-01;00:00:10.000
2019-02-01 00:00:20.000;11;38,13206100463867;23,8760929107666;9,0;2019-02-01;00:00:20.000
2019-02-01 00:00:30.000;11;38,132389068603516;23,87579917907715;25,0;2019-02-01;00:00:30.000
2019-02-01 00:00:40.000;11;38,132747650146484;23,875459671020508;8,0;2019-02-01;00:00:40.000
2019-02-01 00:00:50.000;11;38,132808685302734;23,87533950805664;0,0;2019-02-01;00:00:50.000
2019-02-01 00:01:00.000;11;38,13282012939453;23,875255584716797;0,0;2019-02-01;00:01:00.000
2019-02-01 00:01:10.000;11;38,132781982421875;23,875158309936523;1,0;2019-02-01;00:01:10.000
2019-02-01 00:01:20.000;11;38,13277816772461;23,874958038330078;2,0;2019-02-01;00:01:20.000
2019-02-01 00:01:30.000;11;38,132667541503906;23,874860763549805;9,0;2019-02-01;00:01:30.000
2019-02-01 00:01:40.000;11;38,132564544677734;23,874820709228516;0,0;2019-02-01;00:01:40.000
2019-02-01 00:01:50.000;11;38,13256072998047;23,874866485595703;3,0;2019-02-01;00:01:50.000
2019-02-01 00:02:00.000;11;38,13247299194336;23,87468910217285;12,0;2019-02-01;00:02:00.000
2019-02-01 00:02:10.000;11;38,13237762451172;23,87458610534668;2,0;2019-02-01;00:02:10.000
2019-02-01 00:02:20.000;11;38,132362365722656;23,874584197998047;6,0;2019-02-01;00:02:20.000
2019-02-01 00:02:30.000;11;38,132232666015625;23,874452590942383;3,0;2019-02-01;00:02:30.000
2019-02-01 00:02:40.000;11;38,13221740722656;23,8743896484375;2,0;2019-02-01;00:02:40.000
2019-02-01 00:02:50.000;11;38,13215255737305;23,87432098388672;0,0;2019-02-01;00:02:50.000
2019-02-01 00:03:00.000;11;38,13208770751953;23,87419319152832;8,0;2019-02-01;00:03:00.000
2019-02-01 00:03:10.000;11;38,13199996948242;23,8740177154541;3,0;2019-02-01;00:03:10.000
2019-02-01 00:03:20.000;11;38,131961822509766;23,873987197875977;0,0;2019-02-01;00:03:20.000
2019-02-01 00:03:30.000;11;38,13193893432617;23,873971939086914;5,0;2019-02-01;00:03:30.000
2019-02-01 00:03:40.000;11;38,1317253112793;23,873836517333984;12,0;2019-02-01;00:03:40.000
2019-02-01 00:03:50.000;11;38,131683349609375;23,873685836791992;5,0;2019-02-01;00:03:50.000
2019-02-01 00:04:00.000;11;38,131656646728516;23,873519897460938;5,0;2019-02-01;00:04:00.000
2019-02-01 00:04:10.000;11;38,13164138793945;23,873525619506836;0,0;2019-02-01;00:04:10.000
2019-02-01 00:04:20.000;11;38,131629943847656;23,873538970947266;12,0;2019-02-01;00:04:20.000

2019-03-26 11:12:41.000;50;37,97359848022461;23,676342010498047;0,0;2019-03-26;11:12:41.000
2019-03-26 11:12:51.000;50;37,97359848022461;23,676342010498047;0,0;2019-03-26;11:12:51.000
2019-03-26 11:13:01.000;50;37,97368621826172;23,676177978515625;5,0;2019-03-26;11:13:01.000
2019-03-26 11:13:11.000;50;37,97380447387695;23,67599105834961;7,0;2019-03-26;11:13:11.000
2019-03-26 11:13:21.000;50;37,9739875793457;23,675983428955078;8,0;2019-03-26;11:13:21.000
2019-03-26 11:13:31.000;50;37,97417068481445;23,676197052001953;12,0;2019-03-26;11:13:31.000
2019-03-26 11:13:41.000;50;37,97429656982422;23,67612075805664;11,0;2019-03-26;11:13:41.000
2019-03-26 11:13:51.000;50;37,9739875793457;23,676010131835938;11,0;2019-03-26;11:13:51.000
2019-03-26 11:14:01.000;50;37,973854064941406;23,67582130432129;7,0;2019-03-26;11:14:01.000
2019-03-26 11:14:11.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:14:11.000
2019-03-26 11:14:21.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:14:21.000
2019-03-26 11:14:31.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:14:31.000
2019-03-26 11:14:41.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:14:41.000
2019-03-26 11:14:51.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:14:51.000
2019-03-26 11:15:01.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:01.000
2019-03-26 11:15:11.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:11.000
2019-03-26 11:15:21.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:21.000
2019-03-26 11:15:31.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:31.000
2019-03-26 11:15:41.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:41.000
2019-03-26 11:15:51.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:15:51.000
2019-03-26 11:16:01.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:16:01.000
2019-03-26 11:16:11.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:16:11.000
2019-03-26 11:16:21.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:16:21.000
2019-03-26 11:21:21.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:21:21.000
2019-03-26 11:26:21.000;50;37,973846435546875;23,675817489624023;0,0;2019-03-26;11:26:21.000
2019-03-26 11:31:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:31:21.000
2019-03-26 11:36:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:36:21.000
2019-03-26 11:41:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:41:21.000
2019-03-26 11:46:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:46:21.000
2019-03-26 11:51:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:51:21.000
2019-03-26 11:56:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;11:56:21.000
2019-03-26 12:01:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;12:01:21.000
2019-03-26 12:06:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;12:06:21.000
2019-03-26 12:11:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;12:11:21.000
2019-03-26 12:16:21.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;12:16:21.000
2019-03-26 12:21:22.000;50;37,97392654418945;23,675870895385742;0,0;2019-03-26;12:21:22.000

```

Εικόνα 29: Απόσπασμα εγγραφών αρχικών δεδομένων

3.3. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ILWIS (3D ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ)

3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Στην παρούσα εργασία, η υλοποίηση του χωροχρονικού κύβου έγινε στο λογισμικό ILWIS (Integrated Land and Water Information System). Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα το λογισμικό αυτό είναι ένα ανοιχτό λογισμικό, το οποίο διαχειρίζεται η εταιρεία 52° North, καθώς αποτελεί ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε αρχικά από το Διεθνές Ινστιτούτο της Επιστήμης της Γεωγραφικής Πληροφορίας και Παρατήρησης της Γης (ITC – International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation), το οποίο βρίσκεται στην πόλη Enschede της Ολλανδίας, κυρίως για χρήση από φοιτητές και ερευνητές του κλάδου των GIS, ενώ από το 2007 αποτελεί ανοιχτό λογισμικό.

Οι πρώτες ιδέες για το λογισμικό άρχισαν να υλοποιούνται στα τέλη του 1984, καθώς η πρώτη έκδοση (version 1.0) του λογισμικού έγινε διαθέσιμη στα τέλη του 1988 σε μορφή DOS και η δεύτερη έκδοση του λογισμικού (ILWIS 2.0) εκδόθηκε 8 χρόνια μετά, δηλαδή στα τέλη του 1996 και για πρώτη φορά στο λειτουργικό σύστημα των Windows. Η τρίτη έκδοση του λογισμικού (ILWIS 3.0) γίνεται διαθέσιμη στα μέσα του 2001 με αποτέλεσμα να φτάνουμε στο σήμερα όπου η τελευταία εκδοχή του λογισμικού είναι η 3.8.6 (Απρίλιος, 2022).

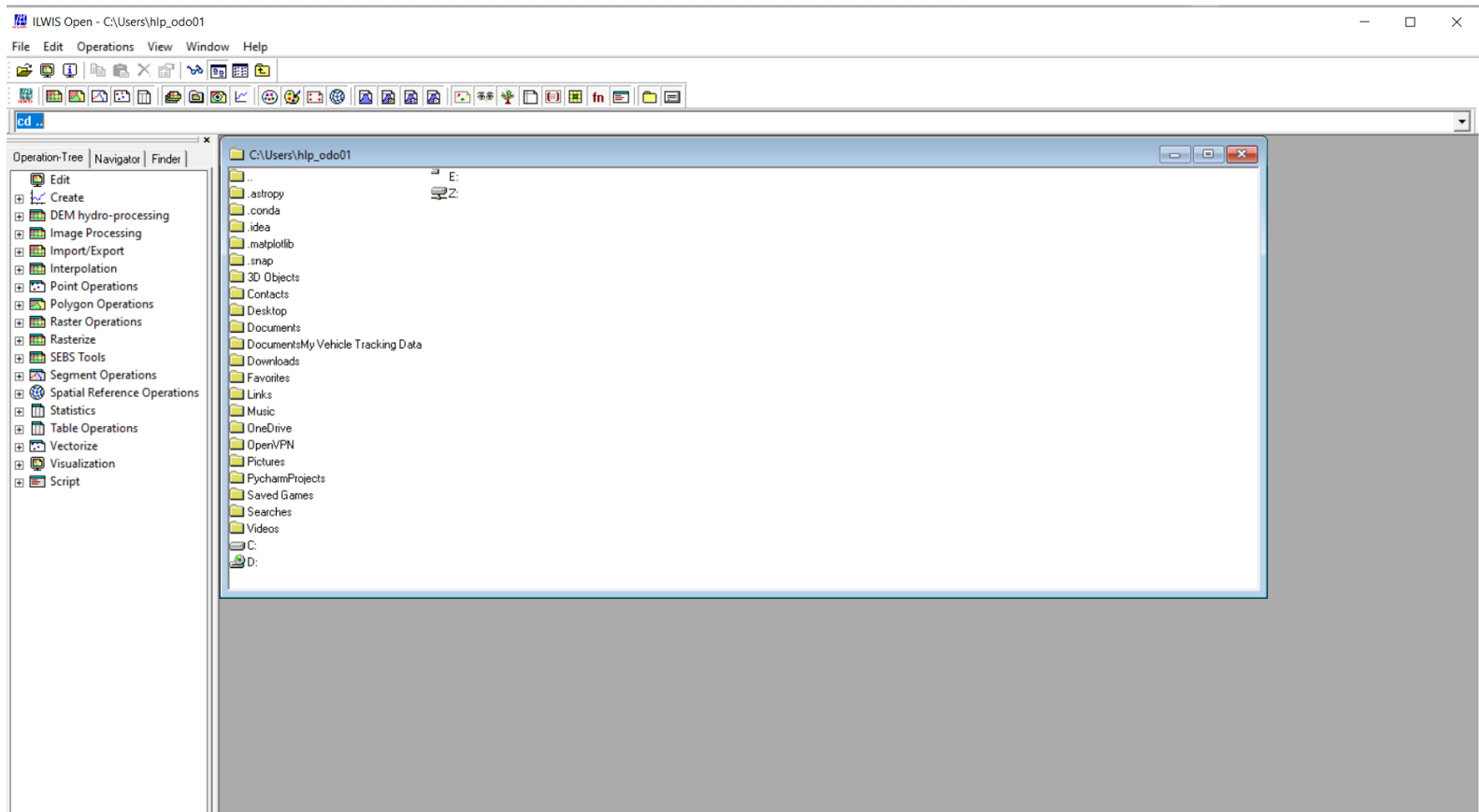
Το λογισμικό διακρίνεται για τη χρήση διάφορων τεχνικών και μεθόδων GIS, όπως οι παρακάτω:

- Πράξεις μεταξύ διανυσματικών δεδομένων (vector) και δεδομένων ψηφιδωτής μορφής (raster).
- Εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων μέσω της βιβλιοθήκης GDAL
- Γεωστατιστικές αναλύσεις, χρησιμοποιώντας την μέθοδο Kriging για καλύτερη παρεμβολή.
- Βιβλιοθήκη που περιλαμβάνει πολλά συστήματα αναφοράς (γεωγραφικά και γεωδαιτικά).

- Τρισδιάστατη οπτικοποίηση δεδομένων, η οποία είναι διαδραστική επιτρέποντας στον χρήστη να πραγματοποιήσει λειτουργίες μετακίνησης, εστίασης και περιστροφής στα δεδομένα.
- Αναπαράσταση της κίνησης των δεδομένων σε χάρτη κινούμενης εικόνας, με τη δυνατότητα συγχρονισμού μεταξύ διαφορετικών κινούμενων εικόνων.
- Χωρική αξιολόγηση με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης.

3.3.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Η έκδοση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε είναι η 3.8.6 η οποία υποστηρίζει σε σχέση με παλαιότερες εκδόσεις, την οπτικοποίηση των δεδομένων με χρήση του χωροχρονικού κύβου. Το περιβάλλον με το οποίο έρχεται σε επαφή ο χρήστης με το που ανοίγει το λογισμικό απεικονίζεται παρακάτω, το οποίο αποτελεί και το βασικό παράθυρο του ILWIS:

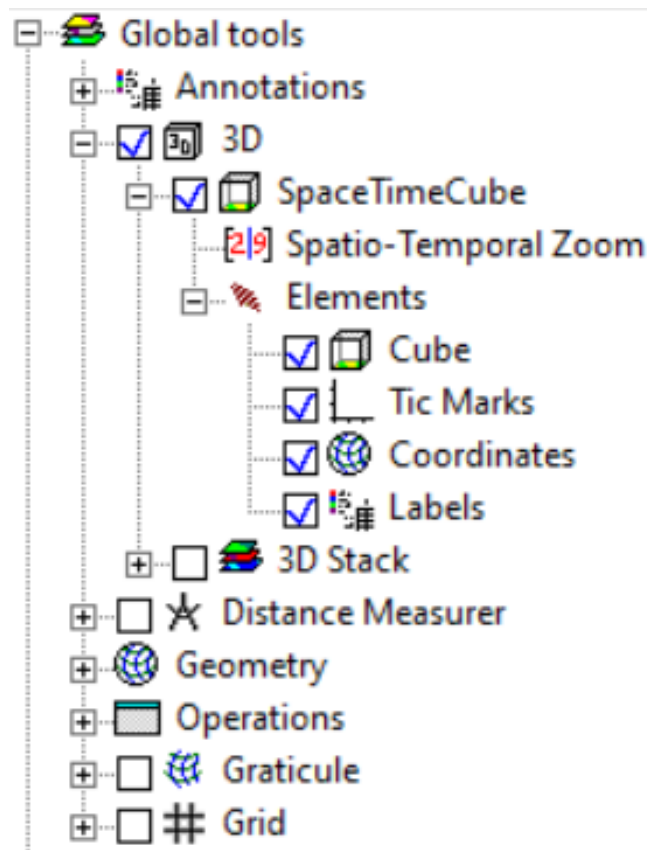


Εικόνα 30: Περιβάλλον ILWIS – Βασικό Παράθυρο Λειτουργίας

Στο παραπάνω παράθυρο γίνεται η διαχείριση και η επεξεργασία όλων των δεδομένων. Πιο αναλυτικά, στο δεξιά παράθυρο της εικόνας απεικονίζονται όλοι οι φάκελοι του δίσκου του υπολογιστή και πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα και τα αρχεία τα οποία αναγνωρίζει το ILWIS.

Στην καρτέλα 'Operation-Tree' βρίσκονται όλες οι λειτουργίες του ILWIS που αφορούν χωρικά δεδομένα.

Επίσης στο επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων, υπάρχουν διάφορα εργαλεία τα οποία έχουν να κάνουν είτε με την γεωμετρία, είτε με τις διάφορες λειτουργίες, είτε με τον κάρναβο είτε με τα 'annotation', καθώς υπάρχουν και εργαλεία τρισδιάστατης ανάλυσης για την αναπαράσταση των δεδομένων στον χωροχρονικό κύβο, δηλαδή στους άξονες x-y-z όπως φαίνεται και παρακάτω:



Εικόνα 31: Εργαλεία τρισδιάστατης ανάλυσης στο πλαίσιο της επεξεργασίας των δεδομένων

3.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο υπό-σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, έγινε κατάλληλη κωδικοποίηση για να εισαχθούν στο λογισμικό, για την περαιτέρω επεξεργασία τους. Επίσης για κάθε πεδίο ορίστηκε και ένα 'domain', για να απεικονίζονται σωστά οι τιμές του πεδίου.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να τονιστεί, πως επειδή το domain του πεδίου 'timestamp' έχει οριστεί ως 'String', όταν θα υλοποιηθεί ο κύβος δεν θα υπάρχει πεδίο που να είναι domain 'datetime' έτσι ώστε να υπάρχει η πληροφορία της χρονικής σήμανσης για τον κύβο με αποτέλεσμα να μην μπορεί εν τέλει να δημιουργηθεί ο κύβος. Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο, που είναι domain 'datetime', το οποίο περιέχει την χρονική σήμανση προσαρμοσμένη στις ιδιότητες του κύβου. Παρόμοιο πρόβλημα υπήρχε και με τη στήλη 'vehicle' όπου το domain ήταν 'value' με αποτέλεσμα να διαβάζει τις τιμές ως ποσότητες και όχι ως id του σημείου. Έτσι δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο για το οποίο ορίστηκε ένα domain στο οποίο έγινε ταξινόμηση της στήλης με βάση το id του κάθε οχήματος, προκειμένου να απεικονίζονται τα οχήματα ως id και όχι ως ποσότητες.

Επομένως ο τελικός πίνακας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του κύβου περιλαμβάνει τα παρακάτω πεδία:

- **timestamp1**: το οποίο είναι domain 'string' και περιλαμβάνει την αρχική χρονική σήμανση.
- **vehicle**: το οποίο είναι domain 'value' και περιλαμβάνει τον κωδικό του κάθε οχήματος
- **latitude**: το οποίο είναι domain 'value' και περιλαμβάνει τη γεωγραφική συντεταγμένη φ.
- **longtitude**: το οποίο είναι domain 'value' και περιλαμβάνει τη γεωγραφική συντεταγμένη λ.
- **speed**: το οποίο είναι domain 'value' και περιλαμβάνει την ταχύτητα.
- **date1**: το οποίο είναι domain 'time' και περιλαμβάνει την ημερομηνία.
- **time1**: το οποίο είναι domain 'string' και περιλαμβάνει την ώρα της ημέρας.
- **datetime**: το οποίο είναι domain 'datetime' και περιλαμβάνει την χρονική σήμανση για τον κύβο.

- **vehicle classified:** για το οποίο δημιουργήθηκε ένα domain (vehicles classified) όπου τα οχήματα είναι ταξινομημένα ως προς τον κωδικό τους.

Ωστόσο στα πλαίσια της εργασίας τα μόνα πεδία που χρησιμοποιήθηκαν για τον κύβο ήταν μόνο τα πεδία 'datetime' και 'vehicle_classified'.

Παρακάτω απεικονίζονται ενδεικτικά μερικές εγγραφές του τελικού πίνακα των δεδομένων, όπως αυτά χρησιμοποιήθηκαν στο ILWIS:

Table "STIGMATA_OXIMATON_20190204" - ILWIS

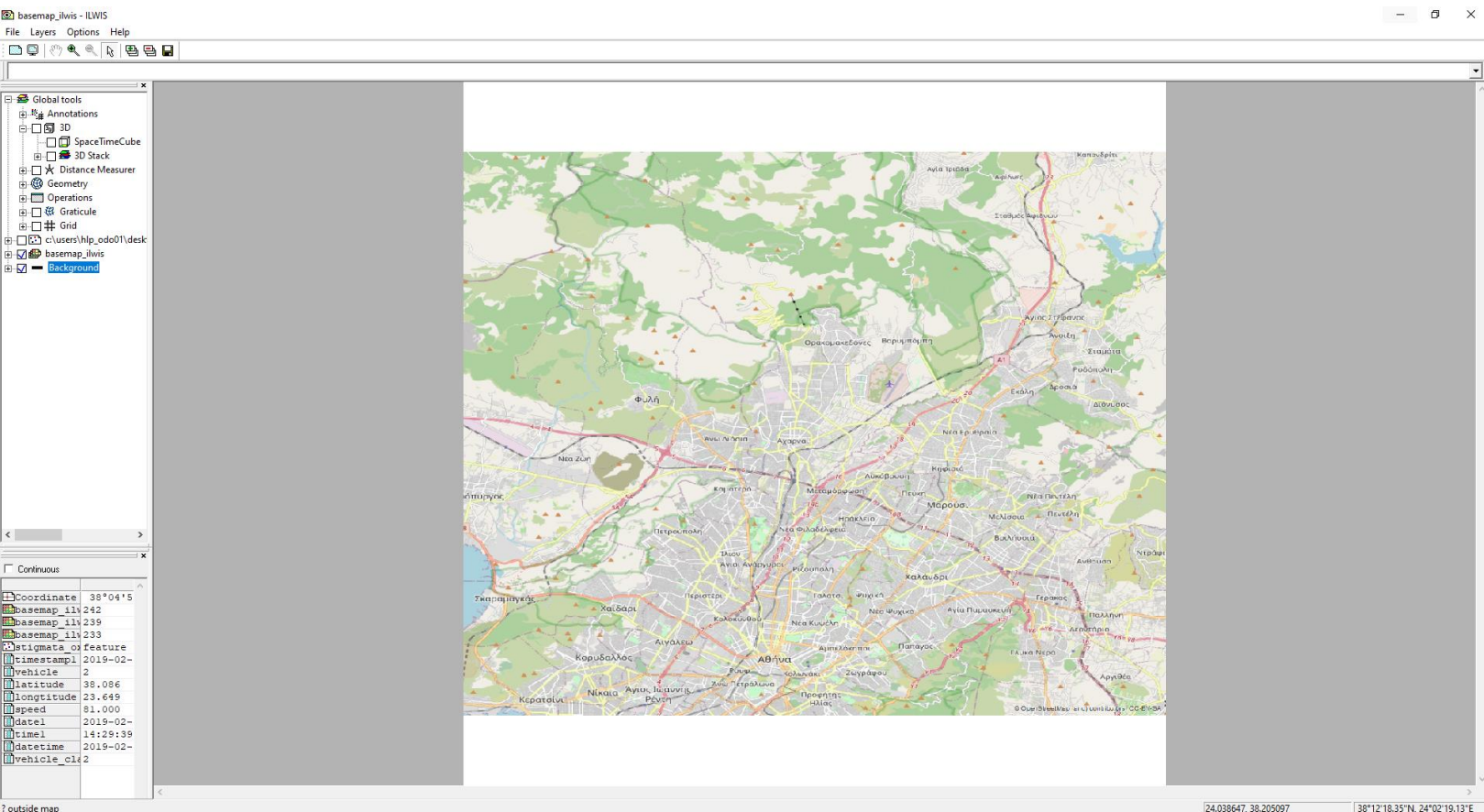
File Edit Columns Records View Help

	timestamp1	vehicle	latitude	longitude	speed	date1	time1	datetime	vehicle_classified
feature 1	2019-02-04 00:00:00.000	11	38.130	23.878	3.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:00.000	2019-02-04T00:00:00	11
feature 2	2019-02-04 00:00:10.000	11	38.130	23.878	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:10.000	2019-02-04T00:00:10	11
feature 3	2019-02-04 00:00:20.000	11	38.130	23.878	5.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:20.000	2019-02-04T00:00:20	11
feature 4	2019-02-04 00:00:30.000	11	38.131	23.877	11.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:30.000	2019-02-04T00:00:30	11
feature 5	2019-02-04 00:00:40.000	11	38.131	23.877	8.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:40.000	2019-02-04T00:00:40	11
feature 6	2019-02-04 00:00:50.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:00:50.000	2019-02-04T00:00:50	11
feature 7	2019-02-04 00:01:00.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:01:00.000	2019-02-04T00:01:00	11
feature 8	2019-02-04 00:01:10.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:01:10.000	2019-02-04T00:01:10	11
feature 9	2019-02-04 00:01:20.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:01:20.000	2019-02-04T00:01:20	11
feature 10	2019-02-04 00:01:30.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:01:30.000	2019-02-04T00:01:30	11
feature 11	2019-02-04 00:01:40.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:01:40.000	2019-02-04T00:01:40	11
feature 12	2019-02-04 00:02:30.000	11	38.131	23.877	4.000	2019-02-04T00:00:00	00:02:30.000	2019-02-04T00:02:30	11
feature 13	2019-02-04 00:02:40.000	11	38.131	23.877	6.000	2019-02-04T00:00:00	00:02:40.000	2019-02-04T00:02:40	11
feature 14	2019-02-04 00:02:50.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:02:50.000	2019-02-04T00:02:50	11
feature 15	2019-02-04 00:03:00.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:00.000	2019-02-04T00:03:00	11
feature 16	2019-02-04 00:03:10.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:10.000	2019-02-04T00:03:10	11
feature 17	2019-02-04 00:03:20.000	11	38.131	23.877	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:20.000	2019-02-04T00:03:20	11
feature 18	2019-02-04 00:03:30.000	11	38.131	23.876	15.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:30.000	2019-02-04T00:03:30	11
feature 19	2019-02-04 00:03:40.000	11	38.132	23.876	4.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:40.000	2019-02-04T00:03:40	11
feature 20	2019-02-04 00:03:50.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:03:50.000	2019-02-04T00:03:50	11
feature 21	2019-02-04 00:04:00.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:00.000	2019-02-04T00:04:00	11
feature 22	2019-02-04 00:04:10.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:10.000	2019-02-04T00:04:10	11
feature 23	2019-02-04 00:04:20.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:20.000	2019-02-04T00:04:20	11
feature 24	2019-02-04 00:04:30.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:30.000	2019-02-04T00:04:30	11
feature 25	2019-02-04 00:04:40.000	11	38.132	23.876	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:40.000	2019-02-04T00:04:40	11
feature 26	2019-02-04 00:04:50.000	11	38.132	23.876	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:04:50.000	2019-02-04T00:04:50	11
feature 27	2019-02-04 00:05:00.000	11	38.132	23.876	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:00.000	2019-02-04T00:05:00	11
feature 28	2019-02-04 00:05:10.000	11	38.132	23.876	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:10.000	2019-02-04T00:05:10	11
feature 29	2019-02-04 00:05:20.000	11	38.132	23.876	22.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:20.000	2019-02-04T00:05:20	11
feature 30	2019-02-04 00:05:30.000	11	38.133	23.875	14.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:30.000	2019-02-04T00:05:30	11
feature 31	2019-02-04 00:05:40.000	11	38.133	23.875	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:40.000	2019-02-04T00:05:40	11
feature 32	2019-02-04 00:05:50.000	11	38.133	23.875	6.000	2019-02-04T00:00:00	00:05:50.000	2019-02-04T00:05:50	11
feature 33	2019-02-04 00:06:00.000	11	38.133	23.875	2.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:00.000	2019-02-04T00:06:00	11
feature 34	2019-02-04 00:06:10.000	11	38.133	23.875	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:10.000	2019-02-04T00:06:10	11
feature 35	2019-02-04 00:06:20.000	11	38.133	23.875	9.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:20.000	2019-02-04T00:06:20	11
feature 36	2019-02-04 00:06:30.000	11	38.133	23.875	6.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:30.000	2019-02-04T00:06:30	11
feature 37	2019-02-04 00:06:40.000	11	38.133	23.875	4.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:40.000	2019-02-04T00:06:40	11
feature 38	2019-02-04 00:06:50.000	11	38.132	23.875	9.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:50.000	2019-02-04T00:06:50	11
feature 39	2019-02-04 00:06:50.000	11	38.132	23.875	9.000	2019-02-04T00:00:00	00:06:50.000	2019-02-04T00:06:50	11
feature 40	2019-02-04 00:07:40.000	11	38.132	23.874	6.000	2019-02-04T00:00:00	00:07:40.000	2019-02-04T00:07:40	11
feature 41	2019-02-04 00:07:50.000	11	38.132	23.874	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:07:50.000	2019-02-04T00:07:50	11
feature 42	2019-02-04 00:08:00.000	11	38.132	23.874	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:00.000	2019-02-04T00:08:00	11
feature 43	2019-02-04 00:08:10.000	11	38.132	23.874	0.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:10.000	2019-02-04T00:08:10	11
feature 44	2019-02-04 00:08:20.000	11	38.132	23.874	9.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:20.000	2019-02-04T00:08:20	11
feature 45	2019-02-04 00:08:30.000	11	38.132	23.874	1.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:30.000	2019-02-04T00:08:30	11
feature 46	2019-02-04 00:08:40.000	11	38.132	23.874	5.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:40.000	2019-02-04T00:08:40	11
feature 47	2019-02-04 00:08:50.000	11	38.132	23.874	3.000	2019-02-04T00:00:00	00:08:50.000	2019-02-04T00:08:50	11
feature 48	2019-02-04 00:09:00.000	11	38.132	23.873	6.000	2019-02-04T00:00:00	00:09:00.000	2019-02-04T00:09:00	11
feature 49	2019-02-04 00:09:10.000	11	38.132	23.873	7.000	2019-02-04T00:00:00	00:09:10.000	2019-02-04T00:09:10	11
feature 50	2019-02-04 00:09:20.000	11	38.131	23.873	20.000	2019-02-04T00:00:00	00:09:20.000	2019-02-04T00:09:20	11

Εικόνα 32: Απόσπασμα εγγραφών αρχικών δεδομένων

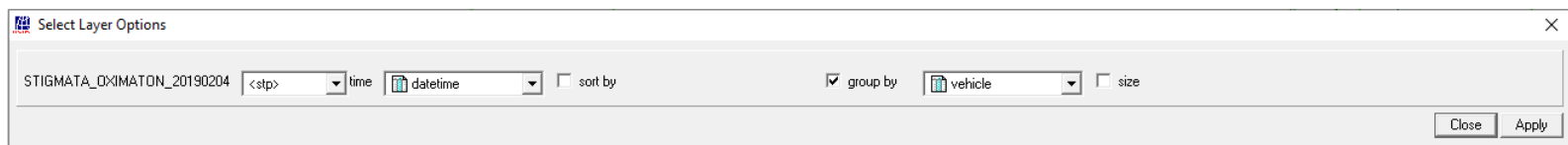
3.3.4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΚΥΒΟΥ

Στο τελικό στάδιο έγινε η δημιουργία του κύβου. Πιο συγκεκριμένα έγινε αναπαράσταση των δεδομένων αφού πρώτα έγινε εισαγωγή ενός στατικού χάρτη ο οποίος λειτούργησε ως χάρτης βάσης ή αλλιώς ‘basemap’ για τον κύβο. Ως χάρτης βάσης χρησιμοποιήθηκε υπόβαθρο από το OpenStreetMaps (OSM), στον οποίο έγινε περικοπή στο λογισμικό ArcMap ως προς την έκταση των διαδρομών των απορριμματοφόρων, ώστε να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα στα όρια του κύβου. Έπειτα έγινε εισαγωγή του χάρτη στο ILWIS και έγινε αναπαράσταση αυτού με βάση το έγχρωμο σύνθετο ‘123’. Επομένως το υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε απεικονίζεται παρακάτω, διαμορφωμένο στην έκταση της περιοχής που έγιναν οι διαδρομές των οχημάτων:



Εικόνα 33: Ο χάρτης του OpenStreetMap ως υπόβαθρο για τον κύβο

Έπειτα, με βάση τα εργαλεία τρισδιάστατης ανάλυσης έγινε δημιουργία του κύβου, καθώς δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχες χωρο-χρονικές διαδρομές (STP) για όλα τα οχήματα, αφού έγινε η ομαδοποίηση των στιγμάτων των απορριμματοφόρων με βάση τον κωδικό του κάθε απορριμματοφόρου και αφού ορίστηκε ως χρόνος το πεδίο της χρονικής σήμανσης από τον πίνακα των δεδομένων. Έτσι οι ρυθμίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία του κύβου φαίνονται στην Εικόνα 34:



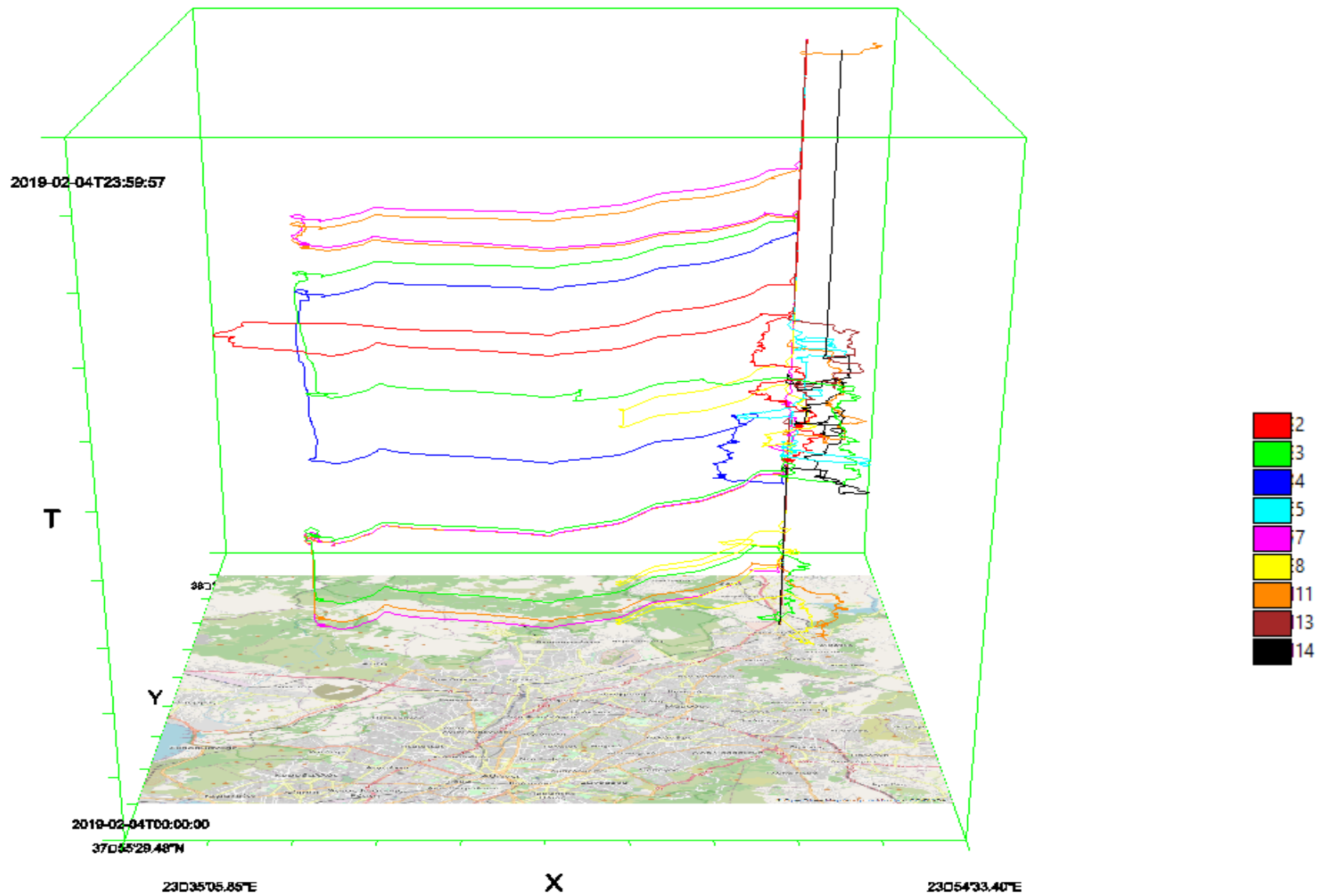
Εικόνα 34: Ρυθμίσεις κατασκευής χωρο-χρονικού κύβου στο λογισμικό

Με βάση όλα τα παραπάνω, δημιουργήθηκε ο κύβος στον οποίο απεικονίζονται οι διαδρομές των απορριμματοφόρων και ο οποίος απεικονίζεται στην Εικόνα 35. Η εικόνα αυτή αποτελεί μία από τις δύο απεικονίσεις στις οποίες διεξήχθη το πείραμα που θα αναφερθεί παρακάτω.

Επίσης να αναφερθεί με βάση την παρακάτω εικόνα, ότι ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει μετρήσεις στον κάθετο άξονα μετακινώντας τον χάρτη κατά τον άξονα του χρόνου T και μπορεί να δει μέσω αυτού όποια χρονική στιγμή επιθυμεί για να απαντήσει πιθανώς κάποια ερώτηση ή να κάνει κάποια μέτρηση.

Επίσης το υπόμνημα δείχνει την ταυτότητα (id) κάθε απορριμματοφόρου ξεχωριστά με το αντίστοιχο χρώμα. Όλα τα ίχνη των απορριμματοφόρων στη διάρκεια της ημέρας εμφανίζονται με το μοναδικό χρώμα που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτά με βάση το υπόμνημα.

Επίσης να τονιστεί ότι οι οριζόντιες γραμμές δείχνουν μετακίνηση των οχημάτων από μία σε περιοχή σε μία άλλη ή αλλιώς δείχνουν κίνηση γενικότερα, ενώ οι κατακόρυφες/κάθετες γραμμές δείχνουν στάθμευση των οχημάτων.



Εικόνα 35: Αναπαράσταση διαδρομών των απορριμματοφόρων στον χωρο-χρονικό κύβο μαζί με το υπόμνημα

3.4. ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ARCGIS ONLINE (2D ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ)

3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

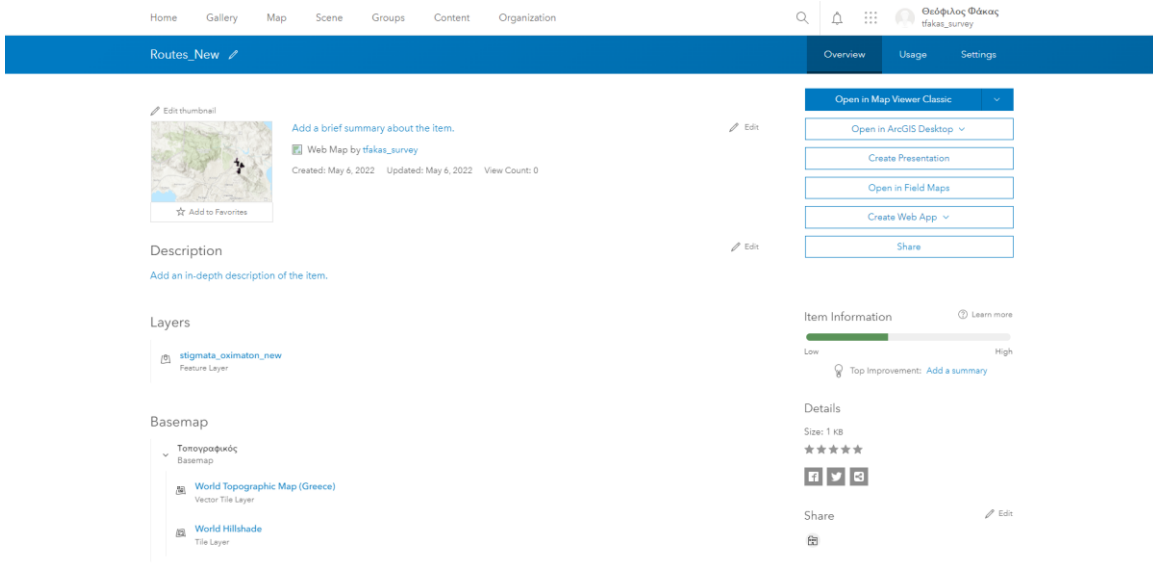
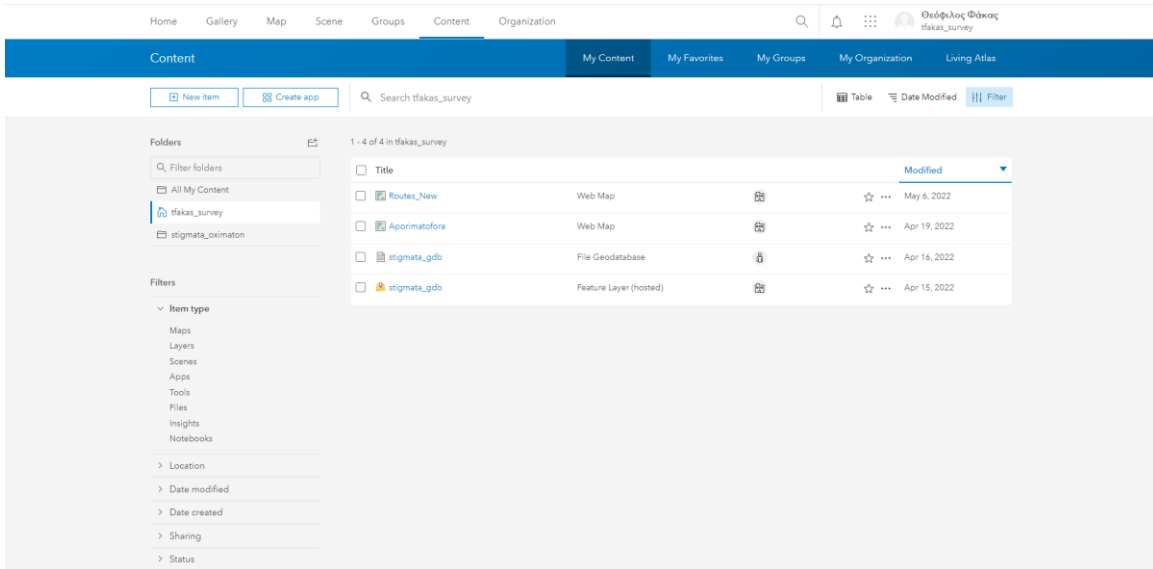
Το ArcGIS Online αποτελεί βασικό στοιχείο και αναπόσπαστο μέρος του συστήματος ArcGIS της Esri. Πρόκειται για ένα σύστημα που διαχειρίζεται διάφορες εφαρμογές και πρότυπα για τη δημιουργία διαδραστικών χαρτών. Οι χρήστες του ArcGIS Online μπορούν να μοιράζονται χάρτες μέσα σε έναν οργανισμό, αλλά και γενικότερα, τους οποίους μπορούν να επεξεργάζονται μέσω εργαλείων που βρίσκονται σε διάφορες ψηφιακές πλατφόρμες, όπως είναι για παράδειγμα το διαδίκτυο. Τα δεδομένα, που οπτικοποιούνται μέσω χαρτών αλλά και ως πηγή πληροφόρησης, είναι προσβάσιμα από άλλους προγραμματιστές του διαδικτύου και από αναλυτές GIS που μπορούν να μοιραστούν το περιεχόμενό τους μέσω του ίδιου συστήματος. Το ArcGIS Online χρησιμοποιείται κυρίως από επαγγελματίες του GIS για τη δημοσίευση πληροφοριών στο διαδίκτυο, όπως είναι για παράδειγμα οι γεωγραφικές πληροφορίες αλλά και πληροφορίες που σχετίζονται με τη χαρτογραφία. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ArcGIS Online για να εφαρμόσουν δυνατότητες που δεν υπάρχουν στα ArcGIS Desktop.

3.4.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ARCGIS ONLINE

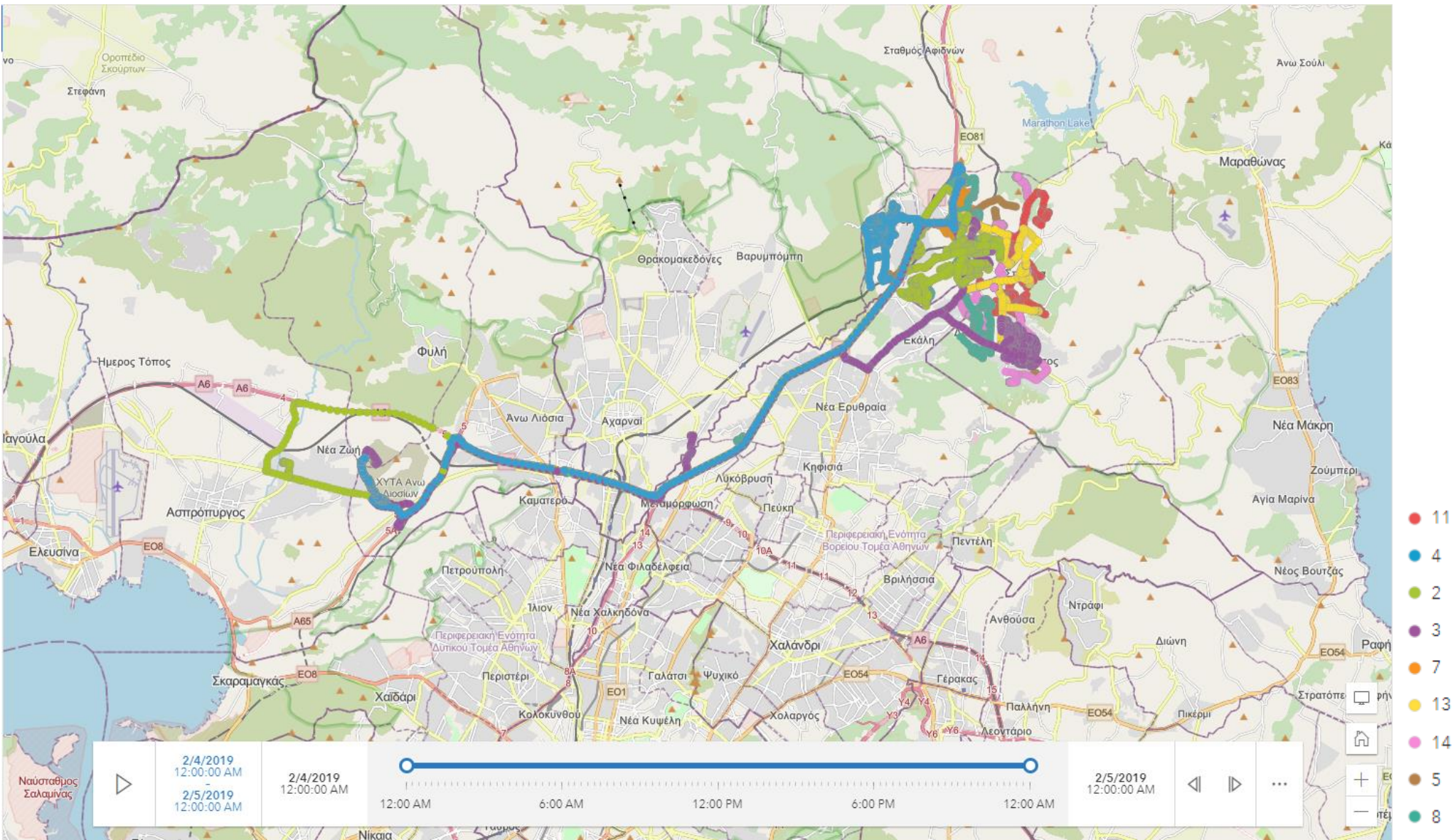
Το περιβάλλον του λογισμικού αποτελείται από πολλές καρτέλες στις οποίες μπορεί κανείς να διαχειριστεί τα δεδομένα και να πραγματοποιήσει οποιεσδήποτε ρυθμίσεις είναι απαραίτητες για να αναπαραστήσει τα δεδομένα. Στο παράθυρο '**Content**' αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα τα οποία αναρτά ο χρήστης στο ArcGIS Online.

Η αναπαράσταση των δεδομένων έγινε μέσω του 'Map Viewer' και ως basemap χρησιμοποιήθηκε χάρτης του OSM που διαθέτει το λογισμικό. Επίσης για τα δεδομένα έγινε ενεργοποίηση των ρυθμίσεων του χρόνου, προκειμένου να είναι δυνατή η δημιουργία της διαδραστικής κίνησης των δεδομένων στον χώρο με βάση την πληροφορία του χρόνου (time slider). Έτσι σύμφωνα με τα παραπάνω απεικονίζονται στη συνέχεια ενδεικτικά μερικές εικόνες που δείχνουν τις διάφορες καρτέλες του ArcGIS

Online και το περιβάλλον αναπαράστασης των δεδομένων του χρόνου που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για το πείραμα.



Εικόνες 36 και 37: Ενδεικτικές καρτέλες από το ArcGIS Online



Εικόνα 38: Αναπαράσταση διαδρομών των απορριμματοφόρων στο ArcGIS Online, μαζί με το time slider στο Map Viewer

3.5. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση της οπτικοποίησης/απεικόνισης των δεδομένων στα δύο περιβάλλοντα απεικόνισης, απαραίτητη ήταν η διατύπωση ερωτήσεων, οι οποίες χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες με βάση:

- a) την κατηγορία των χωρο-χρονικών δεδομένων ως προς το αντικείμενο της ερώτησης (βλ. υπο-ενότητα 2.2.3) και
- b) το αντικείμενο της οπτικοποίησης (τοποθεσία, ανίχνευση και σύγκριση)

Ο διαχωρισμός των ερωτήσεων με βάση τα παραπάνω κριτήρια, βασίστηκε στο πρότυπο των ερωτήσεων που είχαν φτιάξει ο Tiago Goncalves και οι συνεργάτες του στην δικιά τους μελέτη που διεξήχθη το 2015 (Goncalves κ.ά., 2015). Έτσι με βάση τα παραπάνω, το σύνολο των ερωτήσεων που διατυπώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εμπειρική μελέτη είναι το παρακάτω:

Πίνακας 1: Ερωτήσεις ως προς τα δεδομένα ταξινομημένα ως προς την χωροχρονική κατηγορία και το αντικείμενο οπτικοποίησης

Χωροχρονική Κατηγορία	Αντικείμενο Οπτικοποίησης	Ερώτηση
Ειδικό 'When' και Ειδικό 'What + Where'	Τοποθεσία	Σε ποια περιοχή βρίσκεται το απορριμματοφόρο '13' τη χρονική στιγμή 2:00:00 PM ;
	Ανίχνευση	Ποιο/α απορριμματοφόρα βρισκόταν/ντουσαν στην ευρύτερη περιοχή του 'ΧΥΤΑ Φυλής' την χρονική στιγμή 10:00:00 AM ;
Γενικό 'When' και Ειδικό 'What + Where'	Ανίχνευση	Ποιες περιοχές επισκέφθηκε το απορριμματοφόρο '5' στην διάρκεια της ημέρας ;
Γενικό 'When' και Γενικό 'What + Where'	Σύγκριση	Το απορριμματοφόρο '14' έκανε μεγαλύτερη διαδρομή από το απορριμματοφόρο '7' ;
	Ανίχνευση	Ποια απορριμματοφόρα ταξίδεψαν και έξω από την περιοχή του Αγίου Στεφάνου ;
Ειδικό 'When' και Γενικό 'What + Where'	Τοποθεσία	Σε ποια/ποιες περιοχές παρατηρείται πυκνότερη κυκλοφορία απορριμματοφόρων ;

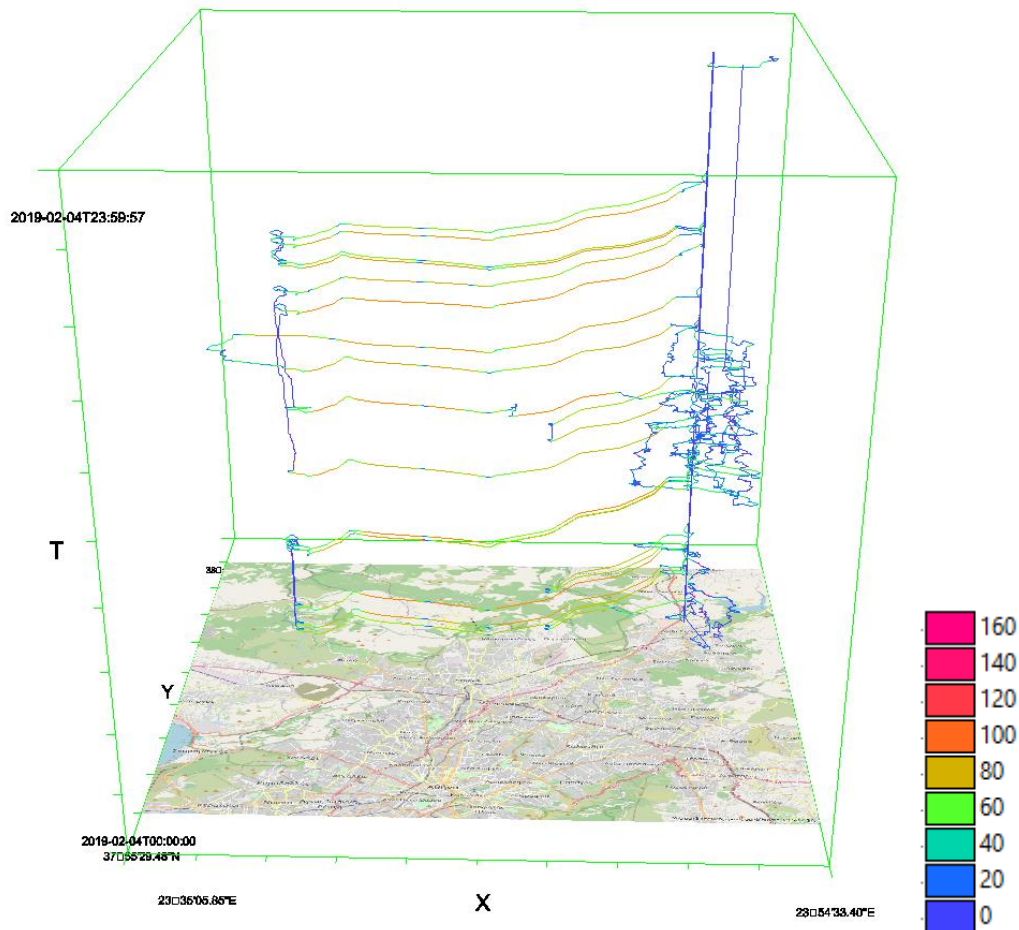
	Ανίχνευση	Το απορριμματοφόρο '3' στάθμευσε στην περιοχή του ΧΥΤΑ Φυλής στις 4:15:00 AM. Για πόση ώρα έμεινε σταθμευμένο το απορριμματοφόρο, μέχρι αυτό πάλι να αρχίσει να κινείται ;
--	-----------	--

Όμως, μπορούν να προκύψουν και πιο γενικές ερωτήσεις με βάση το περιεχόμενο του κύβου, οι οποίες είναι περισσότερο σημασιολογικής φύσεως. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν να κάνουν και με το θεωρητικό υπόβαθρο του κύβου αλλά και λειτουργίες που απαιτούν διάφορες μετρήσεις επί του κύβου. Για παράδειγμα αναφέρονται στη συνέχεια μερικές ενδεικτικές ερωτήσεις μαζί με τις απαντήσεις τους. Να αναφερθεί ότι οι ερωτήσεις αυτές δεν συμπεριλήφθηκαν στο πείραμα παρά μόνο για επεξήγηση μερικών χαρακτηριστικών του κύβου.

Πίνακας 2: Σημασιολογικές ερωτήσεις με βάση το περιεχόμενο του κύβου

<u>No.</u>	<u>Ερωτήσεις</u>	<u>Απαντήσεις</u>
1	Σε ποια οδό παρατηρείται η μεγαλύτερη ταχύτητα ?	Με βάση τον χάρτη και τις ταχύτητες, η μεγαλύτερη ταχύτητα των οχημάτων στις διάφορες χρονικές στιγμές της μέρας παρατηρείται στην Αττική Οδό
2	Πόση ώρα έμειναν σταθμευμένα τα απορριμματοφόρα '7,11' στην περιοχή του 'ΧΥΤΑ Φυλής' ?	Απορριμματοφόρο 7: 2 ώρες και 50 λεπτά Απορριμματοφόρο 11: 2 ώρες και 40 λεπτά
3	Τι υποδηλώνουν οι κατακόρυφες ευθείες (κατά τον άξονα του χρόνου) ?	Ότι τα απορριμματοφόρα παρέμειναν στάσιμα στην αντίστοιχη περιοχή, δηλαδή έμειναν ακίνητα
4	Τι υποδηλώνουν οι οριζόντιες ευθείες (κατά τον άξονα του χώρου) κατά μήκος του κύβου ?	Ότι τα απορριμματοφόρα πραγματοποιούσαν κίνηση στις διάφορες χρονικές στιγμές κατά μήκος των περιοχών

Όσον αφορά την πρώτη σημασιολογική ερώτηση, η απάντηση προέρχεται αφού αλλάξουμε τις ρυθμίσεις στον κύβο, όπως απεικονίζεται, ώστε να εμφανίζει την ταχύτητα και παρατηρώντας τον χάρτη και τις τιμές την ταχύτητα από το υπόμνημα, που εμφανίζονται ποσοτικά.



Εικόνα 39: Αναπαράσταση της ταχύτητας των απορριμματοφόρων στον χωρο-χρονικό κύβο μαζί με το υπόμνημα

Όσον αφορά την δεύτερη ερώτηση, η απάντηση προκύπτει μετακινώντας τον χάρτη κατά τον άξονα του χρόνου στα τμήματα όπου τα απορριμματοφόρα ήταν σταθμευμένα στον ΧΥΤΑ Φυλής μετρώντας από το σημείο όπου το όχημα είχε ταχύτητα μηδέν έως το σημείο που άρχισε το απορριμματοφόρο να κινείται.

3.6. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή της έρευνας είναι το **Alchemer**¹ στο οποίο κλήθηκαν οι συμμετέχοντες να απαντήσουν τις ερωτήσεις.

Το Alchemer αποτελεί ένα εμπορικό λογισμικό έρευνας το οποίο υλοποιήθηκε το 2006 και έκτοτε χρησιμοποιείται από πολλούς οργανισμούς και εταιρείες για έρευνα.

Στην συγκεκριμένη εργασία, χρησιμοποιήθηκε το 'Survey' για την διαμόρφωση των ερωτήσεων, το οποίο ουσιαστικά πρόκειται για ένα ερωτηματολόγιο. Επίσης το Alchemer δίνει τη δυνατότητα μέτρησης του χρόνου που κάνει ο χρήστης να απαντήσει την ερώτηση από τη στιγμή που θα διαβάσει την ερώτηση. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε και το συγκεκριμένο workspace. Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από 4 μέρη ή αλλιώς 4 σελίδες:

- i) από την εισαγωγή,
- ii) από τις δημογραφικές ερωτήσεις οι οποίες αφορούν το προφίλ των συμμετεχόντων,
- iii) από τις ερωτήσεις που αφορούν την οπτικοποίηση των δεδομένων και
- iv) από τις ερωτήσεις που αφορούν την αξιολόγηση της χρηστικότητας των αναπαραστάσεων.

3.6.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Για την αξιολόγηση της χρηστικότητας των αναπαραστάσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αξιολόγησης **System Usability Scale** (SUS) η οποία μετράει τη χρηστικότητα ή την αποτελεσματικότητα ενός ή πολλών συστημάτων, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στην προκειμένη περίπτωση τα συστήματα αυτά είναι το ILWIS και το ArcGIS Online.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελείται από ένα σύνολο 10 ερωτήσεων με 5 επιλογές απάντησης η κάθε μία από αυτές, καθώς οι επιλογές αυτές αποτελούν κλιμακωτή κλίμακα που κυμαίνεται μεταξύ του 'Διαφωνώ απόλυτα' και 'Συμφωνώ απόλυτα'. Η μέθοδος αυτή δημιουργήθηκε από τον John Brooke το 1986, οποίος τότε την είχε χρησιμοποιήσει για να αξιολογήσει ηλεκτρονικά

¹ <https://www.alchemer.com/why-alchemer/>

συστήματα και έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση μεγάλου εύρους υπηρεσιών και εφαρμογών.

Δύο σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι είναι πολύ εύκολη και απλή στην χρήση της και μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρά δείγματα δίνοντας αξιόπιστα αποτελέσματα.

Στην επόμενη ενότητα θα αναφερθούν οι 10 ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

3.7. ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Η εμπειρική έρευνα έλαβε μέρος στη Σχολή των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής (ΣΑΤΜ-ΜΓ), στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Πιο συγκεκριμένα η έρευνα έγινε σε δύο ημέρες, όπου την πρώτη φορά έλαβε μέρος στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας στο κτίριο ‘Λαμπαδάριο’ και την δεύτερη φορά έλαβε μέρος στο Κέντρο Γεωπληροφορικής που βρίσκεται στο ίδιο κτίριο.

Συνολικά έλαβαν μέρος 72 συμμετέχοντες από τους οποίους οι 67 ήταν προπτυχιακοί φοιτητές του 4^{ου} εξαμήνου της προαναφερθείσας σχολής, και οι 5 ήταν προπτυχιακοί φοιτητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών (ΣΜΜΜ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Όλοι οι φοιτητές θεωρήθηκαν ως μη ειδικοί ως προς το αντικείμενο και χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, όπου η πρώτη απάντησε τις ερωτήσεις στο ένα λογισμικό και η δεύτερη στο άλλο λογισμικό. Να τονιστεί πως η συλλογή των ερωτηματολογίων ήταν ανώνυμη και η απάντηση σε κάθε ερώτηση ξεχωριστά υποχρεωτική.

Ωστόσο λόγω κάποιων τεχνικών προβλημάτων κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, ακυρώθηκαν 3 ερωτηματολόγια με αποτέλεσμα να έχουμε 69 συμμετοχές και μετέπειτα λόγω διάφορων ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν (βλ. Κεφάλαιο 4) ακυρώθηκε ακόμα ένα ερωτηματολόγιο με αποτέλεσμα να έχουμε συνολικά 68 συμμετοχές.

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν μόνο σταθεροί υπολογιστές (Desktops) και πιο συγκεκριμένα οι οθόνες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Την πρώτη μέρα: μία οθόνη 24'' για το ArcGIS Online και μία οθόνη 22'' για το ILWIS
- Τη δεύτερη μέρα: οθόνες 19'' και για τα δύο λογισμικά

Τέλος, να αναφερθεί ότι οι συμμετέχοντες πέρασαν από ένα στάδιο εξάσκησης/εξοικείωσης (practice session) με το περιβάλλον και τα δεδομένα του λογισμικού που χρησιμοποίησαν. Μετά από το στάδιο αυτό, προχώρησαν στο στάδιο απάντησης των ερωτήσεων (test session).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πείραμα, για κάθε μία ενότητα του ερωτηματολογίου ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, θα απεικονιστούν τα κατάλληλα γραφήματα με τους αντίστοιχους πίνακες για κάθε μία ερώτηση ξεχωριστά και συνολικά, που αφορούν το ποσοστό σωστών απαντήσεων και το χρόνο απόκρισης των ερωτήσεων ανάμεσα στα δύο λογισμικά, καθώς επίσης θα πραγματοποιηθεί μία στατιστική ανάλυση όπου θα ελεγχθεί η κατανομή και η ανεξαρτησία των δειγμάτων.

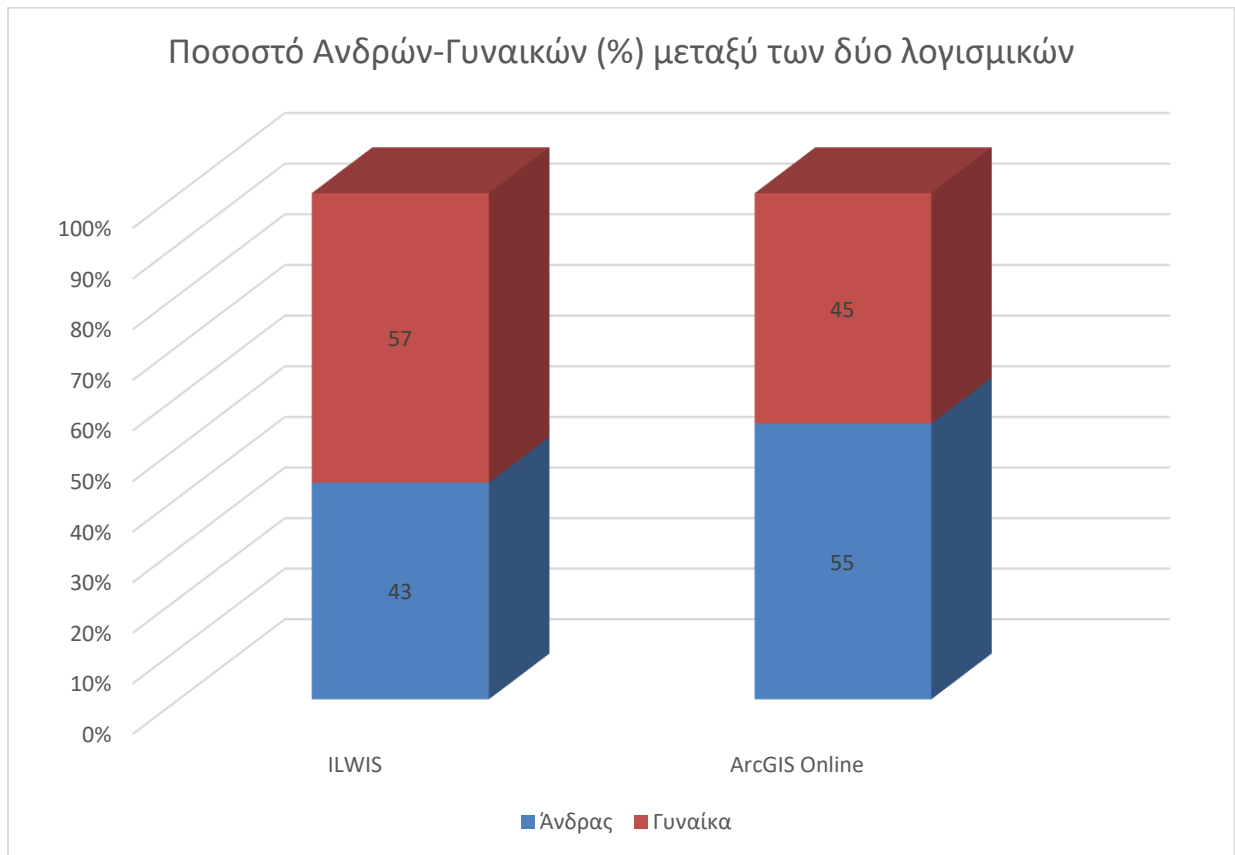
4.2. ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

Από τους 68 συμμετέχοντες, οι 33 (49%) ήταν Άνδρες και οι 35 Γυναίκες (51%) ηλικίας από 18 έως 25 χρονών και μόνο 10 φοιτητές από τους συμμετέχοντες είχαν κάποια επαφή από πριν με εργαλεία οπτικοποίησης και πιο συγκεκριμένα κατά κύριο λόγο με το ArcGIS και με το QGIS. Οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, όπου η πρώτη ομάδα απάντησε το σύνολο των ερωτήσεων στο ILWIS και η δεύτερη ομάδα απάντησε το ίδιο σύνολο των ερωτήσεων στο ArcGIS Online. Επίσης να αναφερθεί ότι διατηρήθηκε ισορροπία ανάμεσα στο φύλο των συμμετεχόντων σε κάθε ομάδα.



Γράφημα 1: Ποσοστό Ανδρών – Γυναικών (%) που έλαβαν μέρος στο πείραμα

Από τους 68 οι 35 απάντησαν το ερωτηματολόγιο στο ILWIS και οι 33 στο ArcGIS Online. Πιο συγκεκριμένα για το ILWIS από τους 35 οι 15 (43%) ήταν Άνδρες και οι 20 (57%) Γυναίκες, ενώ για το ArcGIS Online από τους 33 οι 18 (55%) ήταν Άνδρες και οι 15 (45%) Γυναίκες όπως φαίνεται και στο διάγραμμα παρακάτω:



Γράφημα 2: Ποσοστό Ανδρών – Γυναικών (%) ανάμεσα στα δύο λογισμικά

4.3. ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

4.3.1 ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΡΩΤΗΣΕΩΝ

Προτού παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των ερωτήσεων, θα δοθούν πρώτα οι απαντήσεις στις ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο ερωτηματολόγιο:

Πίνακας 3: Απαντήσεις των ερωτήσεων

Χωροχρονική Κατηγορία	Αντικείμενο Οπτικοποίησης	Ερώτηση	Απαντήσεις
Elementary 'When' and Elementary 'What + Where'	Τοποθεσία	Σε ποια περιοχή βρίσκεται το απορριμματοφόρο '13' τη χρονική στιγμή 2:00:00 PM ;	Στην περιοχή του Αγίου Στεφάνου
	Ανίχνευση	Ποιο/α απορριμματοφόρα βρισκόταν/ντουσαν στην ευρύτερη περιοχή του 'ΧΥΤΑ Φυλής' την χρονική στιγμή 10:00:00 AM ;	Μόνο το απορριμματοφόρο '4'
General 'When' and Elementary 'What + Where'	Ανίχνευση	Ποιες περιοχές επισκέφθηκε το απορριμματοφόρο '5' στην διάρκεια της ημέρας ;	Το απορριμματοφόρο '5' επισκέφθηκε τις περιοχές του Διονύσου, της Δροσιάς, της Άνοιξης, της Ροδόπολης, της Σταμάτας και του Αγίου Στεφάνου
General 'When' and General 'What + Where'	Σύγκριση	Το απορριμματοφόρο '14' έκανε μεγαλύτερη διαδρομή από το απορριμματοφόρο '7' ;	Όχι το απορριμματοφόρο '14' έκανε μικρότερη διαδρομή καθώς το απορριμματοφόρο '7' έφτασε μέχρι την περιοχή του 'ΧΥΤΑ Φυλής', ενώ το απορριμματοφόρο 14 κινήθηκε στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Στεφάνου
	Ανίχνευση	Ποια απορριμματοφόρα ταξίδεψαν και έξω από την περιοχή του Αγίου Στεφάνου ;	Ταξίδεψαν τα απορριμματοφόρα: 2, 3, 4, 8, 8 και 11
Elementary 'When' and General 'What + Where'	Τοποθεσία	Σε ποια/ποιες περιοχές παρατηρείται πυκνότερη κυκλοφορία απορριμματοφόρων ;	Στην ευρύτερη περιοχή του Αγίου Στεφάνου

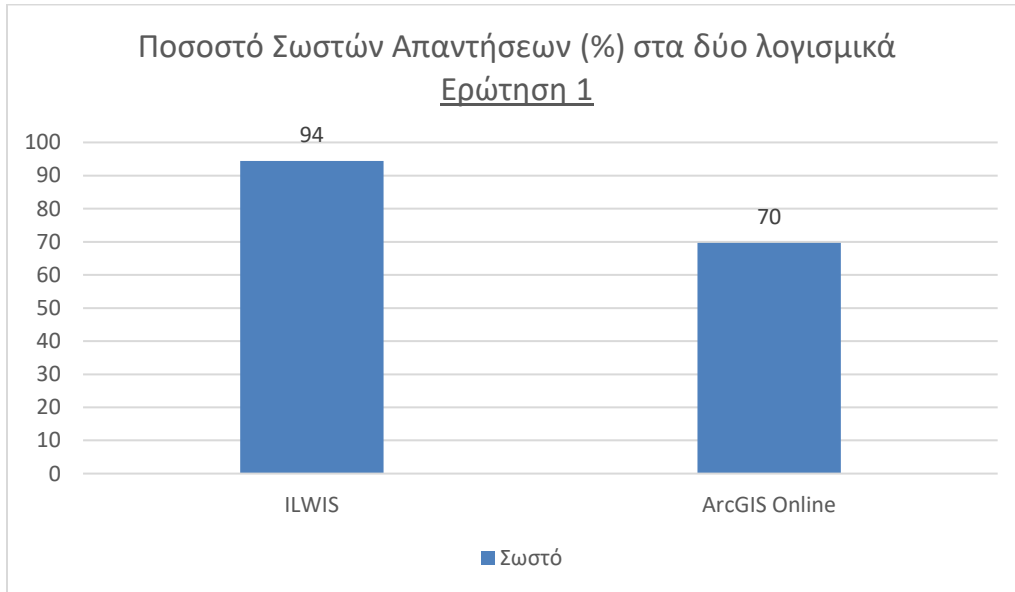
	Ανίχνευση	Το απορριμματοφόρο '3' στάθμευσε στην περιοχή του ΧΥΤΑ Φυλής στις 4:15:00 AM. Για πόση ώρα έμεινε σταθμευμένο το απορριμματοφόρο, μέχρι αυτό πάλι να αρχίσει να κινείται ;	1 ώρα και 45 λεπτά
--	-----------	--	--------------------

Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα για κάθε ερώτηση ξεχωριστά και στο τέλος συνολικά, καθώς θα δοθούν για κάθε ερώτηση τα εξής διαγράμματα:

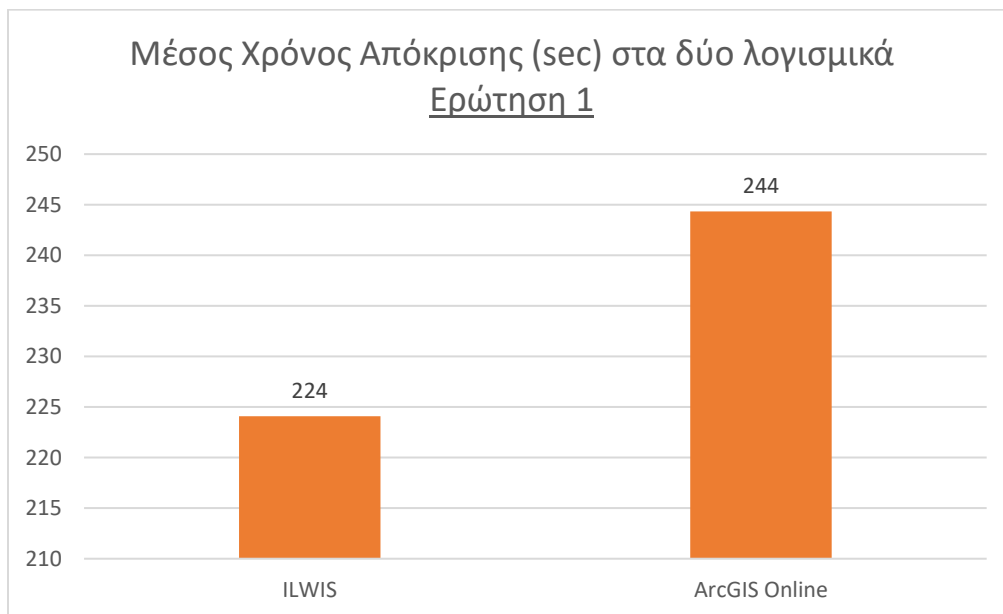
- Ποσοστό Σωστών Απαντήσεων, το οποίο δείχνει πόσοι από τους συμμετέχοντες συνολικά απάντησαν σωστά την κάθε ερώτηση στα δύο λογισμικά.
- Χρόνος Απόκρισης, ο οποίος δείχνει τον χρόνο που χρειάστηκαν οι συμμετέχοντες να απαντήσουν τις ερωτήσεις στα δύο λογισμικά.

4.3.2 ΕΡΩΤΗΣΗ 1

Την ερώτηση 1 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 33 (94%) από τους 35 και μόνο 2 (6%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 23 (70%) απάντησαν σωστά, ενώ 10 (30%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 1 στο ILWIS ήταν 224 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 244 sec.



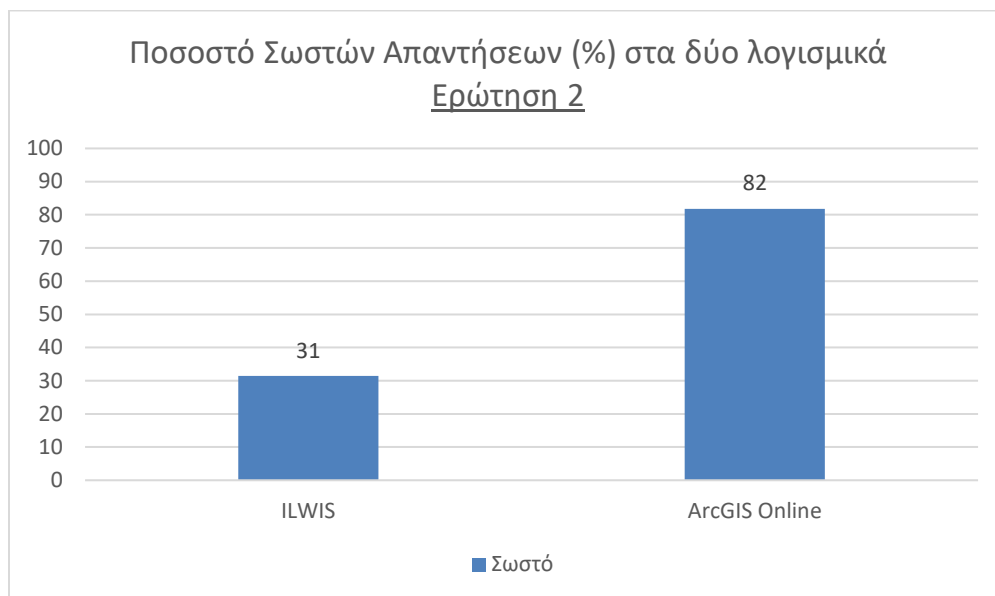
Γράφημα 3: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 1



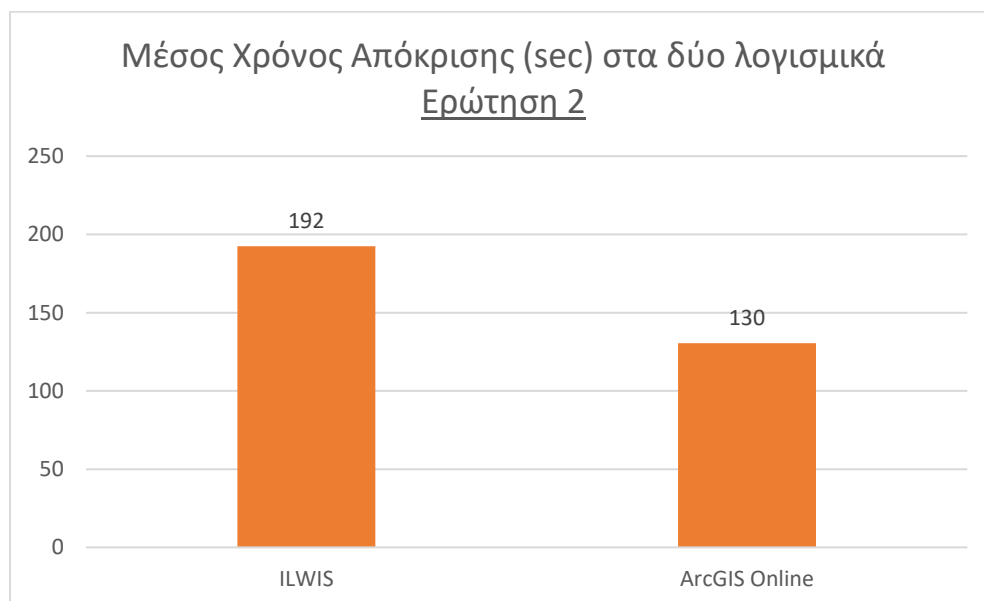
Γράφημα 4: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 1

4.3.3 ΕΡΩΤΗΣΗ 2

Την ερώτηση 2 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 11 (31%) από τους 35, ενώ 24 άτομα (69%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 27 (82%) απάντησαν σωστά, ενώ 6 (18%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 2 στο ILWIS ήταν 192 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 130 sec.



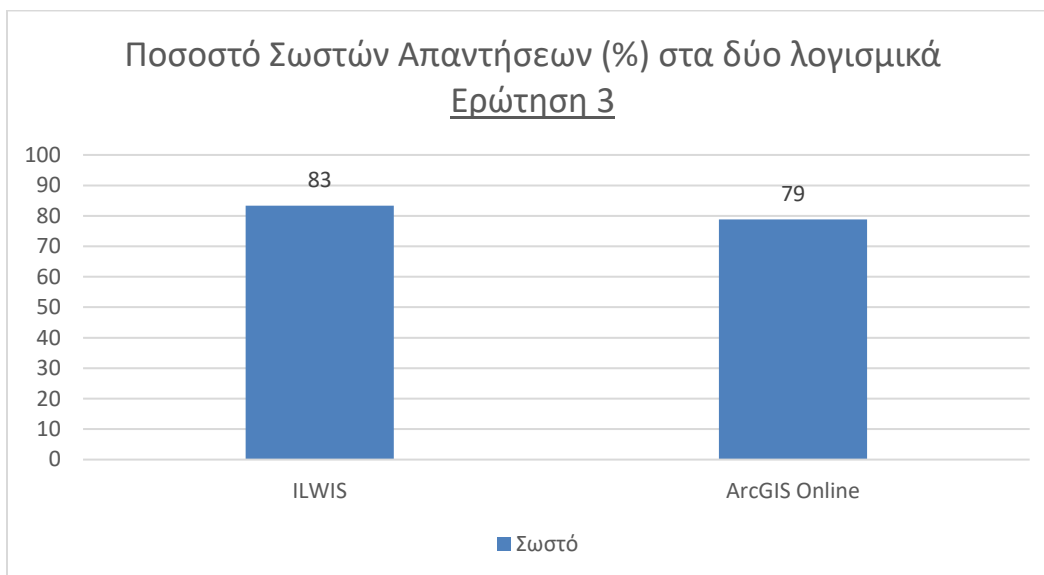
Γράφημα 5: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 1



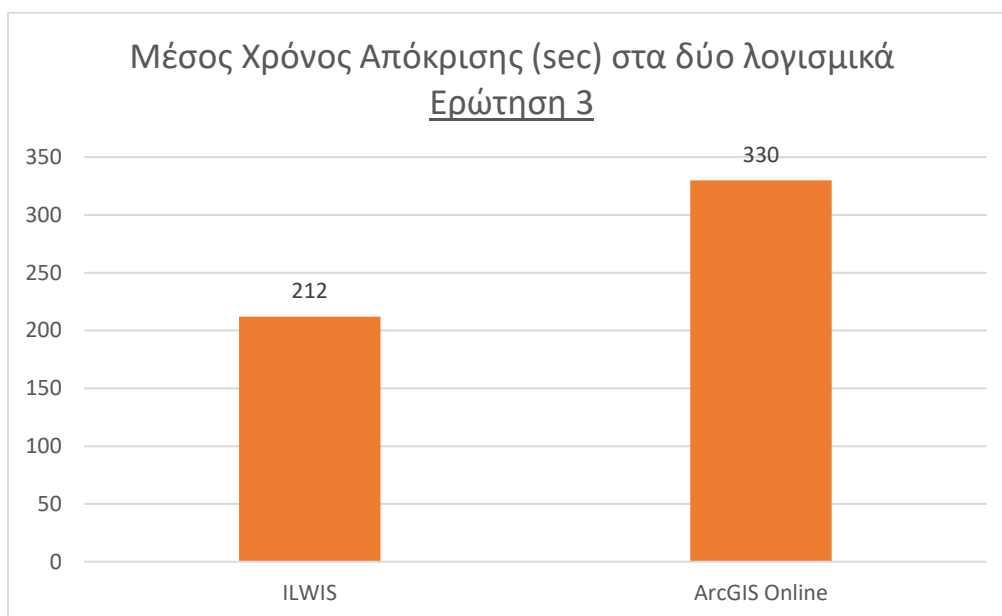
Γράφημα 6: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 2

4.3.4 ΕΡΩΤΗΣΗ 3

Την ερώτηση 3 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 29 (83%) από τους 36, ενώ 6 άτομα (17%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 26 (79%) απάντησαν σωστά, ενώ 7 (21%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 3 στο ILWIS ήταν 212 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 330 sec.



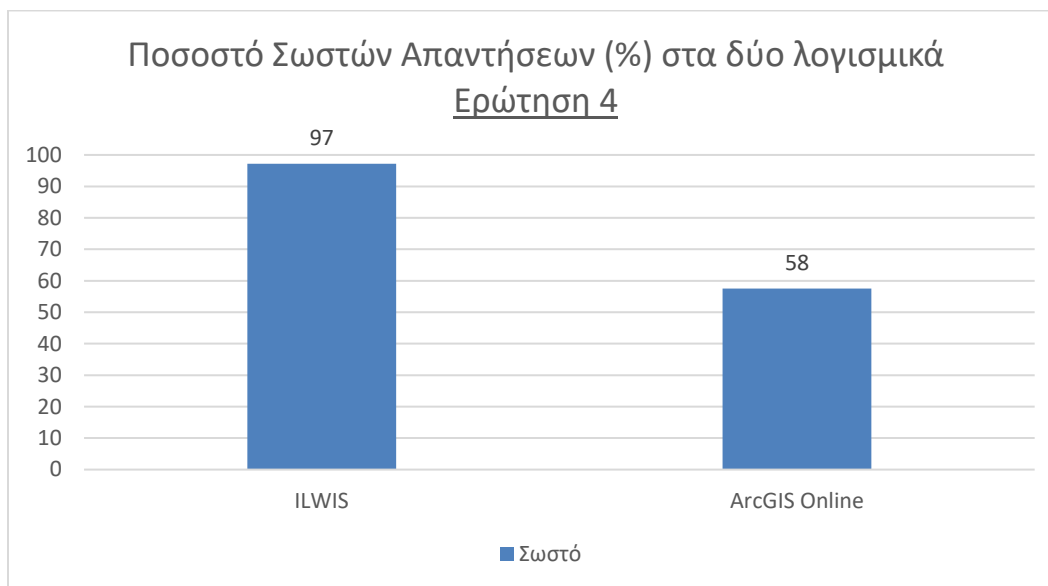
Γράφημα 7: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 3



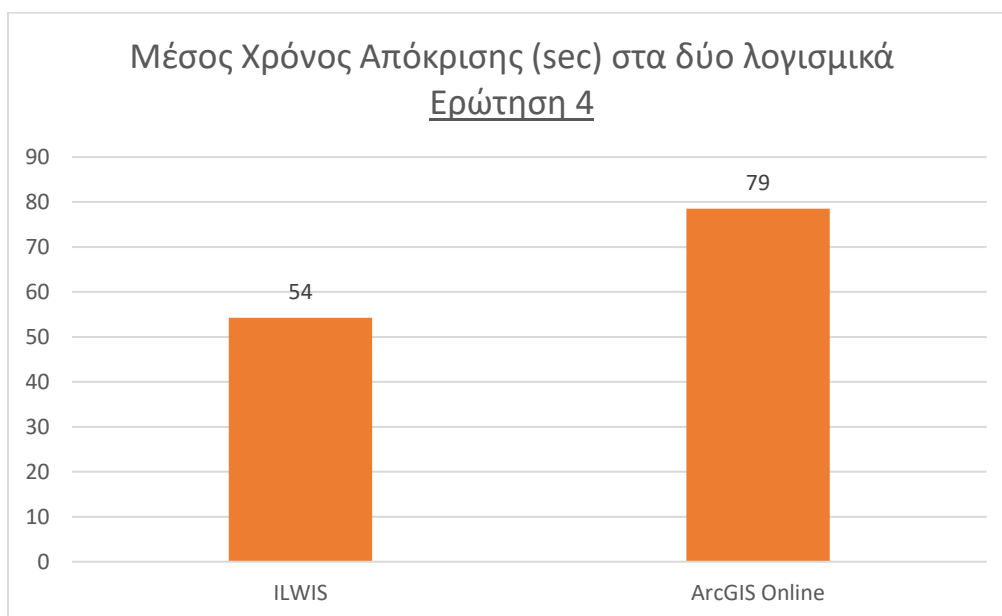
Γράφημα 8: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 3

4.3.5 ΕΡΩΤΗΣΗ 4

Την ερώτηση 4 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 34 (97%) από τους 35, ενώ 1 μόνο άτομο (3%) απάντησε λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 19 (58%) απάντησαν σωστά, ενώ 14 (42%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 4 στο ILWIS ήταν 54 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 79 sec.



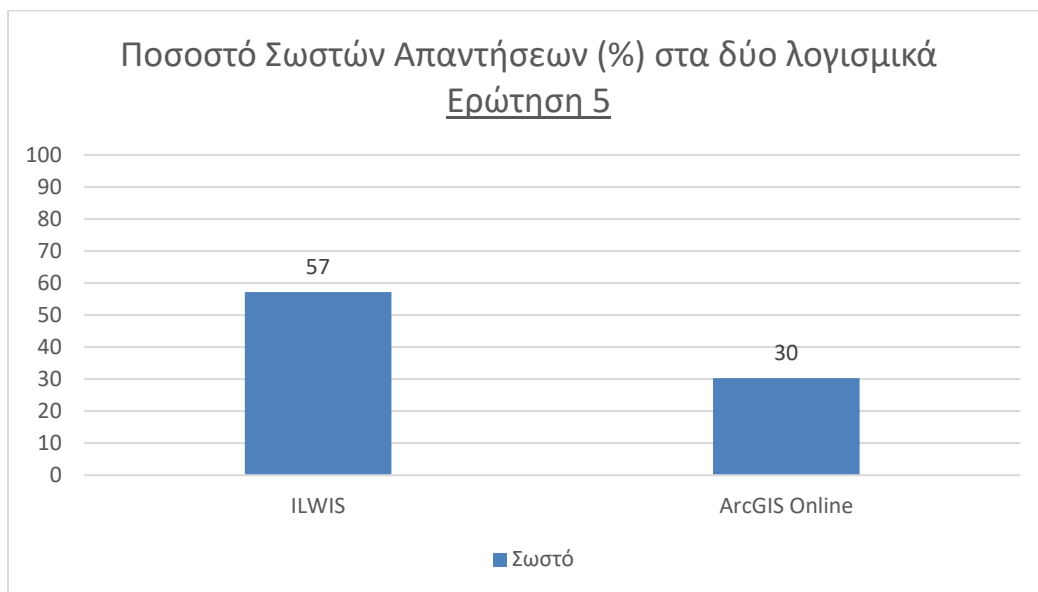
Γράφημα 9: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 4



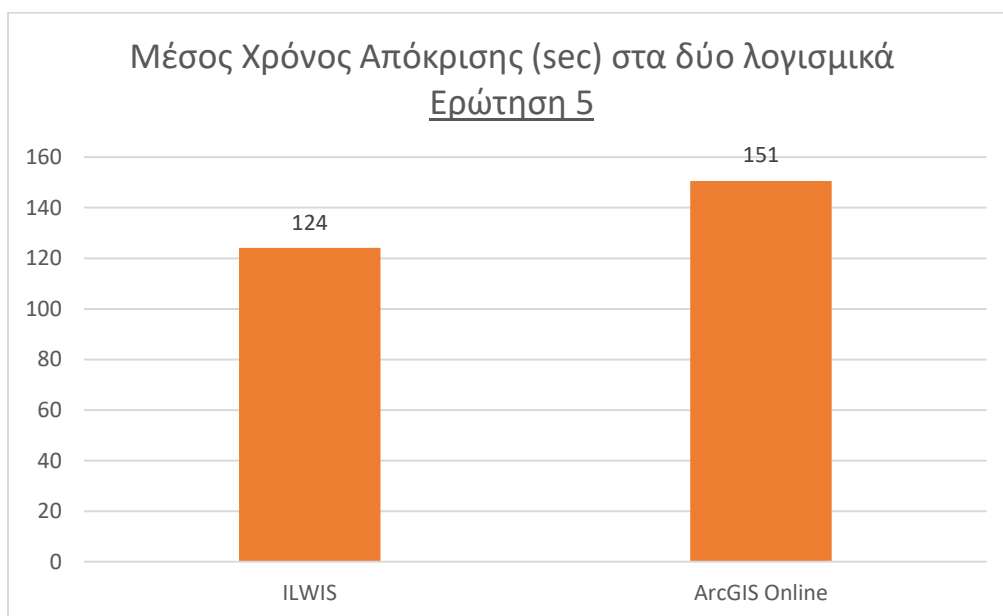
Γράφημα 10: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 4

4.3.6 ΕΡΩΤΗΣΗ 5

Την ερώτηση 5 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 20 (57%) από τους 35, ενώ 15 άτομα (43%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 10 (30%) απάντησαν σωστά, ενώ 23 (70%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 5 στο ILWIS ήταν 124 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 151 sec.



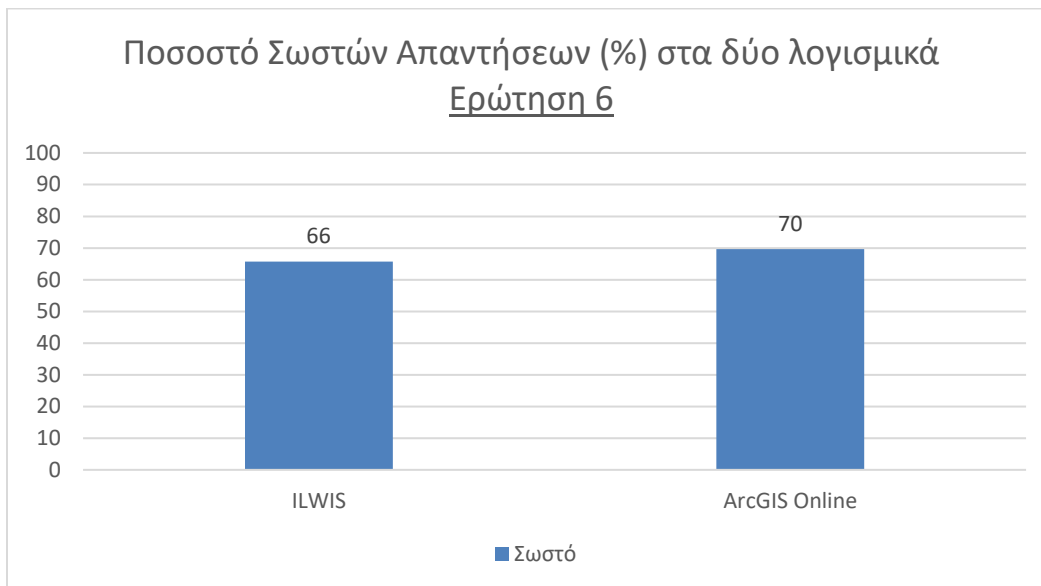
Γράφημα 11: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 5



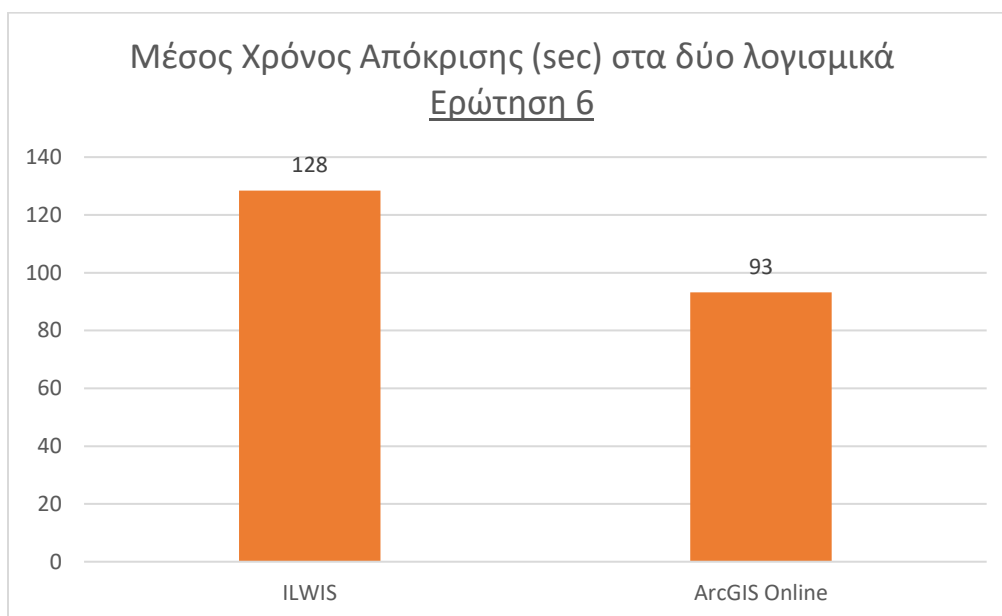
Γράφημα 12: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 5

4.3.7 ΕΡΩΤΗΣΗ 6

Την ερώτηση 6 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 23 (66%) από τους 35, ενώ 12 άτομα (34%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 23 (70%) απάντησαν σωστά, ενώ 10 (30%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 6 στο ILWIS ήταν 128 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 93 sec.



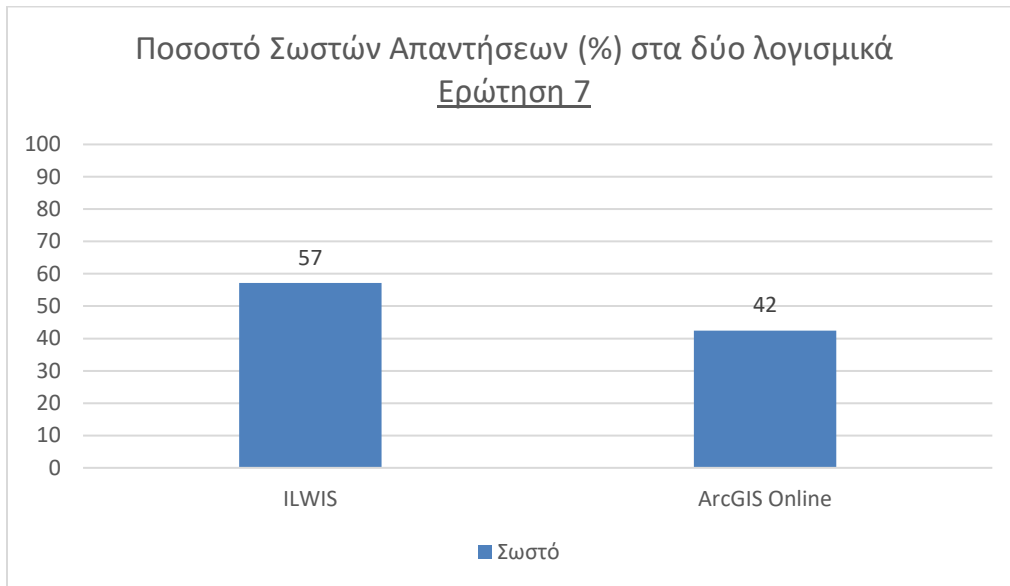
Γράφημα 13: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 6



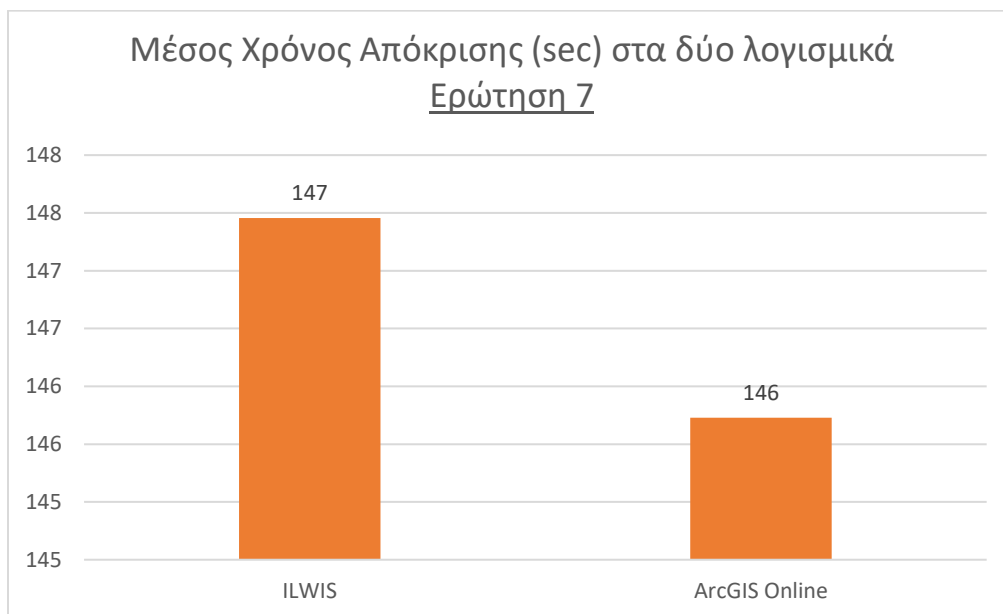
Γράφημα 14: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 6

4.3.8 ΕΡΩΤΗΣΗ 7

Την ερώτηση 7 απάντησαν σωστά στο ILWIS οι 20 (57%) από τους 35, ενώ 15 άτομα (43%) απάντησαν λάθος. Αντίστοιχα για το ArcGIS Online από τους 33, οι 14 (42%) απάντησαν σωστά, ενώ 19 (58%) άτομα έδωσαν λάθος απάντηση. Επίσης, όσον αφορά τον χρόνο απόκρισης στα δύο λογισμικά, ο μέσος χρόνος απόκρισης που χρειάστηκε για να απαντηθεί η ερώτηση 7 στο ILWIS ήταν 147 sec ενώ για το ArcGIS Online ήταν 146 sec.



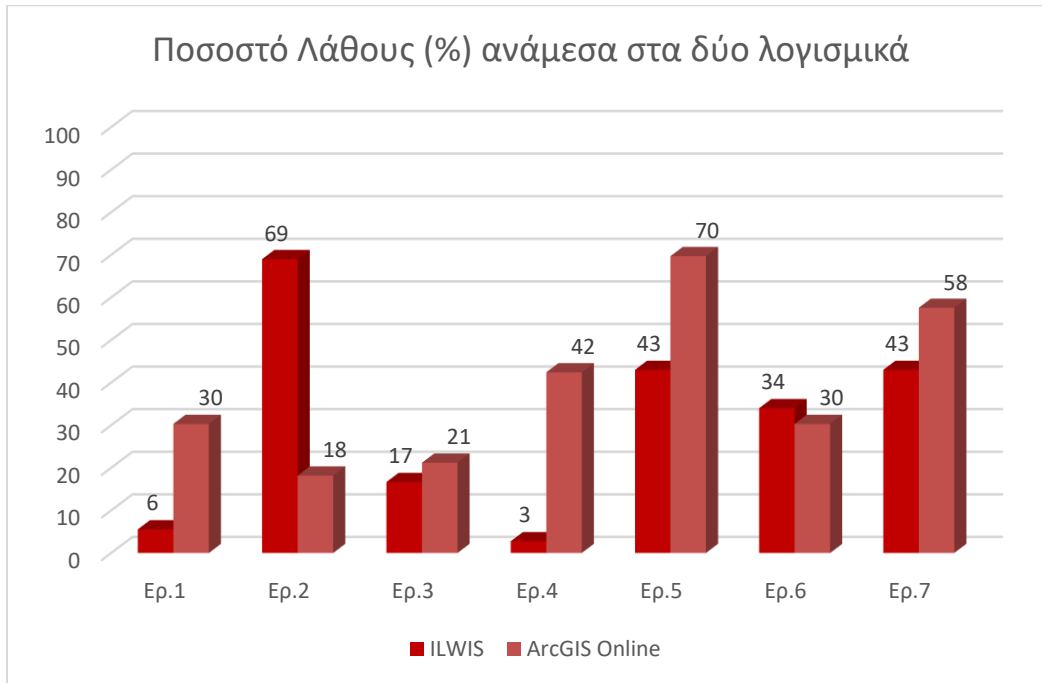
Γράφημα 15: Ποσοστό Σωστού – Λάθους (%) Ερώτησης 7



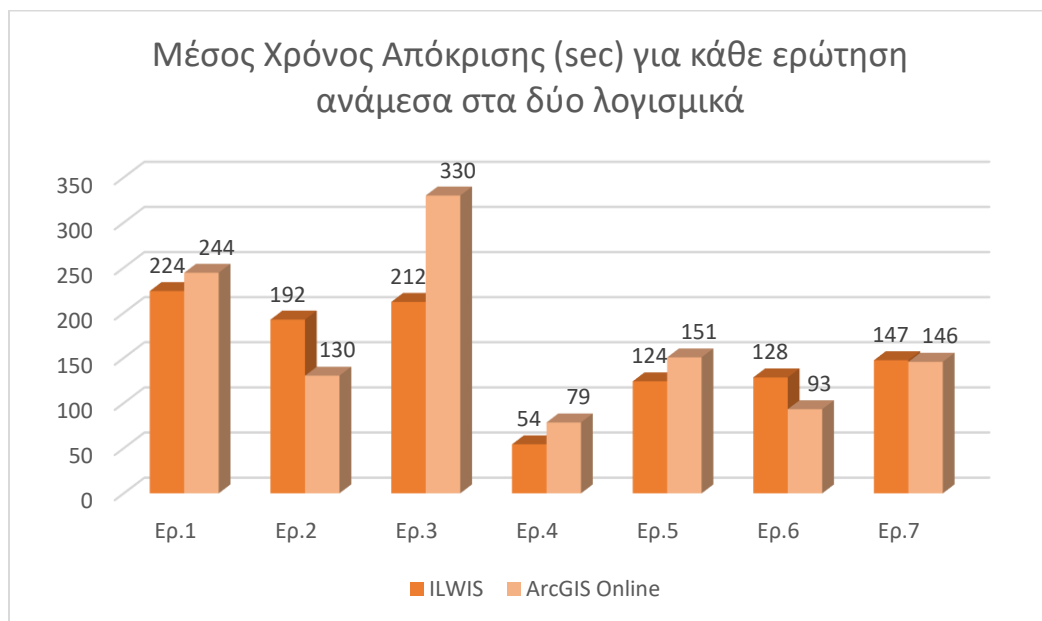
Γράφημα 16: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) Ερώτησης 7

4.3.9 ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω απεικονίζονται τα συνολικά αποτελέσματα ανά ερώτηση, ενιαία σε ένα διάγραμμα, και πιο συγκεκριμένα το συνολικό ποσοστό λάθους και ο μέσος χρόνος απόκρισης για κάθε ερώτηση στα δύο λογισμικά.

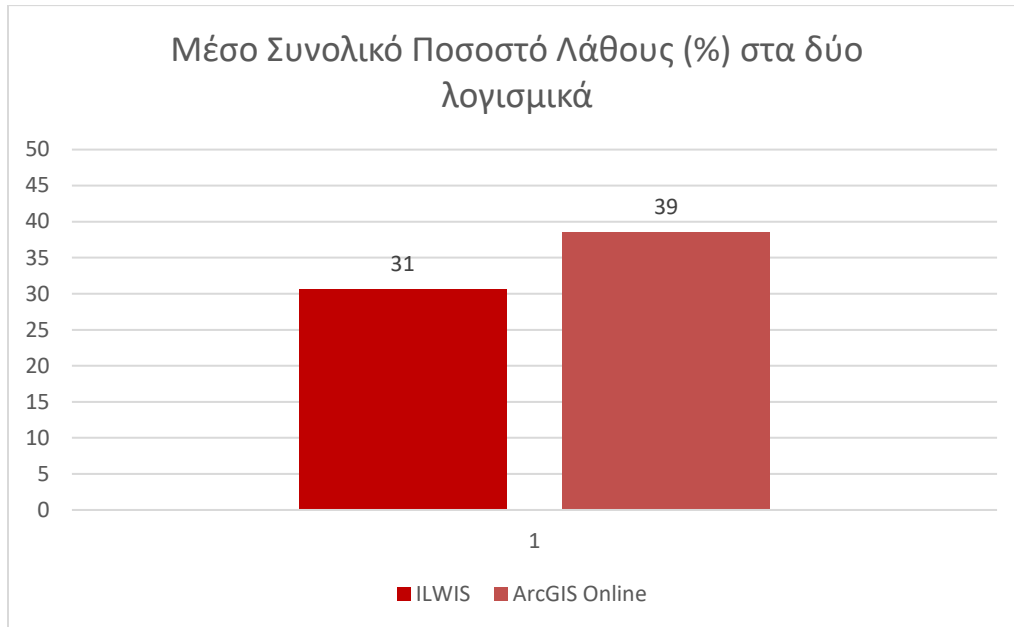


Γράφημα 17: Ποσοστό Λάθους (%) στα δύο λογισμικά για κάθε ερώτηση

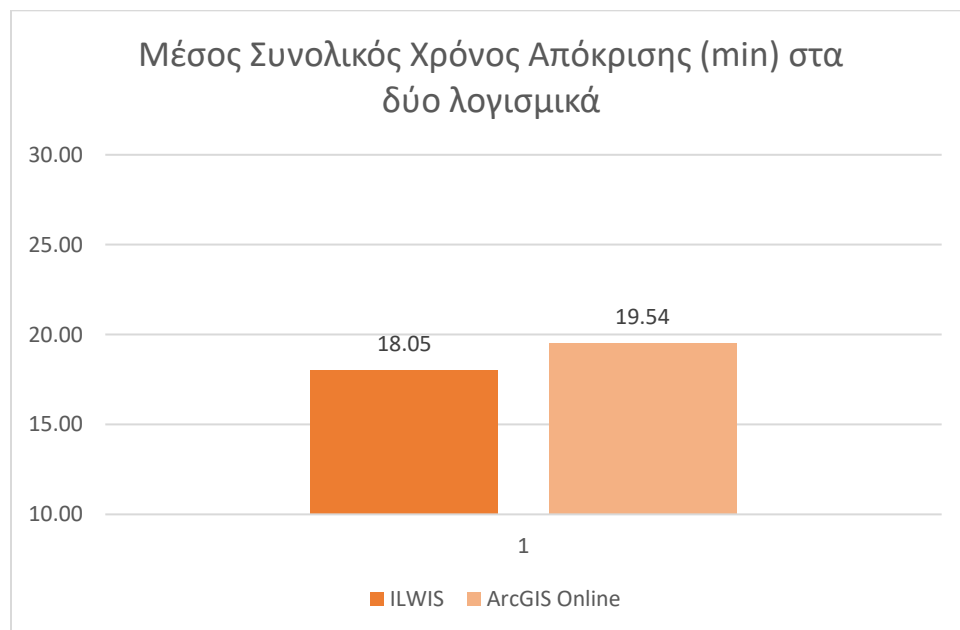


Γράφημα 18: Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec) στα δύο λογισμικά για κάθε ερώτηση

Τέλος, για να μπορεί κανείς να συγκρίνει τα δύο λογισμικά, απεικονίζονται παρακάτω α) το συνολικό μέσο ποσοστό λάθους και β) ο συνολικός μέσος χρόνος απόκρισης μεταξύ των δύο λογισμικών.



Γράφημα 19: Μέσο Συνολικό Ποσοστού Λάθους στα δύο λογισμικά



Γράφημα 20: Μέσος Συνολικός Χρόνος Απόκρισης (sec) στα δύο λογισμικά

Πίνακας 4: Αποτελέσματα Ποσοστού Σωστών Απαντήσεων σε μορφή πίνακα

	Ποσοστό Σωστών Απαντήσεων (%)						
	Ερ.1	Ερ.2	Ερ.3	Ερ.4	Ερ.5	Ερ.6	Ερ.7
ILWIS	94	31	83	97	57	66	57
ArcGIS Online	70	82	79	58	30	70	42

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Χρόνου Απόκρισης σε μορφή Πίνακας

	Μέσος Χρόνος Απόκρισης (sec), για κάθε ερώτηση						
	Ερ.1	Ερ.2	Ερ.3	Ερ.4	Ερ.5	Ερ.6	Ερ.7
ILWIS	224	192	212	54	124	128	147
ArcGIS Online	244	130	330	79	151	93	146

4.4. ΑΝΕΞΑΡΤΗΣΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

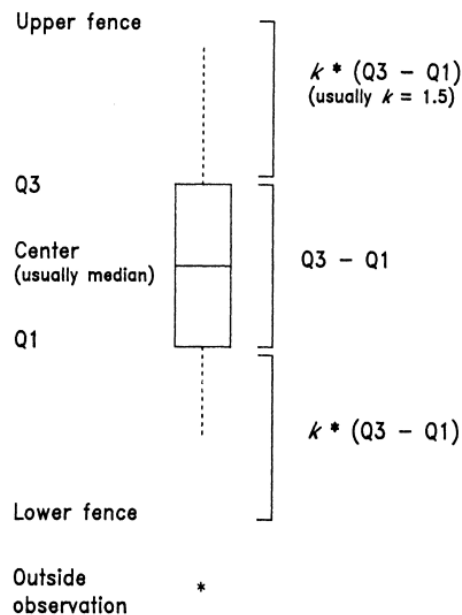
Οι πρώτες ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν αμέσως μετά τη συλλογή των δειγμάτων ήταν i) ο έλεγχος για ακραίες τιμές, ii) ο έλεγχος της ανεξαρτησίας των δειγμάτων και iii) το ποια κατανομή ακολουθούν.

Το πιο σημαντικό ζήτημα είναι να εξεταστεί εάν υπάρχουν ακραίες τιμές στα δείγματα, προκειμένου να είναι πιο στατιστικά σωστή η ανάλυση και αμέσως μετά να εξεταστεί αν τα δείγματα της έρευνας ήταν ανεξάρτητα μεταξύ τους, το οποίο φαίνεται από τον τρόπο με τον οποίο στήθηκε η εμπειρική έρευνα. Για να θεωρηθούν ανεξάρτητα τα δείγματα, πρέπει η κάθε ομάδα να απαρτίζεται από υποκείμενα που προέρχονται από διαφορετικούς πληθυσμούς ή από τον ίδιο πληθυσμό, αλλά να είναι διαφορετικά μεταξύ τους (Χαλικιάς, Λάλου και Μανωλέσου, 2015). Στη δική μας περίπτωση, τα υποκείμενα προέρχονται μεν από τον ίδιο πληθυσμό (φοιτητές του Πολυτεχνείου), αλλά κανένας φοιτητής δεν ανήκε ταυτόχρονα και στις δύο ομάδες. Δηλαδή ήταν 36 άτομα στην μία ομάδα και 33 ξεχωριστά άτομα στην άλλη ομάδα. Επομένως τα δύο δείγματα είναι μεταξύ τους στατιστικά ανεξάρτητα.

- Έλεγχος για ακραίες τιμές (outliers)

Ο έλεγχος για τις ακραίες τιμές έγινε μέσω του λογισμικού 'SPSS Statistics' το οποίο αποτελεί προϊόν της IBM (International Business Machines). Πιο συγκεκριμένα δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα το οποίο ονομάζεται «θηκόγραμμα» (boxplot) για κάθε ερώτηση και κάθε ομάδα, το οποίο δείχνει εάν υπάρχουν ακραίες τιμές στο δείγμα.

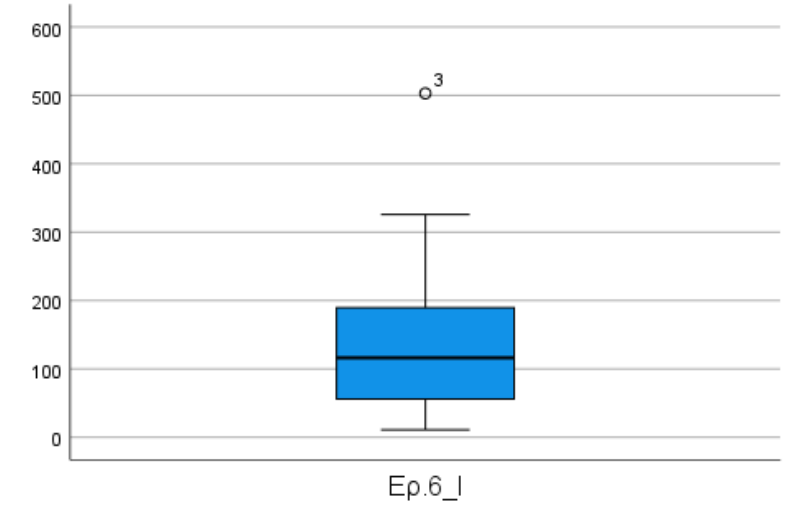
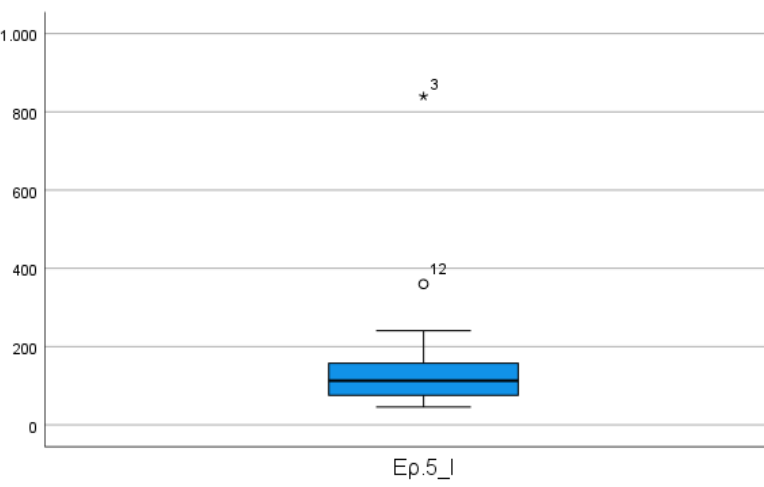
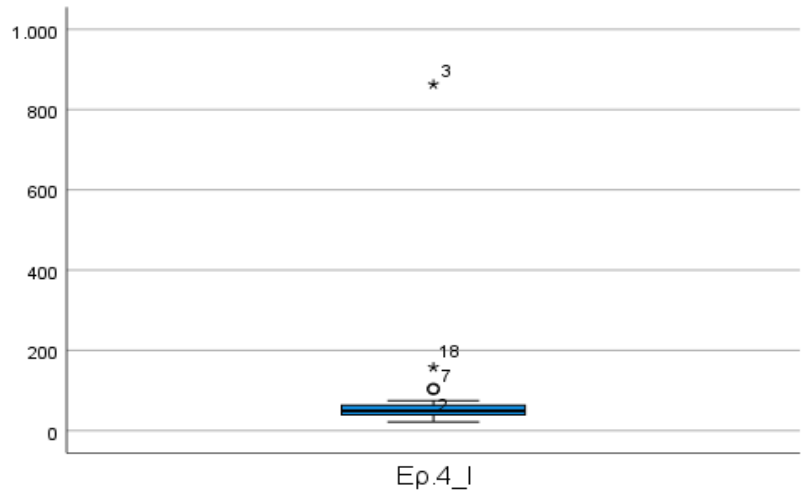
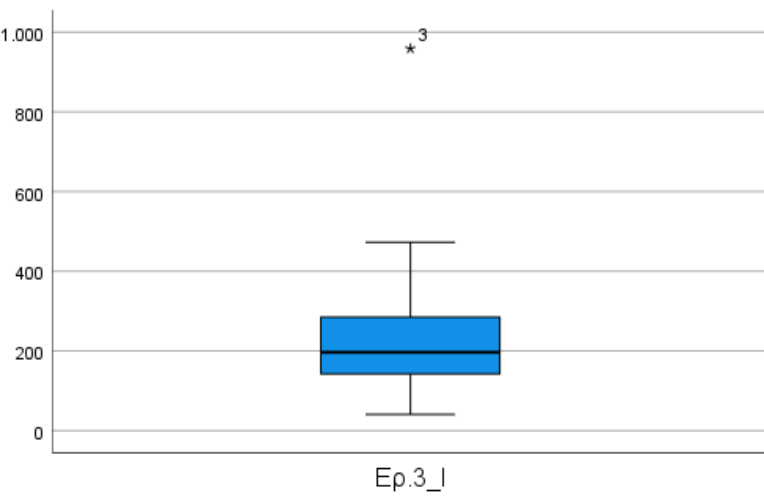
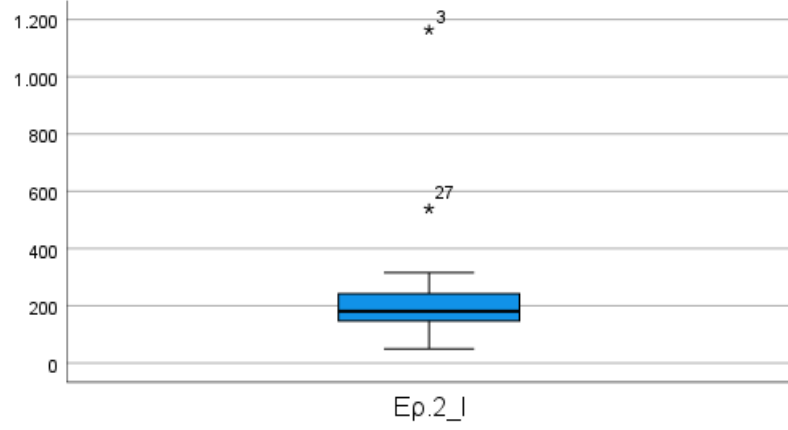
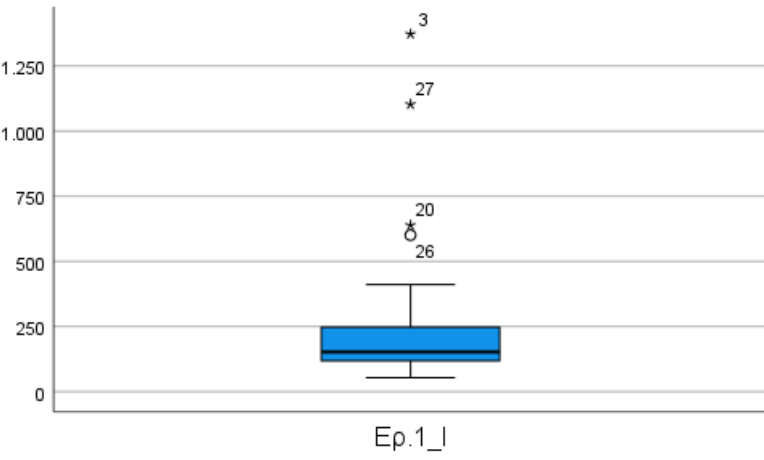
Ένα boxplot συγκεντρώνει ουσιαστικά ένα σύνολο δεδομένων εμφανίζοντας πολλά κύρια χαρακτηριστικά. Πήρε το όνομά του από το ορθογώνιο κουτί, το οποίο εντοπίζει το μεσαίο μισό του συνόλου των δεδομένων (Frigge κ.ά., 1989). Ο έλεγχος για το ποια δεδομένα του δείγματος θεωρούνται ακραίες τιμές γίνεται μέσω των τεταρτημορίων στο οποίο αυτά κατανέμονται. Ένα box plot έχει την παρακάτω μορφή (Εικόνα 40), στο οποίο εμφανίζονται και ενδεικτικές ακραίες τιμές:

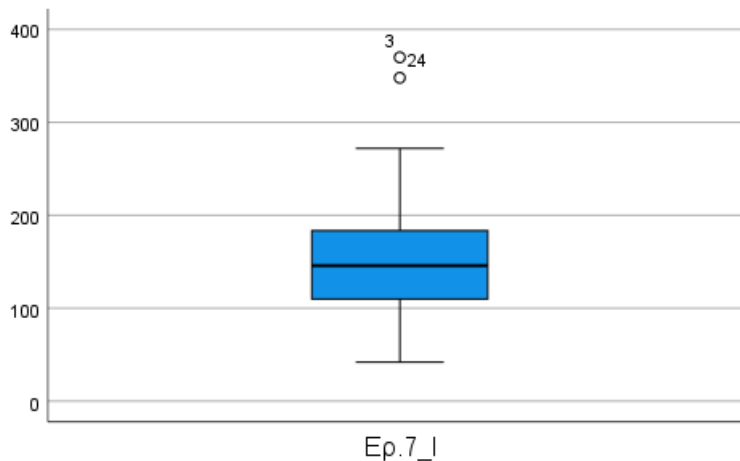


Εικόνα 40: Η μορφή ενός box plot (Πηγή: Some Implementations of the Boxplot - MICHAEL FRIGGE, DAVID C. HOAGLIN, and BORIS IGLEWICZ, 1989)

Το 'upper fence' και το 'lower fence' είναι τα όρια όπου πάνω από αυτό και κάτω από αυτό αντίστοιχα όποιο δεδομένο υπάρχει θεωρείται ως ακραία τιμή. Παρακάτω απεικονίζονται τα θηκογράμματα boxplot για κάθε ερώτηση για κάθε ομάδα:

ILWIS



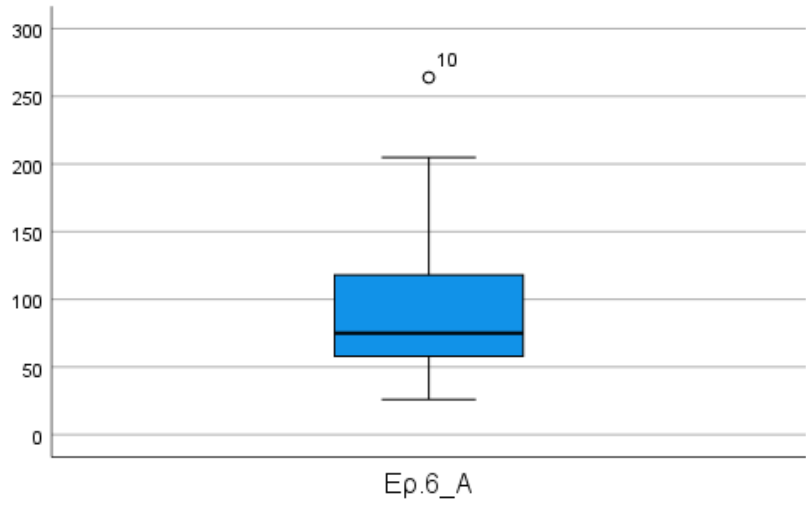
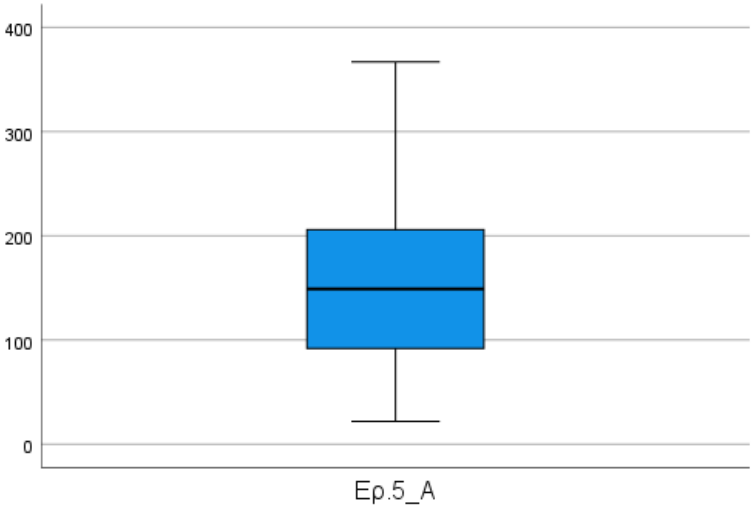
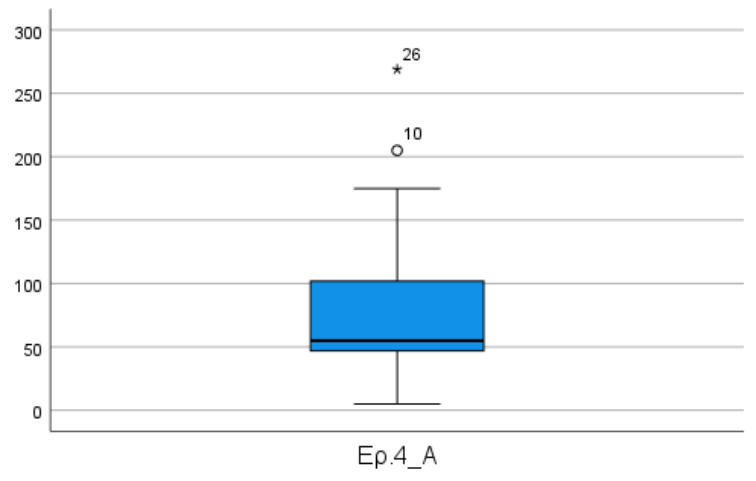
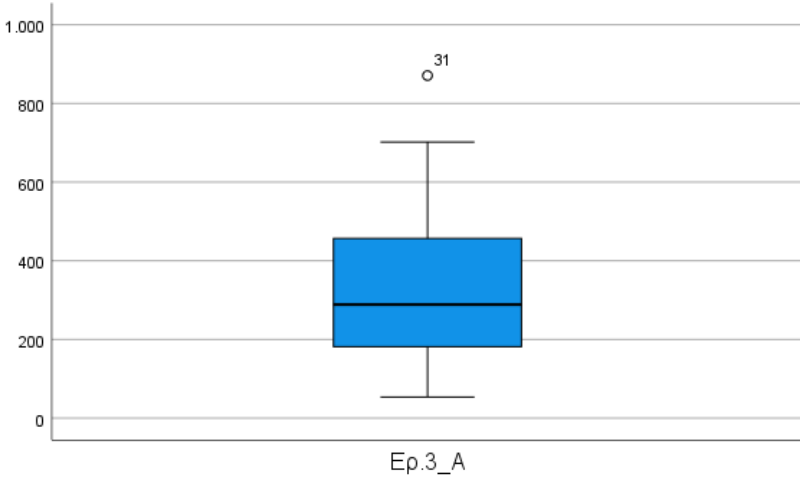
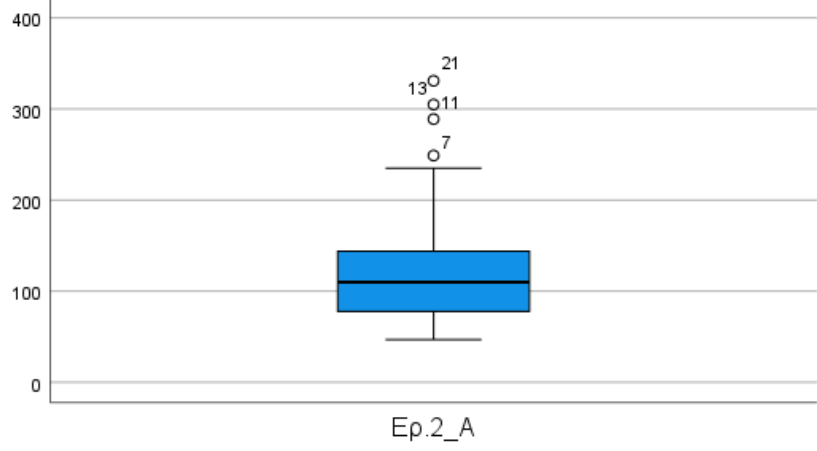
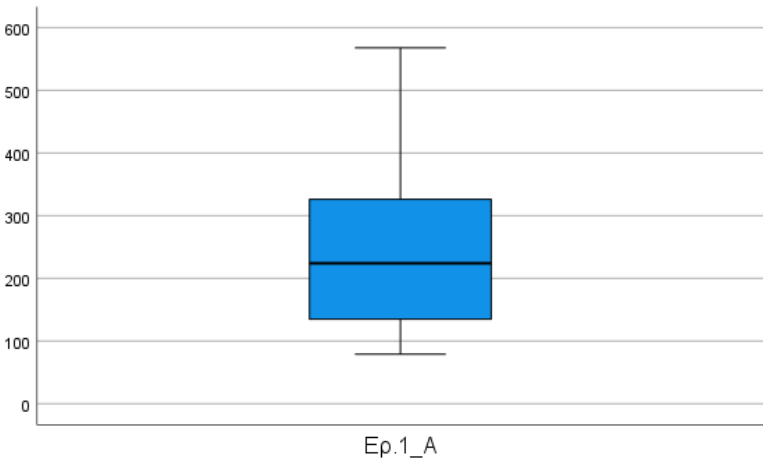


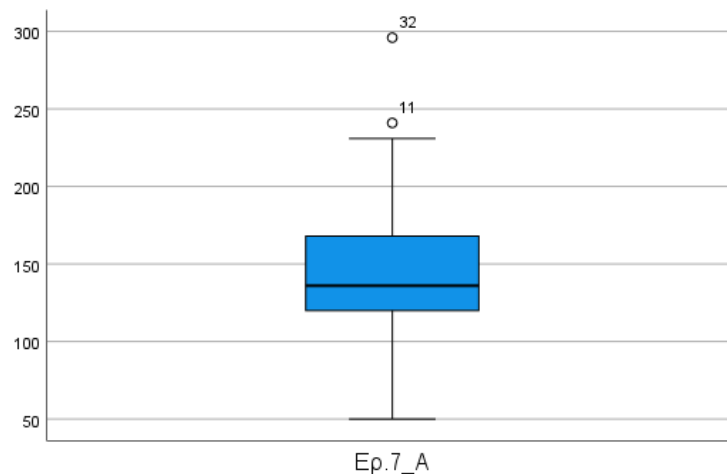
Γραφήματα 21-27: Θηκογράμματα χρόνων απόκρισης για την ομάδα του ILWIS

Οι αριθμοί που εμφανίζονται στα θηκογράμματα δείχνουν τη γραμμή στην οποία είναι αποθηκευμένη η μέτρηση του χρόνου απόκρισης στο φύλλο του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα. Το κυκλάκι δείχνει την ακραία τιμή και το αστεράκι δείχνει τις πολύ μεγάλες τιμές ή αντίστοιχα τις πολύ μικρές τιμές που υπάρχουν στο δείγμα και απέχουν κατά πολύ από τον μέσο όρο του δείγματος. Να υπογραμμιστεί ότι υπάρχει μία σύγχυση μεταξύ αυτών των δύο όρων, καθώς και οι δύο όροι αποτελούν ακραίες τιμές.

Στην περίπτωση αυτή παρατηρούμε πρώτον ότι υπάρχει σε όλα τα δείγματα και από μία ακραία τιμή και δεύτερον ότι υπάρχει μία μέτρηση που εμφανίζεται ως ακραία τιμή σε όλες τις ερωτήσεις του δείγματος (#3). Ενδεχομένως κατά τη διάρκεια του πειράματος για το συγκεκριμένο δείγμα να υπήρξαν κάποια τεχνικά ζητήματα τα οποία να μην έγιναν αμέσως αντιληπτά με αποτέλεσμα να καταγράφηκε πολύ μεγάλος χρόνος απόκρισης για τις ερωτήσεις αυτές. Ενώ υπάρχουν και άλλες ακραίες τιμές, αποφασίστηκε να διαγραφούν μόνο οι τιμές των χρόνων απόκρισης του ερωτηματολογίου 3 (το 3 στα θηκογράμματα υποδηλώνει ουσιαστικά το ερωτηματολόγιο 3 και ο αριθμός που το δείχνει έτσι έχει να κάνει με τον τρόπο που τοποθετήθηκαν τα δείγματα στο υπολογιστικό φύλλο) που εμφανίζονται ως ακραίες τιμές σε όλες τις ερωτήσεις από όλο το δείγμα, συγκριτικά με τις άλλες ακραίες τιμές του δείγματος που απέχουν λιγότερο από τον μέσο όρο.

ArcGIS Online





Γραφήματα 28-34: Θηκογράμματα χρόνων απόκρισης για την ομάδα του ArcGIS Online

Σε αυτή την περίπτωση δεν έχουμε σε όλα τα δείγματα ακραίες τιμές, παρά μόνο στα 5 από τα 7. Ωστόσο δεν είναι τόσο σημαντική η διαφορά που υπάρχει μεταξύ των ακραίων τιμών και του μέσου όρου του δείγματος σε κάθε ερώτηση σε σχέση με τα άνω και κάτω όρια του θηκογράμματος, επομένως αποφασίστηκε στην περίπτωση αυτή να μην αφαιρεθεί καμία ακραία τιμή από το δείγμα.

Άρα με βάση τις παραπάνω παραδοχές, από τα 69 απαντημένα ερωτηματολόγια, χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση τα 68 με βάση τα οποία δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα και τα γραφήματα των υπο-ενοτήτων 4.2. και 4.3.

- Έλεγχος Κατανομής του δείγματος με χρήση του 'Shapiro-Wilk' test

Σε επόμενο στάδιο πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος της κατανομής του δείγματος για τις δύο ομάδες. Ο έλεγχος αυτός έγινε μέσω του test 'Shapiro-Wilk' το οποίο αφορά μια μέθοδο που ελέγχει αν το δείγμα ακολουθεί κανονική κατανομή. Για το λόγο αυτό γίνεται η εξής υπόθεση:

→ H_0 : ότι το δείγμα ακολουθεί κανονική κατανομή, ενώ αν δεν ισχύει τότε αυτομάτως ισχύει η υπόθεση:

→ H_1 : ότι το δείγμα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή

Σε περίπτωση που το δείγμα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή, τότε πρέπει να γίνουν άλλα μη-παραμετρικά test όπως είναι για παράδειγμα το sign test (Hanusz κ.ά., 2016) ή τα Mann-Whitney U test, Wilcoxon test και Kruskal Wallis H test.

Τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίστηκαν είναι α) ο μέσος όρος, β) η τυπική απόκλιση, γ) το στατιστικό Shapiro – Wilk στοιχείο W και δ) η πιθανότητα p-value. Η τιμή p-value συγκρίθηκε με το επίπεδο σημαντικότητας α , το οποίο ορίστηκε $\alpha = 0.05$. Όταν η τιμή p-value είναι μεγαλύτερη από 0.05 τότε επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και το δείγμα ακολουθεί κανονική κατανομή, αλλιώς αν το p-value είναι μικρότερο από 0.05 τότε απορρίπτεται η υπόθεση H_0 και ισχύει η υπόθεση H_1 που σημαίνει ότι το δείγμα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή. Επίσης ένας δευτερεύον έλεγχος γίνεται και με το στοιχείο W, το οποίο παίρνει τιμές $0 < W < 1$. Όσο οι τιμές του W είναι κοντά στο 1, επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 ενώ αν οι τιμές είναι πιο κοντά στο 0 τότε επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_1 .

Γενικότερα, αν το δείγμα έχει μέγεθος μικρότερο ή ίσο του 50 ($n = 50$), τότε το στατιστικό κριτήριο που είναι κατάλληλο να ελέγξει την ύπαρξη ή μη κανονικότητας είναι αυτό των Shapiro-Wilk (Δαφέρμος, 2014).

Το test Shapiro-Wilk πραγματοποιήθηκε μόνο για τους χρόνους απόκρισης των ερωτήσεων για κάθε ομάδα ξεχωριστά και για κάθε ερώτηση ξεχωριστά, καθώς σε κατηγορικά δεδομένα (categorical data) συνήθως το δείγμα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή.

Τέλος υπολογίστηκαν και τα γραφήματα Q-Q για κάθε μία ερώτηση ξεχωριστά, τα οποία αποτελούν γραφήματα πιθανότητας για την γραφική σύγκριση δύο κατανομών πιθανότητας, απεικονίζοντας τα ποσοστημόρια της μιας σε σχέση με την άλλη (Χαλικιάς κ.ά., 2015). Χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τη σύγκριση των σχημάτων των συναρτήσεων κατανομής, παρέχοντας μια γραφική άποψη για το πώς ιδιότητες, όπως η θέση, η κλίμακα και η ασυμμετρία είναι παρόμοιες ή διαφορετικές στις δύο κατανομές. Επίσης, χρησιμοποιούνται για να συγκρίνουν τις συλλογές δεδομένων ή θεωρητικές κατανομές, καθώς η χρήση του γραφήματος για τη σύγκριση δύο δειγμάτων δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως μια μη-παραμετρική προσέγγιση για τη σύγκριση των κατανομών τους. Γενικότερα η χρήση

γραφημάτων Q-Q είναι μια πιο ισχυρή προσέγγιση από την κοινή τεχνική της σύγκρισης των ιστογραμμάτων των δύο δειγμάτων (ibid).

Το test Shapiro – Wilk πραγματοποιήθηκε μέσω ενός add-in του excel που ονομάζεται «Real Statistics Resource Pack».

Τα αποτελέσματα των στατιστικών μεγεθών παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε ερώτηση ξεχωριστά για κάθε ομάδα ξεχωριστά:

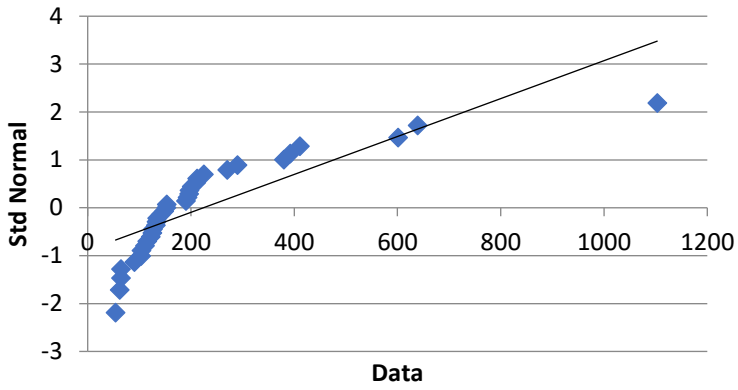
i) ILWIS

Πίνακας 6: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της ομάδας του ILWIS

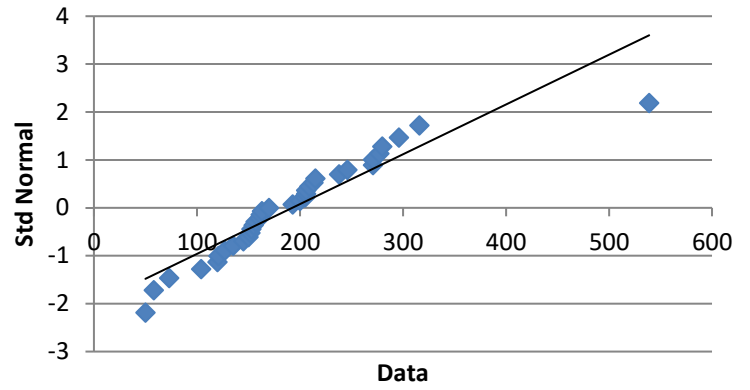
<u>ILWIS</u>							
	<i>Ερ.1</i>	<i>Ερ.2</i>	<i>Ερ.3</i>	<i>Ερ.4</i>	<i>Ερ.5</i>	<i>Ερ.6</i>	<i>Ερ.7</i>
Mean	224.0857143	192.4857143	212.0857143	54.28571429	124.0857143	128.4285714	147.4571429
St. D	205.8719436	89.37013958	103.8586062	25.59017669	64.58026079	81.3728838	64.68218359
W	0.679523	0.880393	0.961114	0.787484	0.858509	0.943632	0.945545
p-value	1.82E-07	0.001224	0.246892	1.17E-05	0.000362	0.07224	0.082685
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι για τις ερωτήσεις 3, 6 και 7 p-value > 0.05 επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και το δείγμα ακολουθεί κατανομή. Αντίθετα, για τις ερωτήσεις 1, 2, 4 και 5, p-value < 0.05, επομένως απορρίπτεται η υπόθεση H_0 και κανένα από τα δείγματα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή. Παρακάτω απεικονίζονται και τα γραφήματα Q-Q των χρόνων απόκρισης για κάθε ερώτηση.

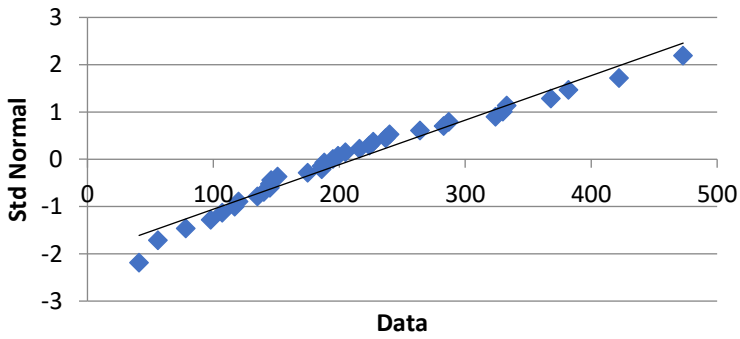
QQ Plot - Ep.1



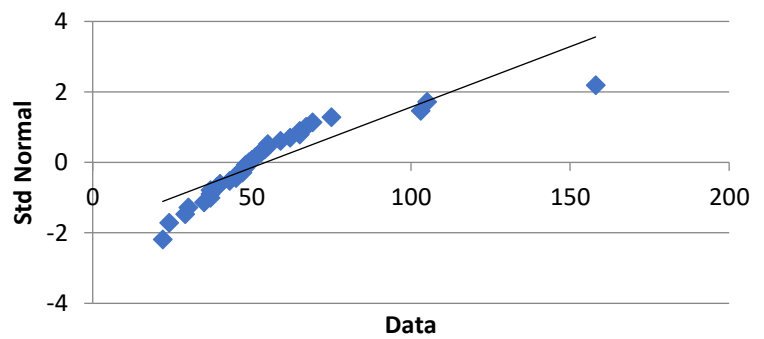
QQ Plot - Ep.2



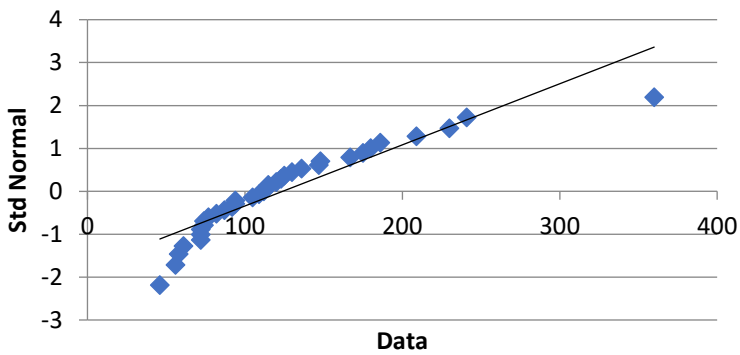
QQ Plot - Ep.3



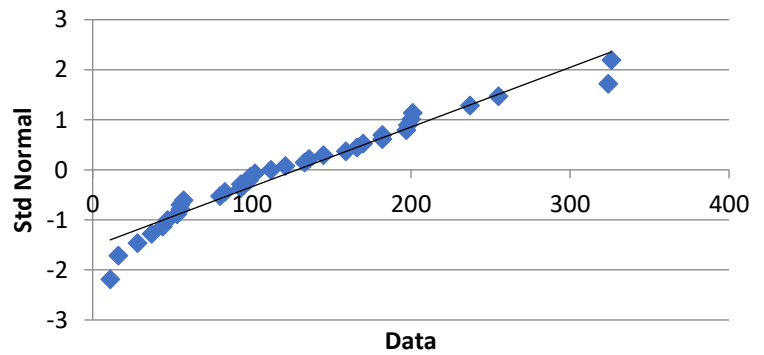
QQ Plot - Ep.4

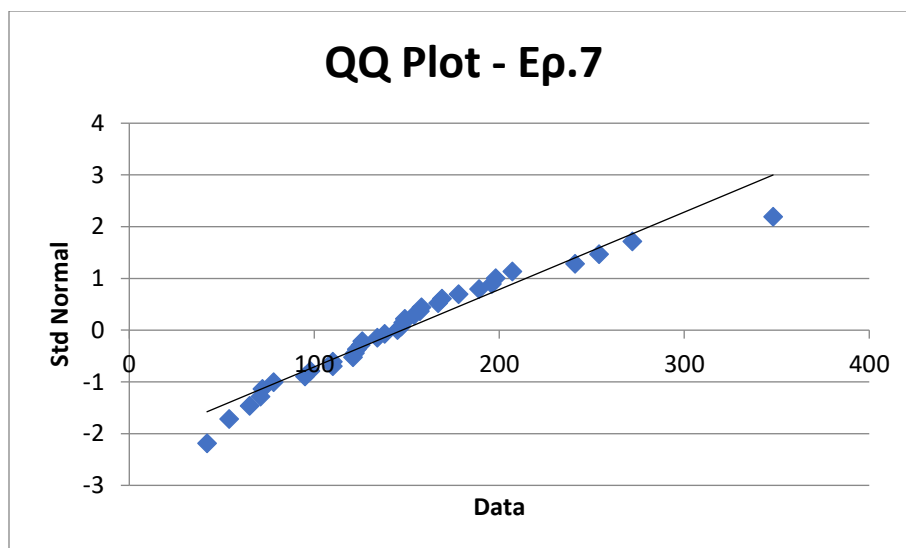


QQ Plot - Ep.5



QQ Plot - Ep.6





Γραφήματα 35-41: Γραφήματα Q-Q των χρόνων απόκρισης στο ILWIS

ii) ArcGIS Online

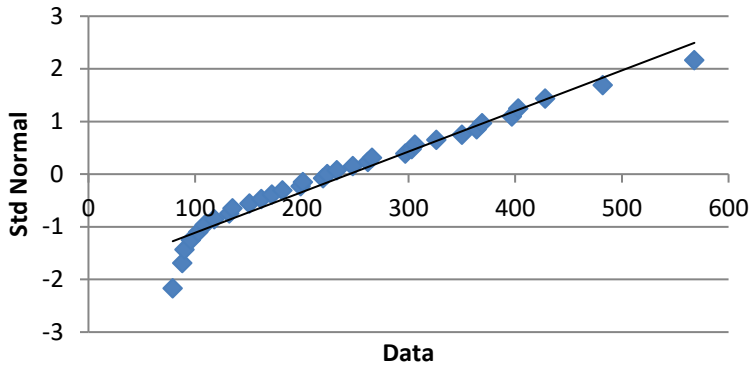
Πίνακας 7: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της ομάδας του ArcGIS Online

<u>ArcGIS Online</u>							
	<i>Ep.1</i>	<i>Ep.2</i>	<i>Ep.3</i>	<i>Ep.4</i>	<i>Ep.5</i>	<i>Ep.6</i>	<i>Ep.7</i>
Mean	244.3333	130.3939	329.9091	78.51515	150.6061	93.18182	145.7273
St. D	126.0041	76.7858	180.2636	55.80889	72.73838	52.13052	50.36757
W	0.945511	0.836159	0.93252	0.842045	0.946048	0.881687	0.928145
p-value	0.098359	0.000171	0.041307	0.000229	0.101973	0.001844	0.030995
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

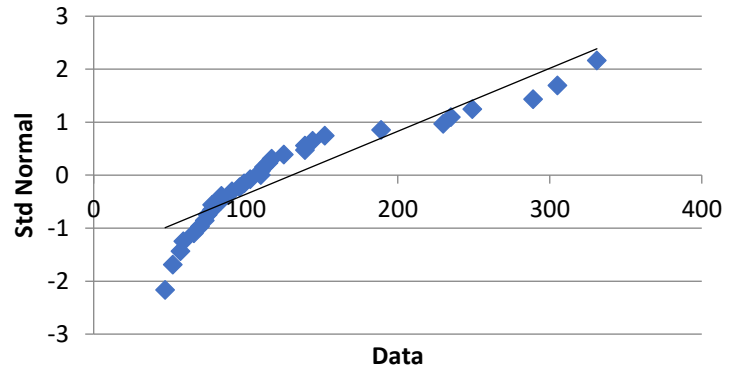
Με βάση τον παραπάνω πίνακα, για τις ερωτήσεις 2-4, 6 και 7, $p\text{-value} < 0.05$, επομένως απορρίπτεται η υπόθεση H_0 και κανένα από τα συγκεκριμένα δείγματα δεν ακολουθεί κανονική κατανομή. Αντίθετα για τις ερωτήσεις 1 και 5, ισχύει $p\text{-value} > 0.05$ επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και τα δύο δείγματα ακολουθούν κανονική κατανομή.

Παρακάτω απεικονίζονται και τα γραφήματα Q-Q των χρόνων απόκρισης για κάθε ερώτηση.

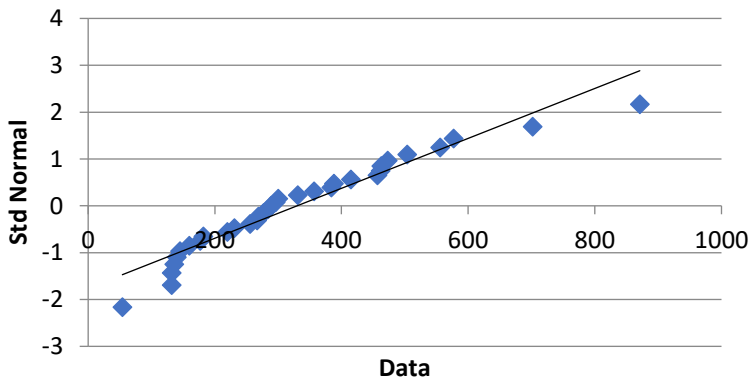
QQ Plot - Ep.1



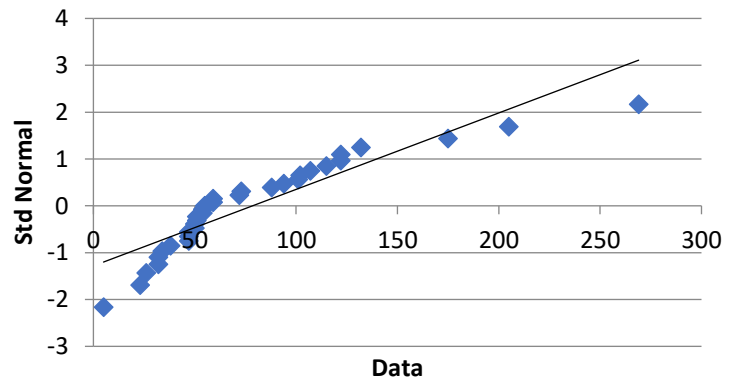
QQ Plot - Ep.2



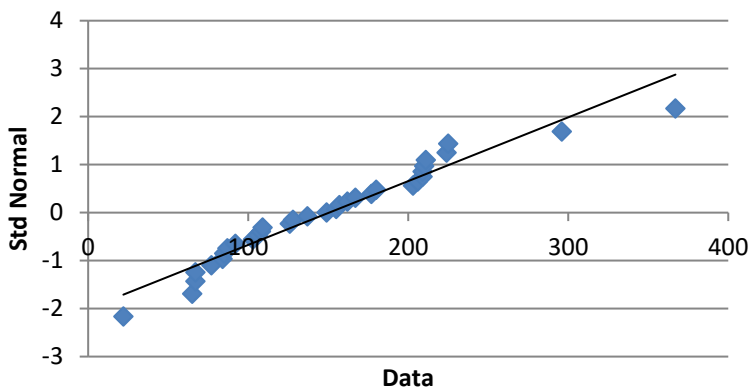
QQ Plot - Ep.3



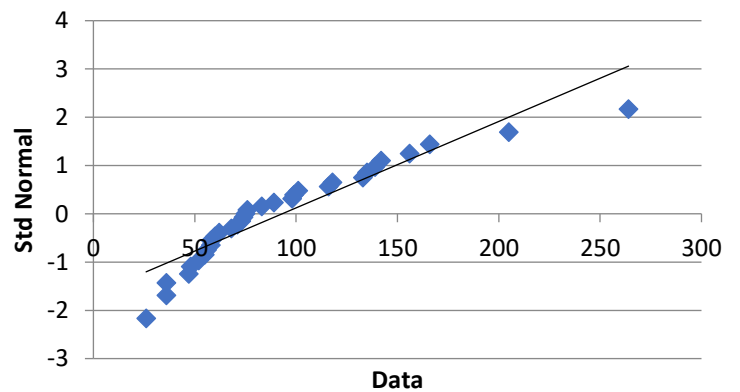
QQ Plot - Ep.4

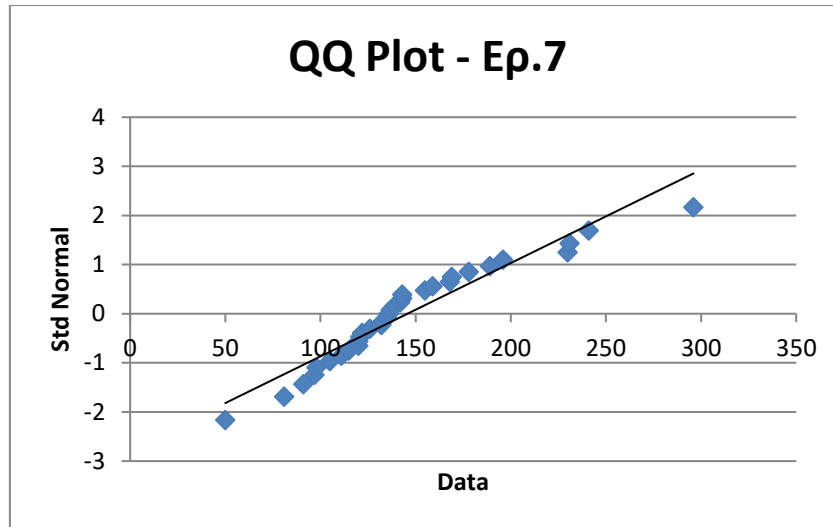


QQ Plot - Ep.5



QQ Plot - Ep.6





Γραφήματα 42-48: Γραφήματα Q-Q των χρόνων απόκρισης στο ArcGIS Online

4.5. ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΕΙΣ

Λόγω του ότι δεν ακολουθούν όλα τα δείγματα κανονική κατανομή, εφαρμόστηκε το μη – παραμετρικό test Mann – Whitney το οποίο χρησιμοποιείται σε αυτές τις περιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, το test αυτό χρησιμοποιείται για τη σύγκριση δύο δειγμάτων που προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό και ελέγχει αν τα δύο δείγματα αυτά είναι ίσα ή όχι (Mann-Whitney U Test - Statistics Solutions, 2022). Το κριτήριο Mann-Whitney εξετάζει την υπόθεση ότι το άθροισμα των βαθμών των θέσεων των παρατηρήσεων του ενός δείγματος είναι ίσο με το άθροισμα των βαθμών των θέσεων των παρατηρήσεων του άλλου δείγματος (Χαλικιάς κ.ά., 2015).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο έλεγχος έγινε για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των χρόνων απόκρισης των δύο ομάδων για κάθε ερώτηση ξεχωριστά. Για το λόγο αυτό γίνονται οι εξής δύο υποθέσεις:

- H_0 : δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο δειγμάτων,
- H_1 : υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των δύο δειγμάτων

Καθώς ο έλεγχος για το ποια υπόθεση ισχύει γίνεται μέσω του p-value, όπου αν $p\text{-value} > 0.05$ τότε επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 (MacFarland and Yates, 2016). Επίσης τα στατιστικά μεγέθη που υπολογίζονται για το test αυτό είναι τα U, W, Z, όπου από την τιμή Z προκύπτει η τιμή p-

value με την οποία γίνεται ο έλεγχος (Karadimitriou & Marshall). Το p-value στην περίπτωση αυτή αναφέρεται ως 'p-simul'.

Το test Mann – Whitney U πραγματοποιήθηκε μέσω του ίδιου add-in του excel, δηλαδή του «Real Statistics Resource Pack» όπου πραγματοποιήθηκε και το Shapiro-Wilk test.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών μεγεθών παρουσιάζονται παρακάτω για κάθε ερώτηση ξεχωριστά και κάθε φορά μεταξύ των δύο λογισμικών:

✓ Ερώτηση 1

Πίνακας 8: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 1

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	152	224
rank sum	1077	1269
U	708	447
	one tail	two tail
U_{min}	447	
mean	577.5	
std dev	81.4899762	ties
z-score	1.595288231	yates
<i>effect r</i>	0.193457114	
p-norm	0.055323898	0.110647796
p-exact	0.055517198	0.111034395
p-simul	0.0532	0.1065

Παρατηρείται ότι p-simul (two-tail) > 0.05, επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και άρα δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 2

Πίνακας 9: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 2

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	170	110
rank sum	1490	856
U	295	860
	one tail	two tail
U_{\min}	295	
mean	577.5	
std dev	81.48764294	ties
z-score	3.460647404	yates
<i>effect r</i>	0.419665141	
p-norm	0.000269439	0.000538878
p-exact	0.000202111	0.000404223
p-simul	0.0002	0.0007

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} < 0.05$, επομένως απορρίπτεται η υπόθεση H_0 και άρα υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 3

Πίνακας 10: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 3

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	195	289
rank sum	973	1373
U	812	343
	one tail	two tail

U_{\min}	343	
mean	577.5	
std dev	81.48764294	ties
z-score	2.871601037	yates
<i>effect r</i>	0.348232776	
p-norm	0.002041991	0.004083982
p-exact	0.001822393	0.003644786
p-simul	0.0014	0.0028

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} < 0.05$, επομένως απορρίπτεται η υπόθεση H_0 και άρα υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 4

Πίνακας 11: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 4

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	49	55
rank sum	1059	1287
U	726	429
	one tail	two tail
U_{\min}	429	
mean	577.5	
std dev	81.45574847	ties
z-score	1.816937451	yates
<i>effect r</i>	0.22033603	
p-norm	0.034613346	0.069226691
p-exact	0.034583707	0.069167414
p-simul	0.033	0.0706

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} > 0.05$, επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και άρα δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 5

Πίνακας 12: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 5

	ILWIS	ArcGIS Online
count	35	33
median	112	149
rank sum	1067	1279
U	718	437
	one tail	two tail
U_{\min}	437	
mean	577.5	
std dev	81.48064279	ties
z-score	1.718199504	yates
<i>effect r</i>	0.208362295	
p-norm	0.042880116	0.085760232
p-exact	0.042923055	0.085846111
p-simul	0.0433	0.0876

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} > 0.05$, επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και άρα δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 6

Πίνακας 13: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 6

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	112	75
rank sum	1346	1000
U	439	716
	one tail	two tail
U_{min}	439	
mean	577.5	
std dev	81.48297624	ties
z-score	1.693605295	yates
<i>effect r</i>	0.205379809	
p-norm	0.045170156	0.090340311
p-exact	0.045240404	0.090480807
p-simul	0.0414	0.0826

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} > 0.05$, επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και άρα δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

✓ Ερώτηση 7

Πίνακας 14: Αποτελέσματα Στατιστικών Μεγεθών για τους χρόνους απόκρισης της Ερώτησης 7

	ILWIS	ArcGIS Onine
count	35	33
median	145	136
rank sum	1220.5	1125.5
U	564.5	590.5

	one tail	two tail
U_{min}	564.5	
mean	577.5	
std dev	81.48453	ties
z-score	0.153403	yates
<i>effect r</i>	0.018603	
p-norm	0.43904	0.87808
p-exact	0.437045	0.87409
p-simul	0.442	0.8728

Παρατηρείται ότι $p\text{-simul (two-tail)} > 0.05$, επομένως επιβεβαιώνεται η υπόθεση H_0 και άρα δεν υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά στους χρόνους απόκρισης ανάμεσα στις δύο ομάδες.

4.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Με βάση τα διαγράμματα του μέσου χρόνου απόκρισης και του ποσοστού λάθους στα δύο λογισμικά και τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν σημαντικά μεγάλες διαφορές. Ωστόσο, στις περιπτώσεις που το $p\text{-simul}$ είναι μικρότερο από 0.05, με βάση το test Mann-Whitney U, συμπεραίνεται ότι το λογισμικό που είχε μικρότερο μέσο χρόνο απόκρισης, ανά ερώτηση, καθίσταται και αποτελεσματικότερο, σε σχέση με το άλλο, ως προς τη συγκεκριμένη ερώτηση. Επομένως για τις ερωτήσεις 2 και 3 που ισχύει ο παραπάνω έλεγχος, καταλληλότερο λογισμικό στην πρώτη περίπτωση καθίσταται το ArcGIS Online και στη δεύτερη περίπτωση το ILWIS. Δηλαδή η οπτικοποίηση του ArcGIS Online διευκόλυνε περισσότερο τους συμμετέχοντες να απαντήσουν την ερώτηση 2, ενώ του ILWIS την ερώτηση 3 και αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι το ποσοστό λάθους στην ερώτηση 2 ήταν κατά πολύ μικρότερο στο ArcGIS Online από ότι στο ILWIS και αντίστοιχα στην ερώτηση 3 το ποσοστό λάθους ήταν μικρότερο στο ILWIS, παρά στο ArcGIS Online. Όσον αφορά τις υπόλοιπες ερωτήσεις όπου το $p\text{-simul}$ προέκυψε μεγαλύτερο από το 0.05, συμπεραίνεται ότι κανένα λογισμικό δεν υπερτερεί έναντι του άλλου. Και σε αυτή την περίπτωση επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι στο λογισμικό που υπήρχε ο μικρότερος συνολικός μέσος χρόνος απόκρισης ανάλογα και με την ερώτηση, υπήρχε και μικρότερο ποσοστού λάθους.

4.7. ΚΛΙΜΑΚΑ ΕΥΧΡΗΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το τελευταίο κριτήριο που έπρεπε να εξεταστεί για την αξιολόγηση των αναπαραστάσεων, ήταν ο υπολογισμός της κλίμακας ευχρηστίας του συστήματος. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, διατυπώθηκαν 10 ερωτήσεις κάθε μία από τις οποίες είχε 5 επιλογές, η κλίμακα των οποίων κυμαίνεται μεταξύ του Διαφωνώ Απόλυτα και Συμφωνώ Απόλυτα. Οι ερωτήσεις αυτές έχουν να κάνουν με το πόσο διευκόλυνε το συμμετέχοντα η οπτικοποίηση στο να απαντήσει τις ερωτήσεις στα δύο λογισμικά και στην περίπτωση αυτή είναι οι παρακάτω:

1. Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ συχνά μια οπτικοποίηση σαν και αυτήν.
2. Βρήκα την οπτικοποίηση αυτή αδικαιολόγητα περίπλοκη.
3. Νομίζω ότι η οπτικοποίηση αυτή ήταν εύκολη στη χρήση της.
4. Νομίζω ότι θα χρειαστώ βοήθεια από κάποιον τεχνικό για να είμαι σε θέση να κατανοήσω μια οπτικοποίηση σαν και αυτήν.
5. Διαπίστωσα ότι η οπτικοποίηση των δεδομένων στο λογισμικό αυτό ήταν καλή.
6. Διαπίστωσα ότι η οπτικοποίηση είχε σημαντικό αριθμό ασυνεπειών.
7. Νομίζω ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα μπορούσαν εύκολα ή γρήγορα να κατανοήσουν μια οπτικοποίηση σαν και αυτήν.
8. Βρήκα την οπτικοποίηση αυτή πολύ δύσχρηστη.
9. Ένιωσα πολύ σίγουρος/η χρησιμοποιώντας αυτήν την οπτικοποίηση.
10. Χρειάστηκε πολύς χρόνος προσαρμογής ώστε να νιώσω άνετα με αυτήν την οπτικοποίηση.

Για κάθε μία απάντηση των συμμετεχόντων και για τον υπολογισμό την τελικής βαθμολογίας αφαιρέθηκε από τις μονές ερωτήσεις (1,3,5,7,9) 1 βαθμός και για τις ζυγές ερωτήσεις (2,4,6,8,10) αφαιρέθηκε τιμή τους από το 5. Έπειτα το άθροισμα των τελικών βαθμών των μονών και των ζυγών ερωτήσεων πολλαπλασιάστηκε με το 2.5 και το ποσοστό που προέκυψε είναι η βαθμολογία κάθε συμμετέχοντα. Επομένως η βαθμολογία του συστήματος προκύπτει από τον μέσο όρο των τελικών βαθμολογιών κάθε συμμετέχοντα και αυτή ονομάζεται 'SUS Score'.

Η τιμή SUS υπολογίστηκε και για τις δύο ομάδες ξεχωριστά, έχοντας μία SUS για το ILWIS και μία SUS για το ArcGIS Online.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει η SUS αξιολογούνται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 15: Κατηγοριοποίηση του SUS Score (Πηγή: How to Measure Product Usability with the System Usability Scale (SUS) Score - Hadi Alathas, 2018)

<u>Τιμή SUS (%)</u>	<u>Βαθμός</u>	<u>Βαθμολογία</u>
> 80.3	A	Εξαιρετική
68 – 80.3	B	Πολύ Καλή
68	Γ	Καλή
51 – 68	Δ	Μέτρια
< 51	E	Κακή

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, όσο πιο μεγάλη τιμή για το SUS Score έχουμε τόσο πιο εύχρηστο θεωρείται το σύστημα, ενώ μειώνεται η τιμή του SUS Score τόσο λιγότερο αποτελεσματικό είναι το σύστημα.

Αρά με βάση τα παραπάνω για την πρώτη ομάδα που απάντησε τις ερωτήσεις στο ILWIS το SUS Score είναι 79% και για την δεύτερη ομάδα που απάντησε στο ArcGIS Online είναι 75.8%. Οπότε βρισκόμαστε στην κατηγορία B και στις δύο περιπτώσεις όπου το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται ως 'Καλό'. Ωστόσο συγκρίνοντας τις δύο τιμές μεταξύ τους παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά, αρά δεν μπορεί κανείς να εξάγει συμπέρασμα σχετικά με το πιο σύστημα ήταν πιο εύχρηστο αφού και τις δύο ομάδες τις διευκόλυνε η κάθε μία οπτικοποίηση στο να απαντήσουν τις ερωτήσεις όπως δείχνουν εξάλλου και τα αποτελέσματα. Επομένως με όλα όσα ειπώθηκαν τα δύο λογισμικά έχουν την ίδια χρηστικότητα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στην επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας, αυξημένη ενασχόληση με τα χωροχρονικά δεδομένων γενικότερα, στα οποία υπάγονται και τα δεδομένα τροχιάς. Σε ερευνητικό επίπεδο, ο χωροχρονικός κύβος έχει πολλές ιδιότητες και πολλά χαρακτηριστικά που τον καθιστούν μια ιδιαίτερη και ξεχωριστή μέθοδο με την οποία μπορεί κανείς να αναπαραστήσει τα συγκεκριμένα δεδομένα. Βέβαια δεν πρέπει να αγνοήσει κανείς και τις δυνατότητες που προσφέρει η δισδιάστατη αναπαράσταση των δεδομένων αυτών, καθώς όπως φάνηκε και στην εμπειρική έρευνα βοήθησε σε σημαντικό βαθμό τους συμμετέχοντες στο να αντιληφθούν την οπτικοποίηση.

Στην παρούσα εργασία ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στα χαρακτηριστικά των δύο αυτών αναπαραστάσεων και γιατί ήταν αναγκαία η αξιολόγηση ανάμεσα σε αυτές τις δύο απεικονίσεις. Απώτερος σκοπός ήταν να δει κανείς ένα υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις απεικονίσεις αυτές και αν αυτές οι διαφορές μπορούσαν να οδηγήσουν στο συμπέρασμα για το ποια οπτικοποίηση ήταν καταλληλότερη. Η εμπειρική έρευνα που πραγματοποιήθηκε διεξήχθη σε προπτυχιακούς φοιτητές, οι οποίοι θεωρήθηκαν ως μη-ειδικοί (non-experts) ως προς το αντικείμενο, ο αριθμός των οποίων ανήλθε συνολικά σε 68 φοιτητές και στην πλειοψηφία δεν είχαν κάποια επαφή στο παρελθόν με αντίστοιχη απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε το συμπέρασμα πως το περιβάλλον του χωροχρονικού κύβου πέρα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που έχει, ήταν αρκετά φιλικό προς τους χρήστες, καθώς το ποσοστό λάθους ήταν μικρότερο από αυτό του δισδιάστατου περιβάλλοντος για τις περισσότερες ερωτήσεις αλλά και ο χρόνος απόκρισης εξίσου. Ωστόσο απαραίτητη ήταν η επεξήγηση του περιβάλλοντος αυτού στους συμμετέχοντες, διότι σε άλλη περίπτωση ενδεχομένως να υπήρχε πρόβλημα στην κατανόηση της οπτικοποίησης αυτής. Παρ' όλα αυτά όπως προέκυψε και από την έρευνα δεν υπήρξε συνολικά σημαντική στατιστική διαφορά στις δύο οπτικοποιήσεις, παρά μόνο σε δύο ερωτήσεις όπου σε αυτές θεωρήθηκε κατάλληλο το λογισμικό στο οποίο ήταν μικρότερος ο μέσος χρόνος απόκρισης. Πιο συγκεκριμένα στην ερώτηση με το ποια απορριμματοφόρα βρισκόντουσαν στην ευρύτερη περιοχή του ΧΥΤΑ Φυλής

στις 10:00:00 AM κατάλληλη οπτικοποίηση για την απάντηση της ερώτησης ήταν αυτή του ArcGIS Online, ενώ για την ερώτηση σχετικά με τις περιοχές που επισκέφθηκε το απορριμματοφόρο '5' στη διάρκεια της ημέρας κατάλληλη οπτικοποίηση ήταν αυτή του ILWIS.

Από την άλλη πλευρά φάνηκε ότι παρόλο που το δισδιάστατο περιβάλλον ήταν εξίσου φιλικό προς τους χρήστες, το ποσοστό λάθους ήταν συνολικά μεγαλύτερο όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Βέβαια σε κάποιες ερωτήσεις ο μέσος χρόνος απόκρισης ήταν μικρότερος από τον αντίστοιχο χρόνο απόκρισης της ερώτησης στο τρισδιάστατο περιβάλλον.

Ωστόσο δεν είναι δεδομένο πάντα ότι μόνο μέσω του κύβου ή κάποιου άλλου τρισδιάστατου περιβάλλοντος θα γίνονται πιο αντιληπτά τα αποτελέσματα, καθώς αυτό έχει να κάνει εξ' αρχής με τη φύση των δεδομένων και των ερωτήσεων που θέτονται, αλλά και με το πόσο μεγάλο είναι το δείγμα κάθε φορά. Ενδεχομένως σε άλλη περίπτωση όπου θα είχαμε το ίδιο δείγμα να χρειαζόταν μικρότερος χρόνος συνολικά σε ένα δισδιάστατο περιβάλλον απ' ότι σε ένα τρισδιάστατο για να απαντηθούν οι οποιασδήποτε φύσεως ερωτήσεις.

Τέλος, είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι μέσω των αποτελεσμάτων της κλίμακας ευχρηστίας - χρησιμότητας των δύο λογισμικών, παρατηρήθηκε πως οι οπτικοποιήσεις και των δύο λογισμικών διευκόλυναν τους συμμετέχοντες στο να απαντήσουν τις ερωτήσεις, καθώς δεν υπήρξε μεγάλη στατιστική διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα να αντιλαμβάνονται εξίσου το ίδιο καλά οι συμμετέχοντες και τις δύο οπτικοποιήσεις. Επομένως η εμπειρική έρευνα, με βάση τους άξονες διερεύνησης που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, ήταν και αποτελεσματική και αποδοτική και ικανοποιητική.

Η αναπαράσταση των δεδομένων τροχιάς σε διάφορα περιβάλλοντα απεικόνισης είναι ένα ζήτημα το οποίο παρέχει πολλές ευκαιρίες για μελλοντική έρευνα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το περιβάλλον του κύβου χρησιμοποιείται στην πληθώρα των περιπτώσεων για οπτικοποίηση των δεδομένων τροχιάς και συνήθως οπτικοποιείται μόνο ένα φαινόμενο σε διάφορες χρονικές στιγμές. Για το λόγο αυτό μία κατεύθυνση για έρευνα θα ήταν η υλοποίηση ενός τρισδιάστατου περιβάλλοντος το οποίο θα υποστηρίζει την πολλαπλή απεικόνιση φαινομένων σε διάφορες χρονικές στιγμές και η υλοποίηση ενός δισδιάστατου περιβάλλοντος

με την ίδια δυνατότητα αναπαράστασης πολλαπλών φαινομένων, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει αξιολόγηση στις αντίστοιχες οπτικοποιήσεις.

Ένα άλλο θέμα είναι ότι πολλά ‘ανοιχτά δεδομένα τροχιάς’, είναι ετερογενή ως προς τα χωρικά, χρονικά και σημασιολογικά τους χαρακτηριστικά (Yang κ.ά., 2020), επομένως είναι απαραίτητο να υλοποιηθούν περιβάλλοντα απεικόνισης στα οποία θα είναι εφικτό να γίνεται συγχώνευση δεδομένων σε μεγάλη κλίμακα, συμπεριλαμβάνοντας πληροφορίες για αυτά από διάφορες πηγές. Άρα μία παραλλαγή της παραπάνω πρότασης θα ήταν να υλοποιηθεί μία εφαρμογή η οποία θα υποστηρίζει την οπτικοποίηση ετερογενών δεδομένων τροχιάς, με σκοπό την απεικόνιση πολλών φαινομένων ταυτόχρονα αντλώντας πληροφορίες από πολλαπλές βάσεις δεδομένων που διαθέτουν στοιχεία για τα δεδομένα και τα φαινόμενα αυτά.

Μία άλλη κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα είναι η από κοινού οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών στον χωροχρονικό κύβο αλλά και σε δισδιάστατο στατικό χάρτη, στην ίδια απεικόνιση, έτσι ώστε μελετήσει κανείς τα οφέλη – πλεονεκτήματα της κοινής αυτής αναπαράστασης και της σύγκρισης των αποτελεσμάτων ως προς τη συνηθισμένη μεμονωμένη χρήση τους.

Τέλος, μία τελευταία ερευνητική κατεύθυνση θα ήταν η αξιολόγηση χωροχρονικών αναπαραστάσεων και πιο συγκεκριμένα μιας δυναμικής δισδιάστατης απεικόνισης και μιας τρισδιάστατης απεικόνισης, από χρήστες οι οποίοι θεωρούνται ειδικοί (experts) ως προς το αντικείμενο, έτσι ώστε να δει κανείς πως αλληλεπιδρούν οι ειδικοί στις οπτικοποιήσεις αυτές και τι συμπεράσματα προκύπτουν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alathas, H. 'How to Measure Product Usability with the System Usability Scale (SUS) Score', 19 November 2018. Retrieved from <https://uxplanet.org/how-to-measure-product-usability-with-the-system-usability-scale-sus-score-69f3875b858f>.

Amini F., Rufiange S., Hossain Z., Ventura Q., Irani P. and McGuffin M. J., 'The Impact of Interactivity on Comprehending 2D and 3D Visualizations of Movement Data'. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 21, no. 1, Jan. 2015, pp. 122–35. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2329308>.

Andrienko, N., Andrienko, G., Gatalsky P., "Exploratory Spatio-Temporal Visualization: An Analytical Review." *Journal of Visual Languages & Computing*, vol. 14, no. 6, Dec. 2003, pp. 503–41. DOI.org (Crossref), [doi:10.1016/S1045-926X\(03\)00046-6](https://doi.org/10.1016/S1045-926X(03)00046-6).

Bach, B., Dragicevic P., Archambault D., Hurter C., Carpendale S., "A Descriptive Framework for Temporal Data Visualizations Based on Generalized Space-Time Cubes: Generalized Space-Time Cube." *Computer Graphics Forum*, vol. 36, no. 6, Sept. 2017, pp. 36–61. DOI.org (Crossref), [doi:10.1111/cgf.12804](https://doi.org/10.1111/cgf.12804).

Bach, B., Dragicevic P., Archambault D., Hurter C., Carpendale S., "A Review of Temporal Data Visualizations Based on Space-Time Cube Operations." *EuroVis - STARS*, 2014, p. 19 pages. DOI.org (Datacite), [doi:10.2312/EUROVISSTAR.20141171](https://doi.org/10.2312/EUROVISSTAR.20141171).

Chen, W., Huang Z., Wu F., Zhu M., Guan H. and Maciejewski R., "VAUD: A Visual Analysis Approach for Exploring Spatio-Temporal Urban Data." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 24, no. 9, Sept. 2018, pp. 2636–48. DOI.org (Crossref), [doi:10.1109/TVCG.2017.2758362](https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2758362).

Claudel M., Nagel T., Ratti C., 'From Origins to Destinations: The Past, Present and Future of Visualizing Flow Maps'. *Built Environment*, vol. 42, no. 3, Oct. 2016, pp. 338–55. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.2148/benv.42.3.338>.

Demšar U., and Virrantaus K., 'Space–Time Density of Trajectories: Exploring Spatio-Temporal Patterns in Movement Data'. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 24, no. 10, Oct. 2010, pp. 1527–42. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/13658816.2010.511223>.

Dodge S., and Noi E., 'Mapping Trajectories and Flows: Facilitating a Human-Centered Approach to Movement Data Analytics'. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 48, no. 4, July 2021, pp. 353–75. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/15230406.2021.1913763>.

Ferreira A., Afonso A. P., Ferreira L., Vaz R., 'Visual Analytics of Trajectories with RoseTrajVis'. *Big Data Research*, vol. 27, Feb. 2022, p. 100294. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100294>.

Filho J. A. W., Stuerzlinger W., Nedel L., 'Evaluating an Immersive Space-Time Cube Geovisualization for Intuitive Trajectory Data Exploration'. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 26, no. 1, Jan. 2020, pp. 514–24. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2934415>.

Fisher P. F., *Developments in Spatial Data Handling*. Springer Berlin Heidelberg, 2005. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/b138045>.

Frigge M., Hoaglin D.C., Iglewicz B., 'Some Implementations of the Boxplot'. *The American Statistician*, vol. 43, no. 1, Feb. 1989, p. 50. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.2307/2685173>.

Gatalsky P., Andrienko, N., Andrienko, G., "Interactive Analysis of Event Data Using Space-Time Cube." *Proceedings. Eighth International Conference on Information Visualisation, 2004. IV 2004.*, IEEE, 2004, pp. 145–52. DOI.org (Crossref), [doi:10.1109/IV.2004.1320137](https://doi.org/10.1109/IV.2004.1320137).

Gonçalves T., Afonso A. P., Martins B., 'Cartographic Visualization of Human Trajectory Data: Overview and Analysis'. *Journal of Location Based Services*, vol. 9, no. 2, Apr. 2015, pp. 138–66. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1080/17489725.2015.1074736>.

Gu Y., Kraak M.-J. and Engelhardt Y., 'Revisiting Flow Maps: A Classification and a 3D Alternative to Visual Clutter'. Proceedings of the ICA, vol. 1, May 2018, pp. 1–7. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.5194/ica-proc-1-51-2018>.

Gudmundsson J., Laube P., Wolle T., "Movement Patterns in Spatio-temporal Data." *Encyclopedia of GIS*, edited by Shashi Shekhar and Hui Xiong, Springer US, 2008, pp. 726–732. DOI.org (Crossref), [doi:10.1007/978-0-387-35973-1_823](https://doi.org/10.1007/978-0-387-35973-1_823).

Guo H., Goodchild M. F., Annoni A., *Manual of Digital Earth*. Springer Singapore, 2020. DOI.org (Crossref), [doi:10.1007/978-981-32-9915-3](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9915-3).

Hanusz Z., Tarasinska J., Zieliński W., 'Shapiro–Wilk test with known mean'. Statistical Journal, vol. 14, no. 1, February 2016, pp. 89 – 100, https://www.researchgate.net/publication/298706800_Shapiro-Wilk_test_with_known_mean.

Karadimitriou S. M. and Marshall E., 'Mann-Whitney U test (Non-parametric equivalent to independent samples t-test)'. Sheffield Hallam University. https://www.sheffield.ac.uk/polopoly_fs/1.714552!/file/stcp-marshall-MannWhitS.pdf.

Kjellin A., Pettersson L. W., Seipel S., Lind M., 'Evaluating 2D and 3D Visualizations of Spatiotemporal Information'. ACM Transactions on Applied Perception, vol. 7, no. 3, June 2010, pp. 1–23. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1145/1773965.1773970>.

Kong X., Li M., Ma K., Tian K., Wang M., Ning Z., Xia F., 'Big Trajectory Data: A Survey of Applications and Services'. IEEE Access, vol. 6, 2018, pp. 58295–306. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2873779>.

Kraak M. J., "The Space - Time Cube Revisited from a Geovisualization Perspective." *ICC 2003 : Proceedings of the 21st International Cartographic Conference: Cartographic Renaissance*, International Cartographic Association, 2003, pp. 1988–96. [research.utwente.nl, https://research.utwente.nl/en/publications/the-space-time-cube-revisited-from-a-geovisualization-perspective](https://research.utwente.nl/en/publications/the-space-time-cube-revisited-from-a-geovisualization-perspective).

Kristensson P. O., Dahlback N., Anundi D., Bjornstad M., Gillberg H., Haraldsson J., Martensson I., Nordvall M., Stahl J., "An Evaluation of Space Time Cube Representation of Spatiotemporal Patterns." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 15, no. 4, July 2009, pp. 696–702. DOI.org (Crossref), [doi:10.1109/TVCG.2008.194](https://doi.org/10.1109/TVCG.2008.194).

Kveladze I., Kraak M.-J., van Elzakker C. P. J. M., "Cartographic Design and the Space–Time Cube." *The Cartographic Journal*, vol. 56, no. 1, Jan. 2019, pp. 73–90. DOI.org (Crossref), [doi:10.1080/00087041.2018.1495898](https://doi.org/10.1080/00087041.2018.1495898).

MacEachren A. M. and Kraak. M.J., "Research Challenges in Geovisualization." *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 28, no. 1, Jan. 2001, pp. 3–12. DOI.org (Crossref), [doi:10.1559/152304001782173970](https://doi.org/10.1559/152304001782173970).

MacFarland T. W. and Yates J. M., *Introduction to Nonparametric Statistics for the Biological Sciences Using R*. Springer International Publishing, 2016. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30634-6>.

Mazimpaka J. D. and Timpf S., 'Trajectory Data Mining: A Review of Methods and Applications'. *Journal of Spatial Information Science*, no. 13, Dec. 2016, pp. 61–99. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.5311/JOSIS.2016.13.263>.

Peuquet D. J., "It's About Time: A Conceptual Framework for the Representation of Temporal Dynamics in Geographic Information Systems." *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 84, no. 3, Sept. 1994, pp. 441–61. DOI.org (Crossref), [doi:10.1111/j.1467-8306.1994.tb01869.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1994.tb01869.x).

Sequeira H., 'Spatio-Temporal Visualizer: Online tool to visualize trajectory data using a time-window', Jul. 2014, <https://github.com/hugocore/spatiotemporal-visualizer>.

Soltani A. and Askari S., "Analysis of Intra-Urban Traffic Accidents Using Spatiotemporal Visualization Techniques." *Transport and Telecommunication Journal*, vol. 15, no. 3, Sept. 2014, pp. 227–32. DOI.org (Crossref), [doi:10.2478/ttj-2014-0020](https://doi.org/10.2478/ttj-2014-0020).

Song B., Wang Y., Li F., 'The Visualization Representation of Space-Time-Path in The Space-Time-Cube'. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 906, no. 1, Nov. 2021, p. 012030. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/906/1/012030>.

Wu X. and Xia L., 'Review and Analysis on Trajectory Big Data'. E3S Web of Conferences, edited by L. Li and S. Zhu, vol. 338, 2022, p. 01039. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202233801039>.

Yang C., Clarke K., Shekhar S., Tao C. V., "Big Spatiotemporal Data Analytics: A Research and Innovation Frontier." *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 34, no. 6, June 2020, pp. 1075–88. DOI.org (Crossref), [doi:10.1080/13658816.2019.1698743](https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1698743).

Yu M., Bambacus M., Cervone G., Clarke K., Duffy D., Huang Q., Li J., Li W., Li Z., Liu Q., Resch B., Yang J., Yang C., "Spatiotemporal Event Detection: A Review." *International Journal of Digital Earth*, vol. 13, no. 12, Dec. 2020, pp. 1339–65. DOI.org (Crossref), [doi:10.1080/17538947.2020.1738569](https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1738569).

Zou Y., He J., Chen H., 'Directional-Layered Space-Time Densities: A New Spatiotemporal Trajectory Aggregation and Geographic Visualization Approach'. IEEE Access, vol. 9, 2021, pp. 9026–47. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3045805>.

Zou Y., Chen H., He J., Pang G., Zhang K., '4D Time Density of Trajectories: Discovering Spatiotemporal Patterns in Movement Data'. ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 7, no. 6, June 2018, p. 212. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3390/ijgi7060212>.

En.wikipedia.org. 2022. ILWIS - Wikipedia. [online] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/ILWIS> [Accessed 8 June 2022].

Statistics Solutions. 2022. Mann-Whitney U Test - Statistics Solutions. [online] Available at: <https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/mann-whitney-u-test/> [Accessed 8 June 2022].

'THE SHAPIRO-WILK AND RELATED TESTS FOR NORMALITY'. February 2015, <https://math.mit.edu/~rmd/465/shapiro.pdf>.

Δαφέρμος Β., 'ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ και ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ'. Πανεπιστήμιο Κρήτης, Απρίλιος 2014,
<https://opencourses.uoc.gr/courses/pluginfile.php/15069.pdf>.

Χαλικιάς Μ., Λάλου Π., Μανωλέσου Α., 'Μεθοδολογία έρευνας και εισαγωγή στη Στατιστική
Ανάλυση Δεδομένων με το IBM SPSS STATISTICS', 2015. [ηλεκτρ. βιβλ.].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αξιολόγηση εργαλείων απεικόνισης χωροχρονικών δεδομένων σε δύο και τρεις διαστάσεις

Εισαγωγή

Η έρευνα αυτή διεξάγεται στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής μου εργασίας στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωπληροφορική» της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών - Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία έχει στόχο την αξιολόγηση εργαλείων απεικόνισης χωροχρονικών δεδομένων σε δύο και τρεις διαστάσεις.

Κατά την διεξαγωγή του πειράματος, θα περάσετε πρώτα από ένα στάδιο εκπαίδευσης, όσον αφορά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στο αντίστοιχο περιβάλλον απεικόνισης και στη συνέχεια θα περάσετε στο στάδιο εξέτασης, όπου θα απαντήσετε τις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου.

Η συμβολή σας στην επιτυχή διεξαγωγή της έρευνας είναι ιδιαίτερα σημαντική. Το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο, εμπιστευτικό και τα αποτελέσματα θα χρησιμοποιηθούν αυστηρά και μόνο στο πλαίσιο της έρευνας. Ο χρόνος που θα χρειαστείτε για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου είναι περίπου 20-30 λεπτά. Σας ευχαριστώ πολύ εκ των προτέρων για τη συμβολή και το χρόνο σας.

Με εκτίμηση,
Θεόφιλος Φάκας

(email: teomclaren@yahoo.gr)

Στοιχεία Συμμετεχόντων

Η σελίδα αυτή αφορά σε ερωτήσεις που σχετίζονται με το προφίλ των συμμετεχόντων

1) Φύλο*

Άνδρας

Γυναίκα

2) Ηλικία*

< 18 ετών

18-25

26-35

36-55

> 56 ετών

3) Επαγγελματική Δραστηριότητα

*Αν είστε φοιτητής/-τρια αναφέρετε τη σχολή/τμήμα φοίτησης. **

4) Είχατε έως τώρα κάποια επαφή με τον χωρο-χρονικό κύβο ή με δυναμική δισδιάστατη οπτικοποίηση χωροχρονικών δεδομένων;*

Ναι: _____ *

Όχι

5) Αναφέρετε το περιβάλλον οπτικοποίησης στο οποίο θα απαντήσετε τις ερωτήσεις:*

ArcGIS Online

ILWIS

6) Συμπληρώστε τον αριθμό μητρώου σας:*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

7) Σε ποια περιοχή βρίσκεται το απορριματοφόρο '13' τη χρονική στιγμή 2:00:00 PM;*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

8) Ποιο/α απορριματοφόρα βρισκόταν/ντουσαν στην ευρύτερη περιοχή του 'ΧΥΤΑ Φυλής' την χρονική στιγμή 10:00:00 AM;*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

9) Ποιες περιοχές επισκέφθηκε το απορριματοφόρο '5' στη διάρκεια της ημέρας;*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

10) Το απορριματοφόρο '14' έκανε μεγαλύτερη διαδρομή από το απορριματοφόρο '7';
*

Ναι

Όχι

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

11) Ποια απορριματοφόρα ταξίδεψαν και έξω από την περιοχή του Αγίου Στεφάνου;*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

12) Σε ποια/ποιες περιοχές παρατηρείται πυκνότερη κυκλοφορία απορριματοφόρων;*

Ερωτήσεις για την απεικόνιση χωροχρονικών δεδομένων

13) Το απορριματοφόρο '3' στάθμευσε στην περιοχή του ΧΥΤΑ Φυλής στις 4:15:00 AM. Για πόση ώρα έμεινε σταθμευμένο το απορριματοφόρο, μέχρι αυτό πάλι να αρχίσει να κινείται;*

Αξιολόγηση των ερωτήσεων ως προς το λογισμικό και την οπτικοποίηση

Στην σελίδα αυτή θα αξιολογήσετε το πόσο εύκολα απαντήσετε τις ερωτήσεις ως προς την οπτικοποίηση των δεδομένων και το λογισμικό.

14) Νομίζω ότι θα ήθελα να χρησιμοποιώ συχνά μία οπτικοποίηση σαν και αυτήν.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

15) Βρήκα την οπτικοποίηση αυτή αδικαιολόγητα περίπλοκη.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

16) Νομίζω ότι η οπτικοποίηση αυτή ήταν εύκολη στη χρήση της.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

17) Νομίζω ότι θα χρειαστώ βοήθεια από κάποιον τεχνικό για να είμαι σε θέση να κατανοήσω μία οπτικοποίηση σαν και αυτήν.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

18) Διαπίστωσα ότι η οπτικοποίηση των δεδομένων στο λογισμικό αυτό ήταν καλή.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

19) Διαπίστωσα ότι η οπτικοποίηση είχε σημαντικό αριθμό ασυνεπειών.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

20) Νομίζω ότι οι περισσότεροι άνθρωποι θα μπορούσαν εύκολα ή γρήγορα να κατανοήσουν μία οπτικοποίηση σαν και αυτήν.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

21) Βρήκα την οπτικοποίηση αυτή πολύ δύσχρηστη.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

22) Ένιωσα πολύ σίγουρος/η χρησιμοποιώντας αυτήν την οπτικοποίηση.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

23) Χρειάστηκε πολύς χρόνος προσαρμογής ώστε να νιώσω άνετα με αυτήν την οπτικοποίηση.*

Διαφωνώ απόλυτα

1 2 3 4 5

Συμφωνώ απόλυτα

Ευχαριστώ πολύ για την συμμετοχή σας!!!

Ευχαριστώ που συμμετείχατε στην έρευνα, οι απαντήσεις σας είναι πολύ σημαντικές για εμάς.
