



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΜΕ ΥΔΡΟΠΛΑΝΟ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS

Name	StartDepotNam	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
101	Piraeus	Piraeus	13388, 828487	720	479,8/6/2035	8/6/2035	6:59:36 μμ
102	Piraeus	Piraeus	11272, 390938	720	424,8/6/2035	8/6/2035	5:05:57 μμ
103	Piraeus	Piraeus	12568, 908888	720	375,8/6/2035	8/6/2035	6:17:11 μμ
104	Piraeus	Piraeus	10056, 396904	720	359,8/6/2035	8/6/2035	4:02:04 μμ
105	Piraeus	Piraeus	11908, 375895	720	339,8/6/2035	8/6/2035	5:43:24 μμ
106	Piraeus	Piraeus	13248, 231606	720	591,8/6/2035	8/6/2035	6:56:59 μμ
107	Piraeus	Piraeus	12881, 891496	720	452,8/6/2035	8/6/2035	6:38:08 μμ
108	Piraeus	Piraeus	12966, 463944	720	456,720698/6/2035	8/6/2035	6:43:43 μμ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ-ΖΗΚΟΣ, ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.,
Α.Μ. 602022221

ΕΠΙΒΛΕΨΗ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας και αυτόν τον κύκλο στη ζωή μου, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω κατ' αρχήν τον επιβλέποντα και αυτής της προσπάθειας, κ. Κων/νο Κεραπτσόγλου, Αναπληρωτή Καθηγητή, ο οποίος εκτός του ότι μου πρότεινε να συνεχίσω τις σπουδές μου στο ΔΠΜΣ «Γεωπληροφορική», με εμπιστεύτηκε για μια ακόμα φορά στο να αναλάβει την επίβλεψη της διπλωματικής μου εργασίας και να σταθεί αρωγός στο ξεκίνημα της επαγγελματικής και επιστημονικής μου σταδιοδρομίας. Σε αυτή τη δύσκολη χρονικά περίοδο 2020-22 όπου οι σπουδές πραγματοποιήθηκαν αποκλειστικά εξ αποστάσεως, για μία ακόμα φορά τους γονείς μου τους γονείς μου Γιώργο και Ιωάννα, την αδερφή μου Μαριάννα, τους λοιπούς συγγενείς, τους φίλους και όποιον άλλον με βοήθησε όταν χρειάστηκε κάτι. Ευχαριστώ ακόμα τον Πρόεδρο της ΕΔΕ του ΔΠΜΣ κ. Μαρίνο Κάβουρα, Καθηγητή και τα υπόλοιπα μέλη της που με έκριναν κατάλληλο να παρακολουθήσω αυτό το Πρόγραμμα, τη γραμματέα κ. Ευτέρπη Παλιάτσου για την άψογη μεταξύ μας συνεργασία σε ό,τι αφορά τα θέματα διοικητικής φύσεως και γενικότερα όλους τους διδάσκοντες και το προσωπικό για τις γνώσεις και την επιστημονική σκέψη που μου μετέδωσαν. Τέλος δεν ξεχνώ τον Αείμνηστο Καθηγητή Γιώργο Φώτη, ο οποίος με έπεισε να ενταχθώ στην τελευταία όπως αποδείχτηκε ομάδα «συνεργατών» του- όπως ο ίδιος αποκαλούσε-και να γνωρίσω ένα αντικείμενο που συμπλήρωσε τις επιστημονικές μου γνώσεις, αυτό της Γεωγραφικής Ανάλυσης του Χώρου. Ο Θεός να αναπαύει την ψυχή του.

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΜΕ ΥΔΡΟΠΛΑΝΟ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ GIS

ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ-ΖΗΚΟΣ, ΔΙΠΛ. ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ,

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός ενός πανελλαδικού δικτύου μεταφοράς με υδροπλάνων έχοντας ως βάσεις δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια σε Πειραιά και Θεσσαλονίκη με χρήση υπολογιστικών εργαλείων της Γεωπληροφορικής και πιο συγκεκριμένα της Ανάλυσης Δικτύου του ArcGIS® της ESRI. Έχοντας θεωρήσει το πρόβλημα ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Δικτύου, γίνεται αρχικά μία εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση στη δομή του προβλήματος, της διάφορες εκδοχές του και το πλήθος των μεθοδολογιών επίλυσης που έχουν αναπτυχθεί ενώ παράλληλα γίνεται και μία πρώτη αναζήτηση σχετικά με το πώς η Γεωπληροφορική εμπλέκεται στο σχετικό εγχείρημα. Ακολουθεί ο ορισμός του δικτύου, η εύρεση της ζώνης επιρροής κάθε υδατοδρομίου, και εν συνεχεία μία ευρεία επεξεργασία στοιχείων στο Microsoft Excel για τον προσδιορισμό της ζήτησης κάθε υδατοδρομίου σε ημερήσιο επίπεδο. Τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται στο ArcGIS, δημιουργούνται τα σχετικά θεματικά επίπεδα υδατοδρομίων και διαδρομών και δομείται το βασικό πεδίο της Ανάλυσης Δικτύου, το network dataset. Ακολούθως ορίζοντας τις σχετικές κλάσεις διαταγών (*orders*), βάσεων (*depots*) και οχημάτων δρομολόγησης (*routes*) επιλύονται συνολικά 8 περιπτώσεις δρομολόγησης, 4 για κάθε υδατοδρόμιο και 1 ανά τρίμηνο του έτος και εξάγονται τα σχετικά προγράμματα δρομολόγησης με βάση είτε τα αεροσκάφη (*routes*) είτε τα υδατοδρόμια (*orders*). Τέλος εξάγονται ορισμένα χρήσιμα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τα μεγέθη δρομολογήσεων που προέκυψαν.

ABSTRACT

Planning a transportation network with seaplane in the whole greek area constitutes the object of this project, having proposed two metropolitan seaplane bases in Piraeus and Thessaloniki and using GIS software tool and in particular, ESRI ArcGIS® Network Analyst. Having considered the problem as a Vehicle Routing Problem (VRP), a broad literature report is conducted on the problem structure, its different variations and the wealth of solution methods that have been generated, while simultaneously a brief search about the relative involvement of GIS is conducted. Defining the network and finding the base buffer zones follow the previous elements and after that, there is a broad process of elements in Microsoft Excel in order to definite the demand of every seaplane destination on a daily base. The elements above become an input in ArcGIS, the relative layers of seaplane bases and routes are generated and the basic component of Network Analyst, the network dataset is created. Afterwards, having defined the classes of orders, depots and routes, 8 routing cases are solved, 4 per every metropolitan seaplane base and 4 per annual quarter and the relative routing schedules are generated, either route-based or order-based. Finally, some useful statistics about the routing parameters are created.

Περιεχόμενα

Ευρετήριο εικόνων, πινάκων, σχημάτων και χαρτών	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 Ορισμοί-βασικές έννοιες	11
1.2 Αντικείμενο της εργασίας	12
1.3 Δομή της εργασίας.....	12
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	14
3.1 Προαπαιτούμενη Γνώση	19
3.1.1 Στοιχεία Θεωρίας Γράφων	19
3.1.2 Στοιχεία Θεωρίας Πολυπλοκότητας	20
3.2. Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP).....	22
3.2.1 Το πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (<i>Traveling Salesman Problem</i>).....	22
3.2.2. Το πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχήματος (<i>Vehicle Routing Problem</i>)-Γενικά στοιχεία και εκδοχές	23
3.2.3. Το πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχήματος (<i>Vehicle Routing Problem</i>)- Μέθοδοι επίλυσης.....	28
3.3 Γεωπληροφορική και Μεταφορικά Δίκτυα.....	36
3.3.1 Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας-Γενικές Αρχές της Αρχιτεκτονικής των ΣΓΠ...36	
3.3.2 Επιλογή λογισμικού GIS	43
3.3.3 Ο Network Analyst και το VRP στο ArcGIS	47
4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	73
4.1 Γενικά Στοιχεία.....	73
4.2 Στοιχεία λειτουργίας των υδροπλάνων και αξιοποίησή τους.....	77
4.3 Προσδιορισμός ζήτησης για το μεταφορικό σύστημα	82
5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ARCGIS-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ NETWORK ANALYST	100
5.1 Δημιουργία των βασικών θεματικών επιπέδων.....	100
5.2 Δημιουργία του Network Dataset.....	104
5.3 Κατάστρωση του προβλήματος VRP	108
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	118
6.1 Αναφορές δρομολογίων και υδ/δρομίων.....	118
6.1.1 Υδατοδρόμιο Πειραιά	118
6.1.2 Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	129
6.2 Στατιστική ανάλυση μεταβλητών αποτελεσμάτων-Εξαγωγή ποιοτικών στοιχείων	133
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	139
7.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων	139
7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	140

Ευρετήριο εικόνων, πινάκων, σχημάτων και χαρτών

Εικ. 3.1 α)μη κατευθυνόμενος γράφος β) κατευθυνόμενος γράφος.....	19
Εικ. 3.10 Συστατικά στοιχεία ενός ΣΓΠ (Κάβουρας et al., 2016)	37
Εικ. 3.11 Απεικόνιση κάτω διάβασης α)χωρίς β) με την ύπαρξη σχετικής λειτουργίας	40
Εικ. 3.12 Βασικές τοπολογικές σχέσεις μεταξύ πολυγωνικών αντικειμένων (Κάβουρας et al., 2016)	41
Εικ. 3.13 Οντολογικό διάγραμμα σχέσεων ανάμεσα στους χρήστες και τα πρωτόκολλα του OGC.	43
Εικ. 3.14 Infographic αξιολόγησης του ESRI ArcGIS	46
Εικ. 3.15: Infographic- σύντομη αξιολόγηση του ArcGIS.....	47
Εικ. 3.16 Επεκτάσεις ArcGIS-επισημαίνεται ο Network Analyst	48
Εικ. 3.17 Επιλογή επίλυσης προβλήματος VRP από Network Analyst.....	50
Εικ. 3.18 Κλάσεις VRP στο Network Analysis του ArcGIS	50
Εικ. 3.2 Η ιστορική πρωσική πόλη του Κένιγκσμπεργκ και οι 7 γέφυρές της	20
Εικ. 3.3 Διάγραμμα Euler μεταξύ των κλάσεων P, NP, NP-πλήρων και NP-δύσκολων προβλημάτων, για $P \neq NP$ και $P = NP$	22
Εικ. 3.4 Εννοιολογικός χάρτης των παραλλαγών του Προβλήματος Δρομολόγησης υπό Περιορισμούς (CVRP).....	24
Εικ. 3.5 Σύγκριση λογικού διαγράμματος Στατικού, Ψευδοδυναμικού και Δυναμικού VRP	27
Εικ. 3.6 βασικές κατηγορίες αλγορίθμων για την επίλυση του VRP	29
Εικ. 3.7 Αναζήτηση Σκέδασης, Σύνολο Αναφοράς $S \in R^2$, A,B,C αρχικές λύσεις, 1,2,3,4 οι παραγόμενες	34
Εικ. 3.8 Ανασύνδεση Μονοπατιού, συνεχής γραμμή: αρχικό μονοπάτι, εστιγμένη γραμμή: νέο μονοπάτι	34
Εικ. 3.9 Μέθοδος αποικίας μυρμηγκιών, γραφική αναπαράσταση	35
Εικ. 4.1 Διάγραμμα ροής εργασιών κεφαλαίου	76
Εικ. 5.1 Διάγραμμα ροής-εργασίες στο ArcGIS	101
Εικ. 5.10α Φόρτωση τοποθεσιών ως υδατοδρομίων προορισμού (<i>orders</i>).....	112
Εικ. 5.10β Φόρτωση τοποθεσιών ως υδατοδρομίων προορισμού (<i>orders</i>)-συνέχεια	113
Εικ. 5.11 Φόρτωση υδατοδρομίων αφητηρίας (<i>depots</i>)	113
Εικ. 5.12α Φόρτωση οχημάτων διαδρομών δικτύου Πειραιά (<i>routes</i>).....	116
Εικ. 5.12β Φόρτωση οχημάτων διαδρομών δικτύου Πειραιά (<i>routes</i>)-συνέχεια.....	116
Εικ. 5.14 Ιδιότητες θεματικού επιπέδου-Ρυθμίσεις Ανάλυσης.....	117
Εικ. 5.2 Add XY data: δημιουργία σημειακού θεματικού επιπέδου από αρχείο .csv	102
Εικ. 5.3 Κατασκευή γραμμών ορατότητας (<i>construct sight lines</i>).....	103
Εικ. 5.4 Δημιουργία <i>Network Dataset</i> από <i>Feature Class</i>	104
Εικ. 5.5 Επιλογή του feature class “lines_2” για τη δόμηση του network dataset του δικτύου της Θεσσαλονίκης.....	105
Εικ. 5.6 Δημιουργία τους χρονικής ιδιότητας “Time” ως αμφίδρομου συνδέσμου (edge) και σύνδεσή του με το αντίστοιχο πεδίο του feature class	106
Εικ. 5.7 Ιδιότητες του network dataset, χρήση τους ως παράμετροι κόστους, μονάδες μέτρησης και δήλωση τύπου δεδομένων στη μνήμη του λογισμικού.....	107
Εικ. 5.8 Ορισμός ιδιοτήτων χρόνου, απόστασης και εμπόδισης	108
Εικ. 5.9 Επιλογή επίλυσης προβλήματος VRP από Network Analyst.....	109
Πίν. 3.1: Σύνοψη των εφαρμογών του VRPSPD	29
Πίν. 3.10α Κλάση οχημάτων δρομολόγησης (<i>routes</i>) – στοιχεία εισόδου (<i>input</i>).....	64
Πίν. 3.10β Κλάση οχημάτων δρομολόγησης (<i>routes</i>) – στοιχεία εξόδου (<i>output</i>).....	67
Πίν. 3.10γ Κλάση επισκέψεων στα αμαξοστάσια (<i>depot visits</i>) – στοιχεία εξόδου (<i>output</i>)	70
Πίν. 3.11 Αντιστοίχιση κλάσεων ArcGIS και στοιχείων του προβλήματος.....	72

Πίν. 3.2. Μέτρα λύσης με ακρίβεια πρόβλεψης άνω του 55%. Επισημαίνονται τα μεγαλύτερα ποσοστά ανά κλάση.....	31
Πίν. 3.3: VRP-Ενδεικτικές δημοσιεύσεις της τελευταίας δεκαετίας	35
Πίν. 3.4 Δυνητικές δομές δεδομένων για ένα οδικό δίκτυο σε περιβάλλον GIS	38
Πίν. 3.5 Δυνατότητα ή μη στροφής μεταξύ δύο συνδεδεμένων συνδέσμων	40
Πίν. 3.6 Προτεινόμενοι τοπολογικοί κανόνες και θεματικά επίπεδα (ArcGIS) (Τσούλος et al., 2016)	42
Πίν. 3.7 Προβλήματα και αλγόριθμοι επίλυσης στο Network Analyst	48
Πίν. 3.8α Κλάση διαταγών (<i>orders</i>) – στοιχεία εισόδου (<i>input</i>).....	52
Πίν. 3.8β Κλάση διαταγών (<i>orders</i>) – στοιχεία εισόδου/εξόδου (<i>input/output</i>)	57
Πίν. 3.8γ Κλάση διαταγών (<i>orders</i>) – στοιχεία εξόδου (<i>output</i>)	58
Πίν. 3.9α Κλάση αμαξοστασίων (<i>depots</i>) – στοιχεία εισόδου (<i>input</i>).....	61
Πίν. 3.9β Κλάση αμαξοστασίων (<i>depots</i>) – στοιχεία εισόδου/εξόδου (<i>input/output</i>)	62
Πίν. 4.1 Μητροπολιτικά και περιφερειακά υδατοδρόμια εθνικού δικτύου και διαδρομές	73
Πίν. 4.10.1: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης κλινών (PpV _{,bp})-Υδατοδρόμιο Πειραιά ..	89
Πίν. 4.10.2: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης κλινών (PpV _{,b})-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	90
Πίν. 4.11.1: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV _{op})-Υδατοδρόμιο Πειραιά.....	90
Πίν. 4.11.2: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV _{ot})-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	91
Πίν. 4.12.1: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV _p) ανηγμένη στο έτος βάσης-Υδατοδρόμιο Πειραιά	91
Πίν. 4.12.2: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV _T) ανηγμένη στο έτος βάσης-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	92
Πίν. 4.13.1: Αρχική εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (PpW _o)-Υδατοδρόμιο Πειραιά	93
Πίν. 4.13.2: Τελική εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (PpW)-Υδατοδρόμιο Πειραιά	94
Πίν. 4.13.3: Εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (PpW)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	94
Πίν. 4.14.1: Αριθμός πτήσεων ανά εβδομάδα (FpW)-Υδατοδρόμιο Πειραιά.....	95
Πίν. 4.14.2: Αριθμός πτήσεων ανά εβδομάδα (FpW)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης	96
Πίν. 4.15.1: Μέγιστος αριθμός πτήσεων ανά ημέρα (FpD,max)-Υδατοδρόμιο Πειραιά	97
Πίν. 4.15.2: Μέγιστος αριθμός πτήσεων ανά ημέρα (FpD,max)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	98
Πίν. 4.16.1: Υπόλοιπο επιπλέον πτήσεων την εβδομάδα (mod)-Υδατοδρόμιο Πειραιά.....	98
Πίν. 4.16.2: Υπόλοιπο επιπλέον πτήσεων την εβδομάδα (mod)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης	99
Πίν. 4.2 Συντελεστές εξίσωσης 4.2.1 και ερμηνεία αυτών.....	77
Πίν. 4.3: κατηγορίες θάλασσας, ύψη κυματισμών και ποσοστά εμφάνισης σε βόρειο Ατλαντικό και Ειρηνικό Ωκεανό	79
Πίν. 4.4 Κωδικοί αναφοράς αεροδρομίων	80
Πίν. 4.5 Χαρακτηριστικά διαδρόμων προσέγγισης	80
Πίν. 4.6 Χαρακτηριστικά διαδρόμων απογείωσης	81
Πίν. 4.7 Κατάλογος Χωρικών Κοινωνικοοικονομικών Μονάδων του προβλήματος και αριθμητικά δεδομένα	84
Πίν. 4.8 Πληθυσμιακά δεδομένα/δεδομένα αεροπορικών αφίξεων ΚΟΜ υδατοδρομίων	87
Πίν. 4.9.1: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης μόνιμου πληθυσμού (PpV _{,pp})-Υδατοδρόμιο Πειραιά	88
Πίν. 4.9.2: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης μόνιμου πληθυσμού (PpV _{,pT})-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης.....	89
πίν. 5.1 Πίνακας Ιδιοτήτων (Attribute Table), θεματικό επίπεδο “lines_1” δικτύου από Πειραιά	104
Πίν. 5.2 Αντιστοίχιση κλάσεων ArcGIS, στοιχείων του προβλήματος και θεματικών επιπέδων- επέκταση του πίν. 3.10.....	108
πίν. 5.3 Θεματικό Επίπεδο Υδατοδρομίων από Πειραιά-Πίνακας Ιδιοτήτων.....	111
πίν. 5.4 Θεματικό Επίπεδο Υδατοδρομίων από Θεσσαλονίκη-Πίνακας Ιδιοτήτων	111
Πίν. 6.1.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-1 ^ο τρίμηνο	118
Πίν. 6.1.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-1 ^ο τρίμηνο	119

Πίν. 6.2.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-2 ^ο τρίμηνο	120
Πίν. 6.2.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-2 ^ο τρίμηνο	121
Πίν. 6.3.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-3 ^ο τρίμηνο	123
Πίν. 6.3.2 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-3 ^ο τρίμηνο	124
Πίν. 6.4.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-4 ^ο τρίμηνο	127
Πίν. 6.4.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-4 ^ο τρίμηνο	128
Πίν. 6.5.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-1 ^ο τρίμηνο	129
Πίν. 6.5.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-1 ^ο τρίμηνο	130
Πίν. 6.6.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-2 ^ο τρίμηνο	130
Πίν. 6.6.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-2 ^ο τρίμηνο	131
Πίν. 6.7.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4 ^ο τρίμηνο	131
Πίν. 6.7.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-3 ^ο τρίμηνο	132
Πίν. 6.8.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4 ^ο τρίμηνο	132
Πίν. 6.8.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4 ^ο τρίμηνο	133
Σχ. 3.1 Ποσοστό των διαφόρων εκδοχών του VRP σε δείγμα 299 δημοσιεύσεων.....	27
Σχ. 3.2 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία απλής λύσης μεταερευτικών αλγορίθμων	32
Σχ. 3.3 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία μεταερευτικών αλγορίθμων βάσει πληθυσμού-εξελικτικός υπολογισμός.....	32
Σχ. 3.4 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία μεταερευτικών αλγορίθμων βάσει πληθυσμού-νοημοσύνη σμήνους.....	32
Σχ. 3.5 Καλύτερα λογισμικά GIS από άποψη ποιότητας και εμπορικής επιτυχίας.....	45
Σχ. 6.1 Μεταβολή αριθμού στόλου αεροσκαφών (routes) ανά τρίμηνο και ανά μητροπολιτικό υδατοδρόμιο (depot).....	134
Σχ. 6.2 Μεταβολή μέσου κόστους (€) ανά αεροσκάφος (route).....	134
Σχ. 6.3 Μεταβολή μέσου χρόνου (h) λειτουργίας αεροσκάφους (route)	135
Σχ. 6.4 Μεταβολή αριθμού εξυπηρετήσεων υδατοδρομίων (orders) ανά τρίμηνο και ανά μητροπολιτικό υδατοδρόμιο (depot).....	135
Σχ. 6.5 Μεταβολή μέσου ακαθάριστου εσόδου (€) ανά εξυπηρέτηση υδατοδρομίου (depot) από δρομολόγιο (route).....	136
Σχ. 6.6 Μεταβολή μέσου καθαρού εσόδου (€) ανά εξυπηρέτηση υδατοδρομίου (depot) από δρομολόγιο (route).....	136
Χάρτης 3.1 Παράδειγμα κανονικοποιημένης μορφής-Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους νήσου Άνδρου	37
Χάρτης 3.2 Παράδειγμα διανυσματικής μορφής-Πληθυσμός δήμων νομού Λάρισας	38
Χάρτης 4.1 Η σύνδεση των μητροπολιτικών υδατοδρομίων με τα κεντρικά υδατοδρόμια, Μ. Παγωνάκης, 2016	74
Χάρτης 4.1: Χάρτης διαδρομών προβλήματος.....	85
Χάρτης 4.2, πλήρες δίκτυο, Μ. Παγωνάκης, 2016	75
Χάρτης 4.2: Χωρικές Ζώνες προβλήματος.....	86
Χάρτης 4.3: Επιρροή υδατοδρομίων από Πειραιά.....	86
Χάρτης 4.4: Επιρροή υδατοδρομίων από Θεσσαλονίκη	87

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμοί-βασικές έννοιες

Γράφος (*graph*) στα μαθηματικά ή **δίκτυο** (*network*) γενικότερα στην επιστήμη καλείται ένα σύνολο κόμβων και συνδέσμων, στοιχείων μηδενικής και μίας διάστασης αντίστοιχα μεταξύ των οποίων ορίζεται υποχρεωτικά η συνδεσιμότητα ή και η κατεύθυνση (στην περίπτωση των συνδέσμων). Δίκτυα νοούνται για την αναπαράσταση φαινομένων σε όλο το φάσμα της επιστήμης, στην επιστήμη των μεταφορών δε, αποτελεί από τη φύση του φαινομένου που μελετούν, βασικότατο μεθοδολογικό εργαλείο, όπου οι παραπάνω βασικές ιδιότητες αποδεικνύεται ότι δεν είναι αρκετές.

Τα προβλήματα δικτύου στις μεταφορές μελετώνται μαθηματικά με τη βοήθεια της **Επιχειρησιακής Έρευνας**. Η απλούστερη μορφή προβλήματος, το **Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή** (*Traveling Salesman Problem, TSP*) αφορά στην περίπτωση ενός οχήματος που εκτελεί τη μεταφορά, ενώ όταν υπάρχουν περισσότερα του ενός οχήματα πρόκειται για το **Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος** (*Vehicle Routing Problem, VRP*). Είναι προφανές ότι στην πράξη τα περισσότερα προς επίλυση προβλήματα ανήκουν στην κατηγορία του VRP. Εξαιτίας μάλιστα της ιδιαιτερότητας κάθε προβλήματος συνηθίζεται στην πράξη να προστίθενται περιορισμοί π.χ. χρονικών παραθύρων (*VRP with Time Windows, VRPTW*), συνύπαρξης παραλαβής και διανομής (*VRP with Simultaneous Pick up and Delivery, VRPSPD*) δημιουργώντας εντέλει μία ιδιαίτερα πλούσια σχετική βιβλιογραφία.

Το VRP-και στην απλούστερη του μορφή-ανήκει στην κατηγορία των NP-δύσκολων προβλημάτων (*NP-hard*). Για την επίλυσή του χρησιμοποιούνται είτε ακριβείς αλγόριθμοι είτε συνηθέστερα **ευρετικοί** αλγόριθμοι. Διακρίνονται σε αλγορίθμους απλής λύσης (*single-solution based*), όπου αναζητείται μία νέα λύση καλύτερη από την υπάρχουσα και λύσης προερχόμενης από πληθυσμό (*population based*). Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγεται και η Μέθοδος της Αναζήτησης Ταμπού (*Tabu Search*) που χρησιμοποιείται για την επίλυση του προβλήματος στην παρούσα εργασία.

Σε ό,τι αφορά την επιστήμη και τα **Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ)** (*Geographic Information Systems, GIS*), αν και αρχικός τους σκοπός αποτέλεσε η δημιουργία των παραδοσιακών έντυπων χαρτών με τη χρήση υπολογιστή, αποτελούν σήμερα ένα ευρύτατο επιστημονικό πεδίο για την εύρεση, τροποποίηση και δημιουργία πληροφορίας χωρικού χαρακτήρα. Συνεπώς καλούνται να παίξουν ένα

σημαντικότερο ρόλο σε ό,τι αφορά τα προβλήματα δικτύου και δη τα συγκοινωνιακά εφόσον αυτά ορίζονται στον πραγματικό κόσμο που αναπαρίσταται μέσω ενός χάρτη. Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία αξιοποιείται το λογισμικό **ArcGIS**, ένα από τα πλέον διαδεδομένα λογισμικά Γεωπληροφορικής στον κόσμο και ειδικότερα το εργαλείο της **Ανάλυσης Δικτύου** (*Network Analyst*) που εκτός των άλλων έχει σχεδιαστεί και για την επίλυση του VRP.

Ως δίκτυο υδροπλάνων στην παρούσα εργασία εξετάζεται αυτό που μελετήθηκε για πρώτη φορά από το συντάκτη το 2020 στα πλαίσια της προπτυχιακής του εργασίας [0] και το οποίο καθιερώθηκε πρώτη φορά από το Μ. Παγωνάκη το 2016[1]. Οι έννοιες του υδροπλάνου και του υδατοδρομίου που αναφέρονται και στην [0] επαναλαμβάνονται και εδώ, μοντελοποιούμενες με τη μορφή κλάσεων όπως οι διαταγές (*orders*), τα αμαξοστάσια (*depots*) και τα οχήματα δρομολόγησης (*routes*).

1.2 Αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η μοντελοποίηση του υπάρχοντος δικτύου υδροπλάνων στο ArcGIS, αφού προηγουμένως καθοριστούν οι ζώνες επιρροής των υδατοδρομίων και οι τιμές της ζήτησης και η σύνταξη ενός ημερήσιου προγράμματος πτήσεων για 4 Παρασκευές του χρόνου, μία ανά τετράμηνο από τα μητροπολιτικά υδατοδρόμια Πειραιά και Θεσσαλονίκης. Η μορφή του προγράμματος αυτού γίνεται τόσο ως προς τα υδροπλάνα (*routes*) όσο και ως προς τα υδατοδρόμια (*orders*) ενώ ακολούθως εξάγονται στατιστικά στοιχεία για τα βασικά μεγέθη της δρομολόγησης.

1.3 Δομή της εργασίας

Η εργασία αποτελείται από τα παρακάτω 6 κεφάλαια, εκ των οποίων το καθένα περιλαμβάνει τα εξής:

Κεφάλαιο 1: Γίνεται αναφορά σε ορισμούς και βασικές έννοιες της εργασίας καθώς και στο αντικείμενο αυτής

Κεφάλαιο 2: Περιγράφεται και αναλύεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την αποσαφήνιση και κατανόηση των παραπάνω εννοιών και την επιλογή των επιθυμητών στοιχείων

Κεφάλαιο 3: Αναλύεται εκτενώς το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας σε ό,τι αφορά το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος, τις μεθόδους επίλυσης αλλά και την εμπλοκή της Γεωπληροφορικής και των GIS στο σχετικό εγχείρημα. Στην αρχή του κεφαλαίου παρατίθενται κάποιες βασικές γνώσεις θεωρίας Γράφων και Θεωρίας Πολυπλοκότητας

Κεφάλαιο 4: Υπενθυμίζεται η μορφή του δικτύου των υδροπλάνων που θα οριστεί και στην παρούσα εργασία, λαμβάνονται οι σχετικές παραδοχές σχετικά με την ακτίνα επιρροής των υδατοδρομίων, οριοθετούνται οι ζώνες εξυπηρέτησης και γίνεται επεξεργασία στοιχείων ζήτησης στο Microsoft Excel πριν την εισαγωγή στο ArcGIS

Κεφάλαιο 5: Εργασία μεταφέρεται στο ArcGIS όπου δημιουργούνται τα κατάλληλα θεματικά επίπεδα δικτύου και υδατοδρομίων, δομείται του Network Dataset και ακολούθως γίνεται είσοδος των στοιχείων για επίλυση ως VRP.

Κεφάλαιο 6: Εφαρμόζεται το ως άνω μοντέλο, εξάγονται οι πίνακες δρομολόγησης και ακολούθως ορισμένα χρήσιμα στατιστικά στοιχεία

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα-προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η παρούσα εργασία όπως προαναφέρθηκε έχει ως αντικείμενο το σχεδιασμό ενός εθνικού δικτύου υδροπλάνων στην Ελλάδα σε περιβάλλον GIS με χρήση εργαλείου Ανάλυσης Δικτύου (*Network Analysis*) και έχοντας ως βάση το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (*Vehicle Routing Problem, VRP*). Πρωτοπόρος και στο πεδίο αυτό, της Θεωρίας Γράφων (*Graph Theory*) ως πεδίου των Μαθηματικών που εξελίχθηκε στη συνέχεια με την ανάπτυξη και της Πληροφορικής στην πιο εφαρμοσμένη Θεωρία Δικτύων (*Network Theory*) υπήρξε ο Leonhard Euler το 1736 με την εργασία του "*Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*" ("The solution to the problem is the geometry of the site", «Η λύση στο πρόβλημα είναι η γεωμετρία του πεδίου»)[2], όπου απέδειξε ότι το πρόβλημα των 7 γεφυρών του Κένιγκσμπεργκ (Koenigsberg) δεν επιδέχεται λύσης.

Η πιο απλή εκδοχή του VRP με ένα όχημα-εξυπηρετητή, το λεγόμενο ως «το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή» ("*Traveling Salesman Problem*"), αν και πρώτη φορά αναφέρεται με το όνομα αυτό το 1949 από τη J. Robinson ["On the Hamiltonian game (a traveling salesman problem)"], σε μία αναφορά της RAND cooperation [3], εντούτοις ανάλογες προσπάθειες είχαν πραγματοποιηθεί και παλαιότερα τη δεκαετία του '30 (K. Menger, 1932 [4], H. Whitney, 1934 [5]), ενώ η πιο πλήρης διατύπωση του προβλήματος έγινε το 1956 από τον M.M. Flood (*The Traveling-Salesman Problem* [6]) με εφαρμογή σε δρομολόγηση σχολικών λεωφορείων.

Συνεπώς, το 1959, οι G. B. Dantzig και J. H. Ramser διατυπώνουν για πρώτη φορά το VRP για να ορίσουν μαθηματικά το ερώτημα «Ποιο είναι το βέλτιστο σύνολο διαδρομών για ένα στόλο οχημάτων ώστε να εξυπηρετηθεί ένα δεδομένο σύνολο πελατών;» ως "*Truck Dispatching Problem*" με εφαρμογή σε μεταφορά και διανομή υγρών καυσίμων από βυτιοφόρα. Ακολούθησε πληθώρα εργασιών σχετικά με την περαιτέρω εξειδίκευση του αρχικού προβλήματος (ενδεικτικά L. Bodin and B. Golden, 1981[8], M. Desrochers et al., 1990[9], G. Laporte and I.H. Osman, 1995[10]) μέχρι που το 2002 εκδόθηκε το μέχρι σήμερα δημοφιλέστερο σχετικό σύγγραμμα από τους P. Toth και D. Vigo εστιάζοντας στις διάφορες εκδοχές του VRP, εφαρμογές αυτών και μεθόδους επίλυσης, είτε ακριβείς είτε ευρετικούς. Συγκεκριμένα επισημαίνονται εκδοχές όπως το VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*) (Kallehauge et al., 1992)[12], VRPB (*Vehicle Routing Problem with Backhauls*) (Jacobs-Blecha and Goetschalckx, 1992) [13] και VRPPD (*VRP with Pickup and Delivery*) (Desaulniers et al., 2002) [14]. Ορισμένες ακόμα εκδοχές όπως οι SDVRP (*Split Delivery VRP*) (Dror et. al., 1994)[15], DVRP (*Dynamic VRP*) (Golden and Assad, 1988)[16], VRPSD (*VRP with Stochastic Demand*) (Bertsimas, 1992)[17], VRPSPD (*VRP with Simultaneous Pickup and Delivery*) (Min, 1989)[18], OVRP (*Open VRP*) (Tarantilis and Kyranoudis, 2002)[19], GVRP (*Green VRP*) (Kara et al., 2007) [20] και MTRVP (*Multi-Trip VRP*) (Cattaruzza et al., 2018) [21] παρουσιάζονται στην πλέον πρόσφατη σχετική σύνοψη των Zhang et al. (2021) [22]. Σε ό,τι δε αφορά την πρακτική δημοφιλία των ανωτέρω κατηγοριών μεταξύ των ερευνητών, οι Elshaer και Awad το 2020 [23] επιβεβαίωσαν ότι το CVRP εξακολουθεί να αποτελεί τη βασική εκδοχή του VRP καθώς το 98,9% 299 σχετικών

δημοσιεύσεων μεταξύ 2009 και 2017 είχαν τους σχετικούς περιορισμούς χωρητικότητας, ακολουθούμενο κατά πολύ από προβλήματα VRPTW με 37,3 % και VRPPD με 16,3 %.

Σε ό,τι αφορά τη μεθοδολογία επίλυσης, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι δύο παραπάνω συγγραφείς περιορίζονται αποκλειστικά σε μεταερευτικούς αλγόριθμους επίλυσης, τους οποίους διακρίνουν σε δύο βασικές κατηγορίες, μίας απλής λύσης (*single-solution based*) ή λύσης επιλεγμένης από πληθυσμό (*population-based*), με την τελευταία κατηγορία να υποδιαιρείται σε επιπλέον δύο, τους αλγόριθμους εξελικτικής νοημοσύνης (*evolutionary computation*) και εκείνους της νοημοσύνης σμήνους (*swarm intelligence*). Συνεπώς υπενθυμίζεται το γεγονός ότι το VRP είναι ένα NP-δύσκολο (*NP-hard*) πρόβλημα, δηλ. σύμφωνα με τα σχετικά συγγράμματα (van Leeuwen, 1998) [24] τουλάχιστον εξίσου δύσκολο στην επίλυση με τα NP προβλήματα. Στους αλγόριθμους απλής λύσης συγκαταλέγονται η Αναζήτηση Ταμπού (*Tabu Search*) (F.W. Glover, 1986[25]), η Αναζήτηση Μεταβλητής Γειτονιάς (*Variable Neighborhood Search*) (Mladenović & Hansen, 1997[26]), η Αναζήτηση Ευρείας Γειτονιάς (*Large Neighborhood Search*) (Pisinger and Ropke, 2010 [27]) και οι Μέθοδοι Προσομοιωμένης Ανόπτωσης (*Simulated Annealing Methods*) (Kirkpatrick et al., 1983[28]). Αντίστοιχα στους αλγόριθμους λύσης επιλεγμένης από πληθυσμό συγκαταλέγονται ο Γενετικός Αλγόριθμος (*Genetic Algorithm*) (Baricelli, 1957 [29]), ο Μιμητικός Αλγόριθμος (*Memetic Algorithm*) (Moscato, 1989 [30]), η Ανασύνδεση Μονοπατιού (*Path Relinking*) (F.W. Glover et al., 2000 [31]) (αλγόριθμοι εξελικτικής νοημοσύνης), η Βελτιστοποίηση Αποικίας Μυρμηγκιών (*Ant Colony Optimization*) (Dorigo, 1992 [32]) και η Βελτιστοποίηση Σμήνους Σωματιδίων (*Swarm Particle Optimization*) (J. Kennedy and R.C. Eberhart, 1995 [33]) (αλγόριθμοι νοημοσύνης σμήνους)

Η πλέον πρόσφατη αντίστοιχη σύνοψη βιβλιογραφίας επίλυσης του VRP με ακριβείς μεθόδους χρονολογείται στο 2012 από τους Baldacci et al. [34]. Μία αντίστοιχη πρώτη σύνοψη στην ελληνική βιβλιογραφία για μεθόδους επίλυσης του VRPPD πραγματοποίησε το 2013 στη διπλωματική της εργασία η Χρ. Ηλιοπούλου [35], εργασία ιδιαίτερα σημαντική καθότι αναφέρεται ομοίως στην θεώρηση ενός δικτύου υδροπλάνων με μοντελοποίηση του προβλήματος ως VRP, συγκεκριμένα ως VRPPD αλλά με επίλυση με γενετικό αλγόριθμο μέσω της επέκτασης Palisade Evolver στο Microsoft Excel ([36] έως [49]). Επιπλέον ενδεικτικές εργασίες εντός της τελευταίας δεκαετίας επισημαίνονται για πρώτη φορά από τον ίδιο το γράφοντα προσπαθώντας μάλιστα εκτός από διαφορετικούς τρόπους επίλυσης να περιλαμβάνει και διαφορετικά προβλήματα ([50] έως [64]). Τέλος αξίζει να επισημανθεί και η εργασία των Arnold και Sörensen, οι οποίοι το 2019 επιχείρησαν να βρουν με τη βοήθεια της εξόρυξης δεδομένων και τη χρήση 8 σχετικών μέτρων (*metrics*) ποια μέθοδος επίλυσης ταιριάζει και δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα ανά περίπτωση του VRP [65].

Αναζητώντας τώρα τη σχετική βιβλιογραφία σχετικά με τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) (*Geographic Information Systems, GIS*) και τη σύνδεσή τους με το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων και γενικότερα θέματα συγκοινωνιακών δικτύων, το 1959 λίγο καιρό μετά την ανάπτυξη των πρώτων υπολογιστών, ο Waldo

R. Tobler αντιμετωπίζει για πρώτη φορά το ζήτημα πώς ο χάρτης, η παραδοσιακή διδιάστατη μορφή καταγραφής γεωχωρικής πληροφορίας μπορεί να ενσωματωθεί από το πεδίο της Πληροφορικής, συγκεκριμένα είτε α) ως στοιχείο αποθήκευσης δεδομένων (*data-storage element*), είτε β) ως την είσοδο σε ένα υπολογιστή (*computer input*) είτε γ) ως έξοδο επεξεργασίας δεδομένων (*data-processing output*) [66]. Οι προβλέψεις του επιβεβαιώθηκαν: συγκεκριμένα επιτυχημένα ανέφερε ως πλέον πρακτική (“*of most practical interest*”) τη μορφή γ) καθώς τα ΣΓΠ αποτελούν πλέον τον 21^ο αι. σχεδόν την αποκλειστική τρόπο παραγωγής χαρτών. Σχετικά με την περ. β) ομοίως επιτυχημένα ανέφερε πως οι έντυποι χάρτες θα μετατραπούν μέσω κατάλληλων διαδικασιών σε ψηφιακή μορφή ενώ η απευθείας είσοδος θα είναι πολύ πιο δύσκολη. Και τέλος, για την περ. α) ο ίδιος δηλώνει πως θα επιθυμούσε η αποθήκευση των δεδομένων να γίνει σε «συμβολική λογική» (“*symbolic logic*”), όπως αυτή των βάσεων δεδομένων (*databases*) που τελικά επινοήθηκε [η πρώτη αναφορά σε σχεσιακό μοντέλο (*relational model*) γίνεται 10 χρόνια αργότερα, το 1969 από τον Edgar F. Codd [67]]. Το 1970 προκειμένου να μοντελοποιήσει μαθηματικά την πολύπλοκη αστική ανάπτυξη της περιοχής του Detroit [68], ο Tobler κάνει τη διατύπωση “*Everything is related to everything else. But near things are more related than distant things*” (« Το καθετί σχετίζεται με οτιδήποτε άλλο. Αλλά τα κοντινά πράγματα σχετίζονται περισσότερο απ’ ό,τι τα απομακρυσμένα»). Η παραπάνω διατύπωση έχει μείνει εντέλει γνωστή ως ο 1^{ος} νόμος της Γεωγραφίας του Tobler. Εντούτοις, το 1981 η προσπάθειά του να μοντελοποιήσει με ανάλογο τρόπο μετακινήσεις δημιουργώντας ένα συνεχές μαθηματικό μοντέλο (*continuous model*) - αντίστοιχο αυτό που σήμερα καλείται μοντέλο πεδίων (*field model*) (Goodchild, 1998) [70] εκ των πραγμάτων και όπως θα φανεί παρακάτω δεν ευδοκίμησε.

Το 1998 ο Michael F. Goodchild έχοντας πλέον ξεκαθαρίσει ότι το μοντέλο των διακριτών οντοτήτων (*discrete entity model*) ή μοντέλο των αντικειμένων είναι το πλέον κατάλληλο για εφαρμογές GIS σε συγκοινωνιακά προβλήματα δικτύου προτείνει συνολικά 9 σχετικά μοντέλα δεδομένων, [70] καθότι είναι προφανές ότι ένας απλός χάρτης δε μπορεί να περιγράψει πλήρως θέματα που σχετίζονται π.χ. με την προσβασιμότητα μεταξύ δύο συνδεδεμένων συνδέσμων ή της ύπαρξης περισσότερων από μία λωρίδων σε π.χ. έναν αυτοκινητόδρομο (αναλυτικότερη περιγραφή στην παρ. 3.3). Τη σχετική διάκριση πραγματοποιεί ο ίδιος συγγραφέας το 2000 [71] σε μία γενικότερη πραγματεία του για τη σύνδεση GIS και Συστημάτων Μεταφορών (*GIS-Transportation, GIS-T*) ξεκαθαρίζονται τις δύο παραπάνω οπτικές, του χάρτη (*map view*) και της πλοήγησης (*navigation view*) θέτοντας και μία τρίτη, πλέον προχωρημένη, αυτή της συμπεριφοράς (*behavioral view*) ώστε οι διάφορες οντότητες να προσεγγίζουν περισσότερο τις κινήσεις που αναπαριστούν στο Μεταφορικό Σύστημα. Στην ίδια εργασία, ο ίδιος επισημαίνει και 6 προκλήσεις που ένα σύστημα GIS-T καλείται να αντιμετωπίσει σχετικά με: α) τα πρότυπα (*standards*), β) την αναπαράσταση (*representation*) γ) την χωρίς ασάφειες επικοινωνία (*unambiguous communication*) δ) τα οικονομικά μοντέλα (*economic models*) ε) την απόκριση σε νέες τεχνολογίες (*response to new technology*) στ) εφαρμογές σε άλλα πεδία.

Το 2005 λανσάρεται στην αγορά για πρώτη φορά το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, συγκεκριμένα η επέκταση (extension) Network Analyst του ArcGIS® της ESRI (Environmental Studies Research Institute) στην έκδοση 9.0[108A]. Υιοθετώντας ορισμένα από τα μοντέλα που προτείνει ο Goodchild [71] για τη δόμηση ενός ιδιαίτερου συνόλου δεδομένου, του network dataset [108B], πάνω στο οποίο επιλύονται προβλήματα όπως:

- Δρομολόγησης (Route)
- Εγγύτερης Εγκατάστασης (Closest Facility)
- Περιοχών Εξυπηρέτησης (Service Areas)
- Μητρώου Κόστους Προέλευσης-Προορισμού (OD cost matrix)
- Χωροθέτησης-Διανομής (Location-allocation)
- Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (Vehicle routing problem)

Εξ αυτών τα περισσότερα χρησιμοποιούν ως επίλυση τον αλγόριθμο του Dijkstra, είτε στην κλασική μορφή (Route/Service Areas) [72], είτε σε μια πιο πολύπλοκη πολλαπλής αφετηρίας και προορισμού (Closest Facility/OD cost matrix). Στην περίπτωση των Service Areas, η δημιουργία αυτών βασίζεται στη μορφή του TIN (Triangulated irregular network) [73], ενώ το πρόβλημα Χωροθέτησης-Διανομής επιλύεται με τη βοήθεια αλγορίθμων που ανέπτυξαν οι Hillsman [74] και Teitz and Bart [75]. Τέλος, το VRP με το οποίο ασχολείται η εργασία, στο περιβάλλον του λογισμικού χρησιμοποιεί ως μέθοδο επίλυσης αυτήν της (Tabu Search) (F.W. Glover, 1986[25]).

Τη σημασία του VRP, αλλά και του TSP στην εφαρμογή της Ανάλυσης Δικτύου (Network Analysis) επισημαίνει ο Manfred M. Fischer το 2006 [76], λίγο καιρό δηλαδή μετά το λανσάρισμα του Network Analyst. Συγκεκριμένα στο σύγγραμμά του για τα GIS αφιερώνει ένα σχετικό κεφάλαιο, όπου παραθέτει πλήρως τη μαθηματική διατύπωση των προβλημάτων, υιοθετώντας παράλληλα και τα μοντέλα δεδομένων που πρότεινε ο Goodchild. Γενικότερα πάντως στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει ιδιαίτερα σημαντικός αριθμός σχετικών εργασιών που σχετίζονται με το VRP και χρησιμοποιούν την τεχνολογία της Γεωγραφικής Πληροφορίας. Αναφέρονται ενδεικτικά εφαρμογές για μεταφορές logistics (Chen et al., 2007) [77], μετακινήσεις από/ προς κέντρα ημερήσιας φροντίδας (day -are/service) (Kawano et al. , 2008) [78], τη διανομή χονδρεμπορικής τροφίμων (Bosona et al., 2013) [79], τη διαχείριση απορριμμάτων [80].

Σε ό,τι δε αφορά τις εφαρμογές της Γεωπληροφορικής στην Αεροναυτιλία αφορούν κυρίως στην «οπτική του χάρτη» όπως αναφέρει ο Goodchild[71], συγκεκριμένα για να εντοπιστούν οι επιπτώσεις που προκαλούν τα αεροσκάφη π.χ. στη στάθμη θορύβου (Wunderli et al. , 2018) [81] ή το οικοσύστημα των πτηνών (DeFusco, 1993) [82] ή να βρεθούν κρίσιμες θέσεις επικινδυνότητας πρόκλησης συγκρούσεων στο έδαφος (Li et al. ,2022) [83]. Εντούτοις, την ιδέα του συγγραφέα της παρούσας εργασίας και του επιβλέποντός του για το θέμα της παρούσας εργασίας είχε για

πρώτη φορά, ομοίως για υδροπλάνα, η Αν. Κονίδη στη διπλωματική της εργασία στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. το Νοέμβριο του 2021 [84]. Εντούτοις η συγκεκριμένη εργασία αφορά την περιοχή της Κρήτης και αναφέρεται σε πτήσεις περιηγητικού χαρακτήρα όπως γενικά ένα πλέγμα προηγούμενων σχετικών εργασιών στο Ε.Μ.Π. (Παγωνάκης, 2016 [1], Κότσιαλος, 2019 [85], Ζαχαριάδης, 2020 [86]), σε αντίθεση με την παρούσα που αναφέρεται σε πανελλαδικό δίκτυο τακτικών δρομολογίων με σκοπό τη συγκοινωνία.

Γενικότερα, στην επί των υδροπλάνων βιβλιογραφία δεν αφιερώνεται σημαντικός χώρος στην παρούσα εργασία, καθότι αυτή σε μεγάλο βαθμό καλύφθηκε από την προηγούμενη ερευνητική προσπάθεια του γράφοντος το 2020 [0]. Εντούτοις, επισημαίνονται η διπλωματική εργασία του Μ. Παγωνάκη από την οποία αντλήθηκε και εδώ τόσο το εθνικό δίκτυο των δρομολογίων όσο και η εξίσωση κόστους λειτουργίας υδροπλάνου [1], καθώς και οι εργασίες των Β. Mohr & J. Schomann (2010) [87], J. Odedra et al. (2004) [88] και T. Denz et al. (2007) [89].

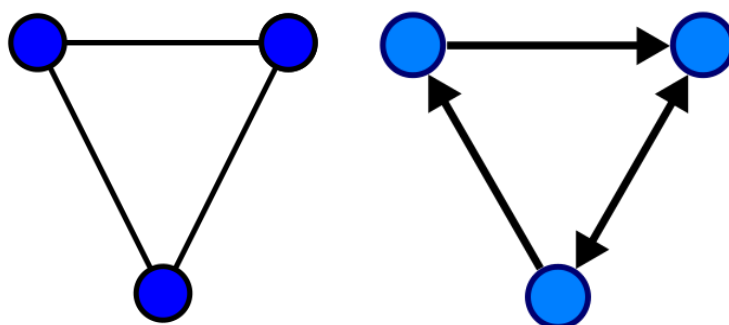
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ-ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.1 Προαπαιτούμενη Γνώση

3.1.1 Στοιχεία Θεωρίας Γράφων

Στη γλώσσα των μαθηματικών ως **γράφος** ορίζεται ένα διατεταγμένο ζεύγος $G = (V, E)$ όπου V ένα **σύνολο κόμβων** και $E \subseteq \{\{x, y\} \mid x, y \in V, x \neq y\}$, E ένα **σύνολο συνδέσμων**, όπου κάθε σύνδεσμος αποτελεί ένα μη διατεταγμένο ζεύγος κόμβων. Συνεπώς ως $\{x, y\}$ σύνδεσμος ορίζεται αυτός που συνδέει τους κόμβους x, y . Ως τάξη $|V|$ του γράφου ονομάζεται ο αριθμός των κόμβων του και μέγεθος $|E|$ ο αντίστοιχος αριθμός των συνδέσμων του.

Περαιτέρω ως **κατευθυνόμενος γράφος** ορίζεται ένα διατεταγμένο ζεύγος $G = (V, E)$ όπου V ένα **σύνολο κόμβων** και $E \subseteq \{\{x, y\} \mid x, y \in V^2, x \neq y\}$, E ένα **σύνολο συνδέσμων**, όπου κάθε σύνδεσμος αποτελεί ένα διατεταγμένο ζεύγος κόμβων. Συνεπώς ως $\{x, y\}$ σύνδεσμος ορίζεται αυτός που συνδέει μονοσήμαντα τους κόμβους x, y , όπου x η ουρά του συνδέσμου και y η κορυφή του. Ο σύνδεσμος $\{y, x\}$ ορίζεται ως αντίστροφος του $\{x, y\}$.



Εικ.3.1 α)μη κατευθυνόμενος γράφος β) κατευθυνόμενος γράφος [116Α]

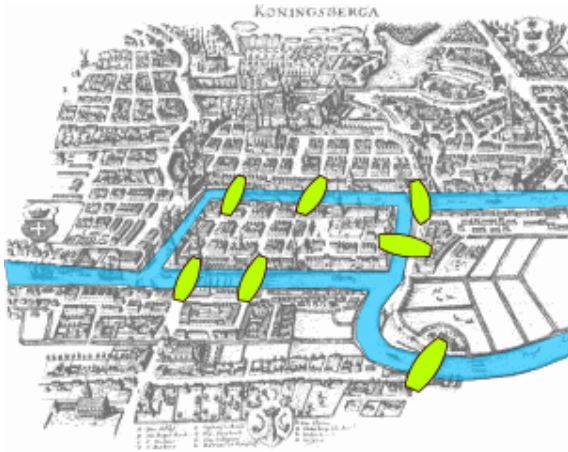
Για έναν κόμβο x ως **γειτονιά** του $N(x)$ ορίζεται το σύνολο των γειτονικών κόμβων και συγκεκριμένα $N(x) = \{y \mid \{x, y\} \in E\}$

Μία οποιαδήποτε ακολουθία κόμβων $\langle v_1 v_2 \dots v_k \rangle$ με την προϋπόθεση ότι κάθε σύνδεσμος $\{\{v_i, v_{i+1}\} \in E, i = 1, 2, \dots, k - 1$ καλείται **περίπατος**.

Ο περίπατος στον οποίο ισχύει $v_1 \equiv v_k$ καλείται **περιήγηση**. Αντίθετα ο περίπατος όπου για κανένα ζεύγος κόμβων (v_i, v_j) , $i, j = 1, 2, \dots, k - 1$ δεν ισχύει $v_i \equiv v_j$ καλείται **μονοπάτι**. Τέλος η περιήγηση στην οποία δεν ισχύει $v_i \equiv v_j$ για κανένα ζεύγος εσωτερικών κόμβων (v_i, v_j) , $i, j = 2, 3, \dots, k - 2$ καλείται **κύκλος**.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η θεωρία των γράφων πρόκειται για μία μαθηματική θεωρία η οποία δημιουργήθηκε για να επιλυθεί (ή για να αποδειχθεί η μη επίλυση όπως τελικά συνέβη) ένα πρόβλημα δρομολόγησης, το πρόβλημα των **επτά γεφυρών του Κένιγκσμπεργκ**. Συγκεκριμένα, με βάση την τοπολογική δομή των 7 γεφυρών στο Κένιγκσμπεργκ της Πρωσίας (σημερινό Καλίνινγκραντ της Ρωσίας) εάν υπάρχει μονοπάτι τέτοιο ώστε και οι 14 κόμβοι των 7 συνδέσμων επί των οποίων βρίσκονται οι γέφυρες να αποτελούν τμήμα του. Το 1736 ο σπουδαίος μαθηματικός L. Euler

απέδειξε ότι τέτοια λύση δεν υπάρχει θεμελιώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τη θεωρία των γράφων [2].



Εικ.3.2 Η ιστορική πρωσική πόλη του Κένιγκσμπεργκ και οι 7 γέφυρές της [117B]

Εφαρμογές των γράφων υπάρχουν σχεδόν σε όλα τα πεδία της επιστήμης ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης σκέψης να «χωρικοποιήσει» και να δώσει υλική υπόσταση σε διάφορες αφηρημένες έννοιες προκειμένου να τις κατανοήσει. (παραπομπές σε εφαρμογές σε άλλες επιστήμες). Στην περίπτωση αυτή έχει επικρατήσει η έννοια του **δικτύου** (*network*) και αντίστοιχα δημιουργήθηκαν η **επιστήμη** (*network science*) και η **θεωρία δικτύων** (*network theory*). Στο ευρύτερο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού π.χ. ως δίκτυο μπορούν να θεωρηθούν ένας δομικός ραβδωτός φορέας (δικτύωμα) [91], ένα σύστημα αγωγών ύδρευσης μιας πόλης [92] ή σε ποιο αφηρημένη μορφή οι διαδικασίες ενός έργου όπου οι επιμέρους εργασίες που το αποτελούν συμβολίζονται είτε ως σύνδεσμοι (μέθοδος CPM) είτε ως κόμβοι (μέθοδος MPM) [93]. Και προφανώς και στα συγκοινωνιακά, το σύνολο των οδών, των σιδηροδρομικών διαδρόμων (ζεύγη σιδηροτροχιών) ή ακόμα και οι (νοητές) τροχιές των υδροπλάνων όπως στην παρούσα εργασία θεωρούνται ως δίκτυα. Τέλος, είναι προφανές ότι τα δίκτυα εμπεριέχουν χωρική διάσταση και πληροφορία και σχετικοί αλγόριθμοι σε λογισμικά Γεωπληροφορικής (GIS) δε θα μπορούσαν να εκλείπουν.

(πηγές παραγράφου: Α. Συμβώνης, σημειώσεις μαθήματος «Θεωρία Γραφημάτων», ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ, 2022 [90], Wikipedia.org, λήμμα “Seven bridges of Koenigsberg” [117B])

3.1.2 Στοιχεία Θεωρίας Πολυπλοκότητας

Η επίλυση ενός προβλήματος ή γενικότερα μιας κατηγορίας προβλημάτων μέσω ενός αλγορίθμου είναι προφανές ότι απαιτεί δαπάνη **χρόνου** (*time*) και **χώρου** (*space*) [ή ισοδύναμα **μνήμης** (*memory*)] από το μέσο υπολογισμού. Η μελέτη των παραπάνω καθώς και η διερεύνηση της δυνατότητας για ελαχιστοποίησή τους (ή αλλιώς μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας του αλγορίθμου) αποτελούν το αντικείμενο ενός σημαντικού κλάδου της Πληροφορικής, της **Θεωρίας Πολυπλοκότητας** (*Computational Theory*). Είναι αποδεδειγμένο ότι οι απαιτήσεις ενός αλγορίθμου σε χώρο είναι τουλάχιστον ίσες από τις αντίστοιχες σε χρόνο ενώ γνωρίζοντας από την

Ανάλυση ότι κοντά στο $+\infty$ οι εκθετικές συναρτήσεις έχουν μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής από τις πολυωνυμικές και αυτές με τη σειρά τους από τις λογαριθμικές ισχύει η παρακάτω σχέση συνόλων γνωστή και ως «αναγκαία ιεραρχία πολυπλοκότητας» (*essential complexity hierarchy*) (Antonopoulos, 2019)[94]:

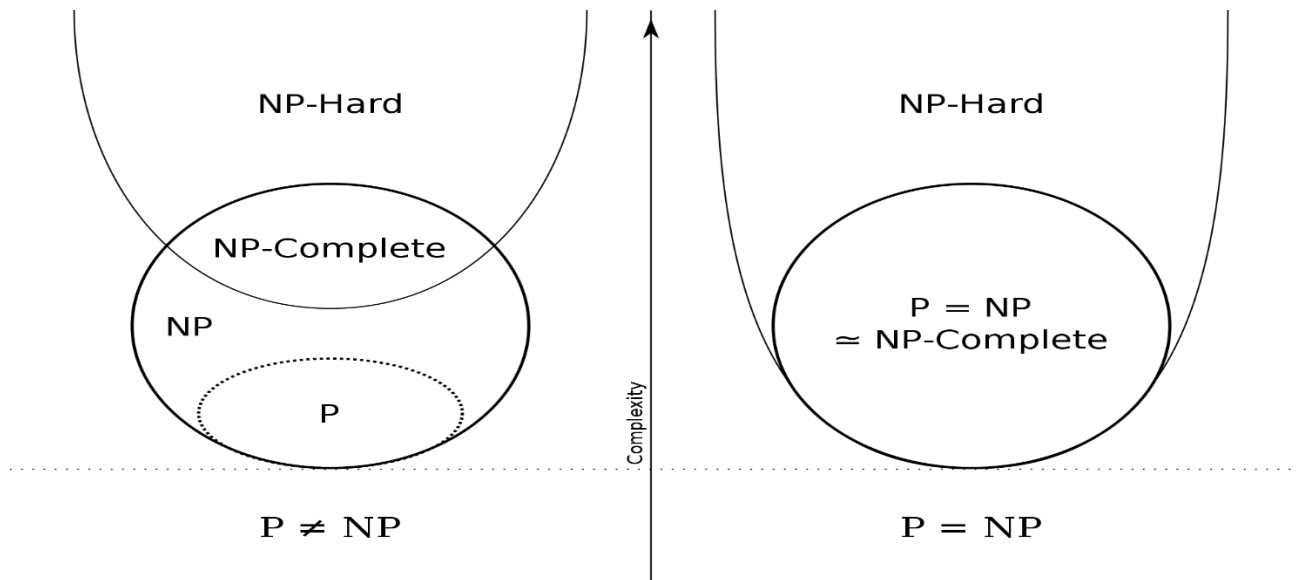
$$NL \subseteq P \subseteq NP \subseteq PSPACE \subseteq EXPTIME \subseteq EXPSPACE$$

Στην παραπάνω σχέση, το αρχικό γράμμα N αναφέρεται σε προβλήματα που επιλύονται από μια μη αιτιοκρατική μηχανή Turing, ενώ αντίθετα η απουσία του αναφέρεται στα προβλήματα που επιλύονται από την αντίστοιχη αιτιοκρατική μηχανή Turing (κατά το δόγμα Church-Turing, 1936 «οτιδήποτε μπορεί να υπολογιστεί υπολογίζεται από μία μηχανή Turing»[95]).

Αξίζει δε να αναφερθεί ότι το πρόβλημα της ακριβούς σχέσης μεταξύ των κλάσεων προβλημάτων P και NP (*P versus NP problem*) αποτελεί το ένα από τα 7 *Millennium Prize Problems* όπως καθορίστηκαν από το *Clay Mathematics Institute* το 2000 και η επίλυση του οποίου θα αποδώσει 1.000.000 \$ στο δημιουργό της (μέχρι σήμερα μόνο ένα από τα 7 έχει λυθεί, η εικοτολογία του Poincaré (*Poincaré conjecture*)![117C]

Τα πλέον δύσκολα προβλήματα στην κατηγορία NP είναι τα λεγόμενα **NP-πλήρη** (*NP-complete*). Ένα πρόβλημα απόφασης C της κλάσης NP θεωρείται NP-πλήρες εφόσον σε πολυωνυμικό χρόνο κάθε άλλο πρόβλημα NP απλουστεύεται στο C (Van Leeuwen, 1998[24]). Ένα κλασικό NP-πλήρες πρόβλημα που αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία της Πληροφορικής (π.χ. Τσίχλας et al., 2015)[96] αποτελεί το **Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή** (*Traveling Salesman Problem, TSP*) πρόβλημα που προφανώς συγκοινωνιακού περιεχομένου και για το οποίο γίνεται εκτενέστερη αναφορά παρακάτω στην παρ. 3.2.

Αντίστοιχα προβλήματα που είναι τουλάχιστον εξίσου δύσκολα με τα NP-πλήρη είναι τα **NP-δύσκολα προβλήματα** (*NP-hard*). Ομοίως ένα πρόβλημα απόφασης H θεωρείται NP-δύσκολο εφόσον σε πολυωνυμικό χρόνο κάθε άλλο πρόβλημα NP απλουστεύεται στο C (Van Leeuwen, 1998[24]). Η διαφορά σε σχέση με το πρόβλημα C που αναφέρθηκε παραπάνω ότι το H δεν είναι απαραίτητα NP. Συνεπώς ισχύει $NP-C \subseteq NP-H$. Στο παρακάτω διάγραμμα Euler απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των κλάσεων P, NP, NP-πλήρων και NP-δύσκολων προβλημάτων και πώς αυτή απλοποιείται σημαντικά εάν αποδειχθεί πως $P=NP$:



Εικ.3.3 Διάγραμμα Euler μεταξύ των κλάσεων P, NP, NP-πλήρων και NP-δύσκολων προβλημάτων, για $P \neq NP$ και $P = NP$ [116D]

Το **Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων** (*Vehicle Routing Problem, VRP*), βασικό συγκοινωνιακό πρόβλημα πάνω στο οποίο αναπτύσσεται και η παρούσα εργασία είναι ένα NP-δύσκολο πρόβλημα για το οποίο, όπως θα φανεί παρακάτω έχουν προταθεί πολλοί προσεγγιστικοί τρόποι επίλυσης.

3.2. Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (VRP)

3.2.1 Το πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (*Traveling Salesman Problem*)

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Robinson, 1949 και Flood, 1956)[3][6] αναφέρεται στην εύρεση της οικονομικότερης διαδρομής μέσω ενός συνόλου κόμβων N και τόξων A όπου κάθε κόμβος πρέπει να διανυθεί τουλάχιστον μία φορά και με ορισμένους τον 1ο κόμβο αρχής και τον N -οστό πέραςτος. Συγκεκριμένα, εάν έστω ένα άμεσα συνδεδεμένο δίκτυο $G = (N, A)$, N ένα σύνολο κόμβων όπου $|N| = N$ και A ένα σύνολο τόξων που ορίζεται ως το Καρτεσιανό Γινόμενο του N ($A = N \times N$) με τον εαυτό του, τότε το TSP ορίζεται ως (Fischer, 2006) [76]:

$$\min_{\{x_{ij}\}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (3.2.1.0), \text{ που υπόκειται σε:}$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, N \quad (3.2.1.1)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad j=1, \dots, N \quad (3.2.1.2)$$

$$(x_{ij}) \in X \quad (3.2.1.3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad i,j=1, \dots, N \quad (3.2.1.4),$$

όπου c_{ij} το μήκος του τόξου από τον κόμβο i έως τον κόμβο j και

$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{εάν το τόξο } (i, j) \text{ περιλαμβάνεται στη διαδρομή} \\ 0, & \text{εάν όχι} \end{cases}$. Το $(x_{ij}) \in X$ δηλώνει

ένα υποσύνολο περιορισμών που περιορίζουν τις εφικτές λύσεις σε αυτές που συνθέτουν μία απλή διαδρομή. Συγκεκριμένα ισχύει:

$\sum_{i,j \in S_A} x_{ijk} \leq |S_A| - 1, S_A \subseteq A, 2 \leq |S_A| \leq N - 2$ (3.2.1.5), S_A υποσύνολο στοιχείων του A και $|S_A|$ η πληθυκότητα του A . Με αυτούς τους περιορισμούς απαγορεύονται οι υποδιαδρομές, π.χ. διαδρομές σε υποσύνολα με λιγότερους από N κόμβους.

Όπως έχει αναφερθεί ήδη στην παρ. 3.1.2, το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή TSP είναι ένα NP-πλήρες (*non-deterministic polynomial time-complete*) πρόβλημα για να επιλυθεί βέλτιστα. Αν και προφανώς δουλεύει καλά για μικρά N , υπάρχουν $(N-1)!$ υποψήφια δρομολόγια από τα οποία πρέπει να επιλεγεί το μοναδικό βέλτιστο. Έτσι για $N=100$, υπάρχουν 10^{200} πιθανές διαδρομές (Fischer, 2006) [76].

3.2.2. Το πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχήματος (*Vehicle Routing Problem*)-Γενικά στοιχεία και εκδοχές

Αποτελεί τη γενίκευση του Προβλήματος του Πλανόδιου Πωλητή (TSP) που έρχεται πιο κοντά στην πραγματικότητα των συγκοινωνιακών προβλημάτων, δεδομένου ότι πλέον υπάρχουν περισσότερα από ένα οχήματα με δεδομένη χωρητικότητα η οποία δε μπορεί να ξεπεραστεί. Επομένως το VRP εντάσσεται στην κατηγορία των NP-δύσκολων (*NP-hard*) προβλημάτων, που όπως προαναφέρθηκε στην παρ. 3.1.2 αποτελούν αντίστοιχα υπερσύνολο των NP-πλήρων ($NP-C \subseteq NP-H$). Πρωτοδιατυπώθηκε το 1959 από τους G. B. Dantzig και J. H. Ramser ως "Truck Dispatching Problem" αναφερόμενο σε μεταφορά και διανομή υγρών καυσίμων από βυτιοφόρα[7]. Συγκεκριμένα, εάν N το σύνολο των κόμβων του δικτύου και K το αντίστοιχο των οχημάτων και ληφθεί το αμαξοστάσιο του δικτύου ως μηδενικός κόμβος αρχής και πέρατος τότε το δίκτυο ορίζεται ως $G = (V, A)$, $V = N \cup \{0\}$ και $A = N \times N$ τα τόξα (i, j) του δικτύου με $i, j \in V$. Εάν επίσης c_{ij} το κόστος της διαδρομής μεταξύ των i, j , b_k η χωρητικότητα του οχήματος (σε επιβάτες εάν πρόκειται για επιβατικές μεταφορές ή σε εμπόρευμα για εμπορευματικές), d_i η ζήτηση του κόμβου i (υποχρεωτικά στην ίδια μονάδα μέτρησης με το b_k), y_{ik} η δυαδική μεταβλητή εξυπηρέτησης ή μη του κόμβου i από το όχημα k τότε το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής (Fischer, 1995 [97] και Fischer, 2006 [76]):

$\min_{\{x_{ijk}\}} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ijk}$ (3.2.2.0), που υπόκειται σε:

$$\sum_{i=1}^N d_i y_{ik} \leq b_k, k=1, \dots, K \quad (3.2.2.1)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{ik} = \begin{cases} K, & i = 0 \\ 1, & i = 1, \dots, N \end{cases} \quad (3.2.2.2)$$

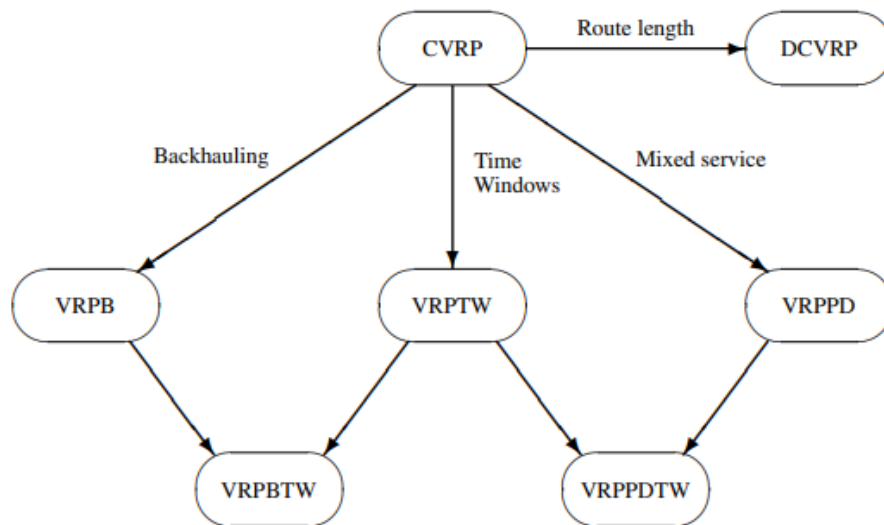
$$\sum_{j=1}^N x_{ijk} = y_{jk}, i=0, \dots, K \quad (3.2.2.3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ijk} = y_{ik}, j=0, \dots, K \quad (3.2.2.4)$$

$$\sum_{i,j \in \{0,1\}} x_{ijk} \leq |S| - 1, S \subseteq V, 2 \leq |S| \leq N \quad (3.2.2.5)$$

$$y_{ik}, x_{ijk} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K \quad (3.2.2.6)$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω διατύπωση είναι γνωστή και ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Περιορισμούς Χωρητικότητας (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) (Toth and Vigo, 2002) [11], δηλ. στην απλούστερη εκδοχή του οι εξισώσεις (3.2.2.3) και (3.2.2.4) θα μπορούσαν να παραλειφθούν. Εντούτοις, σε ένα συγκοινωνιακό πρόβλημα οι περιορισμοί χωρητικότητας θεωρούνται αυτονόητοι σε σημείο ώστε το CVRP να ταυτίζεται με το VRP. Μερικές διαφορετικές παραλλαγές του παραπάνω Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων είναι οι εξής (Toth and Vigo, 2002):



Εικ.3.4 Εννοιολογικός χάρτης των παραλλαγών του Προβλήματος Δρομολόγησης υπό Περιορισμούς (CVRP)[11]

Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Περιορισμούς Απόστασης (Distance-Constrained Vehicle Routing Problem, DVRP):

Ο περιορισμός χωρητικότητας αντικαθίσταται από τον αντίστοιχο μέγιστου μήκους ή μέγιστου χρόνου. Στην περίπτωση αυτή η εξ. (3.2.2.1) αντικαθίσταται από την:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} \leq C_{max} \quad (3.2.2.7), C_{max} \text{ το μέγιστο γενικευμένο κόστος της διαδρομής σε μονάδες μήκους, χρόνου ή χρήματος. Σε περίπτωση που αμφότερες οι (3.2.2.1) και (3.2.2.7) συνυπάρχουν, το πρόβλημα αναφέρεται ως } \underline{DCVRP} \text{ (Distance-Constrained Vehicle Routing Problem).}$$

Αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα το 2022 κατά τους Zhang et al. [22] ως DVRP χαρακτηρίζεται το Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (Dynamic Vehicle Routing Problem).

Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Χρονικά Παράθυρα (VRP with Time Windows, VRPTW):

Σύμφωνα με την εκδοχή αυτή (VRPTW) η εξυπηρέτηση του i -οστού πελάτη, $i = 1, \dots, N$ πρέπει να συμβεί μέσα στο χρονικό διάστημα $[a_i, b_i]$, $0 \leq a_i \leq b_i$. Πρέπει συνεπώς να ικανοποιούνται επιπλέον οι περιορισμοί (Kallehauge et al., 2005) [12]:

$$x_{ijk} * (s_{ik} + t_{ij} - s_{jk}) \leq 0, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K \quad (3.2.2.8)$$

$$a_i < s_{ik} < b_i, i = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K \quad (3.2.2.9)$$

Σε περίπτωση που $a_i=0$ και $b_i \rightarrow +\infty$, $i = 1, \dots, N$ τότε οι (3.2.2.8), (3.2.2.9) περισεύουν και το πρόβλημα γίνεται απλό VRP. Συνεπώς το VRPTW είναι NP-δύσκολο.

Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Παραλαβές (VRP with Backhauls, VRPB):

Στην εκδοχή αυτή (VRPB) το σύνολο N των κόμβων χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, $L=\{1, \dots, m\}$ παραδόσεων (linehauls) και $B=\{m+1, \dots, N\}$ παραλαβών (backhauls), $1 \leq m \leq N$. Στην περίπτωση αυτή, το πρόβλημα διασπάται σε δύο υποπροβλήματα παραλαβής και παράδοσης, όπου προφανώς η επίλυση του υποπροβλήματος παραλαβής για το σύνολο L προηγείται του αντίστοιχου της παράδοσης B . Για $B=\emptyset$, το πρόβλημα γίνεται απλό VRP, άρα το VRPB είναι NP-hard δύσκολο.

Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Παραλαβή και Διανομή (VRP with Pickup and Delivery, VRPPD):

Στην εκδοχή αυτή (VRPPD) σε κάθε κόμβο του δικτύου αντιστοιχούν δύο ποσότητες ζήτησης d_i και προσφοράς p_i , οι οποίες μπορούν να εκφραστούν ως μία για την οποία ισχύει $d'_i = d_i - p_i$ και η οποία προφανώς μπορεί να είναι αρνητική εφόσον η προσφορά υπερβαίνει τη ζήτηση. Εάν επίσης O_i ο κόμβος παραγγελίας της ζήτησης του κόμβου i και αντίστοιχα D_i ο κόμβος παραλαβής της προσφοράς του κόμβου i προφανώς ισχύει ότι ο i εξυπηρετείται πάντα πριν τον D_i και μετά τον O_i . Επίσης στη διαδρομή $O_i \rightarrow i$, για το φορτίο l_k του k -οχήματος με χωρητικότητα b_k που εκτελεί τη μεταφορά ισχύει $d_i \leq l_k \leq b_k$ και ομοίως στη διαδρομή $D_i \rightarrow i$ $p_i \leq l_k \leq b_k$. Σε περίπτωση που όλοι οι i -κόμβοι, $i=0, \dots, N$ έχουν τον ίδιο κόμβο παραγγελίας O_i ή παραλαβής D_i (συνήθως $O_i=0$ και $D_i=N$) τότε το πρόβλημα καλείται Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Ταυτόχρονη Παραλαβή και Διανομή (VRP with Simultaneous Pickup and Delivery, VRPPSD).

Εάν $\sum_{i=1}^N p_i=0$, τότε το πρόβλημα γενικεύεται σε απλό VRP και συνεπώς το VRPPD είναι NP-δύσκολο. Τέλος ο συνδυασμός των VRPTW και VRPPD καλείται Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Παραλαβή και Διανομή και Χρονικά Παράθυρα (VRP with Pickup and Delivery and Time Windows, VRPPDTW).

Σήμερα, 20 χρόνια μετά και με τις εξελίξεις στο πεδίο της έρευνας, οι Zhang et al. κατέληξαν στην παρακάτω γενική κατηγοριοποίηση (Zhang et al., 2022)[22]:

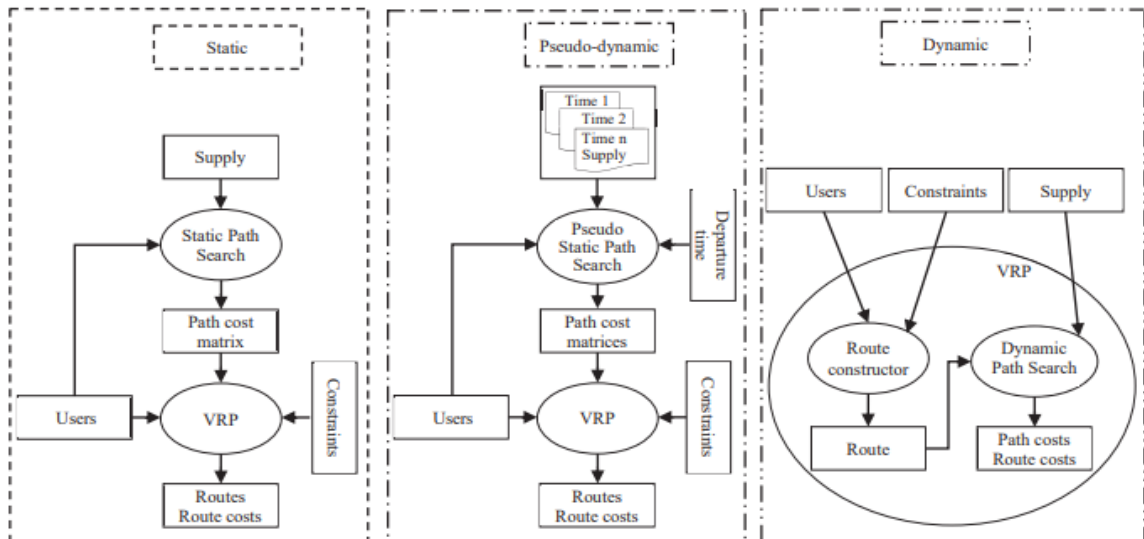
1. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Περιορισμούς Χωρητικότητας (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)

2. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Χρονικά Παράθυρα (*VRP with Time Windows, VRPTW*) (Kallehauge et al., 2005) [12]
3. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Διαιρεμένη Παράδοση (*Split Delivery VRP, SDVRP*) (Dror et. al., 1994) [15]
4. Δυναμικό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (*Dynamic VRP, DVRP*) (Golden and Assad, 1988) [16]
5. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Στοχαστική Ζήτηση (*VRP with Stochastic Demand, VRPSD*) (Bertsimas, 1992) [17]
6. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος με Ταυτόχρονη Παραλαβή και Διανομή (*VRP with Simultaneous Pickup and Delivery, VRPSPD*) (Min, 1989) [18]
7. Ανοιχτό Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (*Open VRP, OVRP*) (Tarantilis and Kyranoudis, 2002)[19]
8. Πράσινο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (*Green VRP, GVRP*)
9. Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος Πολλαπλών Διαδρομών (*Multi-trip Vehicle Routing Problem, MVTRP*)

Τα παραπάνω προβλήματα αποτελούν περαιτέρω προσπάθειες προσέγγισης της πραγματικότητας με χρήση εξισώσεων και αλγορίθμων επίλυσης. Το *SDVRP* αναφέρεται στην προφανώς ρεαλιστική περίπτωση όπου η ζήτηση ενός κόμβου υπερβαίνει τη χωρητικότητα, οπότε αναγκαστικά χρησιμοποιείται τέταρτος δείκτης l και η (2) μετασχηματίζεται στις:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L d_{il} y_{ik} \leq b_k, k=1, \dots, K, l=1, \dots, L \quad (11), d_i = \sum_{l=1}^L d_{il} \quad (3.2.2.11)$$

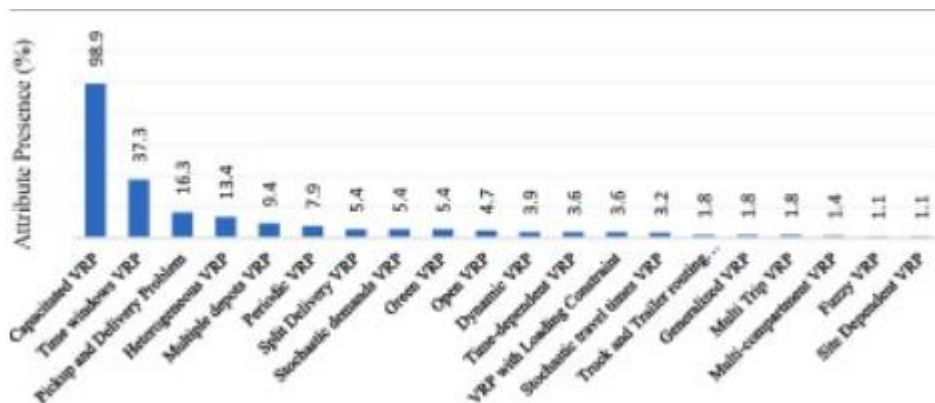
Το *DVRP* αποτελεί μια πρώτη εφαρμογή επίλυσης *VRP* κάτω από πραγματικές συνθήκες χρόνου. Όλες οι παραπάνω μεταβλητές του προβλήματος υπόκεινται σε τυχόν αλλαγές της αριθμητικής τιμής ώστε η προκαθορισμένη αρχική λύση να τροποποιείται για τις παραπάνω αλλαγές π.χ. μεταβολή της ζήτησης d_j λόγω έκτακτης παραγγελίας ή αύξηση του κόστους c_{1j} της αντίστοιχης διαδρομής λόγω συμφόρησης. Στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή b_k γενικεύεται στην b_{ijkl} όπου οι (i,j) αναφέρονται στο τμήμα μεταξύ των κόμβων i και j όπου βρίσκεται τη δεδομένη στιγμή το όχημα χωρητικότητας k και έστω $l \in [0,1]$ η ποσοστιαία μεταβολή διάνυσης του τμήματος (i,j) π.χ. για $l=0$ το όχημα βρίσκεται επί του κόμβου i ενώ για $l=1$ αντίστοιχα επί του κόμβου j . Ένα τέτοιο πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί ρεαλιστικό εφόσον με την ανάπτυξη των ευφυών συστημάτων μεταφορών (*ITS*), του Διαδικτύου, της Τεχνητής Νοημοσύνης (*Artificial Intelligence*) και της τεχνολογίας επικοινωνίας δικτύων (*Network Communication Technology*) (Zhang et al., 2022)[22]. Μία ενδιαμέση κατάσταση είναι η λεγόμενη ψευδοδυναμική (*pseudodynamic*) στην οποία αναφέρονται οι A. Polimeni & A. Vitetta [98] όπου λόγω της συμφόρησης το γενικευμένο κόστος μιας διαδρομής αλλάζει και η αντίστοιχη μεταβλητή c_{ij} γενικεύεται στη c_{ijt} , $t \in [t_0, t_f]$ t_0 ο χρόνος έναρξης λειτουργίας του συστήματος και t_f ο αντίστοιχος λήξης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι A. Polimeni & A. Vitetta θεωρούν ήδη ως στατική κατάσταση τη μεταβλητή c_{ij} , όπου ο δείκτης l αναφέρεται στην κυκλοφοριακή ροή του τμήματος (i,j) , $l \in [0,C]$, C η χωρητικότητα του τμήματος σε *MEA* και συνεπώς γενικεύουν ως ψευδοδυναμική τη μεταβλητή c_{ijt}



Εικ. 3.5 Σύγκριση λογικού διαγράμματος Στατικού, Ψευδοδυναμικού και Δυναμικού VRP [98]

Από τις λοιπές εκδοχές του VRP, στο VRPSD όπως φαίνεται και από την ονομασία του οι μεταβλητές ζήτησης θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές και επομένως η συμπεριφορά τους διέπεται σύμφωνα με τη Θεωρία Πιθανοτήτων. Στην περίπτωση του OVRP τα οχήματα δεν ολοκληρώνουν τα δρομολόγια τους στον αρχικό κόμβο-αμαξοστάσιο d_0 αλλά σε κάποιον άλλο τυχαίο κόμβο [η συγκεκριμένη κατηγορία βρίσκει εφαρμογή σε ενοικιαζόμενα οχήματα (Zhang et al., 2021)[22]] ενώ στο GVRP η αντικειμενική συνάρτηση (1) αφορά στην ελαχιστοποίηση των παραγόμενων εκπομπών αερίων ρύπων e_{ij} αντί του κόστους c_{ij} . Ενώ τέλος στην περίπτωση του MTVRP το κάθε όχημα είναι δυνατόν να εκτελέσει πέραν της μίας διαδρομής.

Βάσει της έρευνας των Elshaer και Awad[23], επιβεβαιώνεται ότι πρακτικά το CVRP αποτελεί τη βασική εκδοχή του VRP καθώς το 98,9% 299 σχετικών δημοσιεύσεων μεταξύ 2009 και 2017 είχαν τους σχετικούς περιορισμούς χωρητικότητας. Σε ένα μεγάλο ποσοστό 37,3 % των προβλημάτων ορίζονται χρονικά παράθυρα (VRPTW) ενώ το 16,3% αποτελεί πρόβλημα παραλαβής και διανομής (VRPPD).



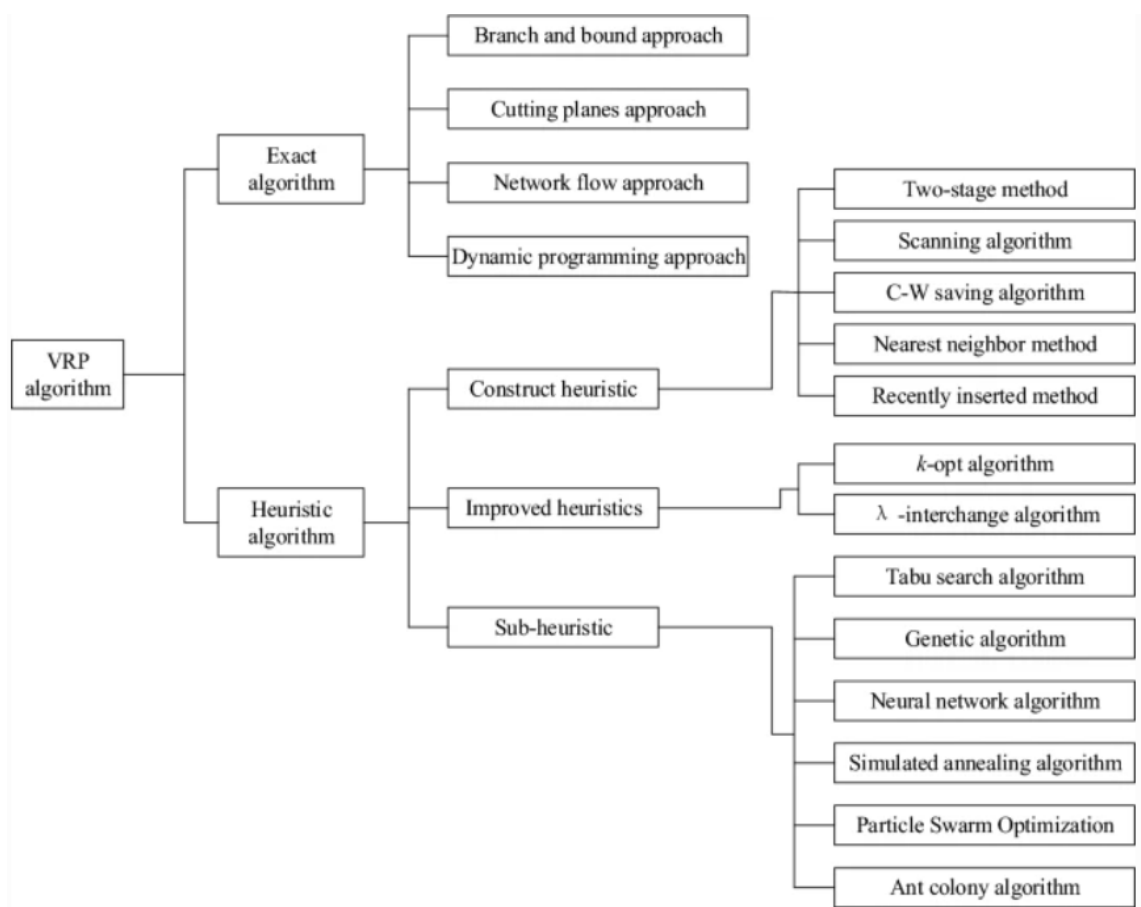
Σχ. 3.1 Ποσοστό των διαφόρων εκδοχών του VRP σε δείγμα 299 δημοσιεύσεων[23]

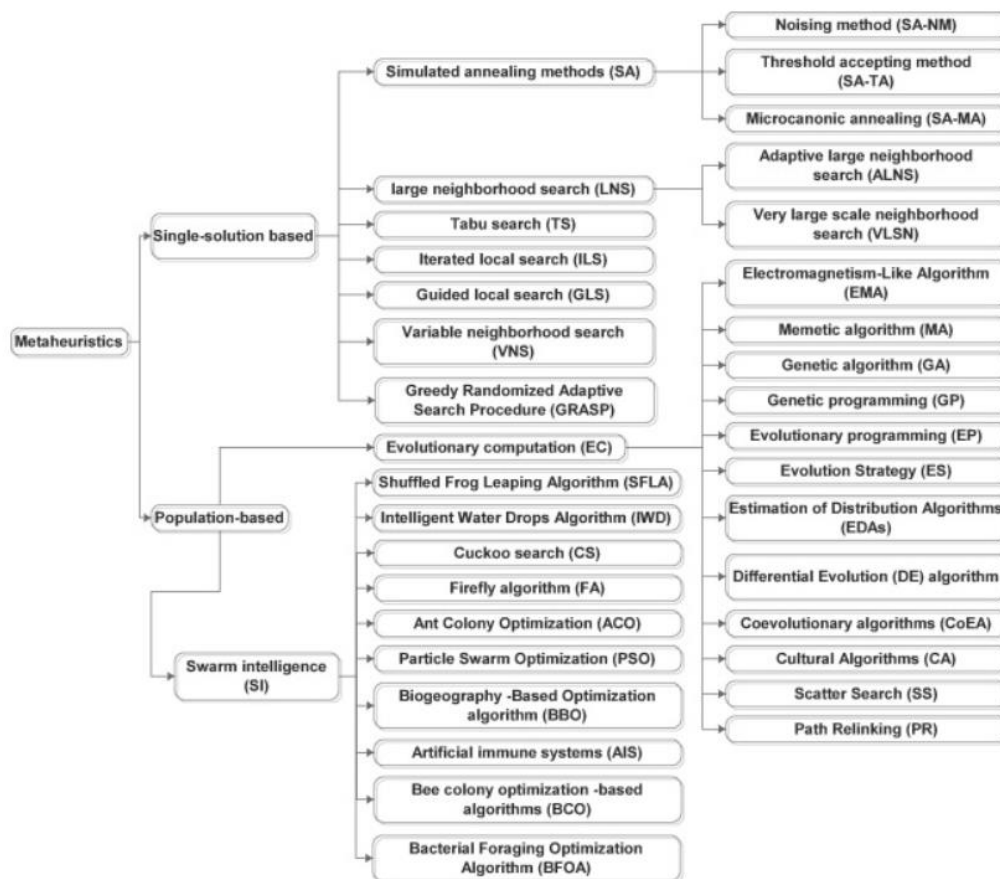
Σε κάθε περίπτωση συνδυάζοντας μεταξύ τους τις διάφορες περιπτώσεις ανά δύο ή και παραπάνω και ταυτόχρονα με την εξέλιξη της κοινωνίας και της τεχνολογίας και

τις συνακόλουθες νέες απαιτήσεις, ο αριθμός παραπάνω περιπτώσεων προβλημάτων δε σταματά να πληθύνεται.

3.2.3. Το πρόβλημα της Δρομολόγησης Οχήματος (*Vehicle Routing Problem*)- Μέθοδοι επίλυσης

Προκειμένου να επιλυθούν τα ως άνω προβλήματα έχει προταθεί πλήθος αλγορίθμων από διάφορους ερευνητές χωρίς προφανώς να υπάρχει καθολικά βέλτιστος, αλλά αυτό εξαρτάται από τις ιδιαίτερες συνθήκες κάθε προβλήματος. Στο σχ. παρουσιάζεται η δενδροειδής κατηγοριοποίηση των βασικών αλγορίθμων αρχικά σε ακριβείς και ευρετικούς (Zhang et al. ,2021[22]) και αναλυτικότερα τους δεύτερους (χαρακτηριστικά για τη γενίκευση και τυποποίησή τους χρησιμοποιείται ο όρος «μεταευρετική»-*metaheuristics*, άλλωστε ο διεθνώς χρησιμοποιούμενος ελληνογενής όρος «ευρετικός» (*heuristic*) υποδηλώνει μία τυχαία άνευ υποβάθρου συλλογιστική στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης) (Elshaer και Awad, 2020[23])





Εικ. 3.6 βασικές κατηγορίες αλγορίθμων για την επίλυση του VRP[22] [23]

Είναι προφανές ότι για την πολυπλοκότητα αυτού του είδους προβλήματος ακριβείς αλγόριθμοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο για μικρό αριθμό N κόμβων, συνεπώς η πλειοψηφία των προβλημάτων απαιτεί τη χρήση ευρετικών αλγορίθμων για την επίλυσή τους. Τη διαπίστωση αυτή παρατηρεί ο El Sherbeny ήδη από το 2010 [99] - τουλάχιστον σε ό,τι αφορά το VRPTW- ενώ χαρακτηριστικά η πιο πρόσφατη σύνοψη ερευνητικής δραστηριότητας σχετικά με τους ακριβείς αλγορίθμους επίλυσης εκδοχών του VRP- με ικανοποιητικό αριθμό ετεροαναφορών- δημοσιεύτηκε το 2012 από τους Baldacci et al.[34].

Το 2013 στη διπλωματική της εργασία η Χρ. Ηλιοπούλου [35] συνόψισε τις έως τότε μεθόδους συγκεκριμένα για το VRPPD αν και προφανώς είναι δυνατόν να εφαρμοστούν και σε άλλα προβλήματα της ίδιας υπολογιστικής κλάσης NP-δύσκολων προβλημάτων:

Πίν. 3.1: Σύνοψη των εφαρμογών του VRPSPD[35]

Συγγραφείς	Χρονολογία	Μέθοδος Επίλυσης
Dethloff [36]	2001	Κατασκευαστικές προσεγγιστικές μέθοδοι

		(<i>constructive heuristics</i>)
Nagy and Salhi [37]	2005	Τοπική αναζήτηση
Crispim and Brandão [38]	2005	Αναζήτηση ταμπού-κατάβαση μεταβλητής γειτονιάς (<i>variable neighborhood descent-VND</i>)
Chen and Wu [39]	2006	Αναζήτηση ταμπού-record-to record
Montané and Galvão [40]	2006	Αναζήτηση ταμπού
Dell' Amico et al. [41]	2006	δυναμικό προγραμματισμό, δημιουργία στηλών, μέθοδος κλάδου και τιμής
Wassan et al. [42]	2007	Αναζήτηση ταμπού
Bianchessi and Righini [43]	2007	Κατασκευαστικές προσεγγιστικές- τοπική αναζήτησης-αναζήτηση ταμπού
Karlaftis et al.[44]	2009	Γενετικός Αλγόριθμος
Zachariadis et al. [45]	2009	Αναζήτηση ταμπού- Καθοδηγούμενη τοπική αναζήτηση
Gajpal and Abad [46]	2009	Αλγόριθμος Αποικίας Μυρμηγκιών
Ai and Kachitvichyanukul [47]	2007	Αλγόριθμος σμήνους σωματιδίων
Zachariadis et al. [48]	2010	Προγραμματισμού Προσαρμόσιμης Μνήμης (<i>Adaptive Memory Programming</i>)
Zachariadis and Kyranoudis [49]	2011	Τοπική αναζήτηση

Σε ό,τι αφορά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, το 2019 οι Arnold and Sorensen to 2019[65] με την τεχνική της εξόρυξης δεδομένων (*data mining*) δημιούργησαν και κατηγοριοποίησαν 192.000 διαφορετικές λύσεις διαφόρων περιπτώσεων του VRP χρησιμοποιώντας 10 γεωμετρικά μέτρα επίλυσης (*solution metrics*) S1 έως S10 και αντίστοιχα 8 μέτρα κλάσεων περίπτωσης (*instance class metrics*). Χρησιμοποιώντας 3 μαθητές κατάταξης (*classification learners*): δέντρα αποφάσεων (*decision trees*), τυχαία δάση (*random forests*) και γραμμικές μηχανές διανυσμάτων στήριξης (*linear SVMs*) συγκρίνοντας κάθε φορά 2 διαφορετικούς ευρετικούς αλγορίθμους H1 και H2 προκύπτουν οι παρακάτω ποσοστά ακρίβειας πρόβλεψης με ανοχές 2% και 4% (εμφανίζονται μόνο όσα είναι επιτυγχάνουν ακρίβεια πρόβλεψης τουλάχιστον 55%, ενώ τα πλέον επιτυχημένα ανά κλάση επισημαίνονται)

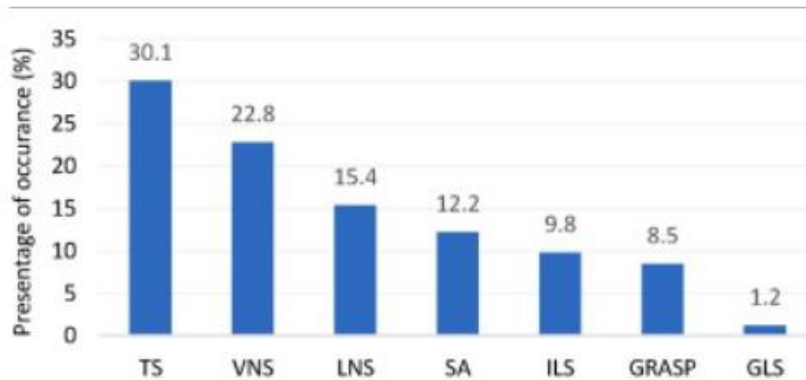
Πίν. 3.2. Μέτρα λύσης με ακρίβεια πρόβλεψης άνω του 55%. Επισημαίνονται τα μεγαλύτερα ποσοστά ανά κλάση [65]

	2% gap										4% gap									
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Class 1								58			57	56	56		56	59	57	61		
Class 2								57			57	57	56			56	56	62		
Class 3	58				60		60	57			61		56		65	59	64	60		
Class 4	57				58		58	56			59		56		62	57	62	61		
Class 5			62		67	68	67	67			60		71		78	77	79	76	59	
Class 6	57		62		65	66	68	70			60		67		74	73	74	75		
Class 7	66	57	60		79	65	75	65			71		66		84	72	80	72		
Class 8	64				72	61	70	66			68		58		79	67	77	72		

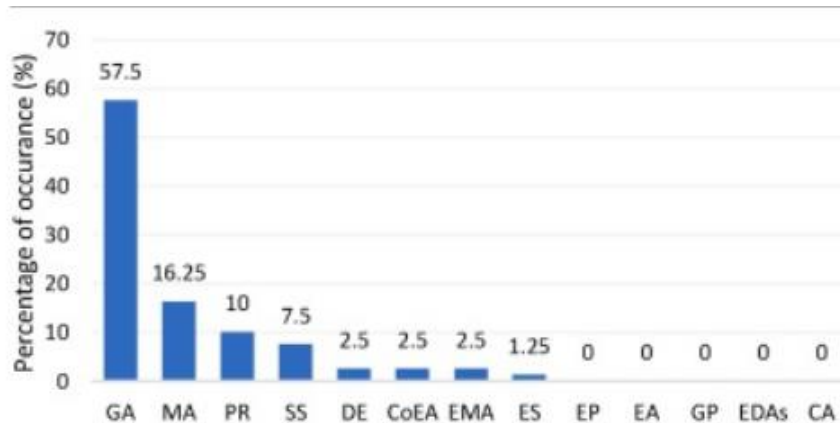
Μπορεί να διαπιστώσει κανείς ότι μία ακρίβεια της τάξης του 60-70% σε ό,τι αφορά την προσέγγιση της βέλτιστης λύσης είναι ικανοποιητική, ακόμα και με ανοχή της τάξης του 4% σε αυτή, αντίθετα πολύ σπάνια αυτή ξεπερνά το 75%.

Καθότι όπως προαναφέρθηκε η έρευνα πάνω στο VRP χρησιμοποιεί βασικά ευρετικούς αλγόριθμους- και πιο συγκεκριμένα μεταευρετικούς εφόσον υπάρχει πλέον επαρκής βάση σχετικών δημοσιεύσεων- το 2020 οι Elshaer και Awad[23] συνέλεξαν 299 δημοσιεύσεις με έτος δημοσίευσης μεταξύ 2009 και 2017 με χρήση μεταευρετικών αλγορίθμων για την επίλυση εκδοχών του VRP. Όπως οι ίδιοι παρουσιάζουν στο σχ., έχουν σχηματιστεί δύο κατηγορίες αλγορίθμων, με βάση μία απλή λύση (*single-solution based*) ή λύση επιλεγμένη από πληθυσμό (*population-based*). Κοινό στοιχείο και στις δύο κατηγορίες αποτελεί ότι κάθε φορά μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας γίνεται προσπάθεια αναζήτησης λύσης καλύτερης από την υπάρχουσα. Π.χ. στις λύσεις με βάση από πληθυσμό, οι σχετικοί αλγόριθμοι εμπνεύστηκαν από βιολογικά φαινόμενα, είτε π.χ. τη διαδικασία της εξέλιξης και τους «μηχανισμούς» της- διασταύρωση, μετάλλαξη και επιλογή του γενετικού υλικού κατά την αναπαραγωγή των βιολογικών οργανισμών- στους γενετικούς αλγόριθμους (*genetic algorithm*) (Baricelli, 1957) [29] και τη γενικότερη κατηγορία των αλγορίθμων εξελικτικής νοημοσύνης (*evolutionary computation*) είτε τη διαδικασία που τα μυρμηγκία συγκροτούν αποικίες στον ομώνυμο αλγόριθμο (*ant colony optimization*) (Dorigo, 1992 [32]).

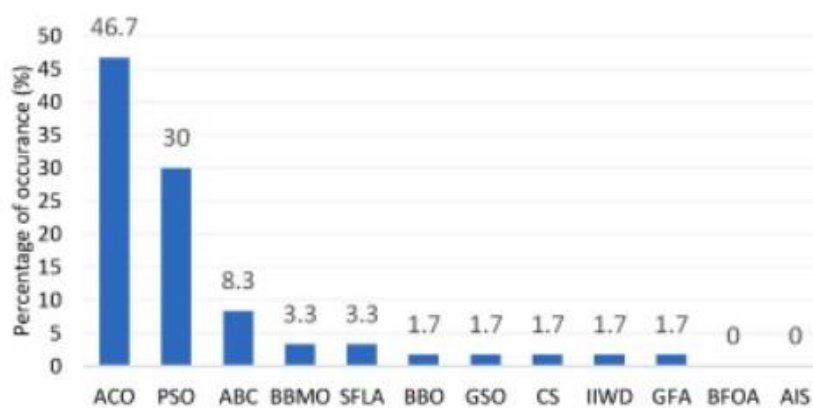
Σχετικά με τις πιο προτιμητέες μεθόδους επίλυσης, κατέληξαν στις εξής:



Σχ. 3.2 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία απλής λύσης μεταερευτικών αλγορίθμων [23]



Σχ. 3.3 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία μεταερευτικών αλγορίθμων βάσει πληθυσμού-εξελικτικός υπολογισμός [23]



Σχ. 3.4 Ποσοστό δημοφιλίας ανά κατηγορία μεταερευτικών αλγορίθμων βάσει πληθυσμού-νοημοσύνη σμήνους [23]

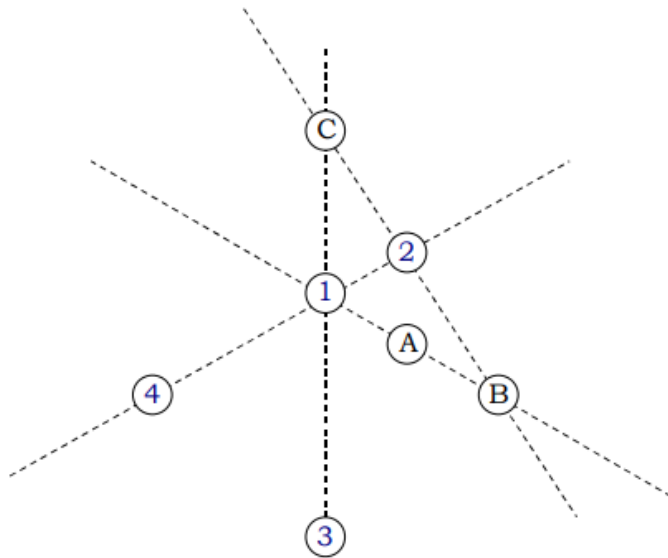
Πιο αναλυτικά, σε ποσοστό 82,3% (246 περιπτώσεις) χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι απλής λύσης (*single solution-based metaheuristics*). Εξ' αυτών δημοφιλέστερες αναδεικνύονται η Αναζήτηση Ταμπού (*Tabu Search*) (F.W. Glover, 1986[25]) με ποσοστό 30,1 % επί των μεθόδων απλής λύσης και ακολουθούν με 22,8 % η Αναζήτηση Μεταβλητής Γειτονιάς (*Variable Neighborhood Search*) (Mladenović & Hansen, 1997[26]) , η Αναζήτηση Ευρείας Γειτονιάς (*Large Neighborhood Search*)

(Pisinger and Roepke, 2010 [27]) με 15,4%, οι Μέθοδοι Προσομοιωμένης Ανόπτωσης (*Simulated Annealing Methods*) (Kirkpatrick et al., 1983[28]) με 12,2%.

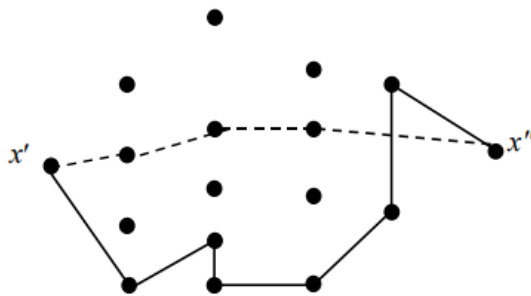
Σε ό,τι αφορά τις μεθόδους βάσει πληθυσμού, χρησιμοποιήθηκαν αντιθέτως στη μειοψηφία των μελετών (80 περιπτώσεις, ποσοστό 26,8% στις μεθόδους εξελικτικού υπολογισμού και 60, δηλ. 20,1% σε αυτές νοημοσύνης σμήνους). Από τους αλγόριθμους εξελικτικού υπολογισμού, με διαφορά ο δημοφιλέστερος αποτελεί ο Γενετικός Αλγόριθμος (*Genetic Algorithm*) (N.A. Baricelli, 1957 [29]) σε ποσοστό 57,5% ενώ ακολουθούν ο Μιμητικός Αλγόριθμος (*Memetic Algorithm*) (Moscato, 1989 [30]) με 16,25% και η Ανασύνδεση Μονοπατιού (*Path Relinking*) (F.W. Glover et al., 2000 [31]) με 10%. Ενώ τέλος στους αλγόριθμους νοημοσύνης σμήνους, κυριαρχούν δύο περιπτώσεις, αυτή της Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (*Ant Colony Optimization*) (Dorigo, 1992 [32]) με ποσοστό 46,7% και της Βελτιστοποίησης Σμήνους Σωματιδίων (*Swarm Particle Optimization*) (J. Kennedy and R.C. Eberhart, 1995 [33]) με 30% ποσοστό.

Από τα παραπάνω εξάγεται το ενδιαφέρον συμπέρασμα ότι οι περισσότεροι μεταερευνητικοί αλγόριθμοι στην επίλυση του VRP αξιοποιούν κατά κάποιον τρόπο τη «χωρική πληροφορία». Από τους αλγόριθμους απλής λύσης που προαναφέρθηκαν, άπαντες επικαλούνται τον πρώτο νόμο της Γεωγραφίας του Tobler (1970) [68] και αξιοποιούν τη βασική τοπολογική έννοια της «γειννίας» (βλ. παρ. 3.3.1) ανάμεσα στην υπάρχουσα βέλτιστη λύση και την ενδεχομένως επόμενη, παρουσιάζοντας όμως και το αντίστοιχο μειονέκτημα εγκλωβισμού σε τοπικά ελάχιστα (*local minima*), σε αντίθεση με τις μεθόδους αναζήτησης από πληθυσμό λόγω της τυχαιότητας που τους διέπει (Καρλαύτης και Λαγαρός, 2010 [100]).

Σε ό,τι αφορά τους συγκεκριμένους αλγόριθμους, από αυτούς της κατηγορίας Εξελικτικού Υπολογισμού η Ανασύνδεση Μονοπατιού αποτελεί τροποποίηση της μεθόδου Αναζήτησης Σκέδασης (*Scatter Search*), αμέσως επόμενης σε δημοτικότητα με 7,5% στην κατηγορία αυτή. Συγκεκριμένα, κατά την Αναζήτηση Σκέδασης από ένα σύνολο αναφοράς (*reference set*) με πολύ λιγότερα στοιχεία σε σχέση με το Γενετικό Αλγόριθμο αναζητούνται νέες λύσεις που ανήκουν π.χ. ως σημεία στον Ευκλείδειο Χώρο R^2 στην ευθεία που σχηματίζουν δύο υπάρχουσες. Ενώ στην Ανασύνδεση Μονοπατιού από δύο αρχικές λύσεις x' , x'' σχηματίζονται μονοπάτια που συνδέουν αυτές μέσω των νέων λύσεων $x'=x(1)$, $x(2)$, ..., $x(n)=x''$. Επιλέγεται τελικά η διαδρομή που ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση $c(x)$ [31]. Συνεπώς οι δύο παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιούν τοπολογικά κριτήρια για την εύρεση της βέλτιστης λύσης.

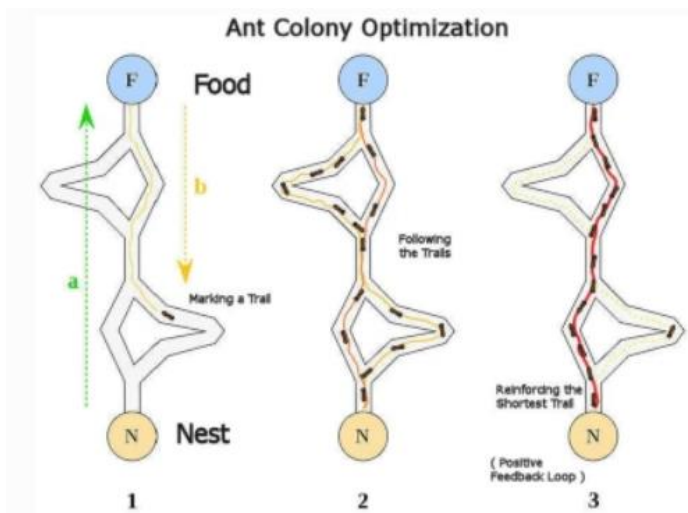


Εικ. 3.7 Αναζήτηση Σκέδασης, Σύνολο Αναφοράς $SE\mathbb{R}^2$, A,B,C αρχικές λύσεις, 1,2,3,4 οι παραγόμενες[31]



Εικ. 3.8 Ανασύνδεση Μονοπατιού, συνεχής γραμμή: αρχικό μονοπάτι, εστιγμένη γραμμή: νέο μονοπάτι[31]

Περαιτέρω δε από την κατηγορία των αλγορίθμων Νοημοσύνης Σμήνους, ο αλγόριθμος της Αποικίας Μυρμηγκιών (Dorigo, 1992)[32] εξαρχής σχεδιάστηκε με σκοπό επίλυσης προβλημάτων δικτύων και συγκεκριμένα την αναζήτηση της βέλτιστης διαδρομής σε ένα γράφημα (Καρλαύτης και Λαγαρός, 2010, [100]). Συγκεκριμένα, προκειμένου να βρουν τη βέλτιστη διαδρομή από τη φωλιά προς την τροφή τους, τα «ψηφιακά μυρμηγκία» εναποθέτουν ενδιάμεσα σε τυχαίες θέσεις-κόμβους «φερομόνη» προκειμένου να εξεταστούν αυτές ως πιθανοί κόμβοι της διαδρομής-βέλτιστης λύσης. Σε περίπτωση που η υπάρχουσα λύση δε βελτιστοποιείται, η φερομόνη στη συγκεκριμένη θέση «εξατμίζεται», δηλ. ο αλγόριθμος πλέον αδιαφορεί για αυτήν.



Εικ. 3.9 Μέθοδος αποικίας μυρμηγκιών, γραφική αναπαράσταση (Liu et al., 2021) [101]

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά απλά προβλήματα επίλυσης ανά κατηγορία επίλυσης κατά την τελευταία δεκαετία. Παρατηρείται ότι τα πλέον πρόσφατα χρόνια οι σχετικές δημοσιεύσεις αφορούν όλο και πιο εξειδικευμένες περιπτώσεις του αρχικού προβλήματος γι' αυτό και είναι αριθμητικά λιγότερες.

Πίν. 3.3: VRP-Ενδεικτικές δημοσιεύσεις της τελευταίας δεκαετίας (επισημαίνονται η υποκατηγορία του προβλήματος και η μέθοδος επίλυσης)

Συγγραφείς	Χρονολογία	Μέθοδος Επίλυσης	Πρόβλημα Επίλυσης
Andelmin and Bartolini[50]	2017	Ακριβής Αλγόριθμος	GVRP
Theurich and al. [51]	2021	Κλάδου και Ορίου	VRPCC (with Customer Costs)
Yassen et al. [52]	2017	Αναζήτηση ταμπού	VRPTW
Gauvin et al. [53]	2014	Αναζήτηση ταμπού	VRPSD
Krichen et al. [54]	2014	Αναζήτηση ταμπού	DCVRP
Schermer et al. [55]	2019	Υβριδικός-Αναζήτηση ταμπού και Μεταβλητής Γειτονίας	VRPD (with Drones)
Marinaki and Marinakis [56]	2015	Αναζήτηση Μεταβλητής Γειτονίας	VRPSPD
Mancini [57]	2017	Αναζήτηση Ευρείας Γειτονίας	GVRP

Hottung and Tierney [58]	2019	Αναζήτηση Ευρείας Γειτονίας	CVRP
Baños et al. [59]	2013	Προσομοιω μένη Ανόπτηση	VRPTW
Pierre and Zakaria [60]	2017	Γενετικός Αλγόριθμος	VRPTW
De Oliveira da Costa et al. [61]	2018	Γενετικός Αλγόριθμος	GVRP
Qi et al. [62]	2015	Μιμητικός Αλγόριθμος	VRPTW
Euchi et al. [63]	2015	Αλγόριθμος αποικίας μυρμηγκιών	DVRP
Xu et al. [64]	2015	Αλγόριθμος σμήνους σωματιδίων	VRPTW

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι είναι κατάλληλη η συμπερίληψη του Προβλήματος Δρομολόγησης Οχήματος με κάποια υπολογιστική μέθοδο για την επίλυσή του σε ένα **Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS, Geographic Information Systems)**. Συγκεκριμένα στο λογισμικό ArcGIS της ESRI, ιδιαίτερα δημοφιλές παγκοσμίως (βλ. παρ. 3.3.2) αλλά και αυτό που αξιοποιείται στην παρούσα εργασία, το παραπάνω πρόβλημα συμπεριλαμβάνεται στην κατηγορία προβλημάτων Ανάλυσης Δικτύου (Network Analyst) [108C] και επιλύεται με τη μέθοδο που παραπάνω αποδείχτηκε δημοφιλέστερη, αυτή της αναζήτησης Ταμπού [107D].

3.3 Γεωπληροφορική και Μεταφορικά Δίκτυα

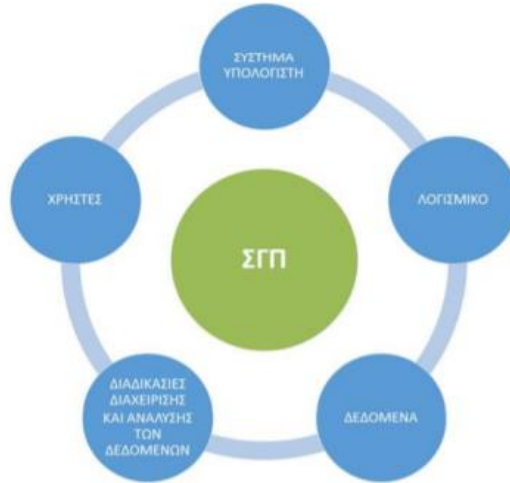
3.3.1 Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας-Γενικές Αρχές της Αρχιτεκτονικής των ΣΓΠ

Η **Γεωγραφία** είναι ένα καθολικό (*all-encompassing*) πεδίο που αναζητά την κατανόηση της Γης και τις ανθρώπινες και φυσικές ιδιαιτερότητές της-όχι απλά πού είναι τα αντικείμενα, αλλά επίσης πώς άλλαξαν και πρόκειται να είναι. [117E]

Τα **Πληροφοριακά Συστήματα** μπορούν να οριστούν ως μία ενσωμάτωση στοιχείων για τη συλλογή, την αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιούνται για την παροχή πληροφορίας, τη συνεισφορά στη γνώση αλλά και ψηφιακά προϊόντα που διευκολύνουν τη λήψη απόφασης. [118]

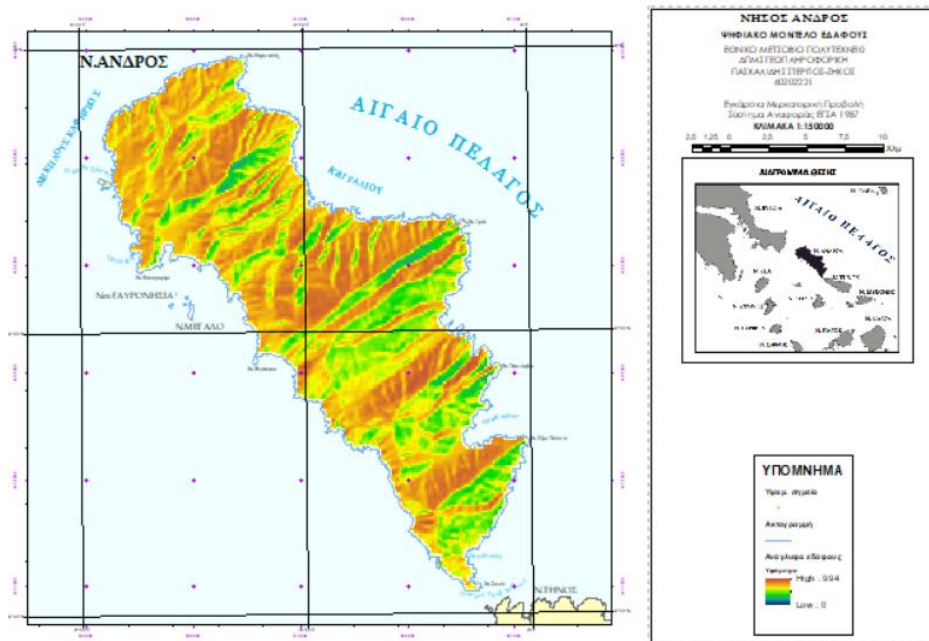
Με βάση τα παραπάνω τα **Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (Geographic Information Systems) GIS**, δημιουργήθηκαν με σκοπό την παραπάνω συλλογή, διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων που σχετίζονται με τη Γη και το χώρο. Η σημασία τους αναδεικνύεται από το γεγονός ότι το 80% των πληροφοριακών

δεδομένων έχει και χωρική διάσταση. Για τη διατύπωση των παραπάνω δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, τα κύρια **μοντέλα δεδομένων** (*data models*) που χρησιμοποιούνται είναι το **μοντέλο πεδίων** (*field-based model*) και το **μοντέλο αντικειμένων** (*object-based model*). Τα παραπάνω μοντέλα υλοποιούν οι αντίστοιχες **Δομές Γεωγραφικών Δεδομένων (ΔΓΔ)-κανονικοποιημένη μορφή** και **διανυσματική μορφή** αντίστοιχα (Κάβουρας et al., 2016 [102]).



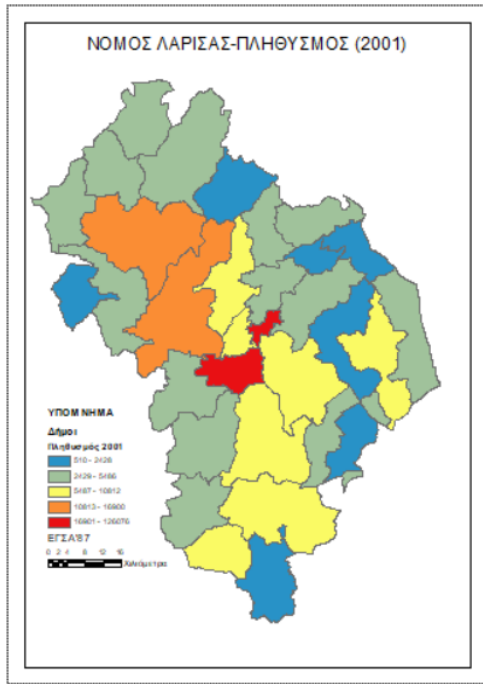
Εικ. 3.10 Συστατικά στοιχεία ενός ΣΓΠ (Κάβουρας et al., 2016) [102]

Στην **κανονικοποιημένη μορφή** ο χώρος απεικονίζεται ως ένα σύνολο εικονοστοιχείων (*pixels*) σε μορφή καννάβου. Κάθε εικονοστοιχείο λαμβάνει ένα μοναδικό χρώμα το οποίο αντιστοιχίζεται σε μία ιδιότητα, ποιοτική ή ποσοτική βάσει μιας χρωματικής παλέτας.



Χάρτης 3.1 Παράδειγμα κανονικοποιημένης μορφής-Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους νήσου Άνδρου

Στη **διανυσματική μορφή** αντίθετα, ορίζονται γεωγραφικές οντότητες, οι οποίες μπορεί να είναι μηδενικής (σημεία), μίας (γραμμές) ή δύο διαστάσεων (πολύγωνα). Στην παρούσα εργασία και γενικότερα για τη μελέτη συγκοινωνιακών συστημάτων σε GIS είναι προφανές ότι η καταλληλότερη δομή είναι η διανυσματική. Συνεπώς, σε περιβάλλον GIS, τα υδατοδρόμια εκφράζονται ως σημεία, οι επιφάνειες επιρροής τους (για την ακρίβεια οι προβολές τους) ως πολύγωνα ενώ οι διαδρομές των υδροπλάνων ως γραμμές.



Χάρτης 3.2 Παράδειγμα διανυσματικής μορφής-Πληθυσμός δήμων νομού Λάρισας

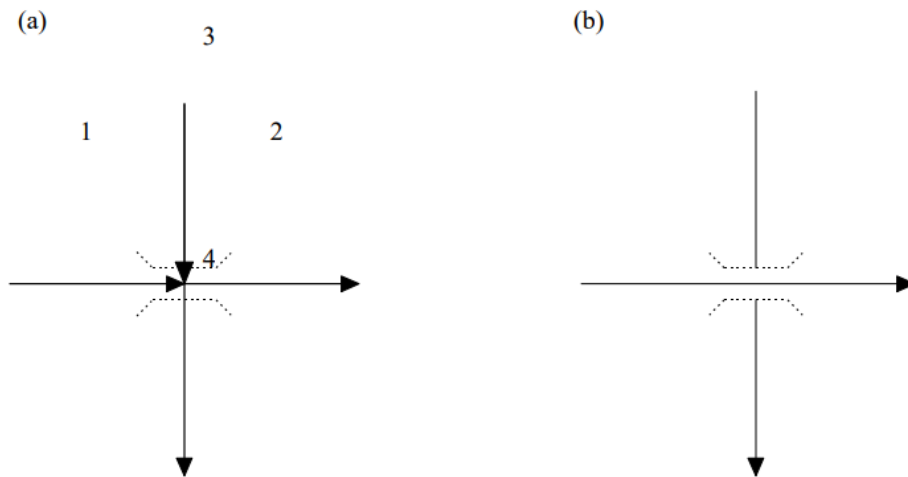
Κατά τον Goodchild[70], για τη δημιουργία ενός δικτύου (*network*), ειδικότερα δε οδικού σε περιβάλλον GIS, μπορούν θεωρητικά να αναπτυχθούν τα παρακάτω μοντέλα δεδομένων (*data models*):

Πίν. 3.4 Δυνητικές δομές δεδομένων για ένα οδικό δίκτυο σε περιβάλλον GIS [70]

Δομή	Περιγραφή	Σχ. Εικόνα /Πίνακας
Πάνω και Κάτω διάβαση (<i>overpass/underpass</i>)	Δύο γραμμές τέμνονται χωρίς μεταξύ τους συνδεσιμότητα	Εικ. 3.11
Στροφή (<i>turn</i>)	Δυνατότητα μετάβασης από ένα σύνδεσμο σε ένα συνδεόμενο του	Πίν. 3.5
Δυναμική κατάτμηση (<i>Dynamic segmentation</i>)	Δημιουργία ειδικών σημείων και τμημάτων δικτύου (π.χ. τμήμα οδού υπό συμφόρηση)	

Σχήματα διαδρομής και χιλιομέτρησης (<i>Route and Milepost Schemes</i>)	Δήλωση σημείου ως χ.θ. σε μια διαδρομή	
Λωρίδες (<i>lanes</i>)	Καταχώρηση οδού σε ίσο αριθμό παράλληλων γραμμών με αυτόν των λωρίδων κυκλοφορίας	
Διαδρομές εκτός δικτύου (<i>Off-network travel</i>)	Οπτικοποίηση περιοχών π.χ. χώρων στάθμευσης ή εξωτερικό περιοχής μελέτης σε πολύγωνα (άπειρος αριθμός δυνατών κινήσεων)	
Ροές (<i>flows</i>)	Οπτικοποίηση τροχιών οχημάτων	
Περίπλοκα μονοπάτια (<i>Complex paths</i>)	Αποθήκευση δεδομένων διαδρομών ως διακριτά αντικείμενα	
Χρονικές αλλαγές (<i>Temporal change</i>)	4D αντιμετώπιση με την εισαγωγή του χρόνου ως 4 ^{ης} διάστασης στα σχετικά προβλήματα	

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι τα προβλήματα δικτύου είναι αφενός από τα δυσκολότερα που καλείται να αντιμετωπίσει ένα ΣΓΠ, αφετέρου για να προσεγγιστεί όσο το δυνατόν καλύτερα η πραγματικότητα γίνεται πολύ πιο περίπλοκο από έναν απλό γράφο (βλ. παρ.3.1.1).



Εικ. 3.11 Απεικόνιση κάτω διάβασης α)χωρίς b) με την ύπαρξη σχετικής λειτουργίας (Goodchild, 1998 [70])

Πίν. 3.5 Δυνατότητα ή μη στροφής μεταξύ δύο συνδεόμενων συνδέσμων [70]

From edge	To edge	Turn?
1	3	n
1	2	y
1	4	n
2	1	y
2	3	n
2	4	n
3	1	n
3	2	n
3	4	y
4	1	n
4	2	n
4	3	y

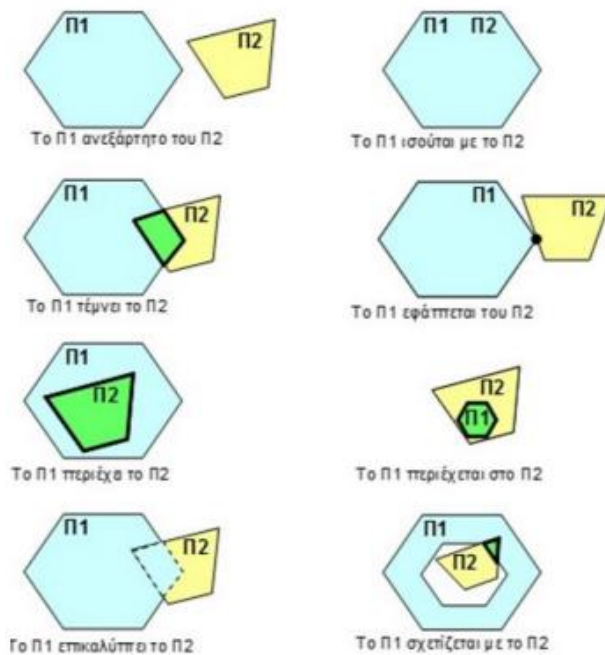
Για μία γεωγραφική οντότητα προκειμένου να δηλωθεί σε ένα λογισμικό GIS, απαιτείται:

α) η δήλωση ενός **συστήματος αναφοράς** προκειμένου κάθε σημείο να αποκτήσει «ταυτότητα» στο χώρο. Τα σχετικά συστήματα, όπως το προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87 ή το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1984 WGS'84 που χρησιμοποιούνται σήμερα αποτελούν αποτέλεσμα μίας συλλογιστικής αιώνων πολύ πριν την εμφάνιση της Γεωπληροφορικής για τη δημιουργία έντυπων χαρτών και η οποία θεμελίωσε την επιστήμη της Αναλυτικής Χαρτογραφίας (για σχετική εμβάθυνση βλ. «Αναλυτική Χαρτογραφία», Β. Νάκος, 2016[103]). Επίσης με τη δήλωση του συστήματος αναφοράς το λογισμικό GIS είναι σε θέση να «γνωρίζει» τη

γεωμετρία των οντοτήτων π.χ. το μήκος των γραμμών ή το εμβαδόν των πολυγώνων. Πρέπει να τονιστεί ότι η γεωμετρία αυτή παραμένει αμετάβλητη έπειτα από μετασχηματισμό που διατηρεί σταθερή την κλίμακα και τη γωνία μεταξύ των αξόνων του συστήματος (Κάβουρας et al., 2016)[102]

β) η ύπαρξη **τοπολογικών σχέσεων και κανόνων**. Με τις τοπολογικές σχέσεις το GIS μπορεί να «αντιληφθεί» αυτό που οι άνθρωποι δηλώνουν ως «κοντά», «μακριά», «δίπλα», «απέναντι» κ.λ.π. και οι οποίες παραμένουν σταθερές ανεξαρτήτως μετασχηματισμού συστήματος αναφοράς. Σε αυτές περιλαμβάνονται (Κάβουρας et al., 2016)[102]:

- Το A_1 ισούται με το A_2 .
- Το A_1 είναι ανεξάρτητο του A_2 .
- Το A_1 τέμνει το A_2 .
- Το A_1 εφάπτεται του A_2 .
- Το A_1 περιέχει το A_2 .
- Το A_1 περιέχεται στο A_2 .
- Το A_1 επικαλύπτει το A_2 .
- Το A_1 σχετίζεται με το A_2 .



Εικ. 3.12 Βασικές τοπολογικές σχέσεις μεταξύ πολυγωνικών αντικειμένων (Κάβουρας et al., 2016) [102]

Δεδομένου ότι συχνά κατά τη δημιουργία ενός ΣΓΠ ενδέχεται να προκύψουν σφάλματα π.χ. οικισμός στη θάλασσα ή ποτάμι που σταματά στη στεριά χρήσιμο είναι ο ορισμός τοπολογικών κανόνων. Οι κανόνες αυτοί επιλέγονται από ένα προκαθορισμένο κατάλογο που αφορούν σε σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Ένας κανόνας μπορεί να αφορά στις σχέσεις: ενός χωρικού στοιχείου συγκεκριμένου θεματικού επιπέδου με τον εαυτό του, μεταξύ του συνόλου των χωρικών στοιχείων

ενός θεματικού επιπέδου και τέλος των χωρικών στοιχείων ενός θεματικού επιπέδου ως προς τα χωρικά στοιχεία ενός άλλου θεματικού επιπέδου. (Τσούλος et. al., 2015[104]). Παρακάτω παρουσιάζεται μια σειρά τοπολογικών κανόνων στο λογισμικό ArcGIS που συνήθως εφαρμόζονται κατά την ψηφιακή δημιουργία ενός χάρτη:

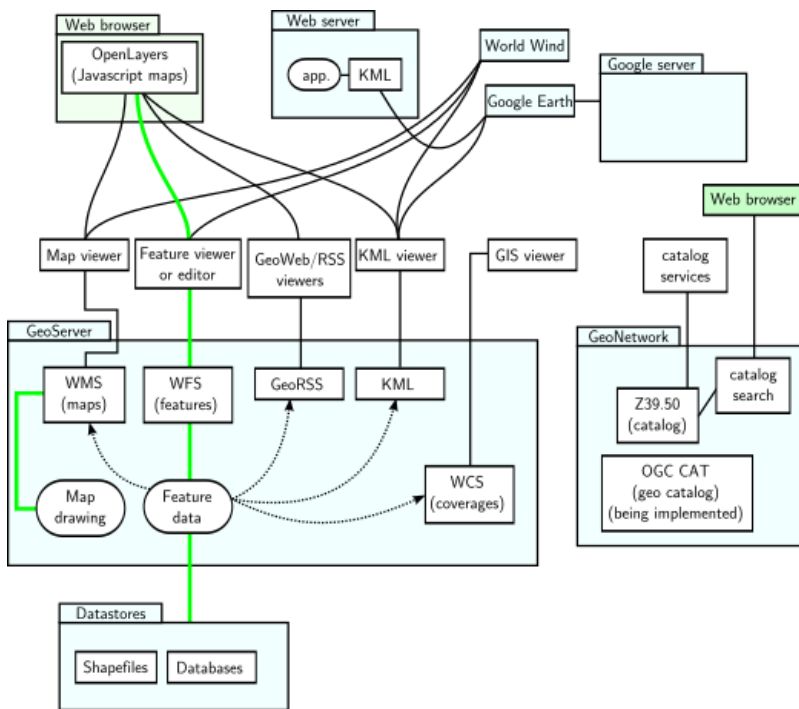
Πίν. 3.6 Προτεινόμενοι τοπολογικοί κανόνες και θεματικά επίπεδα (ArcGIS) (Τσούλος et al., 2016) [104]

Θεματικά επίπεδα	Τοπολογικός κανόνας ArcGIS
Οδικό Δίκτυο Υδρολογικό Δίκτυο	must be larger than cluster tolerance must not have dangles must not self-intersect must not self-overlap must not overlap
Ισοϋψείς καμπύλες	must be larger than cluster tolerance must not have dangles must not self-intersect must not self-overlap must not intersect or touch interior
Οδικό δίκτυο & Πολύγωνο Ακτογραμμής Υδρολογικό δίκτυο & Πολύγωνο Ακτογραμμής Ισοϋψείς καμπύλες & Πολύγωνο Ακτογραμμής	must be inside
Υδρολογικό Δίκτυο & Οδικό δίκτυο Ισοϋψείς καμπύλες & Οδικό δίκτυο Υδρολογικό Δίκτυο & Ισοϋψείς καμπύλες	must not overlap
Οικισμοί & Πολύγωνο Ακτογραμμής Υψομετρικά Σημεία & Πολύγωνο Ακτογραμμής	must be properly inside polygon

Στην παρούσα εργασία και γενικά στα προβλήματα δικτύου ο θεμελιώδης τοπολογικός κανόνας στο ArcGIS είναι ο *“Must Be Covered By Endpoint Of”*, δηλ. τα σημεία ενός σημειακού επιπέδου (*υδατοδρόμια*) πρέπει να επικαλύπτονται από τα άκρα των στοιχείων ενός γραμμικού (*τροχιές υδροπλάνων*). [108E]

γ) Η ύπαρξη μίας **βάσης δεδομένων** (*database*) για την αποθήκευση και διαχείριση της χωρικής πληροφορίας που δημιουργούν οι παραπάνω χωρικές οντότητες. Η παραπάνω βάση, με τη δήλωση ενός συστήματος αναφοράς όπως προαναφέρθηκε αποκαλείται χαρακτηριστικά **γεωβάση δεδομένων** (*geodatabase*). Οι βάσεις δεδομένων συγκροτούνται από **συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων ΣΔΒΔ** (*database management systems*) τα οποία μπορεί να είναι α) σχεσιακά ΣΔΣΒΔ (*relational*) β) αντικειμενοστρεφή ΣΔΑΒΔ (*object-oriented*) γ) αντικειμενο-σχεσιακά ΣΔΑΣΒΔ (*object-relational*). Από αυτές ακόμα και η πιο απλή περίπτωση των ΣΔΣΒΔ παραμένει δημοφιλής καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιεί τη γλώσσα ερωτημάτων SQL ή επεκτάσεις αυτής για την εξαγωγή των επιθυμητών πληροφοριών (Κάβουρας et al., 2016) [102]

Εντέλει, για την καταγραφή και τυποποίηση της σχετικής γνώσης γύρω από τη Γεωγραφική Πληροφορία εργάζονται δύο οργανισμοί, το *Open Geospatial Consortium* (OGC)[109] και η επιτροπή ISO/TC 211 του πασίγνωστου Διεθνούς Οργανισμού για την Προτυποποίησης (*International Organization for Standardization* ,ISO)[110].



Εικ. 3.13 Οντολογικό διάγραμμα σχέσεων ανάμεσα στους χρήστες και τα πρωτόκολλα του OGC [117J]

3.3.2 Επιλογή λογισμικού GIS

Με βάση τις παραπάνω βασικές αρχές των ΣΓΠ έχουν δομηθεί και διατεθεί στην αγορά-αλλά και σε ελεύθερη χρήση-πληθώρα σχετικών λογισμικών. Οι χρήστες αυτών τα έχουν διακρίνει συγκεκριμένα σε 4 βασικές κατηγορίες [117F]:

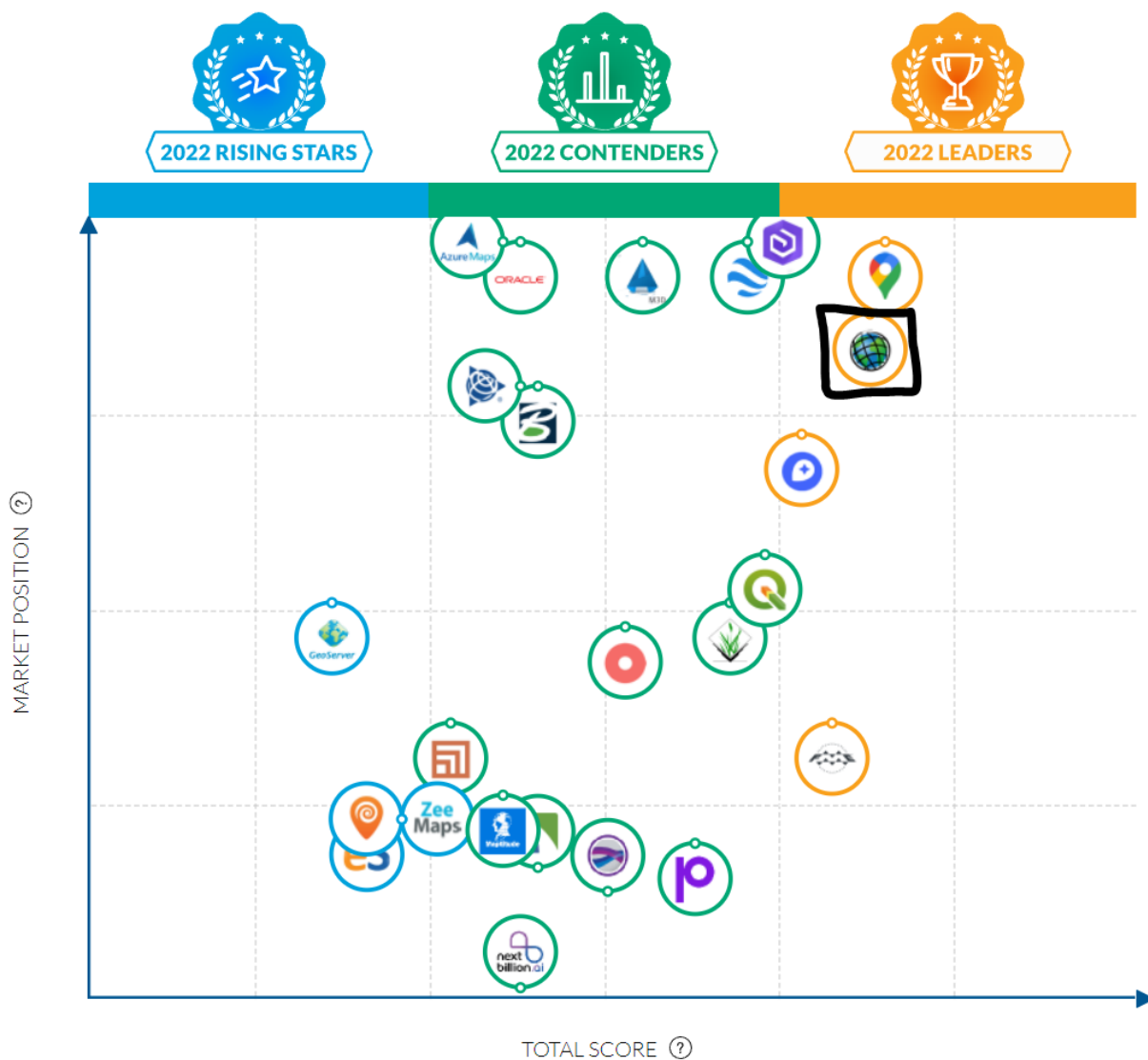
- **Εφαρμογές GIS σε υπολογιστή (Desktop GIS application):** Πρόκειται για την παραδοσιακή μορφή λογισμικών GIS τα οποία είχαν ήδη αναπτυχθεί από την εποχή των *mainframes* τη δεκαετία του '60.
- **Εφαρμογές GIS σε εξυπηρετητή (Server GIS application):** Με τη δημιουργία του Διαδικτύου (*World Wide Web*) τα συγκεκριμένα λογισμικά κατέστησαν αναγκαία για τη δημιουργία διαδικτυακών χαρτών (*online mapping* [117G]). Λειτουργούν όπως κάθε αντίστοιχη εφαρμογή εντός ενός απομακρυσμένου εξυπηρετητή (*remote server*)-συνήθως της μορφής HTTP [117H]-και διανέμουν τα αποτελέσματα στους πελάτες μέσω ενός browser.
- **Γεωχωρικές βιβλιοθήκες (Geospatial libraries):** Πρόκειται για στοιχεία λογισμικού (γραμμές κώδικα) τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε ήδη υπάρχοντα προγράμματα. Η πλέον συνήθης μορφή είναι να αποτελούν κλάσεις σε αντικειμενοστρεφείς γλώσσες όπως η C++, η Java και η Python μέσω μίας διεπαφής προγραμματισμού εφαρμογών [*Application Programming Interface (API)*]
- **Χωρικές βάσεις δεδομένων (Spatial databases):** Όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη παρ., πρόκειται για επεκτάσεις των συνήθων βάσεων δεδομένων προκειμένου να καταστεί εφικτή μία λειτουργική αποθήκευση και διαχείριση χωρικών ή/και γεωχωρικών δεδομένων.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας χρειάζονται οπωσδήποτε μία απλή εφαρμογή desktop GIS και μία βάση γεωχωρικών δεδομένων. Το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί εδώ, το ArcGIS καλύπτει τις παραπάνω προϋποθέσεις καθώς συγκεκριμένα:

α) οι απαραίτητες οντότητες που παριστάνουν υδατοδρόμια, τροχιές υδροπλάνων, την ευρύτερη ελληνική επικράτεια, όλα τα παραπάνω στη διάσταση που τους αναλογεί (σημεία, γραμμές και πολύγωνο αντίστοιχα) αποθηκεύονται σε συγκεκριμένο τύπο αρχείου κατοχυρωμένο από την ESRI, τα λεγόμενα *shapefiles*. Στην πραγματικότητα, ένα *shapefile* αποτελεί έναν κατάλογο (*directory*) αρχείων με κοινή επέκταση *.shp*. Από τα συγκεκριμένα αρχεία απαραίτητα είναι τα *.shp* που αφορά μόνο στη γεωμετρία, *.dbf* που αφορά τις ιδιότητες (*attributes*) στην απλή μορφή *dBase* και *.shx* για την άμεση σύνδεση των παραπάνω δύο, ενώ ενδέχεται να υπάρχουν και άλλα επιπλέον αρχεία [108F].

β) διαθέτει το δικό του τύπο Γεωβάσης, τη Γεωβάση Αρχείου (*File Geodatabase*) με επέκταση *.gdb*, η οποία λειτουργεί ως φάκελος (*folder*) με χωρητικότητα 1 TB. Αντικατέστησε την Προσωπική Γεωβάση (*Personal Geodatabase*) που βασιζόταν στην κοινή ΒΔ *Microsoft Access* (επέκταση *.mdb*) της οποίας η χωρητικότητα περιορίζεται στα 2 GB [108G].

Στο σχ. που ακολουθεί απεικονίζεται σύμφωνα με έρευνα της ιστοσελίδας <https://gis.financesonline.com/> [111] η αγορά των λογισμικών GIS τόσο από άποψη συνολικού σκορ όσο και από τη θέση τους στην αγορά:



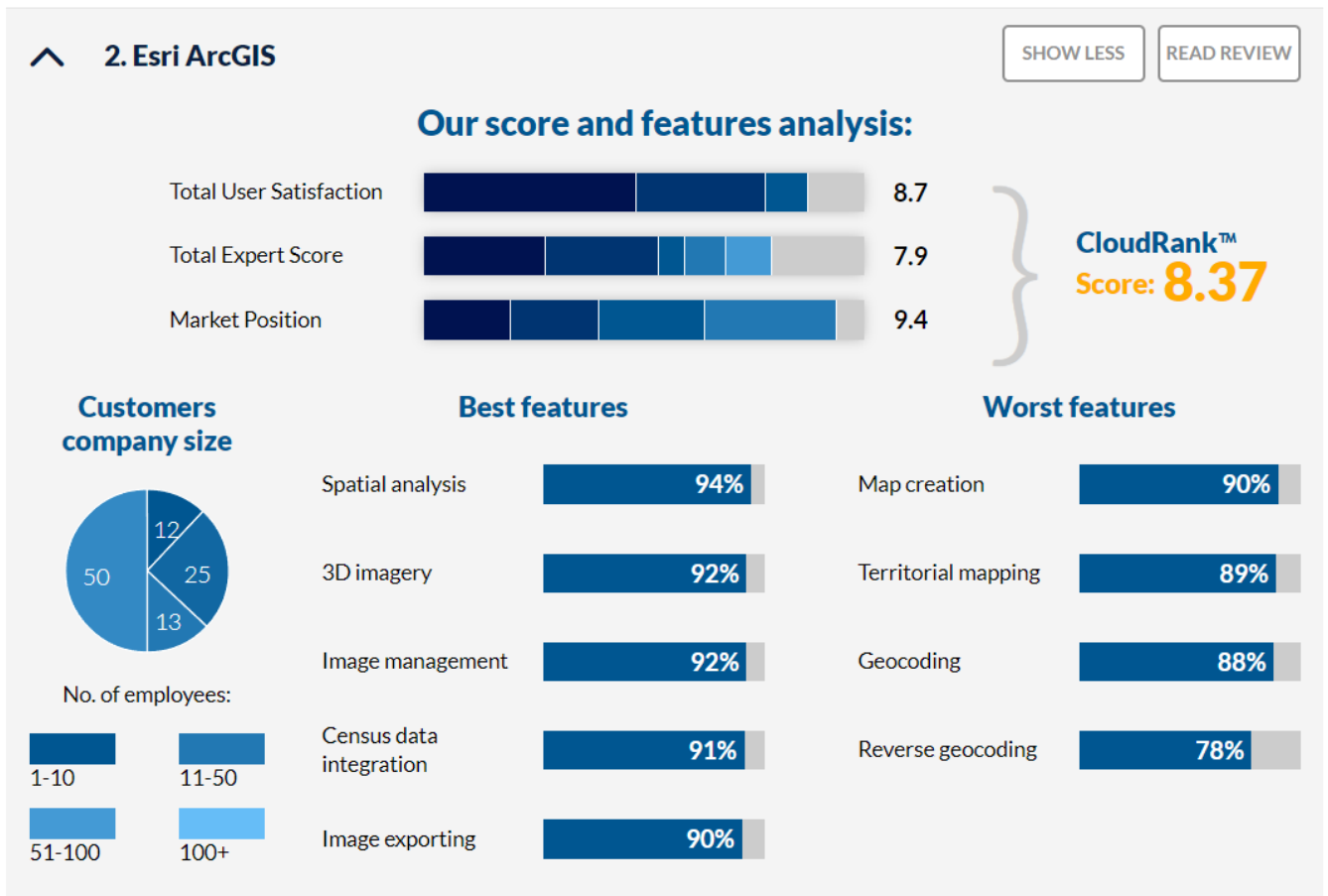
Market Position
 A score between 1 and 10 based on popularity and market reach of each product.

Total Score
 A score between 1 and 10 based on the average of our Expert Score and User Score.

CloudRank™ tier
 Based on product's total score.
 ● RISING STAR ● CONTENDER ● FRONT RUNNERS

Σχ. 3.5 Καλύτερα λογισμικά GIS από άποψη ποιότητας και εμπορικής επιτυχίας και σχετική επεξήγηση των δεικτών- [https://gis.financesonline.com/\[111\]](https://gis.financesonline.com/[111])- επισημαίνεται η θέση του ArcGIS (ενημέρωση: 30/5/2022)

Το λογισμικό της παρούσας εργασίας, το ArcGIS τοποθετείται σύμφωνα με την ιστοσελίδα στη 2^η θέση από άποψη συνολικού σκορ με βαθμολογία 8,37- προηγείται μόνο το API του Google Maps[111], αναμενόμενο ως ένα βαθμό γνωρίζοντας ποια εταιρεία βρίσκεται πίσω από την αρχική εφαρμογή. Στον τομέα της Χωρικής Ανάλυσης όπου συμπεριλαμβάνεται και η Ανάλυση Δικτύου βαθμολογείται με 94% ικανοποίηση, η υψηλότερη μεταξύ των 9 κριτηρίων που θέτει η ιστοσελίδα.



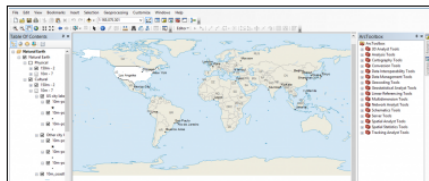
Εικ. 3.14 Infographic αξιολόγησης του ESRI ArcGIS-<https://gis.financesonline.com/> [111]-
(ενημέρωση: 30/5/2022)

Αντίστοιχα η ιστοσελίδα <https://gisgeography.com/best-gis-software/> [112] δίνει στο ArcGIS την 3^η θέση ανάμεσα σε 30 εφαρμογές λογισμικού GIS. Και εδώ ως κύριο πλεονέκτημά του επισημαίνεται οι δυνατότητες διαχείρισης και επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων (*geoprocessing*), τροποποίησης (*editing*) και τοπολογίας που χρειάζονται στην παρούσα εργασία (βλ.εικ.3.15). Αντίθετα περιγράφονται ως μειονεκτήματα, εκτός από το προφανές του κόστους άδειας-που προσαυξάνεται για τα πιο προχωρημένα εργαλεία-η περιορισμένη διαλειτουργικότητα του με λοιπά πρότυπα και συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (OGC, ISO/TC 211) και η σταδιακή απόσυρσή του έτσι ώστε το 2026 να παρέχεται από την ESRI αποκλειστικά ο διάδοχός του, το ArcGIS Pro[112]. Το συγκεκριμένο μάλιστα η ιστοσελίδα το τοποθετεί στην 1^η θέση, αναφέροντας ως βελτιώσεις του σε σχέση με το «κλασικό» ArcGIS την ύπαρξη διεπαφής ribbon, επεξεργασία σε 64-bit και ενσωμάτωση 3D χαρτών. Εντούτοις, για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, δε θεωρείται αναγκαία η χρήση του αναβαθμισμένου λογισμικού.

3. ArcGIS Desktop



4.8 stars



ArcGIS Desktop is cutting edge in GIS. It raises the bar to the next level by doing what other GIS software can't. Its success is that it's expandable. From field apps to modeling and scripting, [ArcGIS Desktop](#) is a powerhouse for all things GIS.

PROS

- ☑ Scalability for extra capability
- ☑ Solid geoprocessing framework
- ☑ Beautiful cartography symbology options
- ☑ Full set of editing and topology tools
- ☑ ArcGIS Online for web maps and apps

CONS

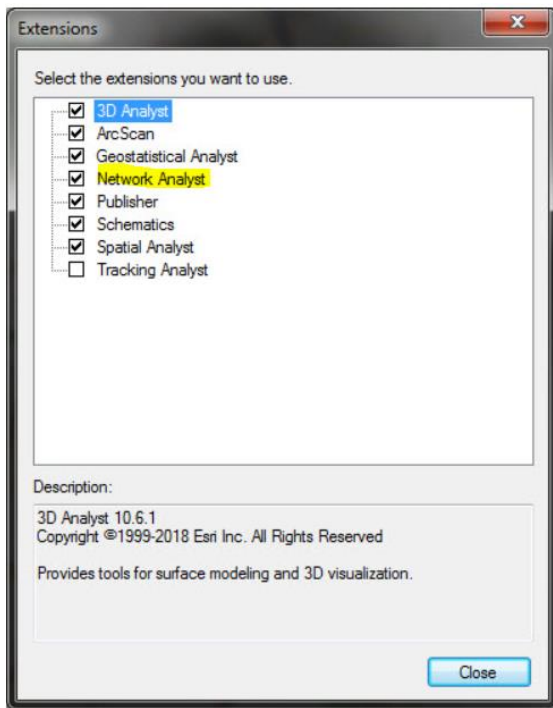
- ⊗ High cost for usage and maintenance
- ⊗ License levels bring limited tools for basic
- ⊗ Underachieves for interoperability
- ⊗ Being phased out for ArcGIS Pro
- ⊗ 32-bit application with ArcCatalog

#1 non-ribbon commercial GIS software (support until March 2026)

Εικ. 3.15: Infographic- σύντομη αξιολόγηση του ArcGIS από <https://gisgeography.com/> [112]

3.3.3 Ο Network Analyst και το VRP στο ArcGIS

Η επέκταση (*extension*) του ArcGIS που αξιοποιείται για την επίλυση προβλημάτων δικτύου (*network*) ονομάζεται **Network Analyst**. Η ιδιαιτερότητα αλλά και οι υπολογιστικές απαιτήσεις που απαιτούν οι αλγόριθμοι επίλυσης προβλημάτων δικτύου (*network*) διαφαίνεται στο γεγονός ότι η αντίστοιχη λειτουργία Network Analyst του ArcGIS είναι διαθέσιμη ως επέκταση (*extension*) του βασικού λογισμικού με ειδική επιπρόσθετη άδεια[108C].



Εικ. 3.16 Επεκτάσεις ArcGIS-επισημαίνεται ο Network Analyst
<https://support.esri.com/en/technical-article/000003604>

Συγκεκριμένα ο Network Analyst επιλύει τα παρακάτω προβλήματα[108D]:

Πίν. 3.7 Προβλήματα και αλγόριθμοι επίλυσης στο Network Analyst

Πρόβλημα	Περιγραφή	Αλγόριθμος επίλυσης
Δρομολόγησης (<i>Route</i>)	Εύρεση βέλτιστης διαδρομής μεταξύ σημείων A-B	Dijkstra [73]
Εγγύτερης Εγκατάστασης (<i>Closest Facility</i>)	Εύρεση εγγύτερου σημείου B που ικανοποιεί μια ιδιότητα από ένα δεδομένο σημείο A	Γενικευμένος Dijkstra πολλαπλής αφετηρίας/προορισμού
Περιοχών Εξυπηρέτησης (<i>Service Areas</i>)	Εύρεση μιας περιοχής (πολυγώνου) εξυπηρέτησης με βάση ένα δεδομένο σημείο A	Dijkstra + δημιουργία πολυγώνων με Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (TIN) [74]
Μητρώου Κόστους Προέλευσης-Προορισμού (<i>OD cost matrix</i>)	Δημιουργία του μητρώου κόστους μεταξύ δύο διανυσμάτων προέλευσης O_i και Προορισμού D_j	Γενικευμένος Dijkstra πολλαπλής αφετηρίας/προορισμού
Χωροθέτησης-Διανομής (<i>Location-allocation</i>)	Εύρεση του διανύσματος βέλτιστων σημείων εγκατάστασης B_j για ένα δεδομένο διάνυσμα σημείων A_i	Επέκταση του προβλήματος OD cost matrix με χρήση τροποποίησης Hillsman [75] και ευρετική αντικατάστασης κορυφής Teitz and Bart[76]

Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (<i>Vehicle routing problem</i>)	Ανάθεση εξυπηρέτησης διανύσματος σημείων διαταγής (O_i) από ένα διάνυσμα οχημάτων (B_i) με βάση ένα διάνυσμα βάσεων (A_i)	Αναζήτηση Tabu[25]
--	---	---------------------------

Όπως φαίνεται παραπάνω στον πίν. ,το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (VRP) θεωρείται από τα δυσκολότερα στο Network Analyst καθώς ο κλασικός αλγόριθμος του Dijkstra δεν επαρκεί για την επίλυσή του.

Ανεξαιρέτως σε όλα τα παραπάνω προβλήματα είναι απαραίτητη η δημιουργία τοπολογίας δικτύου ως σύνολο δεδομένων (*network dataset*)[108B]. Πρέπει συγκεκριμένα να οριστεί από ένα γραμμικό feature dataset το δίκτυο με μορφή γράφου (βλ. κεφ.5) των συνδέσμων (*edges*) και κόμβων (*junctions*) που θα αποτελεί την είσοδο (*input*) του Network Analyst. Επιπλέον μπορούν να δομηθούν και στροφές (*turns*), ο οποίος είναι ο μοναδικός τρόπος προκειμένου π.χ. να δηλωθεί η απαγόρευση μιας αριστερής στροφής σε έναν δρόμο που ειδιάλλως κατευθύνεται προς τα αριστερά [108H].

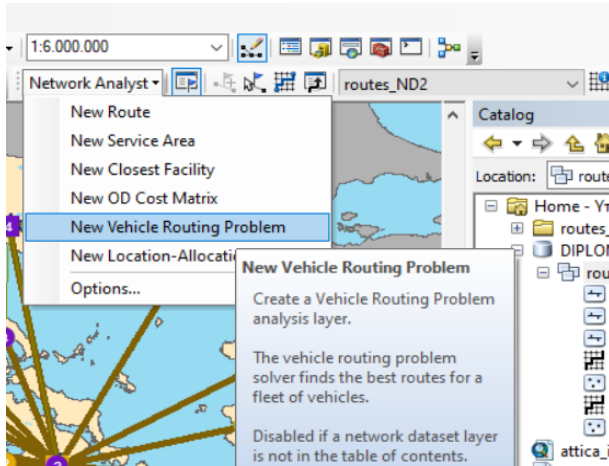
Ιδιαίτερα σημαντική αποτελεί σε ένα network dataset η λειτουργία των πεδίων (*attributes*)[108I]. Συγκεκριμένα διακρίνονται στα εξής:

- **Κόστος (*Cost*):** Στην επιστήμη των μεταφορών με την έννοια του «γενικευμένου κόστους» δηλώνεται οτιδήποτε παρεμποδίζει μία μετακίνηση (*impedance*, έννοια που χρησιμοποιεί και το network dataset)[107]. Συνεπώς δεν είναι απαραίτητα χρηματικό κόστος, αλλά και π.χ. δαπάνη χρόνου, εκπομπές ρύπων κ.ο.κ. Για το λόγο αυτό οι σχετικές μονάδες στο network dataset είναι είτε χρόνου είτε μήκους ενώ η αναγωγή σε χρηματικό κόστος μπορεί να δηλωθεί αργότερα αφού δομηθεί το network dataset.
- **Περιγραφείς (*Descriptors*):** Πρόκειται για βοηθητικά στοιχεία του προβλήματος τα οποία χωρίς να αποτελούν τα ίδια παράμετροι κόστους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό σχετικών παραμέτρων.
- **Περιορισμοί (*Restrictions*):** Μέσω αυτών δηλώνονται οι ιδιαιτερότητες του πραγματικού δικτύου στο λογισμικό π.χ. πού υπάρχουν μονόδρομοι (*prohibit*), ποιοι δρόμοι είναι καλύτερα να αποφευχθούν (*avoid*) ή ακόμα και ποιοι είναι προτιμότερο να επιλεγθούν (*prefer*).
- **Ιεραρχία (*Hierarchy*):** Είναι χρήσιμη ώστε να δηλωθεί η κατάταξη του οδικού δικτύου (π.χ. αυτοκινητόδρομος, εθνική ή επαρχιακή οδός)

Για κάθε πεδίο που χρησιμοποιείται στο network dataset χρειάζεται να δηλωθεί και ένας αξιολογητής (*evaluator*) προκειμένου να αντληθούν οι τιμές εισόδου.[108J] Συνηθίζεται στην παράμετρο κόστους να δηλωθεί ως evaluator το αντίστοιχο πεδίο (*attribute*) του feature class εισόδου, το οποίο πρόκειται να συμβεί και εδώ στην παρούσα περίπτωση. Περαιτέρω, το δίκτυο του προβλήματος είναι αρκετά απλό (τροχιές υδροπλάνων που προσεγγιστικά θεωρούνται ευθύγραμμα τμήματα) και ως εκ τούτου δε θα χρησιμοποιηθούν περαιτέρω παράμετροι. Τέλος στο network dataset

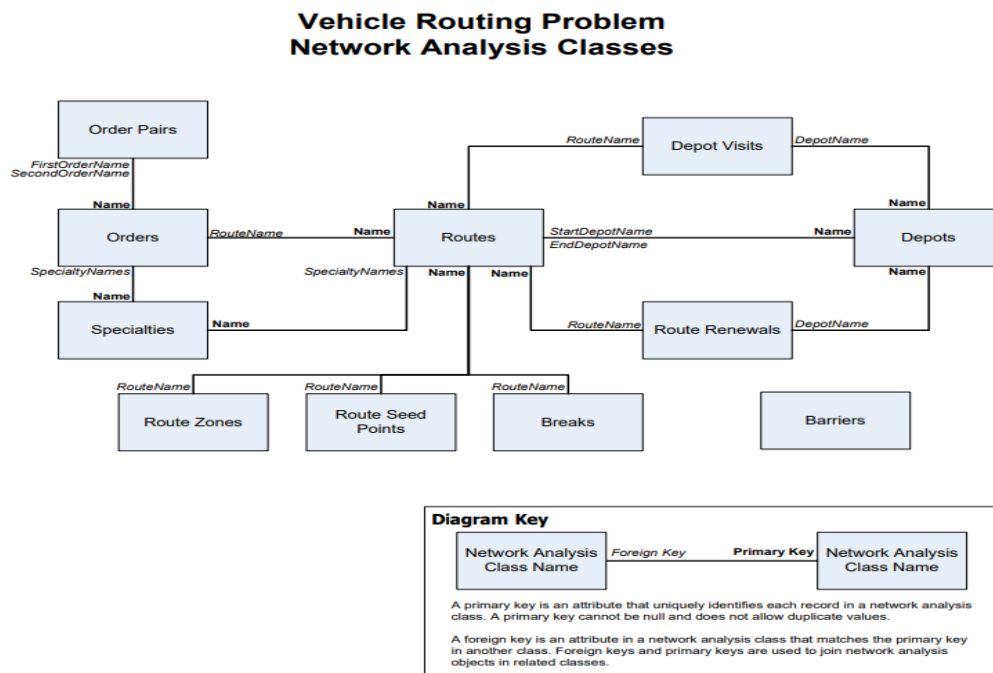
μπορούν να υπάρχουν και άλλες μεταβλητές εισόδου (υψόμετρα, μέσα μετακίνησης) και εξόδου (δόμηση πολυγώνου περιοχής μελέτης) οι οποίες στην παρούσα εργασία αγνοούνται. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, εκτός από το network dataset [το οποίο αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση θεματικού επιπέδου (*layer*) που δε διαθέτει πίνακα ιδιοτήτων (*attribute table*) ούτε μπορεί να εξαχθεί εκτός του λογισμικού]] δημιουργείται και ένα σημειακό shapefile με τους κόμβους (*junctions*) του δικτύου, εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα κυκλοφορίας [108K].

Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία του network dataset μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία καθορισμού και επίλυσης του προβλήματος, συγκεκριμένα εδώ του VRP.



Εικ. 3.17 Επιλογή επίλυσης προβλήματος VRP από Network Analyst

Στο παρακάτω διάγραμμα οντοτήτων απεικονίζονται οι κλάσεις που συγκροτούν το πρόβλημα όπως αυτές δομούνται στο ArcGIS και τη μεταξύ τους σχέση:



Εικ. 3.18 Κλάσεις VRP στο Network Analysis του ArcGIS [108L]

Όπως γίνεται φανερό, οι 3 βασικότερες χωρίς τις οποίες δε νοείται το πρόβλημα είναι οι *Orders* (Διαταγές), *Depots* (Αμαξοστάσια) και *Routes* (Οχήματα Δρομολόγησης). Επίσης πάντα ως κλάση μεταβλητών εξόδου εμφανίζεται και η *Depot Visits* (Αμαξοστάσια) που ελέγχει ότι κάθε όχημα-route συνδέεται με ένα τουλάχιστον αμαξοστάσιο-depot. Παρακάτω παρουσιάζονται, σύμφωνα με την ίδια τη δημιουργό του λογισμικού ESRI οι μεταβλητές εισόδου (*input*) και εξόδου (*output*) αυτών [108M]:

Πίν. 3.8α Κλάση διαταγών (*orders*) – στοιχεία εισόδου (*input*) [108M]

Input field	Description
ObjectID	The system-managed ID field.
Shape	The geometry field indicating the geographic location of the network analysis object.
Name	<p>The name of the network analysis object.</p> <p>The name must be unique.</p> <p>This field acts as a primary key and is used as a foreign key to refer to orders in the OrderPairs table. Order names are case insensitive and cannot be empty, even if the order is excluded from the solve operation.</p>
Description	The descriptive information about the order. This can contain any textual information for the order and has no restrictions for uniqueness. You may want to store a client's ID number in the Name field and the client's actual name or address in the Description field.
ServiceTime	<p>This property specifies how much time will be spent at the network location when the route visits it; that is, it stores the impedance value for the network location. A zero or null value indicates the network location requires no service time.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TimeWindowStart1	<p>The beginning time of the first time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates no beginning time.</p> <p>(See the note below this table of properties for more information.)</p>
TimeWindowEnd1	<p>The ending time of the first time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates no ending time.</p> <p>(See the note below this table of properties for more information.)</p>
TimeWindowStart2	<p>The beginning time of the second time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates that there is no second time window.</p> <p>If the first time window is null as specified by the TimeWindowStart1 and TimeWindowEnd1 fields, the second time window must also be null.</p> <p>If both time windows are nonnull, they can't overlap. Also, the second time window must occur after the first.</p> <p>(See the note below this table of properties for more information.)</p>
TimeWindowEnd2	<p>The ending time of the second time window for the network location. This field can contain a null value.</p> <p>When TimeWindowStart2 and TimeWindowEnd2 are both null, there is no second time window.</p> <p>When TimeWindowStart2 is not null but TimeWindowEnd2 is null, there is a second time window that has a starting time but no ending time. This is valid.</p> <p>(See the note below this table of properties for more information.)</p>

<p>MaxViolationTime1</p>	<p>A time window is considered violated if the arrival time occurs after the time window has ended. This field specifies the maximum allowable violation time for the first time window of the order. It can contain a zero value but can't contain negative values. A zero value indicates that a time window violation at the first time window of the order is unacceptable; that is, the first time window is hard. On the other hand, a null value indicates that there is no limit on the allowable violation time. A nonzero value specifies the maximum amount of lateness; for example, a route can arrive at an order up to 30 minutes beyond the end of its first time window.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p> <p>Time window violations can be tracked and weighted by the solver. Because of this, you can direct the VRP solver to take one of three approaches:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Minimize the overall violation time, regardless of the increase in travel cost for the fleet. ■ Find a solution that balances overall violation time and travel cost. ■ Ignore the overall violation time; instead, minimize the travel cost for the fleet. <p>By assigning an importance level for the Time Window Violation setting of the analysis layer, you are essentially choosing one of these three approaches. In any case, however, the solver will return an error if the value set for MaxViolationTime1 is surpassed.</p>
<p>MaxViolationTime2</p>	<p>The maximum allowable violation time for the second time window of the order. This field is analogous to the MaxViolationTime1 field.</p>
<p>InboundArriveTime</p>	<p>Defines when the item to be delivered to the order will be ready at the starting depot.</p> <p>The order can be assigned to a route only if the inbound arrive time precedes the route's latest start time value; this way, the route cannot leave the depot before the item is ready to be loaded onto it.</p> <p>This field can help model scenarios involving inbound-wave transshipments. For example, a job at an order requires special materials that are not currently available at the depot. The materials are being shipped from another location and will arrive at the depot at 11:00 a.m. To ensure a route that leaves before the shipment arrives isn't assigned to the order, the order's inbound arrive time is set to 11:00 a.m. The special materials arrive at 11:00 a.m., they are loaded onto the vehicle, and the vehicle departs from the depot to visit its assigned orders.</p> <p>Notes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ The route's start time, which includes service times, must occur after the inbound arrive time. If a route begins before an order's inbound arrive time, the order cannot be assigned to the route. The assignment is invalid even if the route has a start-depot service time that lasts until after the inbound arrive time. ■ This time field can contain a time-only value or a date and time value. If a time-only value is set (for example, 11:00 AM), the date is assumed to be the date specified by the Default Date property of the analysis layer. The default date is ignored, however, when any time field in Depots, Routes, Orders, or Breaks includes a date with the time. In that case, specify all such fields with a date and time (for example, 7/11/2015 11:00 AM). ■ The VRP solver honors InboundArriveTime regardless of the DeliveryQuantities value. ■ If an outbound depart time is also specified, its time value must occur after the inbound arrive time.

<p>OutboundDepartTime</p>	<p>Defines when the item to be picked up at the order must arrive at the ending depot.</p> <p>The order can be assigned to a route only if the route can visit the order and reach its end depot before the specified outbound depart time.</p> <p>This field can help model scenarios involving outbound-wave transshipments. For instance, a shipping company sends out delivery trucks to pick up packages from orders and bring them into a depot where they are forwarded on to other facilities, en route to their final destination. At 3:00 p.m. every day, a semitrailer stops at the depot to pick up the high-priority packages and take them directly to a central processing station. To avoid delaying the high-priority packages until the next day's 3:00 p.m. trip, the shipping company tries to have delivery trucks pick up the high-priority packages from orders and bring them to the depot before the 3:00 p.m. deadline. This is done by setting the outbound depart time to 3:00 p.m.</p> <p>Notes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ The route's end time, including service times, must occur before the outbound depart time. If a route reaches a depot but doesn't complete its end-depot service time prior to the order's outbound depart time, the order cannot be assigned to the route. ■ This time field can contain a time-only value or a date and time value. If a time-only value is set (for example, 11:00 AM), the date is assumed to be the date specified by the Default Date property of the analysis layer. The default date is ignored, however, when any time field in Depots, Routes, Orders, or Breaks includes a date with the time. In that case, specify all such fields with a date and time (for example, 7/11/2015 11:00 AM). ■ The VRP solver honors OutboundDepartTime regardless of the PickupQuantities value. ■ If an inbound arrive time is also specified, its time value must occur before the outbound depart time.
<p>DeliveryQuantities</p>	<p>The size of the delivery. You can specify size in any dimension you want, such as weight, volume, or quantity. You can even specify multiple dimensions, for example, weight and volume.</p> <p>If the order requires 2,000 pounds of goods, the Capacity Count parameter in the analysis layer's Layer Properties dialog box should be set to 1, and DeliveryQuantities should be set to 2000.</p> <p>If there are multiple capacities, as specified by the Capacity Count property of the analysis layer, the DeliveryQuantities values are separated by a space.</p> <p>For instance, when both weight and volume are known, the Capacity Count in the analysis layer's Layer Properties dialog box should be set to 2. If the order requires 2,000 pounds of goods, which occupy 100 cubic feet, DeliveryQuantities should be set to 2000 100.</p> <p>An empty string or null value is equivalent to all dimensions being zero. If the string has an insufficient number of values in relation to the capacity count, or dimensions being tracked, the remaining values are treated as zeros. Delivery quantities can't be negative.</p>
<p>PickupQuantities</p>	<p>The size of the pickup. You can specify size in any dimension you want, such as weight, volume, or quantity. You can even specify multiple dimensions, for example, weight and volume. You cannot, however, use negative values. This field is analogous to the DeliveryQuantities field of Orders.</p> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p>Note:</p> <p>In the case of an exchange visit, an order can have both delivery and pickup quantities.</p> </div>


<p>Revenue</p>	<p>The income generated if the order is included in a solution. This field can contain a null value—a null value indicates zero revenue—but it can't have a negative value.</p> <p>Revenue is included in optimizing the objective function value but is not part of the solution's operating cost. That is, the <code>TotalCost</code> field in the route class never includes revenue in its output; however, revenue weights the relative importance of servicing orders.</p>
<p>SpecialtyNames</p>	<p>A space-separated string containing the names of the specialties required by the order. A null value indicates that the order doesn't require specialties.</p> <p>This field is a foreign key to the <code>Name</code> field in the <code>Specialties</code> table. Specialty objects must exist before they will appear in the <code>SpecialtyNames</code> drop-down list. For instance, a lawn care company may need to service an order with a pesticide that requires an applicator license. The company could create a <code>Specialty</code> object named <code>License</code> and set this property to <code>License</code>.</p>
<p>AssignmentRule</p>	<p>This field specifies the rule for assigning the order to a route. It is constrained by a domain of values, which are listed below (their coded values are shown in parentheses).</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Exclude (0)—The order is to be excluded from the subsequent solve operation. ■ Preserve route and relative sequence (1)—The solver must always assign the order to the preassigned route and at the preassigned relative sequence during the solve operation. If this assignment rule can't be followed, it results in an order violation. With this setting, only the relative sequence is maintained, not the absolute sequence. To illustrate what this means, imagine there are two orders: A and B. They have sequence values of 2 and 3, respectively. If you set their <code>AssignmentRule</code> field values to <code>Preserve route and relative sequence</code>, A's and B's actual sequence values may change after solving because other orders, breaks, and depot visits could still be sequenced before, between, or after A and B. However, B cannot be sequenced before A. ■ Preserve route (2)—The solver must always assign the order to the preassigned route during the solve operation. A valid sequence must also be set even though the sequence may or may not be preserved. If the order can't be assigned to the specified route, it results in an order violation. ■ Override (3)—The solver ignores the route and sequence preassignment (if any) for the order during the solve operation. It assigns a route and sequence to the order so as to minimize the overall value of the objective function. This is the default value. ■ Anchor first (4)—The solver ignores the route and sequence preassignment (if any) for the order during the solve operation. It assigns a route to the order, and makes it the first order on that route, so as to minimize the overall value of the objective function. ■ Anchor last (5)—The solver ignores the route and sequence preassignment (if any) for the order during the solve operation. It assigns a route to the order, and makes it the last order on that route, so as to minimize the overall value of the objective function. <p>This field can't contain a null value.</p>
<p>Network location fields</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ <code>SourceID</code> ■ <code>SourceOID</code> ■ <code>PosAlong</code> ■ <code>SideOfEdge</code> 	<p>Together, these four properties describe the point on the network where the object is located.</p> <p>Learn more about network location fields</p>

CurbApproach	<p>The CurbApproach property specifies the direction a vehicle may arrive at and depart from the network location. There are four choices (their coded values are shown in parentheses):</p> <ul style="list-style-type: none">■ Either side of vehicle (0)—The vehicle can approach and depart the network location in either direction. U-turns are allowed. You should choose this setting if your vehicle can make a U-turn at the stop or if it can pull into a driveway or parking lot and turn around.■ Right side of vehicle (1)—When the vehicle approaches and departs the network location, the curb must be on the right side of the vehicle. A U-turn is prohibited.■ Left side of vehicle (2)—When the vehicle approaches and departs the network location, the curb must be on the left side of the vehicle. A U-turn is prohibited.■ No U-Turn (3)—When the vehicle approaches the network location, the curb can be on either side of the vehicle; however, the vehicle must depart without turning around. <p>Learn more about U-turn policies</p>
--------------	--

Πίν. 3.8β Κλάση διαταγών (*orders*) – στοιχεία εισόδου/εξόδου (*input/output*)
[108M]

Input/Output field	Description
RouteName	<p>The name of the route to which the order is assigned.</p> <p>As an input field, this field is used to preassign an order to a specific route. It can contain a null value, indicating that the order is not preassigned to any route, and the solver determines the best possible route assignment for the order. If this is set to null, the sequence field must also be set to null.</p> <p>The RouteName field is a foreign key to the Name field in the Routes class. Route objects must exist before they will appear in the RouteName list.</p> <p>After a solve operation, if the order is routed, the RouteName field contains the name of the route that the order is assigned to.</p>
Sequence	<p>This indicates the sequence of the order on its assigned route.</p> <p>As an input field, this field is used to specify the relative sequence for an order on the route. This field can contain a null value specifying that the order can be placed anywhere along the route. A null value can only occur together with a null RouteName value.</p> <p>The input sequence values are non-negative and unique for each route (shared across depot visits, orders, and breaks), but do not need to start from 0 or be contiguous.</p> <p>After a solve operation, the Sequence field contains the sequence value of the order on its assigned route. Output sequence values for a route are shared across depot visits, orders, and breaks; start from 1 (at the starting depot); and are consecutive. So the smallest possible output sequence value for a routed order is 2, since a route always begins at a depot.</p>
Status	<p>This field is constrained by a domain of values, which are listed below (their coded values are shown in parentheses).</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ OK (0)—The network location is valid. ■ Not located (1)—The location on the network can't be determined. ■ Network element not located (2)—The network element that the network location is supposed to be on can't be found. This can occur when a network edge is deleted and the network location is not recalculated. <p>After a solve operation, the status can be modified using one of the following status values:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ OK (0)—The network location was successfully evaluated. ■ Element not traversable (3)—The network element that the network location is on is not traversable. This can occur when the network element is restricted by a restriction attribute. ■ Invalid field values (4)—The field values of the network location fall outside the analysis layer's coded or range domains. For example, a negative number may exist where positive numbers are required. ■ Not reached (5)—The network location can't be arrived at by the solver. <p>If time windows are used and the route arrives early or late, the value changes to Time window violation (6).</p>

Πίν. 3.8γ Κλάση διαταγών (*orders*) – στοιχεία εξόδου (*output*) [108M]

Output field	Description
ViolatedConstraints	<p>This field contains a summary of violated constraints and is set after a solve operation. A combination of one or more of the violations listed below could be assigned to the field if assigning the order to any of the routes would cause a constraint to be violated.</p> <div data-bbox="512 383 1161 595" style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p> Dive-in:</p> <p>The coded value that represents the text description is shown in the list below in parentheses. Notice that the coded values are part of a geometric sequence that increases by doubling the last value. This allows various combinations of violations to be coded. For instance, the combination of Capacities exceeded (2) and Hard route zone (128) is coded as 130 (2 + 128).</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ■ MaxOrderCount exceeded (1)—The order can't be assigned to a route since the assignment would exceed the route's MaxOrderCount field value. If the maximum order count is exceeded, the solution is still generated, but it will leave some orders unserved. In this case, the VRP solver includes the largest number of orders possible given the constraints. ■ Capacities exceeded (2)—The order can't be assigned to a route since assigning the order would exceed the route's Capacities field value. ■ MaxTotalTime exceeded (4)—The order can't be assigned to a route since assigning the order would exceed the route's MaxTotalTime field value. ■ MaxTotalTravelTime exceeded (8)—The order can't be assigned to a route since assigning the order would exceed the route's MaxTotalTravelTime field value. ■ MaxTotalDistance exceeded (16)—The order can't be assigned to a route since assigning the order would exceed the route's MaxTotalDistance field value. ■ Hard time window (32)—The order has a hard time window and can't be assigned to a route without encountering a time window violation. (A hard time window is specified by assigning a value of 0 to the MaxViolationTime1 or MaxViolationTime2 field.) ■ Unmatched specialty (64)—The specialties required by the order are not found on the target route. ■ Hard route zone (128)—The order does not fall within a hard route zone. If all the routes have hard route zones and an order falls outside a zone, the order is assigned this violated constraint. ■ Order pair MaxTransitTime exceeded (256)—The order belongs to an order pair, and assigning the order would exceed the maximum transit time as specified by the order pair's MaxTransitTime field value. ■ Order pair violation (512)—An order belongs to an order pair and can't be assigned to a route because the other order has some violation. For example, suppose orders O1 and O2 are paired, and order O1 is located on a network element with negative impedances, but there are no violation issues with order O2. The solver returns Unreachable for order O1 and Order pair violation for O2, since both orders can't be assigned to a route. ■ Unreachable (1024)—The order is located on a network element that cannot be reached by any routes. This is often caused by an order being located on a disjoint portion of the network. ■ Cannot insert required break (2048)—A break for the route has a null sequence value in the presence of preassigned orders, and the break can't be inserted anywhere without introducing other violations. ■ Cannot insert required renewal (4096)—A route exceeds its capacity and needs to visit a route renewal; however, the associated route renewal has a null sequence value in the presence of preassigned orders and can't be inserted anywhere without introducing other violations. ■ MaxTravelTimeBetweenBreaks exceeded (8192)—The solver was unable to insert a break within the time specified by the break's MaxTravelTimeBetweenBreaks field. This is often caused by preassigning a sequence to a break such that it can't be reached within the maximum travel time. ■ Break MaxCumulWorkTime exceeded (16384)—The solver was unable to insert a break within the time specified by the break's MaxCumulWorkTime field. This is often caused by preassigning a sequence to a break such that it can't be reached within the maximum work time. ■ InboundArriveTime or OutboundDepartTime order violation (32768)—The order couldn't be serviced within the inbound arrive time or output depart time constraints. This violation occurs when all the routes' LatestStartTime field values precede the InboundArriveTime values or none of the routes can reach a depot before the order's

	<p>increase in the time value of items on the route can result in a negative value for the OutboundDepartTime value.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Cannot anchor first/last (65536)— The order has an Anchor first or Anchor last assignment rule, but the solver was not able to honor this constraint. This violation occurs when the number of Anchor first orders or the number of Anchor last orders is greater than the number of available routes. <p>Learn more about troubleshooting network analyses</p> <div style="border: 1px solid #ccc; background-color: #f9f9f9; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p>Note:</p> <p>The ViolatedConstraints value of an unrouted order may or may not describe all its violations. If the violation is severe enough to immediately exclude the order from further consideration, the solver does so, which prevents any other violations from being discovered for that order. If a violation is encountered that doesn't automatically stop a solution from being generated, the violation is noted in ViolatedConstraints, and the solver continues to consider the order. Any further violations like these are added to the ViolatedConstraints field until either (a) the solver finds a violation that prematurely stops the solve process for that particular order, or (b) the solver finds an overall solution to the problem.</p> </div>
FromPrevTravelTime	<p>The travel time from the preceding visit on the route to the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
FromPrevDistance	<p>The travel distance from the preceding visit on the route to the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer. This field is null if the Distance Attribute property is not specified in analysis parameters.</p>
CumulTravelTime	<p>The cumulative travel time for the route up to arrival at the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
CumulDistance	<p>The cumulative travel distance for the route up to arrival at the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer. This field is null if the Distance Attribute property is not specified in analysis parameters.</p>
CumulTime	<p>The cumulative route duration up to and including the order. The cumulative duration includes travel times as well as service and wait times at orders.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
ArriveCurbApproach	<p>Indicates which side of the vehicle the curb is on when the vehicle approaches the network location. If the network location's CurbApproach value is set to Right side of vehicle, the ArriveCurbApproach after solving is Right side of vehicle. However, if the CurbApproach value is set to Either side of vehicle or No U-Turn, the ArriveCurbApproach could be on the right or left side depending on which produces the overall shortest path.</p>

DepartCurbApproach	<p>Indicates which side of the vehicle the curb is on when the vehicle departs the network location. If the network location's CurbApproach value is set to Right side of vehicle, the DepartCurbApproach after solving is Right side of vehicle. However, if the CurbApproach value is set to Either side of vehicle or No U-Turn, the DepartCurbApproach could be on the right or left side depending on which produces the overall shortest path.</p>
ArriveTime	<p>The date and time value indicating the arrival time at the order.</p> <p>The route may arrive at the order before the beginning of one of the order's time windows, in which case there is a wait time at the order. For an order with soft time windows, the route may also arrive at the order after the end of one of the time windows, in which case there is a violation time at the order.</p> <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is taken from the network element on which the order is located.</p>
DepartTime	<p>The date and time value indicating the departure time from the order. The route departs from the order upon completion of service.</p> <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is taken from the network element on which the order is located.</p>
ArriveTimeUTC	<p>The date and time value indicating the arrival time in Coordinated Universal Time (UTC) at the order.</p>
DepartTimeUTC	<p>The date and time value indicating the departure time in Coordinated Universal Time (UTC) from the order. The route departs from the order upon completion of service.</p>
WaitTime	<p>The wait time or layover at the order. For example, you get a wait time value if a route must wait at the order for a time window to open.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
ViolationTime	<p>The amount of time elapsed between the end of the order's time window and the arrival of the route vehicle.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
CumulWaitTime	<p>The cumulative wait time from the beginning of the route up to and including the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
CumulViolationTime	<p>The cumulative violation time from the beginning of the route up to and including the order.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>

Πίν. 3.9α Κλάση αμαξοστασίων (*depots*) – στοιχεία εισόδου (*input*) [108M]

Input fields of Depots

Input field	Description
ObjectID	The system-managed ID field.
Shape	The geometry field indicating the geographic location of the network analysis object.
Name	The name of the network analysis object. This field is a primary key and is used as a foreign key in the Routes feature layer, RouteRenewals table, and Depot Visits feature layer to refer to depots. Depot names are case insensitive and have to be nonempty and unique.
Description	The descriptive information about the network analysis object. This can contain any textual information and has no restrictions for uniqueness. Perhaps you want to note what region a depot is in or the depot's address and telephone number; you could enter this information here rather than in the Name field.
TimeWindowStart1	The beginning time of the first time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates no beginning time. (See the note below this table of properties for more information.)
TimeWindowEnd1	The ending time of the first time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates no ending time. (See the note below this table of properties for more information.)
TimeWindowStart2	The beginning time of the second time window for the network location. This field can contain a null value; a null value indicates that there is no second time window. If the first time window is null as specified by the TimeWindowStart1 and TimeWindowEnd1 fields, the second time window must also be null. If both time windows are nonnull, they can't overlap. Also, the second time window must occur after the first. (See the note below this table of properties for more information.)
TimeWindowEnd2	The ending time of the second time window for the network location. This field can contain a null value. When TimeWindowStart2 and TimeWindowEnd2 are both null, there is no second time window. When TimeWindowStart2 is not null but TimeWindowEnd2 is null, there is a second time window that has a starting time but no ending time. This is valid. (See the note below this table of properties for more information.)
Network location fields <ul style="list-style-type: none"> ■ SourceID ■ SourceOID ■ PosAlong ■ SideOfEdge 	Together, these four properties describe the point on the network where the object is located. Learn more about network location fields


CurbApproach	<p>The CurbApproach property specifies the direction from which a vehicle may arrive at and depart from the depot. It is useful for vehicles that need to approach and depart a depot from a specific direction or avoid making U-turns. You can accommodate these requirements by choosing one of the following four values for CurbApproach:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Either side of vehicle (0)—The vehicle can approach and depart the network location in either direction. U-turns are allowed. You should choose this setting if your vehicle can make a U-turn at the stop or if it can pull into a driveway or parking lot and turn around. ■ Right side of vehicle (1)—When the vehicle approaches and departs the network location, the curb must be on the right side of the vehicle. A U-turn is prohibited. ■ Left side of vehicle (2)—When the vehicle approaches and departs the network location, the curb must be on the left side of the vehicle. A U-turn is prohibited. ■ No U-Turn (3)—This option is not allowed with depots. An error message is returned during the solve process if No U-Turn is used. Nonetheless, U-turns can still be avoided by choosing Right or Left side of vehicle. <p>Learn more about U-turn policies</p>
--------------	---

Πίν. 3.9β Κλάση αμαξοστασίων (*depots*) – στοιχεία εισόδου/εξόδου (*input/output*)
[108M]

Input/Output fields of Depots

Input/Output field	Description
Status	<p>This field is constrained by a domain of values, which are listed below (their coded values are shown in parentheses).</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ OK (0)—The network location is valid. ■ Not located (1)—The location on the network can't be determined. ■ Network element not located (2)—The network element that the network location is supposed to be on can't be found. This can occur when a network edge is deleted and the network location is not recalculated. <p>After a solve operation, the status can be modified using one of the following status values:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ OK (0)—The network location was successfully evaluated. ■ Element not traversable (3)—The network element that the network location is on is not traversable. This can occur when the network element is restricted by a restriction attribute. ■ Invalid field values (4)—The field values of the network location fall outside the analysis layer's coded or range domains. For example, a negative number may exist where positive numbers are required. ■ Not reached (5)—The network location can't be arrived at by the solver. <p>If time windows are used and the routed vehicle arrives early or late, the value changes to Time window violation (6).</p>

Input fields of Routes

Input field	Description
ObjectID	The system-managed ID field.
Name	<p>The name of the network analysis object.</p> <p>This field is the primary key and is used as a foreign key in the Orders feature layer, Breaks table, Route Zones feature layer, Route Seed Points feature layer, Route Renewals table, and Depot Visits feature layer. Route names are case insensitive and cannot be empty, even if the route is not part of the solve operation. The name must be unique.</p>
Description	The descriptive information about the network analysis object. This can contain any textual information and has no restrictions for uniqueness.
StartDepotName	<p>The name of the starting depot for the route. This field is a foreign key to the Name field in the Depots class. Depot objects must exist before they will appear in the StartDepotName drop-down list.</p> <p>If the StartDepotName value is null, the route will begin from the first order assigned. Omitting the start depot is useful when the vehicle's starting location is unknown or irrelevant to your problem. However, when StartDepotName is null, EndDepotName cannot also be null.</p> <p>Virtual start depots are not allowed if orders/depots are in multiple time zones</p> <p>If the route is making deliveries and StartDepotName is null, it is assumed the cargo is loaded on the vehicle at a virtual depot before the route begins. For a route that has no renewal visits, its delivery orders (those with nonzero DeliveryQuantities values in the Orders class) are loaded at the start depot or virtual depot. For a route that has renewal visits, only the delivery orders before the first renewal visit are loaded at the start depot or virtual depot.</p>
EndDepotName	The name of the ending depot for the route. This field is a foreign key to the Name field in the Depots class. Depot objects must exist before they will appear in the EndDepotName drop-down list.
StartDepotServiceTime	<p>The service time at the starting depot. This can be used to model the time spent for loading the vehicle. This field can contain a null value; a null value indicates zero service time.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p> <div style="background-color: #f0f0f0; padding: 5px; border: 1px solid #ccc;"> <p> Note:</p> <p>The service times at the start and end depots are fixed values (given by the StartDepotServiceTime and EndDepotServiceTime field values) and do not take into account the actual load for a route. For example, the time taken to load a vehicle at the starting depot may depend on the size of the orders. As such, the depot service times could be given values corresponding to a full truckload or an average truckload, or you could make your own time estimate.</p> </div>


Πίν. 3.10α Κλάση οχημάτων δρομολόγησης (*routes*) – στοιχεία εισόδου (*input*) [108Μ]

<p>EndDepotServiceTime</p>	<p>The service time at the ending depot. This can be used to model the time spent for unloading the vehicle. This field can contain a null value; a null value indicates zero service time.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>Note:</p> <p>The service times at the start and end depots are fixed values (given by the StartDepotServiceTime and EndDepotServiceTime field values) and do not take into account the actual load for a route. For example, the time taken to load a vehicle at the starting depot may depend on the size of the orders. As such, the depot service times could be given values corresponding to a full truckload or an average truckload, or you could make your own time estimate.</p> </div>
<p>EarliestStartTime</p>	<p>The earliest allowable starting time for the route. This is used by the solver in conjunction with the time window of the starting depot for determining feasible route start times.</p> <p>This field can't contain null values and has a default time-only value of 8:00 AM; the default value is interpreted as 8:00 a.m. on the date given by the Default Date property of the analysis layer.</p> <p>The default date is ignored when any time window field includes a date with the time. To avoid an error in this situation, format all time windows in Depots, Routes, Orders, and Breaks to also include the date with the time.</p> <p>When using network datasets with traffic data across multiple time zones, the time zone for EarliestStartTime is the same as the time zone of the edge or junction on which the starting depot is located.</p>
<p>LatestStartTime</p>	<p>The latest allowable starting time for the route. This field can't contain null values and has a default time-only value of 10:00 AM; the default value is interpreted as 10:00 a.m. on the date given by the Default Date property of the analysis layer.</p> <p>The default date is ignored when any time window field includes a date with the time. To avoid an error in this situation, format all time windows in Depots, Routes, Orders, and Breaks to also include the date with the time.</p> <p>When using network datasets with traffic data across multiple time zones, the time zone for LatestStartTime is the same as the time zone of the edge or junction on which the starting depot is located.</p>
<p>ArriveDepartDelay</p>	<p>This field stores the amount of travel time needed to accelerate the vehicle to normal travel speeds, decelerate it to a stop, and move it off and on the network (for example, in and out of parking). By including an ArriveDepartDelay value, the VRP solver is deterred from sending many routes to service physically coincident orders.</p> <p>The cost for this property is incurred between visits to noncoincident orders, depots, and route renewals. For example, when a route starts from a depot and visits the first order, the total arrive/depart delay is added to the travel time. The same is true when traveling from the first order to the second order. If the second and third orders are coincident, the ArriveDepartDelay value is not added between them since the vehicle doesn't need to move. If the route travels to a route renewal, the value is added to the travel time again. Although a vehicle needs to slow down and stop for a break and accelerate afterwards, the VRP solver cannot add the ArriveDepartDelay value for breaks. This means that if a route leaves an order, stops for a break, and continues to the next order, the arrive/depart delay is added only once, not twice.</p>

<p>Capacities</p>	<p>The maximum amount (for instance, volume, weight, quantity) that can be carried by the vehicle. If a vehicle can carry a maximum of 40,000 pounds, Capacity Count on the Layer Properties dialog box of the analysis layer should be set to 1, and Capacities should be set to 40000. Similarly, if a vehicle can carry 1,000 cubic feet, Capacity Count should be set to 1, and Capacities should be set to 1000.</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <p>⚠ Caution:</p> <p>The VRP solver only performs a simple Boolean test to determine whether capacities are exceeded. If a route's capacity value is greater than or equal to the total quantity being carried, the VRP solver will assume the cargo fits in the vehicle. This could be incorrect, depending on the actual shape of the cargo and the vehicle. For example, the VRP solver allows you to fit a 1,000-cubic-foot sphere into a 1,000-cubic-foot truck that is 8 feet wide. In reality, however, since the sphere is 12.6 feet in diameter, it won't fit in the 8-foot-wide truck.</p> </div> <p>If there are multiple capacities, as specified by the Capacity Count parameter of the analysis layer, the values of Capacities are separated by a space. For instance, when both the maximum weight and volume of the vehicle are used, Capacity Count on the Layer Properties dialog box of the analysis layer should be set to 2; if the vehicle can carry a weight of 40,000 pounds and a volume of 2,000 cubic feet, Capacities should be set to 40000 2000.</p> <p>An empty string or null value is equivalent to all values being zero. Capacity values can't be negative.</p> <p>If the Capacities string has an insufficient number of values in relation to the capacity count, the remaining values are treated as zero.</p>
<p>FixedCost</p>	<p>A fixed monetary cost that is incurred only if the route is used in a solution (that is, it has orders assigned to it). This field can contain null values; a null value indicates zero fixed cost. This cost is part of the total route operating cost.</p>
<p>CostPerUnitTime</p>	<p>The monetary cost incurred—per unit of work time—for the total route duration, including travel times as well as service times and wait times at orders, depots, and breaks. This field can't contain a null value and has a default value of 1.0.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
<p>CostPerUnitDistance</p>	<p>The monetary cost incurred—per unit of distance traveled—for the route length (total travel distance). This field can contain null values; a null value indicates zero cost.</p> <p>The distance unit is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer.</p> <p>The solver will return an error if this field is given a value and the Distance Attribute property is not specified for the analysis layer.</p>
<p>OvertimeStartTime</p>	<p>The duration of regular work time before overtime computation begins. This field can contain null values; a null value indicates that overtime does not apply.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p> <p>For example, if the driver is to be paid overtime pay when the total route duration extends beyond eight hours, OvertimeStartTime is specified as 8 if the Time Field Units property of the analysis layer is set to Hours.</p>

CostPerUnitOvertime	The monetary cost incurred per time unit of overtime work. This can only contain a null value if OvertimeStartTime is also null. Otherwise it must be a positive value greater than the CostPerUnitTime .
MaxOrderCount	The maximum allowable number of orders on the route. This field can't contain null values and has a default value of 30.
MaxTotalTime	<p>The maximum allowable route duration. The route duration includes travel times as well as service and wait times at orders, depots, and breaks. This field can contain null values; a null value indicates that there is no constraint on the route duration.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
MaxTotalTravelTime	<p>The maximum allowable travel time for the route. The travel time includes only the time spent driving on the network and does not include service or wait times.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p> <p>This field can contain null values; a null value indicates there is no constraint on the maximum allowable travel time. This field value can't be larger than the MaxTotalTime field value.</p>
MaxTotalDistance	<p>The maximum allowable travel distance for the route.</p> <p>The unit for the total distance is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer.</p> <p>This field can contain null values; a null value indicates that there is no constraint on the maximum allowable travel distance.</p> <p>The solver will return an error if this field is given a value and the Distance Attribute property is not specified for the analysis layer.</p>
SpecialtyNames	A space-separated string containing the names of the specialties supported by the route. A null value indicates that the route does not support any specialties. This field is a foreign key to the Name field in the Specialties table. Specialty objects must exist before they will appear in the SpecialtyNames list.
AssignmentRule	<p>This specifies whether or not the route can be used when solving the problem. This field is constrained by a domain of values, and the possible values are the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Include—The route is included in the solve operation. This is the default value. ■ Exclude—The route is excluded from the solve operation.

Πίν. 3.10β Κλάση οχημάτων δρομολόγησης (*routes*) – στοιχεία εξόδου (*output*) [108Μ]

Output field	Description
Shape	<p>The line shape of the route. If the Output Shape Type property of the analysis layer is set to None, no shape is returned. Setting the Output Shape Type property to Straight Line returns straight route lines that connect each pair of consecutive visits. True Shape with measures and True Shape both return lines that trace their corresponding routes on the network, the difference being that True Shape with measures returns a line that is already linearly referenced by time.</p>
ViolatedConstraints	<p>This field contains a summary of violated constraints and is set after a solve operation. If a route causes a constraint to be violated, a combination of one or more of the violations listed below could be assigned to the field.</p> <div data-bbox="518 611 1161 824" style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p> Dive-in:</p> <p>The coded value that represents the text description is shown in the list below in parentheses. Notice that the coded values are part of a geometric sequence that increases by doubling the last value. This allows various combinations of violations to be coded. For instance, the combination of Capacities exceeded (2) and Hard route zone (128) is coded as 130 (2 + 128).</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ■ MaxOrderCount exceeded (1)—The preassigned orders can't be assigned to the route since assigning the orders would exceed the maximum number of orders that can be assigned to the route as specified by the route's MaxOrderCount field value. ■ Capacities exceeded (2)—The preassigned orders can't be assigned to the route since assigning the orders would exceed the total route capacity as specified by the route's Capacities field value. ■ MaxTotalTime exceeded (4)—The travel time from the start depot to the end depot plus the service and wait times at both depots and any break exceeds the total time for the route as specified by the route's MaxTotalTime field value. ■ MaxTotalTravelTime exceeded (8)—The travel time from the start depot to the end depot exceeds the total travel time for the route as specified by the route's MaxTotalTravelTime field value. ■ MaxTotalDistance exceeded (16)—The travel distance from the start depot to the end depot exceeds the total travel distance for the route as specified by the route's MaxTotalDistance field value. ■ Hard time window (32)—There is a hard time window violation on the start depot, end depot, or break associated with the route. ■ Unmatched specialty (64)—The specialties required by an order are not found on the target route. ■ Hard route zone (128)—An order that was preassigned to the route does not fall within a hard route zone. ■ Order pair MaxTransitTime exceeded (256)—There is an order pair preassigned to the route, and assigning the orders in the order pair would exceed the maximum transit time for the order pair as specified by the order pair's MaxTransitTime field value. ■ Order pair violation (512)—An order belongs to an order pair and can't be assigned to the preassigned route. ■ Unreachable (1024)—A preassigned order is located on a network element that cannot be reached by the route. ■ Cannot insert required break (2048)—A break for the route has a null sequence value in the presence of preassigned orders, and the break can't be inserted anywhere without introducing other violations. ■ Cannot insert required renewal (4096)—A route exceeds its capacity and needs to visit a route renewal; however, the associated route renewal has a null sequence value in the presence of preassigned orders and can't be inserted anywhere without introducing other violations. ■ MaxTravelTimeBetweenBreaks exceeded (8192)—The solver was unable to insert a break within the time specified by the break's MaxTravelTimeBetweenBreaks field. This is often caused by preassigning a sequence to a break such that it can't be reached within the maximum travel time. ■ Break MaxCumulWorkTime exceeded (16384)—The solver was unable to insert a break within the time specified by the break's MaxCumulWorkTime field. This is often caused by preassigning a sequence to a break such that it can't be reached within the maximum work time.

OrderCount	The number of orders assigned to the route.
TotalCost	The total operating cost of the route, which is the sum of the following field values: <ul style="list-style-type: none"> ■ FixedCost ■ RegularTimeCost ■ OvertimeCost ■ DistanceCost
RegularTimeCost	The cost of regular work time, excluding any unpaid breaks.
OvertimeCost	The cost of overtime work, excluding any unpaid breaks.
DistanceCost	The distance cost component obtained by multiplying the TotalDistance and CostPerUnitDistance field values. This field value is null if the Distance Attribute property is not specified for the analysis layer.
TotalTime	The total route duration. This includes travel times as well as service and wait times at orders, depots, and breaks. The TotalTime value is the sum of the following field values: <ul style="list-style-type: none"> ■ StartDepotServiceTime ■ EndDepotServiceTime ■ TotalOrderServiceTime ■ TotalBreakServiceTime ■ TotalRenewalServiceTime ■ TotalWaitTime ■ TotalTravelTime <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalOrderServiceTime	The total service time spent at all orders on the route. <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalBreakServiceTime	The total service time spent at all breaks on the route. <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalTravelTime	The total travel time for the route. <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalDistance	The total travel distance for the route. <p>The unit for this field value is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer. This field is null if the Distance Attribute property is not specified in analysis parameters.</p>
StartTime	The starting time of the route. The route may start before the beginning of its start depot's time window, in which case there is a wait time at the starting depot. <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is taken from the network element that the starting depot is located on.</p>


EndTime	<p>The ending time of the route. The route ends upon completion of service at the ending depot.</p> <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is taken from the network element that the ending depot is located on.</p>
StartTimeUTC	The start time of the route in Coordinated Universal Time (UTC).
EndTimeUTC	The end time of the route in Coordinated Universal Time (UTC).
TotalWaitTime	<p>The total wait time at all orders, depots, and breaks on the route.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalViolationTime	<p>The total violation time at all orders and breaks on the route.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
RenewalCount	For a route with renewals, this is equal to the number of visits to depots for renewing.
TotalRenewalServiceTime	<p>For a route with renewals, the total service time spent at all renewal visits on the route.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>

Πίν. 3.10γ Κλάση επισκέψεων στα αμαξοστάσια (*depot visits*) – στοιχεία εξόδου (*output*) [108Μ]

Output fields of Depot Visits

Output field	Description
ObjectID	The system-managed ID field.
Shape	The geometry field indicating the geographic location of the network analysis object.
DepotName	The name of the visited depot. This field is a foreign key to the Name field in the Depots network analysis class. If the route uses a virtual depot, which means the route starts or ends at an order instead of a depot, DepotName is null.
RouteName	The name of the route containing this visit. This field is a foreign key to the Name field in the Routes feature layer.
Sequence	Indicates the sequence of the visited depot on the route. The output sequence values for a route are shared across depot visits, orders, and breaks; start from 1 (at the starting depot); and are consecutive.
VisitType	The reason this depot was visited. This field is constrained by a domain of values: <ul style="list-style-type: none"> ■ Start depot ■ End depot ■ Renewal depot
ServiceTime	The service time (such as loading or unloading) at the depot. The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.
FromPrevTravelTime	The travel time from the preceding visit on the route to the depot. The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.
FromPrevDistance	The travel distance from the preceding visit on the route to the depot. The unit for this field value is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer. This field is null if the Distance Attribute property is not specified in analysis parameters.
CumulTravelTime	The cumulative travel time for the route up to the arrival at this depot. The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.
CumulDistance	The cumulative travel distance for the route up to the arrival at this depot. The unit for this field value is specified by the Distance Field Units property of the analysis layer. This field is null if the Distance Attribute property is not specified in analysis parameters.
CumulTime	The cumulative route duration up to and including the depot. The cumulative duration includes travel times as well as service and wait times at orders, depots, and breaks. The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.

ArriveTime	<p>The arrival time at the depot. The route may arrive at the depot before the beginning of the depot's time window, in which case there is wait time at the depot.</p> <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is the same as the network element that the depot is located on.</p>
DepartTime	<p>The departure time from the depot.</p> <p>When using traffic data that covers multiple time zones, the time zone for this time-of-day value is the same as the network element that the depot is located on.</p>
ArriveTimeUTC	The date and time value indicating the arrival time in Coordinated Universal Time (UTC) at the depot.
DepartTimeUTC	The date and time value indicating the departure time in Coordinated Universal Time (UTC) from the depot.
WaitTime	<p>The wait time at the depot.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
CumulWaitTime	<p>The cumulative wait time from the beginning of the route up to and including the depot.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
CumulViolationTime	<p>The cumulative violation time from the beginning of the route up to and including the depot.</p> <p>The unit for this field value is specified by the Time Field Units property of the analysis layer.</p>
TotalLoadedQuantities	The amount (for instance, volume, weight, quantity) being loaded at the depot. If there are multiple capacities, as specified by the Capacity Count property of the analysis layer, they are separated by a space. For example, in case of deliveries, the value for the TotalLoadedQuantities field indicates the actual quantity of goods delivered by the vehicle before returning to a depot. This value is less than or equal to the Capacities field value for a given route, indicating that the route performs one truckload of deliveries.
TotalUnloadedQuantities	The amount (for example, volume, weight, quantity) being unloaded at the depot. If there are multiple capacities, as specified by the Capacity Count property of the analysis layer, they are separated by a space. For example, in case of pickups or routes with renewals, the value for the TotalUnloadedQuantities field indicates the actual quantity of goods picked up by the vehicle and brought to the depot. This value is less than or equal to the Capacities field value for a given route, indicating that the route performs one truckload of pickups.

 **Note:** There is no ViolationTime output field on the Depot Visits feature layer since depots have hard time windows.

Για το παρόν πρόβλημα όπως αρχικά είχε αντιμετωπιστεί στην εργασία (Πασχαλίδης, 2020)[0], ως *orders* λαμβάνονται υπόψιν τα κεντρικά και περιφερειακά **υδατοδρόμια προορισμού**, ως *depots* τα **μητροπολιτικά υδατοδρόμια** Πειραιά και Θεσσαλονίκης

και ως *routes* τα **αεροσκάφη** που θα αναλάβουν να εκτελέσουν τα δρομολόγια. Στο κεφ.4 που ακολουθεί θα πραγματοποιηθεί μια ανασκόπηση του προβλήματος μαζί με τα αριθμητικά δεδομένα που πρέπει να επεξεργαστούν στο Microsoft Excel ώστε να αποτελέσουν το *input* στο ArcGIS.

Πίν. 3.11 Αντιστοίχιση κλάσεων ArcGIS και στοιχείων του προβλήματος

Κλάση στο ArcGIS	Στοιχείο Προβλήματος
orders	Υδατοδρόμια προορισμού
depots	Υδατοδρόμια αφετηρίας(Πειραιά/Θεσσαλονίκης)
routes	Στόλος Υδροπλάνων

4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

4.1 Γενικά Στοιχεία

Το δίκτυο των διαδρομών που θα εξεταστεί ως παράδειγμα εφαρμογής παραμένει το ίδιο που χρησιμοποιήσε ο Μ. Παγωνάκης στη διπλωματική του εργασία το 2016 [1] και υιοθετήθηκε και από το γράφοντα το 2020 [0]. Μέχρι σήμερα, δεδομένης και της πανδημίας της Covid-19 δεν υπήρξαν ιδιαίτερες σχετικές εξελίξεις, παρά μόνο ότι το κομβικό υδατοδρόμιο της Αττικής πρόκειται να χωροθετηθεί στο Νέο Φάληρο του δήμου Πειραιά, στις εκβολές του Κηφισού ποταμού αντί της Ελευσίνας [119Α]. Συγκεκριμένα πρόκειται για το εξής:

Πίν. 4.1 Μητροπολιτικά και περιφερειακά υδατοδρόμια εθνικού δικτύου και διαδρομές

	Πειραιάς	Θεσσαλονίκη
Πειραιάς		+
Θεσσαλονίκη	+	
Κύθηρα	+	
Λήμνος		+
Μυτιλήνη	+	
Χίος	+	
Σάμος	+	
Ερμούπολη	+	
Νάξος	+	
Μήλος	+	
Σαντορίνη	+	
Κως	+	
Ρόδος	+	
Κάρπαθος	+	
Πάτρα	+	
Καλαμάτα	+	
Κεφαλονιά	+	
Κέρκυρα	+	+
Βόλος	+	+
Ιωάννινα	+	+
Καστοριά		+
Καβάλα		+
Αλεξ/πολη	+	+
Χανιά/Κίσσαμος	+	
Ρέθυμνο	+	
Ηράκλειο	+	
Μέθανα	+	
Πόρος	+	
Λουτράκι	+	
Άνδρος	+	
Λαμία	+	
Κέα	+	

Στον παραπάνω πίνακα το σύμβολο + υποδηλώνει εξυπηρέτηση. Εξυπακούεται πώς Πειραιάς-Θεσσαλονίκη := Θεσσαλονίκη-Πειραιάς. Τα υδατοδρόμια που είναι γραμμένα με πλάγια γραφή δεν είχαν εξεταστεί για τη διαμόρφωση του δικτύου το 2020 καθότι θεωρήθηκαν χαμηλότερης σημασίας (βλ. χάρτες 4.1 και 4.2), ωστόσο στη δομή της σημερινής ταιριάζει καλύτερα η συμπερίληψή τους. Με εξαίρεση αυτό των Χανίων όπου υπάρχει πρόθεση να χωροθετηθεί στην περιοχή της Κισσάμου [119B], τα υπόλοιπα θα δηλωθούν στο λογισμικό ως σημεία με συντεταγμένες ΕΓΣΑ'87 εντός του υπάρχοντος λιμανιού.

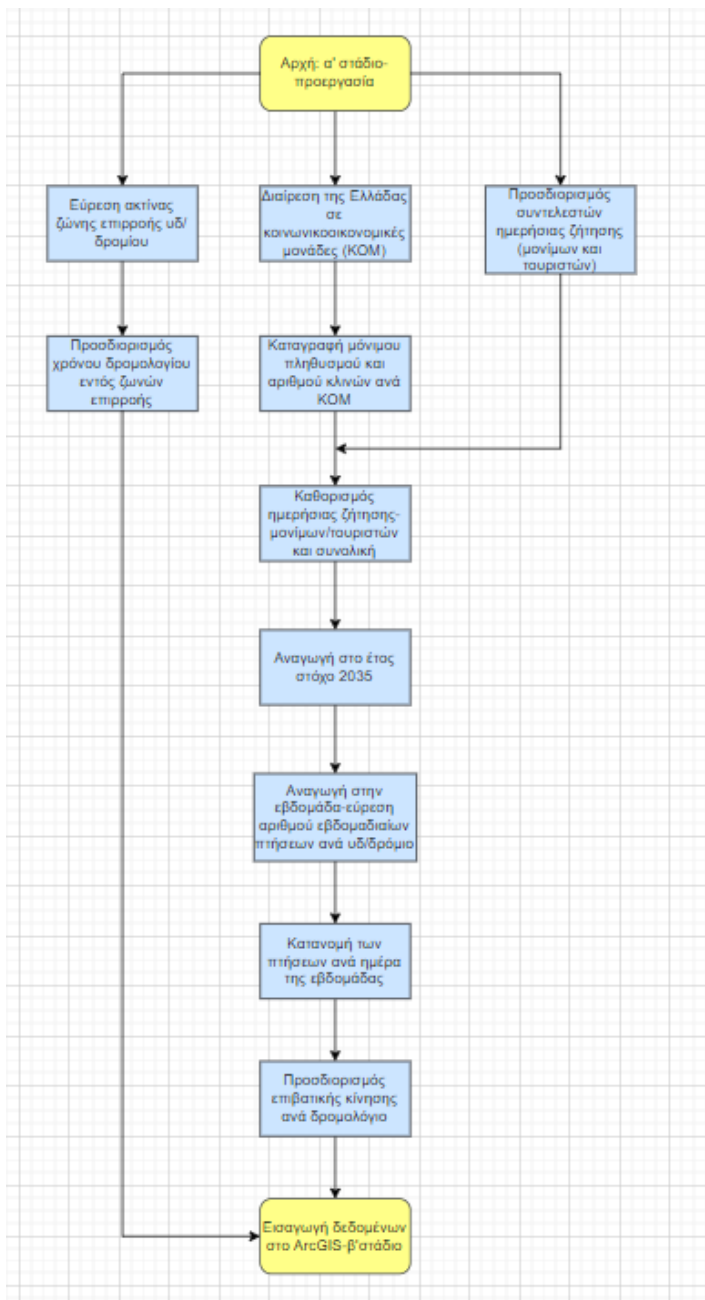


Χάρτης 4.1 Η σύνδεση των μητροπολιτικών υδατοδρομιών με τα κεντρικά υδατοδρόμια, Μ. Παγωνάκης, 2016 [1]



Χάρτης 4.2, πλήρες δίκτυο, Μ. Παγωνάκης, 2016 [1]

Συνοπτικά η συλλογιστική που θα ακολουθηθεί σε αυτό το κεφάλαιο είναι η εξής:



Εικ. 4.1 Διάγραμμα ροής εργασιών κεφαλαίου (από <https://app.diagrams.net/>)

4.2 Στοιχεία λειτουργίας των υδροπλάνων και αξιοποίησή τους

Από την προηγούμενη εργασία του συντάκτη[0], προέκυψε μία εξίσωση χρόνου διαδρομής για μία διαδρομή υδροπλάνου ως:

$$RT = RT_0 + RT_A + RT_B + 2 * RT_P = \frac{D}{V} + AT * (1 + dF_A) + BT * (1 + dF_B) + \frac{2 * NPD * (1 + dD_p)}{mP * I} \quad (4.2.1)$$

Για τα παραπάνω σύμβολα ισχύουν τα εξής:

Πίν. 4.2 Συντελεστές εξίσωσης 4.2.1 και ερμηνεία αυτών

Σύμβολο	Περιγραφή	Μονάδες μέτρησης
PpV	Επιβάτες/ημέρα	d ⁻¹
NPD	Επιβάτες/δρομολόγιο	d ⁻¹
NPDmax	Επιβάτες/δρομολόγιο (άνω όριο ασφαλείας)	-
M	Αριθμός αεροσκαφών	-
I	Αριθμός δρομολογίων	-
D	Απόσταση μεταξύ υδατοδρομίων αφετηρίας Α και προορισμού Β	km
V	Ταχύτητα Αεροσκάφους	Km/h
RT ₀	Χρόνος διαδρομής εκτός υδατοδρομίου	h
AT	Βασικός χρόνος αποθαλάσωσης	h
BT	Βασικός χρόνος προσθαλάσωσης	h
dF _A	Ποσοστό καθυστέρησης αποθαλάσωσης	-

Df_B	ποσοστό καθυστέρησης προσθαλάσσωσης	-
μP	Ροή επιβατών	h^{-1}
Df_p	Ποσοστό σχετικής καθυστέρησης	-
RT_A	Ολικός χρόνος αποθαλάσσωσης	h
RT_B	Ολικός χρόνος προσθαλάσσωσης	h
RT_P	Χρόνος από-επιβίβασης επιβατών	h

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση υποτίθεται διαφορετική συμπεριφορά του μέσου στο χώρο του υδατοδρομίου και εκτός αυτού κατά την πτήση. Όπως επίσης είναι προφανές ότι στο Network Analyst του ArcGIS, παρότι όπως προαναφέρθηκε (παρ.3.3.3) η παράμετρος του κόστους υπολογίζεται είτε σε μονάδες μήκους είτε σε χρόνου (όπως ζητείται στην εξ. 4.2.1), η τοπολογία για τη δόμηση του δικτύου περιλαμβάνει γραμμές ως διαδρομές (*edges*) και σημεία ως κόμβους (*junctions*) [108H]. Παρότι όπως θα φανεί παρακάτω είναι δυνατόν να δομηθεί η απλούστερη τοπολογία δικτύου όπου οι τροχιές των υδροπλάνων θεωρούνται απλά ευθύγραμμα τμήματα, το γεωμετρικό μήκος τους (στοιχειώδες πεδίο *Shape Length SL* στο ArcGIS για γραμμικά δεδομένα) δεν ταυτίζεται με τη μεταβλητή D της εξ.(4.2.1), ισχύει αντιθέτως:

$$SL = D + 2 * r \quad (4.2.2),$$

r η ακτίνα επιρροής του υδατοδρομίου, όπου ισχύουν οι χρόνοι AT και BT αντίστοιχα για τα υδατοδρόμια αφετηρίας και προορισμού της (4.2.1). Απαιτείται πλέον μία ανάλυση με βάση γνώσεις σχεδιασμού υδατοδρομίου για τον προσδιορισμό της παραπάνω ακτίνας r .

Από το Annex 14 του ICAO περί Σχεδιασμού και Λειτουργιών Αεροδρομίων (*Aerodromes Design and Operations*)[105] ορίζονται οι διαστάσεις των νοητών επιφανειών που ορίζονται για την ομαλή λειτουργία ενός αεροδρομίου και κατ' επέκταση και υδατοδρομίου (οριζόντια εσωτερική, κολουροκωνική, μεταβατική, απογείωσης, προσγείωσης, ζώνες ασφαλείας) ανά μήκος διαδρόμου. Για το αεροσκάφος της εργασίας De Havilland DHC-6 Twin Otter (η κυριαρχία του οποίου ως υδροπλάνου έχει αναλυθεί στην αντίστοιχη προηγούμενη[0]) ως βασικό μήκος διαδρόμου έχει υπολογιστεί στα 762 m.

(<http://www.sgl.com/PDFs/de%20Havilland%20Twin%20Otter-v5.0.pdf>) [10].

Υπενθυμίζεται ότι για τον υπολογισμό μήκους διαδρόμου ισχύει η σχ.

$$L=L_b*a*b*c \quad (4.2.3), \text{ όπου}$$

L_b το βασικό μήκος του διαδρόμου για το αεροσκάφος σχεδιασμού

a ο συντελεστής διόρθωσης λόγω υψομέτρου του αεροδρομίου ($a=1$ για μηδενικό υψόμετρο, $a=1,07$ για υψόμετρο $H=300$ m)

b ο συντελεστής διόρθωσης λόγω θερμοκρασίας του αεροδρομίου ($b=1$ για θερμοκρασία αναφοράς ηπειρωτικού αεροδρομίου $T=24^\circ$ C ή θερμοκρασία παραλιακού αεροδρομίου $T=15^\circ$ C. Για διαφορά 1° C από τις παραπάνω θερμοκρασίες αναφοράς ο συντελεστής b προσαυξάνεται κατά 1%, ενώ για υψόμετρο $H>1000$ m η θερμοκρασία αναφοράς ορίζεται $T=18,5^\circ$ C)

c ο συντελεστής διόρθωσης λόγω κατά μήκος κλίσεως του διαδρόμου. Για $L_b \leq 900$ m, ισχύει πάντα $c=1$, για $L_b > 900$ m και $\Delta s = 1\% \Rightarrow c = 1,1$ (Ψαράκη et al., 2014) [106]

Η παραπάνω σχέση εάν εφαρμοζόταν ενδεικτικά σε ακραίες συνθήκες στο υδατοδρόμιο της λίμνης της Καστοριάς προέκυπτε $a=1,16$ ($H=700$ m), $b=1,19$ ($T=5^\circ$ C) και $c=1$ τότε $\xrightarrow{(4.2.3)} L_b = 1.052$ m. Στην πραγματικότητα η παραπάνω σχέση δεν εφαρμόζεται για υδατοδρόμια αφού αγνοεί επιπλέον δυσμενείς παράγοντες όπως την απουσία πέδησης επί της υδάτινης επιφάνειας που δυσχεραίνει την αποθλάσωση-προσθλάσωση για μεγάλα ύψη κυματισμού ($h_{\max}=4$ m) αλλά και της υψηλής ανακλαστικότητας του νερού στους χαμηλούς κυματισμούς ($h_{\min}=0.5$ m), εντούτοις δίνει μία πρώτης τάξης μεγέθους του απαιτούμενου μήκους υδάτινου διαδρόμου για ένα υδροπλάνο (ειδικά εάν σκεφτεί κανείς ότι οι παραπάνω περιορισμοί ισχύουν κυρίως στα παραθαλάσσια υδατοδρόμια όπου οι συνθήκες της εξ. είναι σαφώς ευνοϊκότερες).

Πίνακας 4.3: κατηγορίες θάλασσας, ύψη κυματισμών και ποσοστά εμφάνισης σε βόρειο Ατλαντικό και Ειρηνικό Ωκεανό [88]

Sea State Number	Significant Wave Height (m)	NORTH ATLANTIC Percentage Probability of Sea State	NORTH PACIFIC Percentage Probability of Sea State
0-1 Calm	0 to 0.1 m	0.70%	1.60%
2 Smooth	0.1 to 0.5 m	6.80%	6.40%
3 Slight	0.5 to 1.25 m	23.70%	15.50%
4 Moderate	1.25 to 2.5 m	27.80%	31.60%
5 Rough	2.5 to 4 m	20.64%	20.94%
6 Very Rough	4 to 6 m	13.15%	15.03%
7 High	6 to 9 m	6.05%	7.60%
8 Very High	9 to 14 m	1.11%	1.56%
>8 Phenomenal	Over 14 m	0.05%	0.07%

Ο Annex 14 ορίζει επίσης 4 κωδικούς αεροδρομίων με βάση το μήκος τους (1-4). Στην κατηγορία 2 ισχύει $800 \text{ m} \leq L \leq 1200 \text{ m}$. Με βάση τους ανωτέρω συλλογισμούς, λαμβάνεται η παραδοχή ότι όλα τα υδατοδρόμια της εργασίας ανήκουν στην παραπάνω κατηγορία. Επίσης κατά κανόνα τα υδατοδρόμια δε διαθέτουν συστήματα ενόργανης προσέγγισης, οπότε σύμφωνα με τον Annex 14, τόσο η επιφάνεια απογείωσης όσο και η αντίστοιχη της προσγείωσης συμπίπτουν σε μήκος 2.500 m.

Πίν. 4.4 Κωδικοί αναφοράς αεροδρομίων

Table I-1. Aerodrome reference code
(see 1.6.2 to 1.6.4)

Code element 1	
Code number	Aeroplane reference field length
1	Less than 800 m
2	800 m up to but not including 1 200 m
3	1 200 m up to but not including 1 800 m
4	1 800 m and over
Code element 2	
Code letter	Wingspan
A	Up to but not including 15 m
B	15 m up to but not including 24 m
C	24 m up to but not including 36 m
D	36 m up to but not including 52 m
E	52 m up to but not including 65 m
F	65 m up to but not including 80 m

(πηγή: Annex 14 [105], ανακτήθηκε από

https://www.icao.int/Doc/9981/Annex%2014/Annex_14_v1_Aerodromes_8ed_2018_rev.1_4_01.07.18.pdf)

Πίν. 4.5 Χαρακτηριστικά διαδρόμων προσέγγισης

Surface and dimensions ^a (1)	APPROACH RUNWAYS									
	RUNWAY CLASSIFICATION								Precision approach category	
	Non-instrument Code number				Non-precision approach Code number				I Code number	
(2)	2 (3)	3 (4)	4 (5)	1,2 (6)	3 (7)	4 (8)	1,2 (9)	3,4 (10)	3,4 (11)	
CONICAL										
Slope	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Height	35 m	55 m	75 m	100 m	60 m	75 m	100 m	60 m	100 m	100 m
INNER HORIZONTAL										
Height	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m	45 m
Radius	2 000 m	2 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m	3 500 m	4 000 m	4 000 m
INNER APPROACH										
Width	—	—	—	—	—	—	—	90 m	120 m ^e	120 m ^e
Distance from threshold	—	—	—	—	—	—	—	60 m	60 m	60 m
Length	—	—	—	—	—	—	—	900 m	900 m	900 m
Slope	—	—	—	—	—	—	—	2.5%	2%	2%
APPROACH										
Length of inner edge	60 m	80 m	150 m	150 m	140 m	280 m	280 m	140 m	280 m	280 m
Distance from threshold	30 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m	60 m
Divergence (each side)	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
First section										
Length	1 600 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	2 500 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m	3 000 m
Slope	5%	4%	3.33%	2.5%	3.33%	2%	2%	2.5%	2%	2%
Second section										
Length	—	—	—	—	—	3 600 m ^b	3 600 m ^b	12 000 m	3 600 m ^b	3 600 m ^b
Slope	—	—	—	—	—	2.5%	2.5%	3%	2.5%	2.5%
Horizontal section										
Length	—	—	—	—	—	8 400 m ^b	8 400 m ^b	—	8 400 m ^b	8 400 m ^b
Total length	—	—	—	—	—	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m	15 000 m
TRANSITIONAL										
Slope	20%	20%	14.3%	14.3%	20%	14.3%	14.3%	14.3%	14.3%	14.3%
INNER TRANSITIONAL										
Slope	—	—	—	—	—	—	—	40%	33.3%	33.3%
BALKED LANDING SURFACE										
Length of inner edge	—	—	—	—	—	—	—	90 m	120 m ^e	120 m ^e
Distance from threshold	—	—	—	—	—	—	—	c	1 800 m ^d	1 800 m ^d
Divergence (each side)	—	—	—	—	—	—	—	10%	10%	10%
Slope	—	—	—	—	—	—	—	4%	3.33%	3.33%

a. All dimensions are measured horizontally unless specified otherwise.

b. Variable length (see 4.2.9 or 4.2.17).

c. Distance to the end of strip.

d. Or end of runway whichever is less.

e. Where the code letter is F (Table I-1), the width is increased to 140 m except for those aerodromes that accommodate a code letter F aeroplane equipped with digital avionics that provide steering commands to maintain an established track during the go-around manoeuvre.

Note.— See Circulars 301 and 345, and Chapter 4 of the PANS-Aerodromes, Part 1 (Doc 9981) for further information.

(πηγή: Annex 14, ανακτήθηκε από

https://www.icao.int/Doc/9981/Annex%2014/Annex_14_v1_Aerodromes_8ed_2018_rev.1_4_01.07.18.pdf)

Πίν. 4.6 Χαρακτηριστικά διαδρόμων απογείωσης

Table 4-2. Dimensions and slopes of obstacle limitation surfaces

Surface and dimensions* (1)	Code number		
	1 (2)	2 (3)	3 or 4 (4)
RUNWAYS MEANT FOR TAKE-OFF			
TAKE-OFF CLIMB			
Length of inner edge	60 m	80 m	180 m
Distance from runway end ^b	30 m	60 m	60 m
Divergence (each side)	10%	10%	12.5%
Final width	380 m	580 m	1 200 m 1 800 m ^c
Length	1 600 m	2 500 m	15 000 m
Slope	5%	4%	2% ^d

a. All dimensions are measured horizontally unless specified otherwise.
b. The take-off climb surface starts at the end of the clearway if the clearway length exceeds the specified distance.
c. 1 800 m when the intended track includes changes of heading greater than 15° for operations conducted in IMC, VMC by night.
d. See 4.2.24 and 4.2.26.

(πηγή: Annex 14 [105], ανακτήθηκε από

https://www.iaac.gov.mz/app/uploads/2018/12/an_14_v1_Aerodromes_8ed_2018_rev.14_01.07.18.pdf)

Συνεπώς η επιφάνεια επιρροής ενός υδατοδρομίου σε ό,τι αφορά την αποθαλάσωση και την προσθαλάσωση και δεδομένου ότι υπάρχουν λόγω της υδάτινης επιφάνειας άπειρες διευθύνσεις αποθαλάσωσης-προσθαλάσωσης αναλόγως της διεύθυνσης του ανέμου (για ένα αεροσκάφος η βέλτιστη διεύθυνση απογείωσης-προσγείωσης-αλλά και αποθαλάσωσης-προσθαλάσωσης εφόσον ο άνεμος είναι η γενεσιουργός αιτία των κυματισμών-είναι αυτή του ανέμου για εξάλειψη των πλευρικών δυνάμεων, με αντίθετη όμως φορά), μπορεί να απεικονιστεί σε περιβάλλον GIS πολύ απλά ως *buffer* του σημείου του υδατοδρομίου με ακτίνα $r = r_b + L_s + \frac{L_b}{2} = 2500 + 200 + \frac{1000}{2} = 3200 \text{ m}$ (4.2.4), όπου

L_b μήκος υδάτινου διαδρόμου

L_s τυπικό μήκος ζώνης ασφαλείας

r_b μήκος ζώνης απογείωσης/προσέγγισης

4.3 Προσδιορισμός ζήτησης για το μεταφορικό σύστημα

Για να προσδιοριστεί το πρόβλημα της παρούσας εργασίας απαιτείται η εύρεση της ζήτησης για μετακίνηση με υδροπλάνο μεταξύ των κόμβων του συστήματος. Ως βασική εξίσωση ετήσιας ζήτησης ενός υδατοδρομίου προορισμού έχει προκύψει η (Παγωνάκης, 2016[1]):

$$PpY = 0.216 * Beds + 0.027 * Pop \quad (4.3.1)$$

όπου *Beds* ο αριθμός τουριστικών κλινών στη ζώνη επιρροής του υδατοδρομίου προορισμού και *Pop* ο μόνιμος πληθυσμός αυτής. Τα παραπάνω στοιχεία εισόδου λαμβάνονται από το μεν μόνιμο πληθυσμό *Pop* από την πιο πρόσφατη απογραφή πληθυσμού της ΕΛ.ΣΤΑΤ. το 2011 [114] ενώ αυτά των τουριστικών κλινών *Beds* από στοιχεία του Ξενοδοχειακού Επιμελητηρίου Ελλάδος (Ξ.Ε.Ε.) το 2019 [115], τελευταία χρονιά προ CoViD-19. Η παραπάνω εξίσωση, χρησιμοποιώντας στατιστικά στοιχεία διανυκτερεύσεων το 2018, κατανέμεται ανά τρίμηνο ως εξής (Πασχαλίδης, 2020) (4.3.2.1 έως 4.3.2.5):

$$PpQ,1 = 0,011 * Beds + 0,00551 * Pop$$

$$PpQ,2 = 0,074 * Beds + 0,00724 * Pop$$

$$PpQ,3 = 0,1073 * Beds + 0,00869 * Pop$$

$$PpQ,4 = 0,024 * Beds + 0,00559 * Pop,$$

για τις οποίες σε ημερήσια βάση ισχύει:

$$PpV = PpQ,i/91,3125 \quad (22), \quad 1 \leq i \leq 4,$$

όπου $91,3125 = 365,25/4$ ημέρες τριμήνου

Είναι προφανές ότι σε κάθε υδατοδρόμιο προορισμού επηρεάζει μία έκταση γης γύρω από αυτό ή με βάση την ορολογία της Γεωγραφίας συνιστά μία Χωρική Κοινωνικο-Οικονομική Μονάδα (KOM) (*Spatial Socio-Economic Units – SSEUs*) (Κάβουρας et al., 2016)[102]. Για το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει η παρούσα εργασία, ως KOM καταρχήν εννοούνται οι περιφερειακές ενότητες των 13 περιφερειών της χώρας όπως ορίζονται με το ν.3852/2010 (σχέδιο «Καλλικράτης») [113]. Αυτές με τη σειρά τους είτε ταυτίζονται με τους παραδοσιακά οριζόμενους νομούς της χώρας, είτε σε ορισμένες περιπτώσεις προέρχονται από διάσπαση αυτών (π.χ. στο νομό Αττικής ορίστηκαν 8 περιφερειακές ενότητες ενώ σε αυτόν των Κυκλάδων 9 αντίστοιχες). Από το χάρτη βασικού εθνικού δικτύου, κρίνεται ότι γενικά είναι αποδεκτός ο παραπάνω ορισμός των περιφερειακών ενότητων με μοναδική εξαίρεση την Αττική, όπου θα ακολουθηθεί διαφορετική προσέγγιση. Συγκεκριμένα, αφενός οι 7 περιφερειακές ενότητες στο ηπειρωτικό τμήμα του νομού είναι προφανές ότι λογίζονται ως μία περιοχή αφετηρίας, αφετέρου κρίνεται προτιμότερο η ανάλυση στην περιφερειακή ενότητα Νήσων να γίνει σε επίπεδο δήμων εξαιτίας

της ασυνέχειας στη γεωγραφική δομή της (Σαλαμίνα, περιοχή Αργοσαρωνικού, Κύθηρα/Αντικύθηρα).

Ακολούθως, με βάση και το χάρτη, θεωρώντας προσεγγιστικά επιλογή διαδρομής με την απλούστερη θεώρηση «όλα ή τίποτα» [107], οι παραπάνω ΚΟΜ μπορούν να ομαδοποιηθούν και να συγκροτήσουν τις ακόλουθες ζώνες επιρροής ως εξής:

α) Ζώνες αφετηρίας των μητροπολιτικών υδατοδρομιών, δηλ. το ηπειρωτικό τμήμα της περιφέρειας Αττικής και η περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης.

β) Ζώνες προορισμού με αναγκαστική διέλευση από το μητροπολιτικό υδατοδρόμιο του Πειραιά

γ) Ζώνες προορισμού με αναγκαστική διέλευση από το μητροπολιτικό υδατοδρόμιο της Θεσσαλονίκης

δ) Ζώνες μη προορισμού οι οποίες τελικώς δε συμμετέχουν στο πρόβλημα.

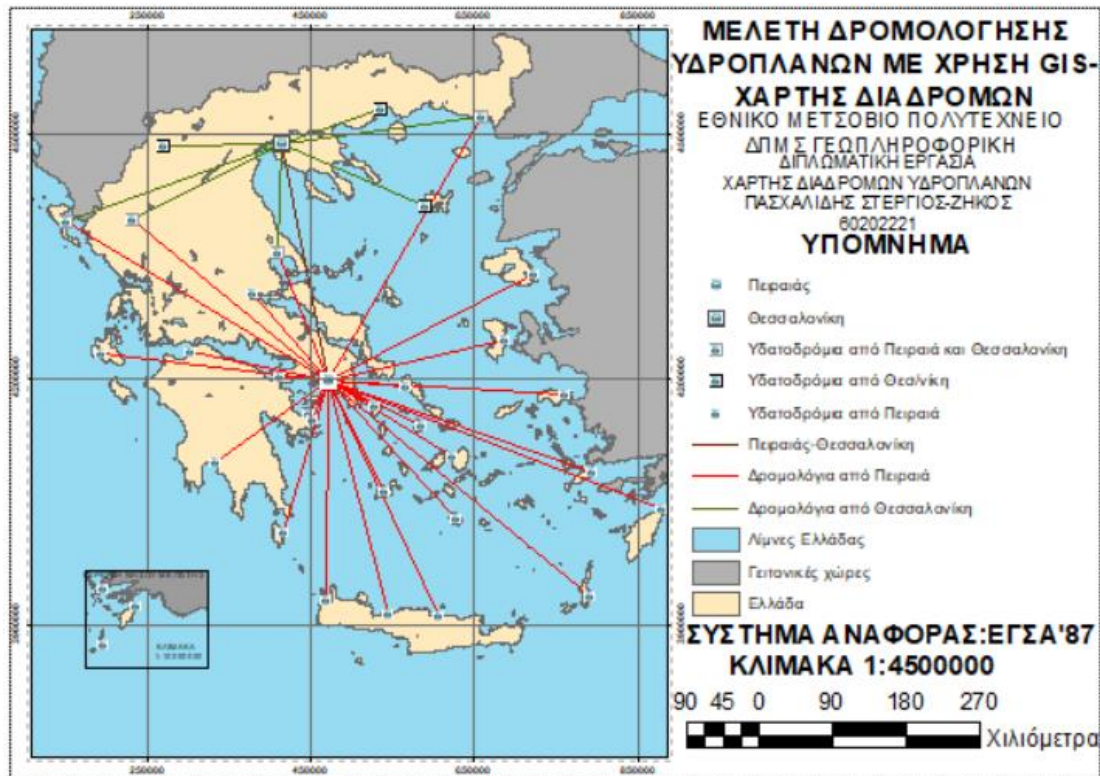
Επιπλέον στους χάρτες απεικονίζεται η περιοχή επιρροής σε γεωγραφική έκταση κάθε υδατοδρομίου προορισμού για κάθε ένα από τα δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια αντίστοιχα.

Με βάση τα παραπάνω, τίθεται πλέον το εξής ερώτημα που σχετίζεται με το 2^ο βήμα στο σχεδιασμό των 4 βημάτων των μετακινήσεων [107]: σε ένα υδατοδρόμιο προορισμού, πώς θα κατανεμηθεί η δεδομένη ζήτησή του στα υδατοδρόμια αφετηρίας;

Πίν. 4.7 Κατάλογος Χωρικών Κοινωνικοοικονομικών Μονάδων του προβλήματος και αριθμητικά δεδομένα

		ΜΟΝΙΜΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ (2011)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΛΙΝΩΝ (2019)	ΖΩΝΗ
111	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	608.182	22.364	
11101	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΟΔΟΠΗΣ	112.039	3.131	Γ
11102	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΡΑΜΑΣ	98.287	1.204	Β
11103	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΒΡΟΥ	147.947	3.945	Γ
11104	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΑΣΟΥ	13.770	11.257	Β
11105	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΒΑΛΑΣ	124.917	1.358	Β
11106	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΞΑΝΘΗΣ	111.222	1.469	Γ
112	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1.882.108	93.036	
11207	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	1.110.551	15.339	
11208	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΜΑΘΙΑΣ	140.611	1.419	Β
11209	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΙΛΚΙΣ	80.419	971	Β
11210	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΛΛΑΣ	139.680	2.769	Β
11211	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΙΕΡΙΑΣ	126.698	20.616	Β
11212	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΕΡΡΩΝ	176.430	2.231	Β
11213	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ (ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΤΟ)	107.719	49.691	Β
121	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	283.689	6.466	
12114	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΖΑΝΗΣ	150.196	1.738	Β
12115	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΡΕΒΕΝΩΝ	31.757	1.341	Β
12116	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ	50.322	2.135	Β
12117	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΛΩΡΙΝΑΣ	51.414	1.252	Β
122	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΗΠΕΙΡΟΥ	336.856	16.433	
12218	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ	167.901	7.880	Γ
12219	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΤΑΣ	67.877	758	Γ
12220	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΠΡΩΤΙΑΣ	43.587	1.873	Γ
12221	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΡΕΒΕΖΑΣ	57.491	5.922	Γ
231	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	732.762	24.611	
23122	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	284.325	2.682	Α
23123	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	113.544	1.894	Α
23124	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	190.010	4.624	Γ
23125	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΠΟΡΑΔΩΝ	13.798	10.921	Γ
23126	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΚΑΛΩΝ	131.085	4.490	Α
232	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	547.390	29.580	
23227	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	158.231	5.442	Α
23228	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΙΩΤΙΑΣ	117.920	1.622	Ο
23229	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΥΒΟΙΑΣ	210.815	16.832	Ο
23230	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	20.081	1.783	Α
23231	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΩΚΙΔΑΣ	40.343	3.901	Ο
241	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	207.855	101.405	
24132	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΚΥΡΑΣ	104.371	48.501	Γ
24133	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΖΑΚΥΝΘΟΥ	40.759	35.873	Γ
24134	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΘΑΚΗΣ	3.231	265	Γ
24135	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑΣ	35.801	11.098	Γ
24136	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	23.693	5.668	Γ
242	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	679.796	19.563	
24237	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΧΑΪΑΣ	309.694	7.324	Γ
24238	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	210.802	4.029	Γ
24239	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΙΑΣ	159.300	8.210	Α
243	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	577.903	39.384	
24340	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΚΑΔΙΑΣ	86.685	3.591	Ο
24341	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ	97.044	10.926	Ο
24342	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	145.082	7.341	Α
24343	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΚΩΝΙΑΣ	89.138	6.797	Α
24344	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΣΣΗΝΙΑΣ	159.954	10.729	Α
351	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ	3.828.434	62.899	
	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ (ΓΙΑΝΗ ΝΗΣΩΝ)	3.753.783	62.830	
35152	ΣΑΛΑΜΙΝΑ	39.283	69	Α
35152	ΑΙΓΙΝΑ	13.056	3.286	Α
35152	ΑΓΚΙΣΤΡΙ	1.142	605	Α
35152	ΠΟΡΟΣ	3.993	1.168	Α
35152	ΥΔΡΑ	1.966	591	Α
35152	ΣΠΕΤΣΕΣ	4.027	823	Α
35152	ΔΗΜΟΣ ΤΡΟΙΖΗΝΙΑΣ	7.143	464	Α
35152	ΔΗΜΟΣ ΚΥΘΗΡΩΝ	4.041	1.075	Α

461	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	199.231	23.006	
46153	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΕΣΒΟΥ	86.436	6.955	Γ
46154	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΚΑΡΙΑΣ	9.882	1.107	Α
46155	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΗΜΝΟΥ	17.262	2.035	Γ
46156	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΑΜΟΥ	32.977	9.905	Α
46157	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΙΟΥ	52.674	3.004	Γ
462	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	309.015	223.681	
46258	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΥΡΟΥ	21.507	2.524	Α
46259	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΔΡΟΥ	9.221	1.319	Α
46260	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΗΡΑΣ	18.883	18.346	Α
46261	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	29.452	5.393	Α
46262	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΠΑΘΟΥ	7.310	6.441	Α
46263	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΑΣ - ΚΥΘΟΥ	3.911	544	Α
46264	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΩ	34.396	55.598	Α
46265	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΗΛΟΥ	9.932	2.741	Α
46266	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΥΚΟΝΟΥ	10.134	13.394	Α
46267	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΑΞΟΥ	20.877	7.486	Α
46268	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΟΥ	14.926	7.399	Α
46269	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΟΔΟΥ	119.830	100.212	Α
46270	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΗΝΟΥ	8.636	2.284	Α
471	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	623.065	187.599	
47171	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	305.490	78.642	Α
47172	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΣΙΘΙΟΥ	75.381	26.345	Α
47173	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ	85.609	34.216	Α
47174	ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	156.585	48.396	Α
	ΕΛΛΑΔΑ	10.816.286	854.033	



Χάρτης 4.1: Χάρτης διαδρομών προβλήματος



Χάρτης 4.4: Επιρροή υδατοδρομιών από Θεσσαλονίκη

Από την πιο πολύπλοκη θεώρηση των μοντέλων βαρύτητας μεταξύ υδατοδρομιών αφετηρίας και προορισμού [107], θα χρησιμοποιηθεί μια απλούστερη που λαμβάνει υπόψιν τη σχετική δυναμική των δύο μητροπολιτικών υδατοδρομιών, δεδομένου ότι ήδη έχει ληφθεί η παραδοχή με βάση τον παραπάνω χωρισμό σε ζώνες ότι «αμφότερα στη ζώνη έχουν μία σημαντική επιρροή». Με βάση τα σχετικά στατιστικά στοιχεία απογραφής πληθυσμού (ΕΛΣΤΑΤ, 2011 [114]) και αεροπορικών αφίξεων (ΥΠΑ, 2019 [116]) και ορίζοντας ως αντίστοιχες ΚΟΜ [102] των μητροπολιτικών υδατοδρομιών Πειραιά και Θεσσαλονίκης την περιφέρεια Αττικής πλην της π.ε. Νήσων και την περιφερειακή ενότητα Θεσσαλονίκης της περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας [113], προκύπτουν τα εξής:

Πίν. 4.8 Πληθυσμιακά δεδομένα/δεδομένα αεροπορικών αφίξεων ΚΟΜ υδατοδρομιών

Υδατοδρόμιο	Αφίξεις/Πληθυσμός	Συντελεστής
Πειραιάς	8810593	0,792
Θεσσαλονίκη	2307587	0,208
Πειραιάς	3789151	0,773
Θεσσαλονίκη	1110551	0,227

Από τον παραπάνω πίν. 4.8, προκύπτει ότι οι παραπάνω αναλογίες μόνιμου πληθυσμού και αεροπορικών αφίξεων για τις ΚΟΜ των δύο μητροπολιτικών υδατοδρομιών είναι αριθμητικά παρόμοιες. Προσεγγιστικά και για λόγους

υπολογιστικής ευκολίας δίνεται ένας ενιαίος συντελεστής $q_P=0.785$ για τον Πειραιά και $q_T=0.215$ για τη Θεσσαλονίκη, ισχύοντας προφανώς $q_P + q_T = 1$ (4.3.3).

Προκειμένου να απλοποιηθεί το πρόβλημα ώστε σε κάθε περίπτωση να υπάρχει μόνο μία βάση (*derot*) στην κεντρική γραμμή Πειραιάς-Θεσσαλονίκη ορισμένα δρομολόγια θα εκτελεστούν με αεροσκάφη που θα έχουν ως βάση το υδατοδρόμιο του Πειραιά και τα υπόλοιπα αντίστοιχα τη Θεσσαλονίκη. Κατ' αντιστοιχία αποφασίζεται να ισχύουν οι ίδιοι συντελεστές $q_P=0.785$ για βάση από τον Πειραιά και $q_T=0.215$ αντίστοιχα από τη Θεσσαλονίκη.

Επίσης, καθότι γίνεται αναφορά σε ένα μελλοντικό σύστημα, σύμφωνα με το 2^ο βήμα της θεωρίας Σχεδιασμού των 4 βημάτων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ένας συντελεστής ανάπτυξης για το μελλοντικό έτος βάσης [107]. Επιλέγεται προσεγγιστικά βάσει της ίδιας θεώρησης που ακολουθήθηκε και στην εργασία [0] (Πασχαλίδης, 2020) ανεξαρτήτως των έκτακτων συνθηκών της εποχής, ένας μέσος συντελεστής της τάξης του 1,5% για έτος βάσης το 2035. Ο τελικός συντελεστής P_{rV} στους πίν. 4.12 αφορά συγκεκριμένα το 2035 και ακολούθως το ίδιο θα ισχύει και για τα επακόλουθα αριθμητικά στοιχεία του προβλήματος.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω προκύπτουν τα πρώτα αριθμητικά αποτελέσματα που αφορούν τη ζήτηση του συστήματος και θα εισαχθούν ακολούθως ως *input* στο ArcGIS.

Πίνακας 4.9.1: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης μόνιμου πληθυσμού ($P_{rV,RP}$)-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	Πληθυσμός (Pop)	P_{rVrp} , 1ο τρίμηνο	P_{rVrp} , 2ο τρίμηνο	P_{rVrp} , 3ο τρίμηνο	P_{rVrp} , 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Κύθηρα	4041	0,244	0,321	0,385	0,248	Αντικύθηρα
Μυτιλήνη	81403	4,915	6,459	7,752	4,987	Λήμνος
Χίος	41349	2,497	3,281	3,938	2,533	
Σάμος	42859	2,588	3,401	4,082	2,626	Ικαρία
Ερμούπολη	40277	2,432	3,196	3,836	2,467	Μύκονος
Νάξος	35813	2,163	2,841	3,411	2,194	Πάρος
Μήλος	9932	0,600	0,788	0,946	0,608	
Σαντορίνη	18883	1,140	1,498	1,798	1,157	
Κως	63848	3,855	5,066	6,080	3,911	Κάλυμνος
Ρόδος	119830	7,236	9,508	11,412	7,341	
Κάρπαθος	7310	0,441	0,580	0,696	0,448	
Πάτρα	565636	34,155	44,879	53,867	34,651	Δυτ. Ελλάδα, Ζάκυνθος
Καλαμάτα	249092	15,041	19,764	23,722	15,259	Λακωνία
Κέρκυρα	81931	4,947	6,501	7,803	5,019	
Κεφαλονιά	49239	2,973	3,907	4,689	3,016	Λευκάδα, Ιθάκη
Βόλος	577568	34,876	45,826	55,004	35,382	Θεσσαλία, Σκύρος
Ιωάννινα	264432	15,967	20,981	25,183	16,199	Ήπειρος
Αλεξ/πολη	291398	17,596	23,120	27,751	17,851	Θράκη
Χανιά	156585	9,455	12,424	14,912	9,592	
Ρέθυμνο	85609	5,169	6,792	8,153	5,244	
Ηράκλειο	380871	22,998	30,219	36,271	23,332	Λασιθί
Θεσ/νίκη	467707	28,242	37,109	44,541	28,652	Μακεδονία
Μέθανα	7143	0,431	0,567	0,680	0,438	Τροιζηνία
Πόρος	3993	0,241	0,317	0,380	0,245	
Λουτράκι	145082	8,761	11,511	13,817	8,888	Κορινθία
Ανδρός	9221	0,557	0,732	0,878	0,565	
Λαμία	218655	13,203	17,349	20,823	13,395	Ευρυτανία, Φωκίδα
Κέα	3911	0,236	0,310	0,372	0,240	Κύθνος

Πίνακας 4.9.2: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης μόνιμου πληθυσμού (PrV_{PT})-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	Πληθυσμός (Pop)	PrVpt, 1ο τρίμηνο	PrVpt, 2ο τρίμηνο	PrVpt, 3ο τρίμηνο	PrVpt, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Λήμνος	33620	2,030	2,667	3,202	2,060	Λέσβος, Χίος
Καστοριά	283689	17,130	22,509	27,017	17,379	Δυτ. Μακεδονία
Κέρκυρα	44689	2,698	3,546	4,256	2,738	Ιόνιο
Βόλος	43819	2,646	3,477	4,173	2,684	Μαγνησία, Σποράδες
Ιωάννινα	218580	13,199	17,343	20,816	13,390	Ηπειρος, Δυτ. Ελλάδα
Αλεξ/πολη	79810	4,819	6,332	7,601	4,889	Θράκη
Καβάλα	236974	14,309	18,802	22,568	14,517	Αν. Μακεδονία
Πειραιάς	128098	7,735	10,164	12,199	7,847	Λοιπή Ελλάδα (ζώνη Α)

Πίνακας 4.10.1: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης κλινών (PrV_{br})-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	Κλίνες (Beds)	PrVbr, 1ο τρίμηνο	PrVbr, 2ο τρίμηνο	PrVbr, 3ο τρίμηνο	PrVbr, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Κύθηρα	1075	0,130	0,872	1,264	0,283	Αντικύθηρα
Μυτιλήνη	7057,15	0,851	5,723	8,298	1,856	Λήμνος
Χίος	7775	0,937	6,306	9,143	2,045	
Σάμος	11012	1,327	8,930	12,949	2,896	Ικαρία
Ερμούπολη	15918	1,919	12,909	18,718	4,187	Μύκονος
Νάξος	14885	1,794	12,071	17,503	3,915	Πάρος
Μήλος	2741	0,330	2,223	3,223	0,721	
Σαντορίνη	18346	2,212	14,878	21,573	4,825	
Κως	60991	7,352	49,461	71,719	16,041	Κάλυμνος
Ρόδος	100212	12,080	81,268	117,838	26,357	
Κάρπαθος	6441	0,776	5,223	7,574	1,694	
Πάτρα	43517	5,246	35,291	51,172	11,446	Δυτ. Ελλάδα, Ζάκυνθος
Καλαμάτα	17526	2,113	14,213	20,609	4,610	Λακωνία
Κέρκυρα	38073	4,590	30,876	44,770	10,014	
Κεφαλονιά	22081	2,662	17,907	25,965	5,808	Λευκάδα, Ιθάκη
Βόλος	23497	2,832	19,055	27,629	6,180	Θεσσαλία, Σκύρος
Ιωάννινα	14264	1,720	11,568	16,773	3,752	Ηπειρος
Αλεξ/πολη	5316	0,641	4,311	6,251	1,398	Θράκη
Χανιά	48396	5,834	39,247	56,908	12,729	
Ρέθυμνο	34216	4,125	27,748	40,234	8,999	
Ηράκλειο	104987	12,656	85,140	123,453	27,613	Λασιθί
Θεσ/νίκη	94912	11,441	76,970	111,606	24,963	Μακεδονία
Μέθανα	464	0,056	0,376	0,546	0,122	Τροιζηνία
Πόρος	1168	0,141	0,947	1,373	0,307	
Λουτράκι	7341	0,885	5,953	8,632	1,931	Κορινθία
Ανδρος	1319	0,159	1,070	1,551	0,347	
Λαμία	11126	1,341	9,023	13,083	2,926	Ευρυτανία, Φωκίδα
Κέα	544	0,066	0,441	0,640	0,143	Κύθνος

Πίνακας 4.10.2: Συντελεστής Ημερήσιας επιβατικής ζήτησης κλινών (PpV_b)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	Κλίνες (Beds)	PpVbt, 1ο τρίμηνο	PpVbt,2ο τρίμηνο	PpVbt, 3ο τρίμηνο	PpVbt, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Λήμνος	4062	0,490	3,294	4,777	1,068	Λέσβος
Καστοριά	6466	0,779	5,244	7,603	1,701	Δυτ. Μακεδονία
Κέρκυρα	24188	2,916	19,616	28,443	6,362	Ιόνιο
Βόλος	4327	0,522	3,509	5,088	1,138	Μαγνησία, Σποράδες
Ιωάννινα	6348	0,765	5,148	7,464	1,670	Ηπειρος, Δυτ.Ελλάδα
Αλεξ/πολη	1456	0,176	1,181	1,712	0,383	Θράκη
Καβάλα	15592	1,880	12,644	18,334	4,101	Αν.Μακεδονία
Πειραιάς	25995	3,134	21,081	30,567	6,837	λουιτή Ελλάδα (ζώνη Α

Πίνακας 4.11.1: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV_{op})-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	Beds+Pop	PpV, 1ο τρίμηνο	PpV,2ο τρίμηνο	PpV, 3ο τρίμηνο	PpV, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Κύθηρα	5116	0	1	2	1	Αντικύθηρα
Μυτιλήνη	88460	6	12	16	7	Λήμνος
Χίος	49125	3	10	13	5	
Σάμος	53871	4	12	17	6	Ικαρία
Ερμούπολη	56195	4	16	23	7	Μύκονος
Νάξος	50698	4	15	21	6	Πάρος
Μήλος	12673	1	3	4	1	
Σαντορίνη	37229	3	16	23	6	
Κως	124839	11	55	78	20	Κάλυμνος
Ρόδος	220042	19	91	129	34	
Κάρπαθος	13751	1	6	8	2	
Πάτρα	728045	47	90	116	53	Δυτ.Ελλάδα,Ζάκυνθος
Καλαμάτα	266618	17	34	44	20	Λακωνία
Κέρκυρα	137226	11	39	54	16	
Κεφαλονιά	71320	6	22	31	9	Λευκάδα, Ιθάκη
Βόλος	601065	38	65	83	42	Θεσσαλία, Σκύρος
Ιωάννινα	278696	18	33	42	20	Ηπειρος
Αλεξ/πολη	296714	18	27	34	19	Θράκη
Χανιά	204981	15	52	72	22	
Ρέθυμνο	119825	9	35	48	14	
Ηράκλειο	485858	36	115	160	51	Λασιθι
Θεσ/νίκη	745976	52	148	202	70	Μακεδονία
Μέθανα	7607	0	1	1	1	Τροιζηνία
Πόρος	5161	0	1	2	1	
Λουτράκι	152423	10	17	22	11	Κορινθία
Ανδρος	10540	1	2	2	1	
Λαμία	229781	15	26	34	16	Ευρυτανία, Φωκίδα
Κέα	4455	0	1	1	0	Κύθνος

Πίνακας 4.11.2: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV_{OT})-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	Beds+Pop	PpV, 1ο τρίμηνο	PpV,2ο τρίμηνο	PpV, 3ο τρίμηνο	PpV, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Λήμνος	37682	3	7	10		4 Λέσβος, Χίος
Καστοριά	290155	22	34	43		24 Δυτ. Μακεδονία
Κέρκυρα	68877	7	29	40		11 Ιόνιο
Βόλος	48146	4	9	11		5 Μαγνησία, Σποράδες
Ιωάννινα	224928	17	28	35		19 Ηπειρος, Δυτ.Ελλάδα
Αλεξ/πολη	81266	6	9	11		6 Θράκη
Καβάλα	252566	20	39	50		23 Αν.Μακεδονία
Πειραιάς	154093	23	154	223		50 Λοιπή Ελλάδα (ζώνη Α)

Πίνακας 4.12.1: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV_P) ανηγμένη στο έτος βάσης-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	Beds+Pop	PpV, 1ο τρίμηνο	PpV,2ο τρίμηνο	PpV, 3ο τρίμηνο	PpV, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Κύθηρα	5116	0	1	2	1	Αντικύθηρα
Μυτιλήνη	88460	7	15	20	8	Λήμνος
Χίος	49125	4	12	16	6	
Σάμος	53871	5	15	21	7	Ικαρία
Ερμούπολη	56195	5	20	28	8	Μύκονος
Νάξος	50698	5	18	26	8	Πάρος
Μήλος	12673	1	4	5	2	
Σαντορίνη	37229	4	20	29	7	
Κως	124839	14	67	96	25	Κάλυμνος
Ρόδος	220042	24	112	159	42	
Κάρπαθος	13751	2	7	10	3	
Πάτρα	609153	49	99	129	57	Δυτ.Ελλάδα, Ζάκυνθος
Καλαμάτα	266618	21	42	55	24	Λακωνία
Κέρκυρα	120005	12	46	65	19	
Κεφαλονιά	71320	7	27	38	11	Λευκάδα, Ιθάκη
Βόλος	601065	46	80	102	51	Θεσσαλία, Σκύρος
Ιωάννινα	278696	22	40	52	25	Ήπειρος
Αλεξ/πολη	296714	22	34	42	24	Θράκη
Χανιά	204981	19	64	88	27	
Ρέθυμνο	119825	11	43	60	18	
Ηράκλειο	485858	44	142	197	63	Λασιθι
Θεσ/νίκη	562618	49	141	192	66	Μακεδονία
Μέθανα	7607	1	1	2	1	Τροιζηνία
Πόρος	5161	0	2	2	1	
Λουτράκι	152423	12	22	28	13	Κορινθία
Ανδρος	10540	1	2	3	1	
Λαμία	229781	18	32	42	20	Ευρυτανία, Φωκίδα
Κέα	4455	0	1	1	0	Κύθος

Πίνακας 4.12.2: Συνολική Ημερήσια επιβατική ζήτηση (PpV_T) ανηγμένη στο έτος βάσης-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	Beds+Pop	PpV, 1ο τρίμηνο	PpV, 2ο τρίμηνο	PpV, 3ο τρίμηνο	PpV, 4ο τρίμηνο	Επίσης εξυπηρετεί:
Λήμνος	37682	3	7	10	4	Λέσβος, Χίος
Καστοριά	290155	22	34	43	24	Δυτ. Μακεδονία
Κέρκυρα	68877	7	29	40	11	Ιόνιο
Βόλος	48146	4	9	11	5	Μαγνησία, Σποράδες
Ιωάννινα	224928	17	28	35	19	Ηπειρος, Δυτ. Ελλάδα
Αλεξ/πολη	81266	6	9	11	6	Θράκη
Καβάλα	252566	20	39	50	23	Αν. Μακεδονία
Πειραιάς	154093	13	38	53	18	λοιπή Ελλάδα (ζώνη Α)

Για την εβδομαδιαία ζήτηση προφανώς ισχύει $PpW=7*PpV$ (4.3.4). Σε περίπτωση όπου: $PpW < 0,4 * NPD \Rightarrow PpW < 0,4 * 19 = 7,6 \xrightarrow{(PpW \in N)} PpW_{min} = 8$ επιβάτες για ύπαρξη τουλάχιστον μίας πτήσης την εβδομάδα σε χρονικό ορίζοντα τριμήνου. Σε περίπτωση που ο παραπάνω περιορισμός δεν ικανοποιείται, τότε: α) οι επιβάτες θα χρεώνονται σε πτήση προς το κοντινότερο υδατοδρόμιο και θα πραγματοποιείται μετεπιβίβαση σε μικρότερου τύπου αεροσκάφος για την τελική μετάβαση στον προορισμό τους (η οποία αγνοείται στην παρούσα εργασία όπως και τα λοιπά τοπικά δρομολόγια) β) εφόσον πρόκειται για ήδη μικρή διαδρομή, απλούστατα δε θα υπάρχει σύνδεση με υδροπλάνο. Από ό,τι προκύψει παρακάτω, η παραπάνω προϋπόθεση δεν ικανοποιείται σε κάποιες περιπτώσεις μόνο στο υδατοδρόμιο του Πειραιά. Συνεπώς, προκύπτουν τα εξής:

Πίνακας 4.13.1: Αρχική εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (ΡρW₀)-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	ΡρW ₀ , 1ο τρίμηνο	ΡρW ₀ ,2ο τρίμηνο	ΡρW ₀ , 3ο τρίμηνο	ΡρW ₀ , 4ο τρίμηνο	Νέο Υδ/δρόμιο
Κύθηρα	3	10	14	5	Καλαμάτα
Μυτιλήνη	50	105	138	59	
Χίος	30	83	113	39	
Σάμος	34	106	147	48	
Ερμούπολη	38	139	194	57	
Νάξος	34	129	180	53	
Μήλος	8	26	36	11	
Σαντορίνη	29	141	202	52	
Κως	97	470	671	172	
Ρόδος	167	783	1114	291	
Κάρπαθος	11	50	71	18	
Πάτρα	340	691	906	397	
Καλαμάτα	148	293	382	171	
Κέρκυρα	82	322	453	130	
Κεφαλονιά	49	188	264	76	
Βόλος	325	559	712	358	
Ιωάννινα	153	281	362	172	
Αλεξ/πολη	157	237	293	166	
Χανιά	132	446	619	192	
Ρέθυμνο	80	298	417	123	
Ηράκλειο	307	995	1377	439	
Θεσ/νίκη	342	984	1346	462	
Μέθανα	4	8	11	5	Πόρος
Πόρος	3	11	15	5	ΌΧΙ
Λουτράκι	83	151	194	93	
Ανδρος	6	16	21	8	Ερμούπολη
Λαμία	125	227	292	141	
Κέα	3	6	9	3	ΌΧΙ

Πίνακας 4.13.2: Τελική εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (ΡρW)-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	ΡρW, 1ο τρίμηνο	ΡρW,2ο τρίμηνο	ΡρW, 3ο τρίμηνο	ΡρW, 4ο τρίμηνο
Κύθηρα	0	10	14	0
Μυτιλήνη	50	105	138	59
Χίος	30	83	113	39
Σάμος	34	106	147	48
Ερμούπολη	44	139	194	57
Νάξος	34	129	180	53
Μήλος	8	26	36	11
Σαντορίνη	29	141	202	52
Κως	97	470	671	172
Ρόδος	167	783	1114	291
Κάρπαθος	11	50	71	18
Πάτρα	340	691	906	397
Καλαμάτα	151	293	382	176
Κέρκυρα	82	322	453	130
Κεφαλονιά	49	188	264	76
Βόλος	325	559	712	358
Ιωάννινα	153	281	362	172
Αλεξ/πολη	157	237	293	166
Χανιά	132	446	619	192
Ρέθυμνο	80	298	417	123
Ηράκλειο	307	995	1377	439
Θεσ/νίκη	342	984	1346	462
Μέθανα	0	8	11	0
Πόρος	0	11	15	10
Λουτράκι	83	151	194	93
Ανδρος	0	16	21	0
Λαμία	125	227	292	141
Κέα	0	0	9	0

Πίνακας 4.13.3: Εβδομαδιαία επιβατική ζήτηση (ΡρW)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	ΡρW, 1ο τρίμηνο	ΡρW,2ο τρίμηνο	ΡρW, 3ο τρίμηνο	ΡρW, 4ο τρίμηνο
Λήμνος	22	51	69	27
Καστοριά	154	239	299	165
Κέρκυρα	48	200	282	78
Βόλος	27	60	80	33
Ιωάννινα	120	194	244	130
Αλεξ/πολη	43	65	80	45
Καβάλα	140	271	353	161
Πειραιάς	94	269	369	127

Με βάση τα παραπάνω είναι δυνατό να προσδιοριστεί ο αριθμός των πτήσεων ανά εβδομάδα (*FpW*) και ανά ημέρα (*FpD*). Για τις πτήσεις ανά εβδομάδα λαμβάνεται υπόψιν ως μέγιστη λειτουργική πληρότητα για λόγους ασφαλείας $NPD_{max} = NPD - 1 = 18$ (4.3.5) επιβάτες ανά πτήση. Συγκεκριμένα, προκύπτει:

Πίνακας 4.14.1: Αριθμός πτήσεων ανά εβδομάδα (FpW)-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	FpW, 1ο τρίμηνο	FpW, 2ο τρίμηνο	FpW, 3ο τρίμηνο	FpW, 4ο τρίμηνο
Κύθηρα	0	1	1	0
Μυτιλήνη	3	6	8	4
Χίος	2	5	7	3
Σάμος	2	6	9	3
Ερμούπολη	3	8	11	4
Νάξος	2	8	11	3
Μήλος	1	2	2	1
Σαντορίνη	2	8	12	3
Κως	6	27	38	10
Ρόδος	10	44	62	17
Κάρπαθος	1	3	4	2
Πάτρα	19	39	51	23
Καλαμάτα	9	17	22	10
Κέρκυρα	5	18	26	8
Κεφαλονιά	3	11	15	5
Βόλος	19	32	40	20
Ιωάννινα	9	16	21	10
Αλεξ/πολη	9	14	17	10
Χανιά	8	25	35	11
Ρέθυμνο	5	17	24	7
Ηράκλειο	18	56	77	25
Θεσ/νίκη	20	55	75	26
Μέθανα	0	1	1	0
Πόρος	0	1	1	1
Λουτράκι	5	9	11	6
Ανδρος	0	1	2	1
Λαμία	7	13	17	8
Κέα	0	0	1	0

Πίνακας 4.14.2: Αριθμός πτήσεων ανά εβδομάδα (FpW)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	FpW, 1ο τρίμηνο	FpW, 2ο τρίμηνο	FpW, 3ο τρίμηνο	FpW, 4ο τρίμηνο
Λήμνος	2	3	4	2
Καστοριά	9	14	17	10
Κέρκυρα	3	12	16	5
Βόλος	2	4	5	2
Ιωάννινα	7	11	14	8
Αλεξ/πολη	3	4	5	3
Καβάλα	8	16	20	9
Πειραιάς	6	15	21	8

Ακολουθως για τον προσδιορισμό των πτήσεων ανά ημέρα, δεδομένου ότι η διαίρεση $FpD = FpW/7$ (4.3.6.0) είναι κατά κανόνα ατελής θα ισχύει προφανώς:

$$FpD, min = [FpW]/7 \quad (4.3.6.1) \text{ και}$$

$$FpD, max = [FpW]/7 + 1 \quad (4.3.6.2)$$

Για την παραπάνω διαίρεση (4.3.6), εάν τελεστεί ευκλείδεια, προφανώς για ίσο αριθμό ημερών με το υπόλοιπό της mod θα πραγματοποιούνται FpD, max δρομολόγια και για $7 - mod$ ημέρες FpD, min . Για τη συνέχεια της μελέτης μας ενδιαφέρει ο αριθμός FpD, max δρομολογίων ώστε να ληφθούν υπόψιν δυσμενέστερες συνθήκες σε μία ημέρα αυξημένης ζήτησης π.χ. Παρασκευή. Παρακάτω παρουσιάζεται και το υπόλοιπο των ημερών που προκύπτει ανά ημέρα παρότι εφόσον θα μελετηθεί η πλέον δυσμενή περίπτωση τα στοιχεία αυτά δε θα αξιοποιηθούν στη συνέχεια.

Πίνακας 4.15.1: Μέγιστος αριθμός πτήσεων ανά ημέρα (FpD,max)-Υδατοδρόμιο

Πειραιά

Προορισμός	FpD,max, 1ο τρίμηνο	FpD,max,2ο τρίμηνο	FpD,max, 3ο τρίμηνο	FpD,max, 4ο τρίμηνο
Κύθηρα	0	1	1	0
Μυτιλήνη	1	1	2	1
Χίος	1	1	2	1
Σάμος	1	1	2	1
Ερμούπολη	1	2	2	1
Νάξος	1	2	2	1
Μήλος	0	1	1	1
Σαντορίνη	1	2	2	1
Κως	1	4	6	2
Ρόδος	2	7	9	3
Κάρπαθος	1	1	1	1
Πάτρα	3	6	8	4
Καλαμάτα	2	3	4	2
Κέρκυρα	1	3	4	2
Κεφαλονιά	1	2	3	1
Βόλος	3	5	6	3
Ιωάννινα	2	3	4	2
Αλεξ/πολη	2	3	3	2
Χανιά	2	4	6	2
Ρέθυμνο	1	3	4	2
Ηράκλειο	3	9	12	4
Θεσ/νίκη	3	8	11	4
Μέθανα	0	0	1	0
Πόρος	0	1	1	0
Λουτράκι	1	2	2	1
Ανδρος	0	1	1	0
Λαμία	2	2	3	2
Κέα	0	0	1	0

Πίν 4.15.2: Μέγιστος αριθμός πτήσεων ανά ημέρα (FrD,max)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	FrD,max, 1ο τρίμηνο	FrD,max,2ο τρίμηνο	FrD,max, 3ο τρίμηνο	FrD,max, 4ο τρίμηνο
Λήμνος	1	1	1	1
Καστοριά	2	3	3	2
Κέρκυρα	1	2	3	1
Βόλος	1	1	1	1
Ιωάννινα	2	2	3	2
Αλεξ/πολη	1	1	1	1
Καβάλα	2	3	3	2
Πειραιάς	1	3	4	2

Πίνακας 4.16.1: Υπόλοιπο επιπλέον πτήσεων την εβδομάδα (mod)-Υδατοδρόμιο Πειραιά

Προορισμός	mod, 1ο τρίμηνο	mod,2ο τρίμηνο	mod, 3ο τρίμηνο	mod, 4ο τρίμηνο
Κύθηρα	0	1	1	0
Μυτιλήνη	3	6	1	4
Χίος	2	5	0	3
Σάμος	2	6	2	3
Ερμούπολη	3	1	4	4
Νάξος	2	1	4	3
Μήλος	1	2	2	1
Σαντορίνη	2	1	5	3
Κως	6	6	3	3
Ρόδος	3	2	6	3
Κάρπαθος	1	3	4	2
Πάτρα	5	4	2	2
Καλαμάτα	2	3	1	3
Κέρκυρα	5	4	5	1
Κεφαλονιά	3	4	1	5
Βόλος	5	4	5	6
Ιωάννινα	2	2	0	3
Αλεξ/πολη	2	0	3	3
Χανιά	1	4	0	4
Ρέθυμνο	5	3	3	0
Ηράκλειο	4	0	0	4
Θεσ/νίκη	6	6	5	5
Μέθανα	0	1	1	0
Πόρος	0	1	1	1
Λουτράκι	5	2	4	6
Ανδρος	0	1	2	1
Λαμία	0	6	3	1
Κέα	0	0	1	0

Πίνακας 4.16.2: Υπόλοιπο επιπλέον πτήσεων την εβδομάδα (mod)-Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Προορισμός	mod, 1ο τρίμηνο	mod, 2ο τρίμηνο	mod, 3ο τρίμηνο	mod, 4ο τρίμηνο
Λήμνος	2	3	4	2
Καστοριά	2	0	3	3
Κέρκυρα	3	5	2	5
Βόλος	2	4	5	2
Ιωάννινα	0	4	0	1
Αλεξ/πολη	3	4	5	3
Καβάλα	1	2	6	2
Πειραιάς	6	1	0	1

Η σειρά των ημερών με την οποία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν τα υπόλοιπα ενδεικτικά είναι:

ΠΑ-ΚΥ-(ΣΑ-ΔΕ)-(ΠΕ-ΤΡ-ΤΕ)

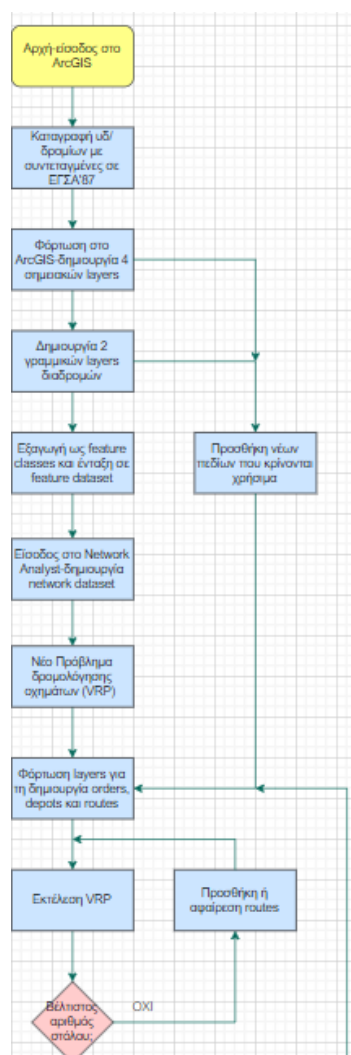
Στην παραπάνω σειρά τοποθετούνται ιεραρχικά οι ημέρες από την υψηλότερη (Παρασκευή) στη χαμηλότερη (Τετάρτη) ζήτηση για υπεραστικά ταξίδια αναψυχής όπως είναι συνήθως αυτά με υδροπλάνα. Για καλύτερη διαχείριση του στόλου μπορεί να υπάρξει αντιμετάθεση μεταξύ των ημερών εντός της ίδιας παρένθεσης καθώς η ζήτηση ανάμεσα σε αυτές δε μεταβάλλεται σημαντικά.

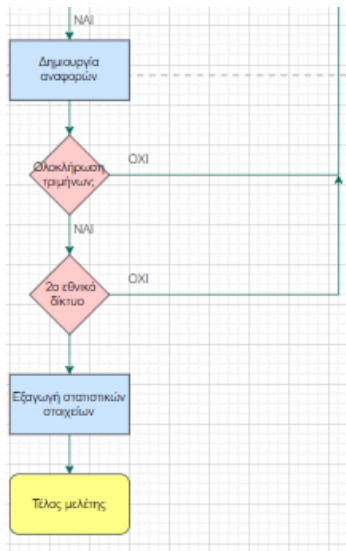
Για τη συνέχεια της εργασίας, θα μελετηθεί ενδεικτικά η Παρασκευή κάθε τριμήνου ως δυσμενέστερη ημέρα της εβδομάδας και για τα δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια Πειραιά και Θεσσαλονίκης, συνεπώς ενδιαφέρει η μεταβλητή FpD, max . Απομένει τέλος να βρεθεί ο αριθμός επιβατών ανά δρομολόγιο (*Passengers per Route*) PpR ως $PpR = [PpW / FpW] + 1$ (4.3.7) ο οποίος προφανώς και στη δυσμενέστερη περίπτωση στρογγυλοποιείται προς τα επάνω. Η προεργασία στο Microsoft Excel έχει πλέον ολοκληρωθεί και πλέον σειρά έχει η μεταφορά των παραπάνω αποτελεσμάτων που προέκυψαν ως δεδομένων στο Network Analyst του ArcGIS.

5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ARCGIS-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ ΤΟ NETWORK ANALYST

5.1 Δημιουργία των βασικών θεματικών επιπέδων

Όπως προαναφέρθηκε στην παρ.3.3.3, για εφαρμογή στην παρούσα εργασία, ως διαταγές (*orders*) δηλώνονται τα υδατοδρόμια προορισμού, ως αμαξοστάσια (*depots*) τα μητροπολιτικά υδατοδρόμια Πειραιά και Θεσσαλονίκης και ως οχήματα δρομολόγησης (*routes*) τα αεροσκάφη που θα αναλάβουν την υλοποίηση των δρομολογίων του δικτύου. Στην εικ. 5.1 που ακολουθεί απεικονίζεται συνοπτικά οι εργασίες που θα πραγματοποιηθούν στην παρούσα εργασία.

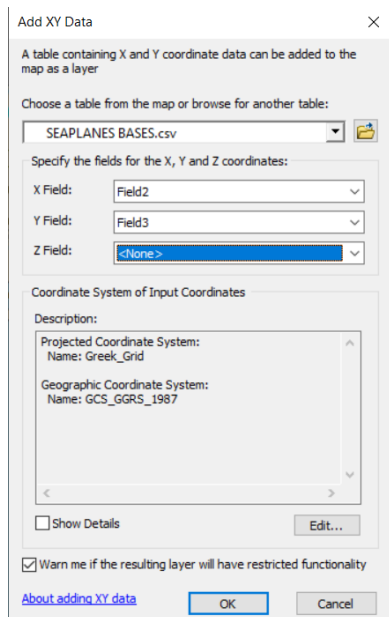




Εικ. 5.1 Διάγραμμα ροής-εργασίες στο ArcGIS, δημιουργία στο <https://app.diagrams.net/>

Ο λόγος που είναι σημαντικός ο συντελεστής FpD, \max για τη συνέχεια του προβλήματος σχετίζεται με ότι στην εργασία επιζητείται κάτι που δεν είναι προαπαιτούμενο στο μαθηματικό ορισμό του VRP (βλ. παρ. 3.2.2) και προφανώς το λογισμικό δεν το γνωρίζει: μία διαταγή (order) δε χρειάζεται να εξυπηρετηθεί πάνω από μία φορά, κάτι που ζητείται όμως εδώ. Η λύση σε αυτό: κάθε υδατοδρόμιο προορισμού δηλώνεται στο λογισμικό ως order FpD, \max φορές.

Συγκεκριμένα, οι τοποθεσίες (*locations*) των υδατοδρομίων προορισμού πρέπει να δηλωθούν από ένα σχετικό shapefile σημειακών δεδομένων που έχει εξαχθεί σε *layer*. Ένα τέτοιο αρχείο με τις λιγότερες δυνατές πληροφορίες οφείλει να περιλαμβάνει α) τα ονόματα των υδατοδρομίων και β) τη θέση τους σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Επιλέγεται εδώ να δηλωθούν σε ΕΓΣΑ'87 (X,Y) ώστε να συμβαδίζουν με το βασικό πολυγωνικό *layer* της ελληνικής επικράτειας. Με στοιχειώδεις διαδικασίες στο ArcMap (*Add XY Data*) ένας πίνακας που έχει δημιουργηθεί σε Microsoft Excel και εφόσον το σχετικό αρχείο έχει την κατάλληλη επέκταση .csv μπορεί να δημιουργήσει ένα γραμμικό *layer*.

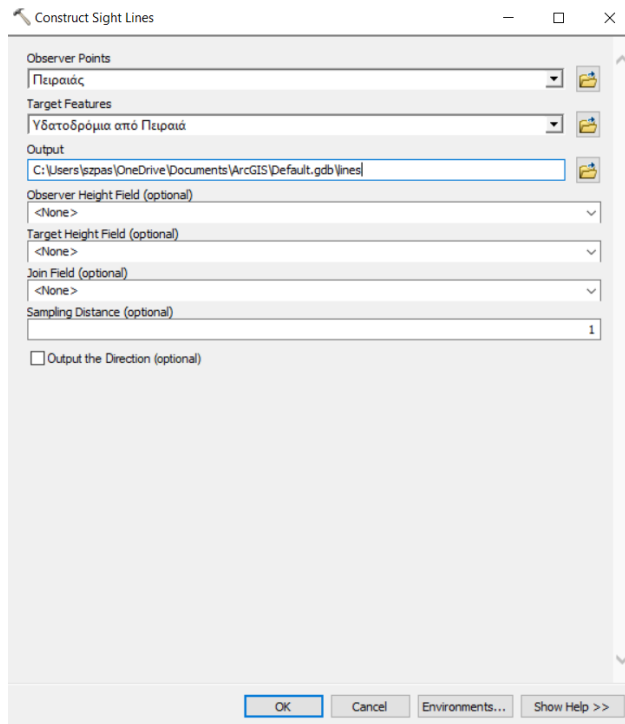


εικ. 5.2 Add XY data: δημιουργία σημειακού θεματικού επιπέδου από αρχείο .csv

Στην παρούσα εργασία η παραπάνω δραστηριότητα επαναλαμβάνεται χάριν ευκολίας 2 φορές, μία για τα υδατοδρόμια στο δίκτυο Πειραιά και ακολούθως άλλη μία για αυτά του αντίστοιχου της Θεσσαλονίκης.

Η δημιουργία των θεματικών επιπέδων των υδατοδρομίων, εκτός του ότι θα συγκροτήσουν τις βασικές κλάσεις *orders* και *depots* στο VRP πρέπει πρώτα να βοηθήσουν στο να δομηθεί το δίκτυο των διαδρομών των υδατοδρομίων ώστε να δομηθεί στη συνέχεια ως *network dataset*. Όπως προαναφέρθηκε στην παρ.4.1 είναι δυνατόν να θεωρηθεί η τροχιά που ακολουθεί το υδροπλάνο ως ευθεία γραμμή. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι στο ArcGIS για να δημιουργηθεί το σχετικό θεματικό επίπεδο. Επιλέγεται η λειτουργία της κατασκευής γραμμών ορατότητας (*construct sight lines*). Η λειτουργία αυτή έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψιν και τυχόν υψομετρική πληροφορία ως περιορισμό η οποία εδώ δε χρησιμεύει.

Αρχικά κρίνεται σκόπιμο να γίνουν δύο ξεχωριστά θεματικά πεδία τα δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια Πειραιά και Θεσσαλονίκης μέσω απλής επιλογής (*selection*) και εξαγωγής νέου θεματικού επιπέδου (*Create Layer from Selected Features*) (καθότι αποτελεί ήδη το καθένα υδατοδρόμιο προορισμού για το αντίθετο μητροπολιτικό). Ακολούθως σε δύο ξεχωριστές διαδικασίες για τα δίκτυα Πειραιά και Θεσσαλονίκης, δηλώνεται το μητροπολιτικό υδατοδρόμιο ως *observer point*, τα υδατοδρόμια προορισμού ως *target features* και προκύπτουν ως *output* οι τροχιές των υδροπλάνων ως ευθύγραμμα τμήματα (θεματικά επίπεδα "*lines_1*" και "*lines_2*").



Εικ. 5.3 Κατασκευή γραμμών ορατότητας (*construct sight lines*)

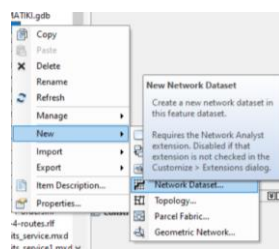
Στα παραπάνω θεματικά επίπεδα των τροχιών δημιουργούνται τα παρακάτω πεδία: α) του μήκους των γραμμών “*Shape_Length*” μέσω της αυτοματοποιημένης σχετικής λειτουργίας “*Calculate Geometry*”. Λόγω του ότι το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87 είναι σε m, τα μεγέθη του πεδίου αναφέρονται επίσης σε m β) πεδίο “*Length*” όπου πολύ απλά για λόγους εποπτείας μέσω του *Field Calculator* τα παραπάνω μήκη μετρούνται σε km γ) χρονικό πεδίο “*Time*” όπου από τις εξ. (4.2.1) και (4.2.2) δηλώνεται ο χρόνος που χρειάζεται να διανυθεί το κάθε τμήμα σε min. Η ανάλυση στο VRP βασίζεται κατά κόρον στο συγκεκριμένο πεδίο.

OBJECTID*	Shape*	OID OBSERV	OID TARGET	Shape Length	Length	Time
1	Polyline	1	0	192615,518222	192,615518	57,457472
2	Polyline	2	0	283001,935764	283,001936	81,560516
3	Polyline	3	0	222049,78942	222,049789	65,306611
4	Polyline	4	0	290455,626254	290,455626	83,548167
5	Polyline	5	0	125291,571976	125,291572	39,504419
6	Polyline	6	0	176400,142565	176,400143	53,133371
7	Polyline	7	0	151337,751453	151,337751	46,450067
8	Polyline	8	0	230844,955336	230,844955	67,651988
9	Polyline	9	0	341237,205678	341,237206	97,089922
10	Polyline	10	0	437872,52919	437,872529	122,859341
11	Polyline	11	0	415678,73916	415,678739	116,940997
12	Polyline	12	0	173885,844263	173,885844	52,462892
13	Polyline	13	0	170783,301777	170,783302	51,635547
14	Polyline	14	0	376801,896621	376,801897	106,573839
15	Polyline	15	0	279828,193999	279,828194	80,714185
16	Polyline	16	0	168742,387534	168,742388	51,091303
17	Polyline	17	0	311038,940685	311,038941	89,037051
18	Polyline	18	0	374280,769066	374,280769	105,901538
19	Polyline	19	0	268538,040045	268,53804	77,703477
20	Polyline	20	0	293775,394101	293,775394	84,433438
21	Polyline	21	0	316534,038423	316,534038	90,50241
22	Polyline	22	0	296904,876885	296,904877	85,267967
23	Polyline	23	0	47061,364656	47,061365	18,643031
24	Polyline	24	0	51563,267996	51,563268	19,843538
25	Polyline	25	0	61421,663799	61,421664	22,472444
26	Polyline	26	0	94678,874594	94,678875	31,341033
27	Polyline	27	0	142020,730832	142,020731	43,965528
28	Polyline	28	0	64614,349073	64,614349	23,323826

Πίν 5.1 Πίνακας Ιδιοτήτων (Attribute Table), θεματικό επίπεδο “lines_1” δικτύου από Πειραιά

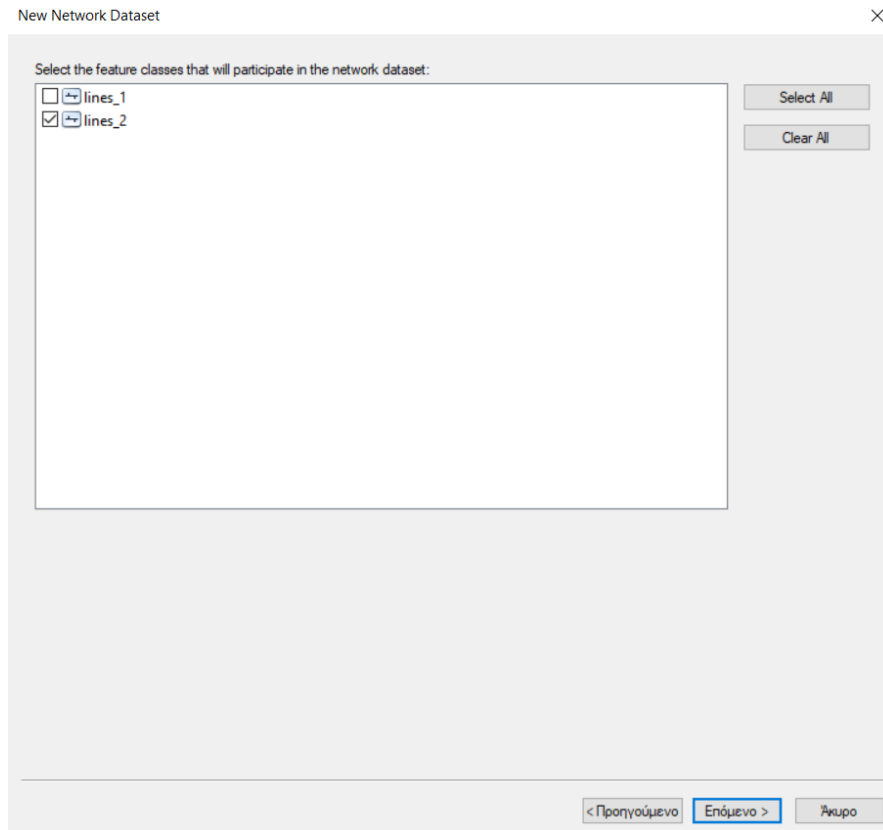
5.2 Δημιουργία του Network Dataset

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί στην παρ. 3, το *network dataset* απαιτεί ως είσοδο (*input*) δεδομένα σε μορφή *feature dataset*. Συνεπώς μπορούν πολύ εύκολα τα θεματικά επίπεδα των δικτύων να μετατραπούν σε *feature classes* και ακολούθως να ενταχθούν σε ένα *feature dataset* στη Γεωβάση του προβλήματος.



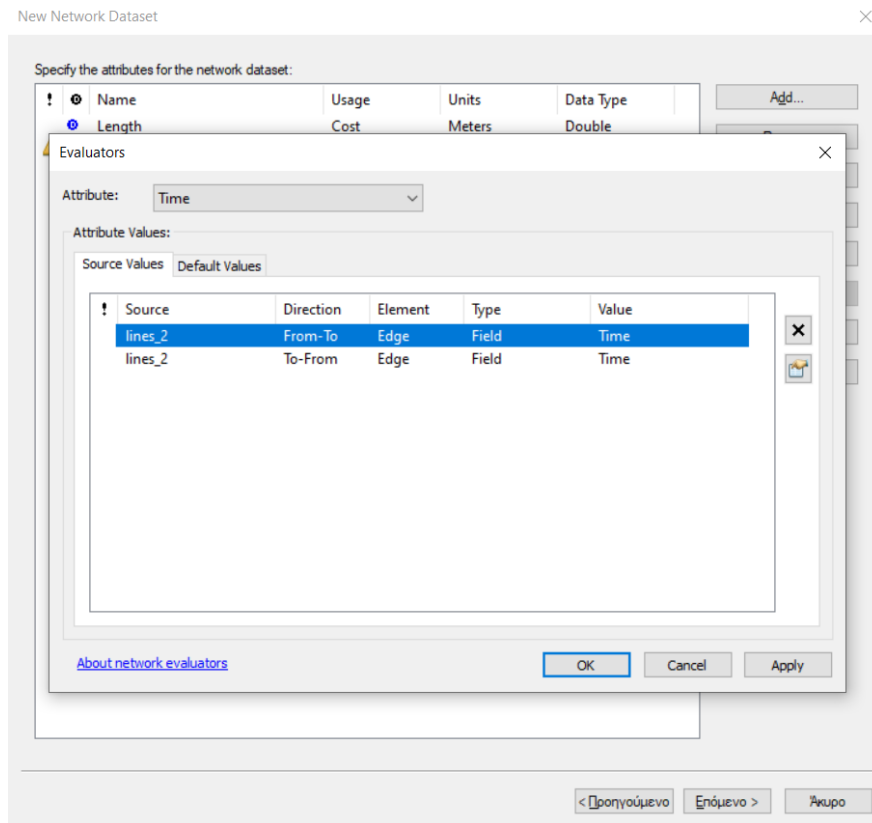
Εικ.5.4 Δημιουργία Network Dataset από Feature Class

Ακολουθεί η δημιουργία των δύο *network datasets*, σύμφωνα με όσα περιγράφονται στην παρ. 3 και έχοντας ως *inputs* τα *feature classes* των τροχιών των υδροπλάνων.

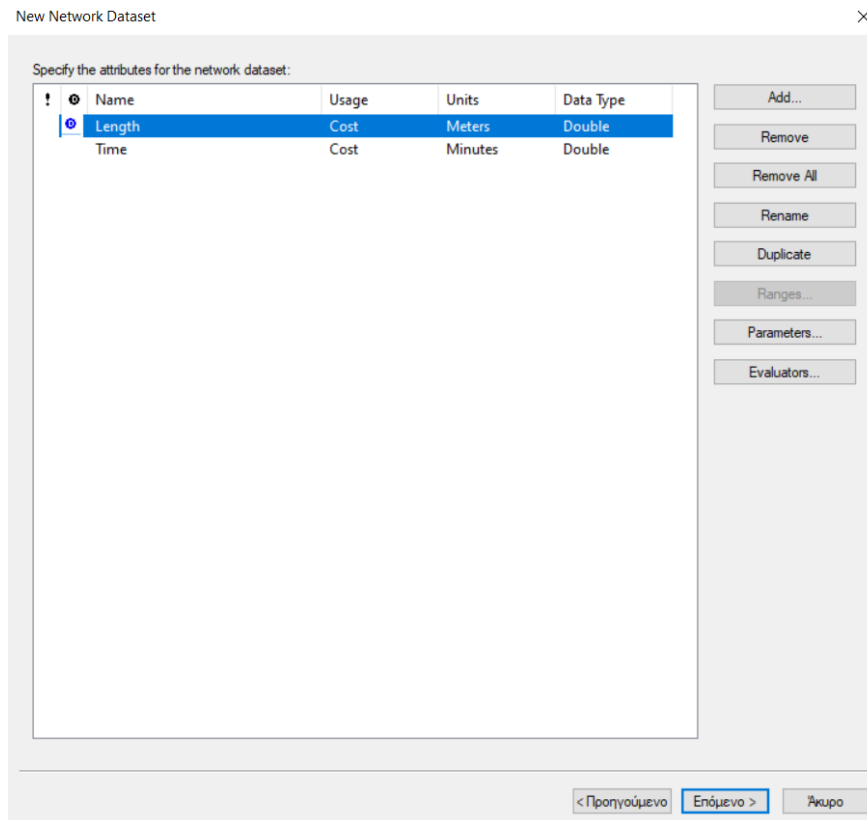


Εικ. 5.5 Επιλογή του feature class “lines_2” για τη δόμηση του network dataset του δικτύου της Θεσσαλονίκης

Ακολουθως ως παράμετρος κόστους (*cost*) πρέπει να δηλωθεί εκτός από τον προεπιλεγμένο του μήκους *length* με εκτιμητή (*evaluator*) το πεδίο “Shape_Length” και ο αντίστοιχος του χρόνου *time* και προφανώς και ο εκτιμητής του (το ομώνυμο πεδίο “Type” του feature class).

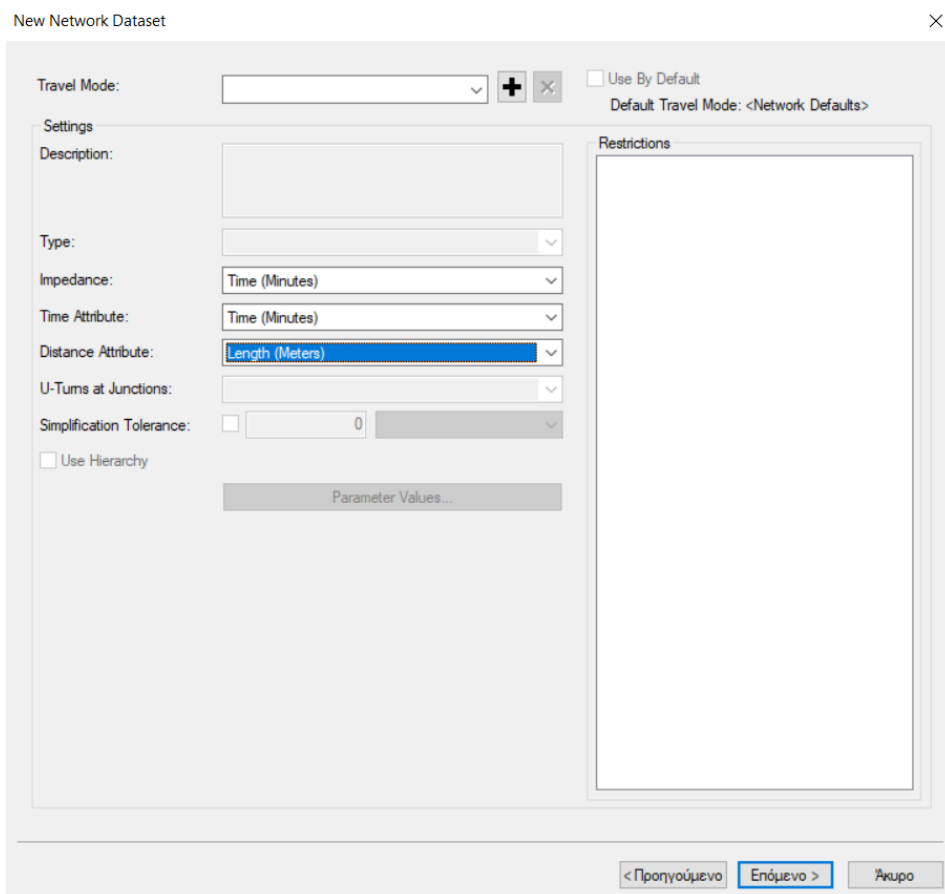


εικ. 5.6 Δημιουργία της χρονικής ιδιότητας "Time" ως αμφίδρομου συνδέσμου (edge) και σύνδεσή του με το αντίστοιχο πεδίο του feature class



Εικ.5.7 Ιδιότητες του network dataset, χρήση τους ως παράμετροι κόστους, μονάδες μέτρησης και δήλωση τύπου δεδομένων στη μνήμη του λογισμικού

Ακολουθως οι παραπάνω ιδιότητες δηλώνονται ως αυτό που είναι, δηλ. ιδιότητες χρόνου και απόστασης αντίστοιχα. Από την (4.2.1), προφανώς ενδιαφέρει η χρονική ιδιότητα, για το λόγο αυτό και θα δηλωθεί αυτή ως παράγοντας εμπόδισης (*impedance*).



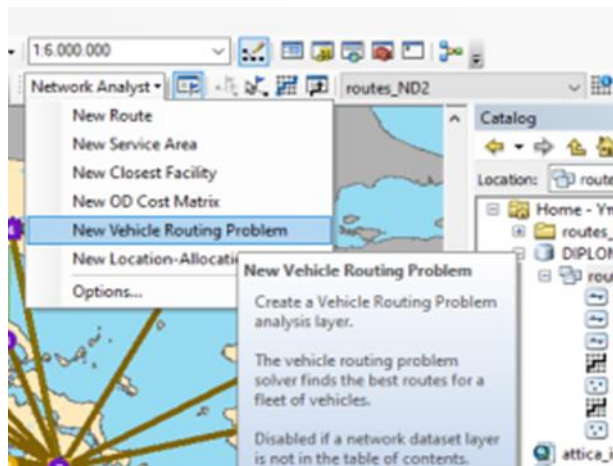
Εικ.5.8 Ορισμός ιδιοτήτων χρόνου, απόστασης και εμπόδισης

5.3 Κατάστρωση του προβλήματος VRP

Αφού έχει ολοκληρωθεί η δημιουργία του network dataset, είναι δυνατή πλέον η δόμηση του προβλήματος VRP και ακολούθως η επίλυσή του. Ισχύει συγκεκριμένα η εξής αντιστοίχιση θεματικών επιπέδων (*layers*) και κλάσεων (*classes*) του VRP:

Πίν. 5.2 Αντιστοίχιση κλάσεων ArcGIS, στοιχείων του προβλήματος και θεματικών επιπέδων-επέκταση του πίν. 3.10

Κλάση VRP	Στοιχείο προβλήματος	Θεματικό επίπεδο	Τύπος στοιχείου
orders	Υδατοδρόμια προορισμού	Υδατοδρόμια Πειραιά/ Υδατοδρόμια Θεσ/νίκης	Σημειακό
depots	Υδατοδρόμια αφετηρίας	Πειραιάς/Θεσσαλονίκη	Σημειακό
routes	Στόλος αεροσκαφών	Οποιοδήποτε γραμμικό (μετονομασία στοιχείων Στο VRP)	Γραμμικό



Εικ. 5.9 Επιλογή επίλυσης προβλήματος VRP από Network Analyst

Κατά την εισαγωγή των παραπάνω θεματικών επιπέδων στο VRP, κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί αν χρειάζονται νέα πεδία (*fields*) πέραν των στοιχειωδών. Ξεκινώντας με τις ιδιότητες (*properties*) της κλάσης των *orders* όπως παρουσιάστηκαν αναλυτικά στην παρ. 3.3.3 [118M] και ζητείται τώρα να δηλωθούν αριθμητικές τιμές σε αυτές, παρατηρούνται τα εξής:

α) το **όνομα** (*name*) του υδατοδρομίου: στοιχειώδης πληροφορία η οποία ήδη έχει δηλωθεί

β) ο **χρόνος εξυπηρέτησης** (*service time*): ομοίως βασική πληροφορία που αφορά την ελάχιστη παραμονή ενός αεροσκάφους μεταξύ άφιξης στο υδατοδρόμιο προορισμού και επιστροφής στο αντίστοιχο της αφετηρίας. Από τα στοιχεία που έχουν παρατεθεί για τη λειτουργία του δικτύου στο κεφ. 4 και τη δόμηση εδώ του *network dataset* ένας χρόνος της τάξης των 30 λεπτών, κοινός για όλα τα υδατοδρόμια κρίνεται επαρκής και εντός λογικού πλαισίου. Καθότι ενιαίος, μπορεί να δηλωθεί απευθείας στο VRP. Σε αντίθετη περίπτωση θα χρειαζόταν να δημιουργηθεί πρώτα το σχετικό πεδίο (*field*) στο *layer* εισόδου.

γ) τα **χρονικά παράθυρα** (*time windows*): μπορούν να δηλωθούν έως και 2 αντίστοιχα καθορίζοντας συγκεκριμένα το χρόνο που το συγκεκριμένο υδατοδρόμιο θα εξυπηρετηθεί. Κάτι τέτοιο αυξάνει σημαντικά τη δυσκολία του προβλήματος (βλ. σχετικά με το VRPTW στην παρ. 3.2.2) χωρίς ουσιαστικό λόγο γι' αυτό και δε θα δηλωθούν στην παρούσα εργασία.

δ) ο **μέγιστος χρόνος παραβίασης-καθυστερήσεων** (*max violation time*): Αναφέρεται στη μέγιστη επιτρεπτή από το λογισμικό υπέρβαση των αντίστοιχων χρονικών παραθύρων, εφόσον αυτά έχουν δηλωθεί παραπάνω. Κάτι τέτοιο δεν ισχύει στην παρούσα εργασία, γι' αυτό και η ιδιότητα αυτή αγνοείται.

ε) οι **χρόνοι εισερχόμενης άφιξης και εξερχόμενης αναχώρησης** (*inbound arrive time* και *outbound depart time*): λειτουργούν αντίστοιχα με τα χρονικά παράθυρα αλλά η αναφορά γίνεται στο μητροπολιτικό υδατοδρόμιο (*depot*). Συγκεκριμένα

αποτελούν χρήσιμες ιδιότητες αφού μέσω αυτών μπορεί να δηλωθεί ο χρονικός διαχωρισμός μεταξύ των εισερχόμενων και εξερχόμενων αεροσκαφών σε ένα μητροπολιτικό υδατοδρόμιο. Καθότι: α) Ο χρόνος αναχώρησης ενός αεροσκάφους υπερβαίνει κατά πολύ τον αντίστοιχο της άφιξης (ενδεικτικές τιμές 6 min/2 min αντίστοιχα, Πασχαλίδης 2020[0]) και β) Η οργάνωση των αναχωρήσεων τουλάχιστον για τα πρώτα δρομολόγια είναι σαφώς ευκολότερη από την αντίστοιχη των αφίξεων, θα οριστεί για τις αναχωρήσεις ένας ελάχιστος χρονικός διαχωρισμός 1 min στην αρχή της ημέρας όταν αυτές γίνονται μαζικά μέσω του *outbound depart time*, αφού προηγουμένως ξεκαθαριστεί ο αριθμός του χρησιμοποιούμενου στόλου αεροσκαφών.

στ) οι **ποσότητες παραλαβής και διανομής** (*delivery and pickup quantities*): όπως έχει αναφερθεί ήδη εξ αρχής δεν μπορούν να υπερβαίνουν τη χωρητικότητα του οχήματος του δρομολογίου (*route capacity*). Για το λόγο αυτό ορίστηκε η μεταβλητή FpD,max η οποία δείχνει πόσες φορές απαιτείται να εξυπηρετηθεί το υδατοδρόμιο στη διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς δεν καθίσταται απαραίτητη η δήλωση τους παρότι εντέλει εδώ είναι δυνατό από τους πίνακες ημερήσιας επιβατικής κίνησης ανά αεροσκάφος PpR (εδώ έχουν δηλωθεί ως PpV) να δηλωθούν στο λογισμικό και ακολούθως να θεωρηθούν είτε αποκλειστικά ποσότητες παραλαβής είτε αποκλειστικά διανομής (πλέον ρεαλιστικό σενάριο εάν υποτεθεί ότι η δρομολόγηση αναφέρεται σε ημέρα Παρασκευή) είτε ακόμη με κάποιον τρόπο να μοιραστούν.

ζ) το παραγόμενο **εισόδημα** (*revenue*): παρότι προφανώς δεν επηρεάζει την τελική λύση είναι χρήσιμο να εμφανιστεί μιας και αποτελεί τη μοναδική αιτία κάποιος ιδιωτικός φορέας να συμμετέχει σε μία αγορά, εδώ των αερομεταφορών με υδροπλάνο. Από την προηγούμενη εργασία [0], με βάση την ανάλυση που είχε προηγηθεί από τον Παγωνάκη[1], για σημείο ισορροπίας εσόδων-εξόδων (*break even point*) $U=0,8$ προκύπτει η εξίσωση ακαθάριστου εισοδήματος (*gross revenue*):

$$GRV = (1/U) * (18,46 * RT + 105) = 1,25 * (18,46 * RT + 105) \quad (5.1.1)$$

Όπου RT , ο χρόνος διαδρομής (*Route Time*).

*να σημειωθεί ότι εκ παραδρομής δηλώθηκε στο ArcGIS ως NRV (net revenue)

η) ο **κανόνας ανάθεσης** (*assignment rule*): υπάρχουν συνολικά έξι κανόνες αριθμημένοι από 0 έως 5. Το λογισμικό έχει προεπιλέξει τον κανόνα (3) παράκαμψης (*override*) όπου προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η αντικειμενική συνάρτηση αγνοούνται οι προηγούμενες αναθέσεις οχημάτων (*routes*) στον προορισμό (*order*). Επιλέγεται εδώ ο συγκεκριμένος κανόνας να διατηρηθεί.

θ) οι **περιορισμοί προσέγγισης** (*curb approach*): η συγκεκριμένη ιδιότητα σχετίζεται με τις στροφές του δικτύου και την προσέγγιση μια τοποθεσίας. Στην περίπτωση της εργασίας, το δίκτυο έχει δομηθεί στην απλούστερη δυνατή μορφή και συνεπώς οι περιορισμοί αυτοί δεν έχουν καμία απολύτως σημασία.

Με βάση τα παραπάνω δημιουργούνται τα εξής πεδία στα σχετικά θεματικά επίπεδα:

Πίν. 5.3 Θεματικό Επίπεδο Υδατοδρομίων από Πειραιά-Πίνακας Ιδιοτήτων

FID	Shape *	Field1	Field2	Field3	Service t	PpV 1	PpV 2	PpV 3	PpV 4	Time	NRV 1
24	Point	Loutraki	409511,792	4202488,907	30	14	18	18	16	22,472444	649,801645
22	Point	Methana	446118,772	4158802,962	30	0	0	9	0	18,643031	561,43794
23	Point	Poros	452183,109	4150781,912	30	0	17	13	0	19,843538	589,139639
27	Point	Kea	527793,068	4168364,944	30	0	0	0	0	23,323826	669,447285
26	Point	Lamia	376262,257	4304817,319	30	17	17	17	17	43,965528	1145,754559
11	Point	Patras	300818,891	4235379,258	30	18	18	18	18	52,462892	1341,831233
12	Point	Kalamata	332533,28	4098646,896	30	18	17	18	18	51,635547	1322,740247
25	Point	Andros	565275,737	4192274,197	30	0	2	18	0	31,341033	854,444336
15	Point	Volos	408907,567	4355828,661	30	17	18	18	18	51,091303	1310,181817
4	Point	Ermoupoli	583315,421	4143688,709	30	15	17	18	18	39,504419	1042,814468
6	Point	Milos	537999,68	4063244,279	30	0	11	15	10	46,450067	1203,085296
0	Point	Kythira	416594,191	4014033,702	30	0	9	12	0	57,457472	1457,081166
5	Point	Naxos	621498,93	4107125,469	30	10	18	17	15	53,133371	1357,302536
14	Point	Cefalonia	192914,86	4231556,017	30	14	17	18	16	80,714185	1993,729819
7	Point	Santorini	627597,494	4029410,585	30	8	17	17	14	67,651988	1692,319623
2	Point	Chios	687068,67	4249307,065	30	9	17	16	17	65,306611	1638,200049
18	Point	Chania-Kissamos	467151,444	3930344,099	30	18	18	18	18	77,703477	1924,257732
16	Point	Ioannina	230294,983	4396062,628	30	18	18	18	18	89,037051	2185,779952
21	Point	Thessaloniki	412656,985	4490007,944	30	18	18	18	18	85,267967	2098,808339
19	Point	Rethymno	543653,609	3914251,799	30	14	18	18	17	84,433438	2079,551582
1	Point	Mytilini	721302,734	4330582,063	30	14	18	17	16	81,560516	2013,258907
13	Point	Corfu	148863,74	4394611,904	30	15	17	18	17	106,573839	2590,441335
3	Point	Samos	760845,896	4182953,511	30	10	18	18	13	83,548167	2059,123954
20	Point	Herakleion	605040,372	3912185,94	30	18	18	18	18	90,50241	2219,593111
8	Point	Kos	793582,711	4088082,79	30	16	18	18	18	97,089922	2371,59995
17	Point	Alexandroupoli	658859,688	4522476,249	30	15	18	18	17	105,901538	2574,927989
10	Point	Karpathos	791469,231	3934325,862	30	5	14	15	15	116,940997	2829,663506
9	Point	Rhodes	879440,643	4041483,52	30	16	18	18	17	122,859341	2966,229294

Πίν. 5.4 Θεματικό Επίπεδο Υδατοδρομίων από Θεσσαλονίκη-Πίνακας Ιδιοτήτων

FID	Shape *	Field1	Field2	Field3	Service t	PpV 1	PpV 2	PpV 3	PpV 4	Time	NRV 1
0	Point	Limnos	590078,503	4413883,271	30	18	14	14	11	57,5768	1459,83466
1	Point	Kastoria	267745,667	4487511,98	30	18	18	18	17	44,742133	1163,674719
2	Point	Corfu	148863,74	4394611,904	30	14	17	18	16	80,8968	1997,94366
3	Point	Volos	408907,567	4355828,661	30	12	17	17	14	41,888534	1097,827922
4	Point	Ioannina	230294,983	4396062,628	30	17	18	18	18	60,796802	1534,136206
5	Point	Alexandroupoli	658859,688	4522476,249	30	18	18	17	13	72,315738	1799,935654
6	Point	Kavala	533801,573	4530980,516	30	17	17	18	17	40,196265	1058,778815
7	Point	Piraeus	420826,011	4198856,974	30	17	18	18	18	85,268001	2098,809123

Οι παραπάνω πληροφορίες φορτώνονται στο VRP ενδεικτικά ως εξής:

Load Locations ×

Load From: Υδατοδρόμια από Πειραιά 📁

Only show point layers

Only load selected rows

Sort Field: ▼

Location Analysis Properties

Property	Field	Default Value
Name	<u>Field_1</u>	
Description		
ServiceTime	<u>Service_t</u>	
TimeWindowStart1		
TimeWindowEnd1		
TimeWindowStart2		
TimeWindowEnd2		
MaxRelaxationTime1		

Location Position

Use Geometry

Search Tolerance: 5000 Meters ▼

Use Network Location Fields

Property	Field
SourceID	
SourceOID	
PosAlong	
SideOfEdge	

Advanced... [About load locations](#) OK Cancel

εικ. 5.10α Φόρτωση τοποθεσιών ως υδατοδρομίων προορισμού (*orders*)

Load Locations ×

Load From: Υδατοδρόμια από Πειραιά 📁

Only show point layers

Only load selected rows

Sort Field: ▼

Location Analysis Properties

Property	Field	Default Value
InboundArriveTime		
OutboundDepartTime		
DeliveryQuantities	<u>PpV_1</u>	
PickupQuantities		
Revenue	<u>NRV_1</u>	
SpecialtyNames		
AssignmentRule		Override
RouteName		

Location Position

Use Geometry

Search Tolerance: 5000 Meters ▼

Use Network Location Fields

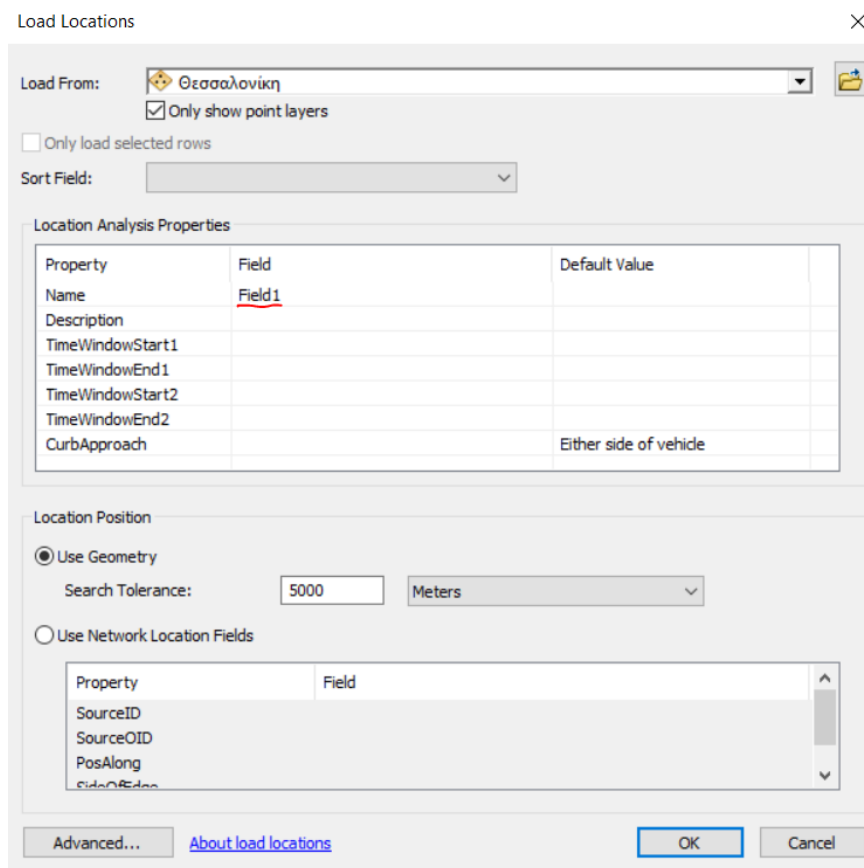
Property	Field
SourceID	
SourceOID	
PosAlong	
SideOfEdge	

Advanced... [About load locations](#) OK Cancel

εικ. 5.10β Φόρτωση τοποθεσιών ως υδατοδρομίων προορισμού (*orders*)-συνέχεια

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται επίσης ότι το λογισμικό ανέχεται έως και 5 km διαφορά κατά την αναζήτηση της εκάστοτε τοποθεσίας υδατοδρομίου. Τέλος είναι σημαντικό να μην ξεχαστεί να φορτωθεί κάθε υδατοδρόμιο FrD,max φορές στο λογισμικό.

Ακολουθεί η αντίστοιχη διαδικασία για τα μητροπολιτικά υδατοδρόμια αφετηρίας (*depots*). Η διαδικασία προφανώς και είναι παρόμοια με τα υδατοδρόμια προορισμού-εντέλει προκύπτει ευκολότερη αν αναλογιστεί κανείς: α) ότι η σχετική κλάση περιέχει λιγότερες ιδιότητες από την αντίστοιχη των *orders* και β) το κάθε μητροπολιτικό υδατοδρόμιο αφετηρίας έχει ήδη φορτωθεί ως υδατοδρόμιο προορισμού για το άλλο, επομένως μπορεί να εξαχθεί απλούστατα ως θεματικό επίπεδο ενός μόνο στοιχείου με διαδικασία επιλογής (*selection*).



εικ. 5.11 Φόρτωση υδατοδρομίων αφετηρίας (*depots*)

Τέλος η κλάση των οχημάτων δρομολόγησης (*routes*) έχει ορισμένες ιδιομορφίες. Συγκεκριμένα δομείται σε γραμμικό θεματικό επίπεδο, για το οποίο σε αντίθεση με τα *orders* και *depots* δεν υπάρχουν γνωστές πληροφορίες από πριν-βασικά δεν είναι καν γνωστό το μέγεθος των στοιχείων του, αποτελεί ζητούμενο του προβλήματος! Απ' την άλλη στην κλάση αυτή θα οριστούν οι χρονικοί περιορισμοί του προβλήματος. Στις ιδιότητες αυτής περιλαμβάνονται τα εξής:

α) το **όνομα** (*name*): ενδεικτικά αριθμούνται τα αεροσκάφη του δικτύου ως εξής: από 101 και άνω αυτά με έδρα τον Πειραιά και από 201 και άνω τα αντίστοιχα με βάση τη Θεσσαλονίκη. Κάθε φορά προστίθεται και ένα αεροσκάφος μέχρις ότου να μην υπάρχει η ένδειξη σφάλματος (*violated constraint*) *MaxOrderCount exceeded* (1)

β) το **όνομα υδατοδρομίου έναρξης και τέλους** (*StartDepotName* και *EndDepotName*): πάρα πολύ απλό τι πρέπει να δηλωθεί, προφανώς και τα δύο πεδία λαμβάνουν υποχρεωτικά την ίδια αλφαριθμητική τιμή.

γ) οι **χρόνοι υπηρεσίας βάσης έναρξης και τέλους** (*StartDepotServiceTime* *EndDepotServiceTime*): αναφέρονται σε μη παραγωγικούς χρόνους όπου δεν εκτελούνται δρομολόγια, οι οποίοι όμως ενδέχεται να είναι απαραίτητοι για την προετοιμασία και την αποκατάσταση των αεροσκαφών αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία αγνοούνται.

δ) ο **χρόνος έναρξης υπηρεσίας, νωρίτερος και αργότερος** (*EarliestStartTime* και *LatestStartTime*): αναφέρεται σε ποιο χρονικό διάστημα πρέπει ένα αεροσκάφος να ξεκινήσει τα δρομολόγια. Στην πράξη εφόσον υπάρχει ένας υδάτινος διάδρομος απογείωσης, τα αεροσκάφη δεν μπορούν να εκκινήσουν ταυτόχρονα αλλά απαιτούνται κάποιοι ελάχιστοι χρονικοί διαχωρισμοί οι οποίοι όμως εδώ δεν ορίζονται (πέραν από τα δύο διαθέσιμα χρονικά παράθυρα). Δεδομένου ότι από (Πασχαλίδης, 2020)[0] ο χρόνος απογείωσης (AT) υπολογίζεται στα 6 min (0,1 h) και ένα μεγάλο ποσοστό αυτού αφορά την προθέρμανση των κινητήρων, αποφασίζεται να τηρηθεί χρονικός διαχωρισμός 1 min μεταξύ των αεροσκαφών που απογειώνονται. Ο συγκεκριμένος δηλώνεται εκ των υστέρων αφού προηγουμένως οριστεί ο αριθμός του χρησιμοποιούμενου στόλου μέσω της σχετικής ιδιότητας *InboundArriveTime* της κλάσης των *depots* και αφορά μόνο την έναρξη λειτουργίας όπου υπάρχουν μαζικές αναχωρήσεις από τα μητροπολιτικά υδατοδρόμια.

ε) ο **χρόνος καθυστέρησης άφιξης και αναχώρησης** (*ArriveDepartDelay*): ταυτίζεται με τους χρόνους ανάπτυξης και ελάττωσης της ταχύτητας του αεροσκάφους κατά την αποθαλάσωση/προσθαλάσωση αντίστοιχα, δηλ. ταυτίζεται με τους χρόνους AT και BT (βλ. παρ. 4.2). Επειδή όμως έχει υποτεθεί $AT \neq BT$, δυστυχώς δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί εδώ και συνεπώς αναπτύσσεται το σκεπτικό της παρ. 4.2.

στ) η **χωρητικότητα** του οχήματος (*capacities*): προφανής ιδιότητα η οποία μπορεί να δηλωθεί για έως δύο μονάδες μέτρησής της (και προφανώς πρέπει και οι δύο περιορισμοί να τηρούνται συγχρόνως). Στην περίπτωση της εργασίας προφανώς αναφέρεται στη χωρητικότητα 19 θέσεων του αεροσκάφους DeHavilland DHC-6 Twin Otter του μοντέλου [1]. Όπως έχει ήδη αναφερθεί με βάση τη μαθηματική διατύπωση του VRP (με βάση και την οποία έχει δομηθεί ο αλγόριθμος στο ArcGIS), αυτή καλύπτει την περίπτωση εξυπηρέτησης κόμβου για μόνο μία φορά, δηλ. πιθανότατα ο κόμβος 0 του depot να αποτελεί απλά την αρχή και το τέλος της περιήγησης (βλ. παρ.3.1.1). Συνεπώς ο αλγόριθμος και το λογισμικό εξασφαλίζουν φόρτωση του οχήματος μόνο μία φορά. Ωστόσο, μέσω της σχετικής προεργασίας στο Microsoft Excel, έχει εξασφαλιστεί μέσω των μεταβλητών *PrR* ότι η χωρητικότητα

δεν παραβιάζεται και συνεπώς δεν είναι αναγκαία η δήλωσή της στο ArcGIS. Εναλλακτικά, υπάρχει και η δυνατότητα δήλωσης μιας πλασματικής χωρητικότητας (π.χ. δεκαπλάσια 190 θέσεων) η οποία προφανώς θα είναι τουλάχιστον ίση με το σύνολο των μεταφερόμενων επιβατών ανά όχημα εντός της ημέρας.

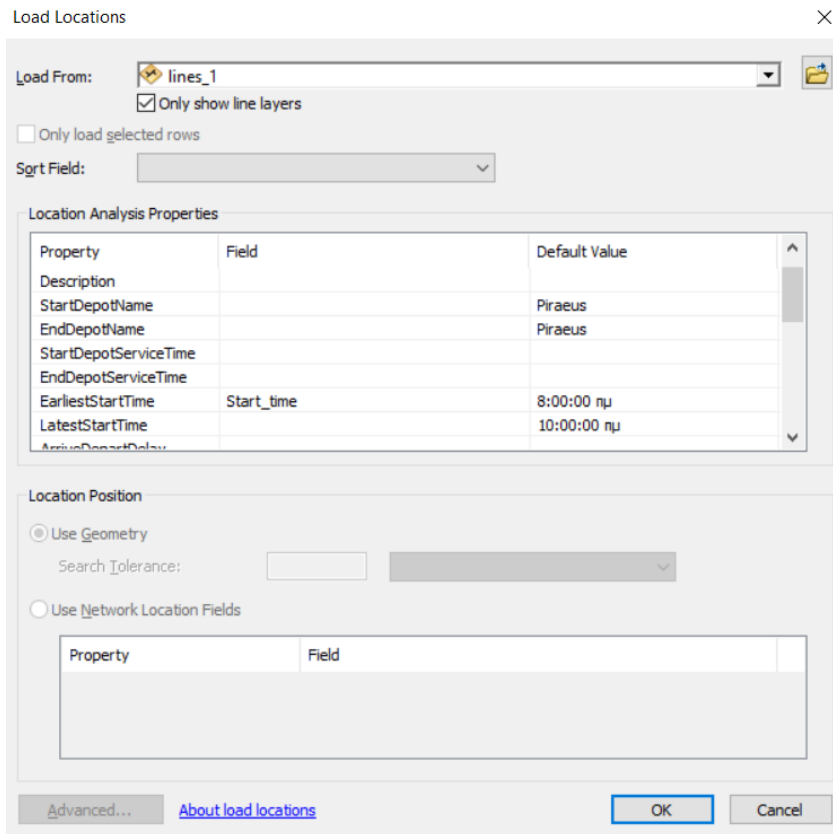
ζ) **μεταβλητές κόστους**: αποτελεί το πλέον σύνηθες στην Επιχειρησιακή Έρευνα (και χρησιμοποιείται και εδώ) η αντικειμενική συνάρτηση να αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους που συνεπάγεται μια δραστηριότητα - εδώ η μεταφορά προσώπων με υδροπλάνο. Ως γνωστόν από την Οικονομική Θεωρία [119] ορίζονται το σταθερό κόστος (*Fixed Cost, FC*) και το μεταβλητό κόστος (*Variable Cost, VC*) ενώ το άθροισμά τους αποτελεί το ολικό κόστος (*Total Cost, TC*). Για την περίπτωση των μεταφορών με υδροπλάνο στην Ελλάδα, ο Παγωνάκης [1] εκτίμησε για το 2016 $\xrightarrow{(5.1.1)} FC=105 \text{ €}$ και $VC=18,46 \text{ €/min}$, συνεπώς $TC=18,46*RT + 105$ (5.1.2). Παρότι προφανώς οι τιμές μεταβάλλονται, η εξ. υιοθετήθηκε και στην (Πασχαλίδης, 2020 [0]) και υιοθετείται και εδώ. Στο ArcGIS ορίζονται οι σχετικές κλάσεις *FixedCost*, *CostPerUnitTime* και *CostPerUnitDistance*. Η τελευταία αναφέρεται σε μεταβλητό κόστος ανά μονάδα μήκους, συνεπώς δεν απασχολεί στην παρούσα εργασία. Εφόσον υπάρχουν υπερωρίες, χρησιμοποιούνται οι σχετικές κλάσεις *OvertimeStartTime* και *CostPerUnitOvertime* που αναφέρονται στο χρόνο και το κόστος της υπερωρίας αντίστοιχα.

η) **Μέγιστος αριθμός διαταγών** (*MaxOrderCount*): η κλάση αυτή καθορίζει το μέγιστο αριθμό υδατοδρομιών εξυπηρέτησης (*orders*) ανά αεροσκάφος (*route*). Η προεπιλεγμένη τιμή (*default*) είναι 30, αρκετά μεγαλύτερη στην πράξη από ό,τι θα χρειαστεί συνεπώς δεν απασχολεί μία τυχόν μεταβολή της.

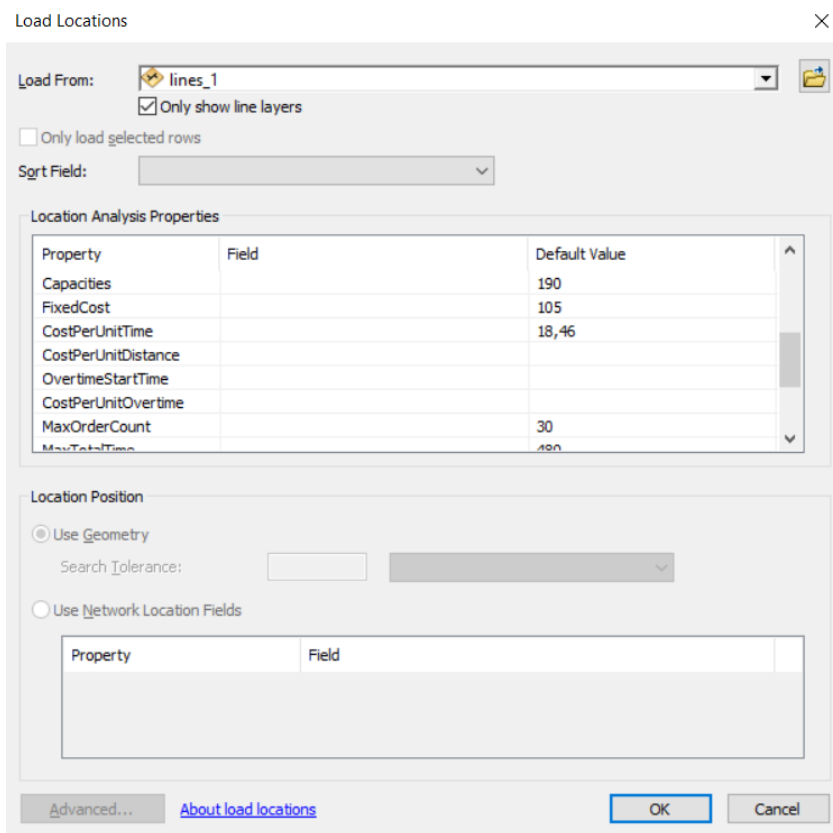
θ) **Μέγιστοι ολικοί χρόνοι**: διακρίνονται δύο κλάσεις, Μέγιστου Ολικού Χρόνου (*MaxTotalTime*) και Μέγιστου Ολικού Χρόνου Ταξιδιού (*MaxTotalTravelTime*). Στην παρούσα εργασία ενδιαφέρει ο πρώτος, ο οποίος, σε αντίθεση με τον *MaxTotalTravelTime* συμπεριλαμβάνει και το «νεκρό» χρόνο μεταξύ δύο δρομολογίων. Σε αυτόν αντιστοιχεί επακριβώς η μεταβλητή *Total Operation Time (TOT)* της προηγούμενης εργασίας (Πασχαλίδης, 2020)[0].

ι) **Μέγιστη ολική απόσταση** (*MaxTotalDistance*): Αντίστοιχα με την *MaxTotalTime* κλάση, καθορίζει το μέγιστο όριο συνολικής διαδρομής του οχήματος σε μονάδα μήκους. Θα αποτελούσε μία σημαντική ιδιότητα εφόσον δεν υπήρχε δυνατότητα ενδιάμεσου ανεφοδιασμού εντός του χρόνου λειτουργίας (εδώ θεωρείται ότι γίνεται κατά τη διάρκεια των 30 min διακοπής) ή υπήρχε κίνδυνος σημαντικής φθοράς του οχήματος μετά από ορισμένα χιλιόμετρα. Κάτι τέτοιο εδώ δεν ισχύει οπότε και η συγκεκριμένη κλάση αγνοείται.

ια) **Κανόνας ανάθεσης** (*AssignmentRule*): Υπάρχουν δύο επιλογές, εάν ένα όχημα (*route*) θα περιλαμβάνεται στο πρόβλημα (*include*) ή όχι (*exclude*). Προφανώς και επιλέγεται το πρώτο που αποτελεί άλλωστε και την προεπιλογή (*default*).

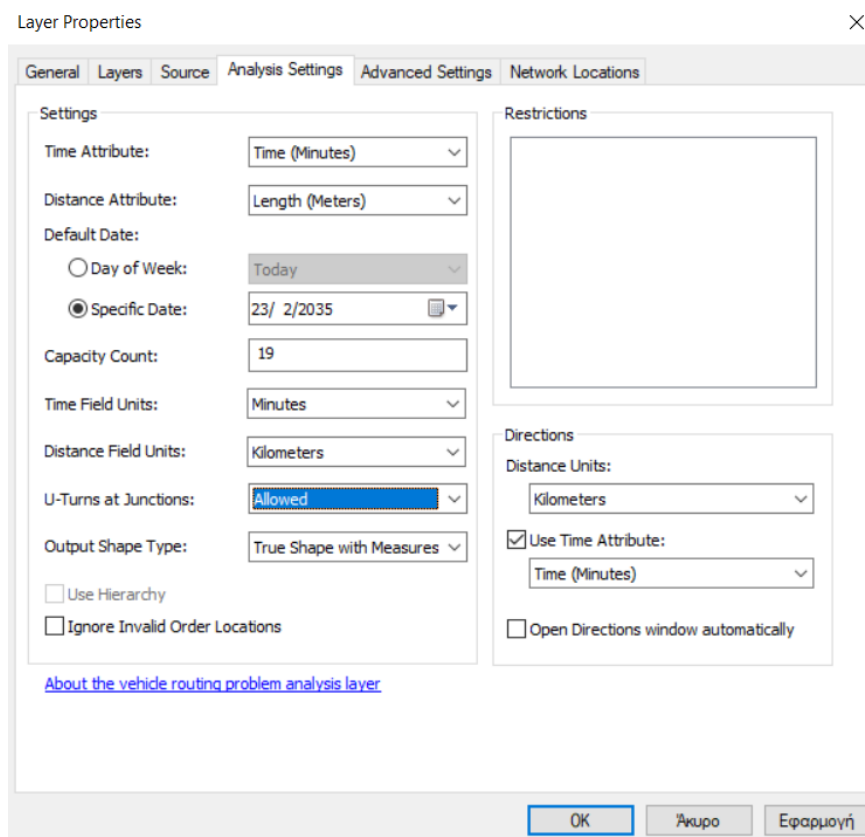


εικ. 5.12α Φόρτωση οχημάτων διαδρομών δικτύου Πειραιά (routes)



εικ. 5.12β Φόρτωση οχημάτων διαδρομών δικτύου Πειραιά (routes)-συνέχεια

Τελευταία κίνηση πριν «τρέξει» ο αλγόριθμος του VRP αποτελεί ο καθορισμός κάποιων Ρυθμίσεων Ανάλυσης (*Analysis Settings*). Συγκεκριμένα δηλώνεται ενδεικτικά η ημερομηνία της Ανάλυσης έτσι ώστε να αναφέρεται στο έτος-στόχο του 2035, να είναι Παρασκευή, δηλ. ημέρα μέγιστης ζήτησης και προφανώς εντός του καθορισμένου τριμήνου. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις είτε έχουν ήδη δηλωθεί αλλού (π.χ. ιδιότητες χρόνου και απόστασης) είτε δεν απασχολούν π.χ. σχετικά με αναστροφές.



Εικ. 5.14 Ιδιότητες θεματικού επιπέδου-Ρυθμίσεις Ανάλυσης

Στο κεφ. 6 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα και ορισμένα στατιστικά στοιχεία που προκύπτουν από αυτά.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθούν τα αποτελέσματα της επίλυσης του VRP στο ArcGIS ανά υδατοδρόμιο και ανά τρίμηνο σε μορφή *report* (.rlf). Ακολουθούν στη συνέχεια ορισμένα γραφήματα σε Microsoft Excel όπου γίνεται σύγκριση των βασικών μεταβλητών εξόδου του μοντέλου ανά περίπτωση.

6.1 Αναφορές δρομολογίων και υδ/δρομίων

6.1.1 Υδατοδρόμιο Πειραιά

Πίν. 6.1.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-1^ο τρίμηνο

Routes-Piraeus-1st quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
101	Piraeus	Piraeus	8264,050944	480	351,23/2/2035	23/2/2035	9854258:00:00 πμ 3:21:59 μμ
102	Piraeus	Piraeus	8678,353923	480	374,23/2/2035	23/2/2035	4287078:01:00 πμ 3:45:25 μμ
103	Piraeus	Piraeus	<null>	480	<null>	<null>	<null>
104	Piraeus	Piraeus	8760,883124	480	378,23/2/2035	23/2/2035	8994118:03:00 πμ 3:51:53 μμ
105	Piraeus	Piraeus	8672,763244	480	344,23/2/2035	23/2/2035	1258538:04:00 πμ 3:48:07 μμ
106	Piraeus	Piraeus	8585,575895	480	339,23/2/2035	23/2/2035	4028118:05:00 πμ 3:44:24 μμ
107	Piraeus	Piraeus	7558,4262	480	343,23/2/2035	23/2/2035	7608998:06:00 πμ 2:49:45 μμ
108	Piraeus	Piraeus	7615,180096	480	316,23/2/2035	23/2/2035	8353258:07:00 πμ 2:53:50 μμ
109	Piraeus	Piraeus	8574,591579	480	338,23/2/2035	23/2/2035	8077788:08:00 πμ 3:46:48 μμ
110	Piraeus	Piraeus	8678,978477	480	284,23/2/2035	23/2/2035	4625398:09:00 πμ 3:53:27 μμ
111	Piraeus	Piraeus	7230,65522	480	266,23/2/2035	23/2/2035	0051588:10:00 πμ 2:36:00 μμ
Average TotalCost	7510,859882	Max TotalCost	8760,883124	Min TotalCost	0		
Standard Deviation TotalCost	2549,482956	Sum TotalCost	82619,458701	Average MaxTotalTime	480		
Max MaxTotalTime	480	Min MaxTotalTime	480	Standard Deviation MaxTotalTime	0		
Sum MaxTotalTime	5280	Average TotalTravelTime	303,519446	Max TotalTravelTime	378,899411		
Min TotalTravelTime	0	Standard Deviation TotalTravelTime	106,269565	Sum TotalTravelTime	3338,713906		

Στην παραπάνω περίπτωση χρειάζεται να επισημανθεί ότι όταν το VRP «τρέχει» για 11 routes, μία βγαίνει περιττή (εν προκειμένω η 103), αν όμως ο αλγόριθμος εκτελεστεί για 10, αδυνατεί να παραγάγει αποτέλεσμα καλύπτοντας πλήρως τη ζήτηση!

Πίν. 6.1.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-1^ο τρίμηνο

Orders-Piraeus-1st quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Mytilini	23/2/2035 9:25:33 μμ	23/2/2035 9:55:33 μμ	2013,258907
Chios	23/2/2035 9:11:18 μμ	23/2/2035 9:41:18 μμ	1638,200049
Samos	23/2/2035 9:26:32 μμ	23/2/2035 9:56:32 μμ	2059,123954
Ermoupoli	23/2/2035 8:48:30 μμ	23/2/2035 9:18:30 μμ	1042,814468
Naxos	23/2/2035 8:53:08 μμ	23/2/2035 9:23:08 μμ	1357,302536
Santorini	23/2/2035 2:07:46 μμ	23/2/2035 2:37:46 μμ	1692,319623
Rhodes	23/2/2035 12:49:07 μμ	23/2/2035 1:19:07 μμ	2966,229294
Karpathos	23/2/2035 10:04:56 μμ	23/2/2035 10:34:56 μμ	2829,663506
Patras	23/2/2035 1:54:20 μμ	23/2/2035 2:24:20 μμ	1341,831233
Kalamata	23/2/2035 2:31:49 μμ	23/2/2035 3:01:49 μμ	1322,740247
Corfu	23/2/2035 12:33:11 μμ	23/2/2035 1:03:11 μμ	2590,441335
Cefalonia	23/2/2035 1:03:07 μμ	23/2/2035 1:33:07 μμ	1993,729619
Volos	23/2/2035 11:49:06 μμ	23/2/2035 12:19:06 μμ	1310,181817
Ioannina	23/2/2035 9:39:02 μμ	23/2/2035 10:09:02 μμ	2185,779952
Alexandroupoli	23/2/2035 1:35:59 μμ	23/2/2035 2:05:59 μμ	2574,927969
Chania-Kissamos	23/2/2035 9:54:42 μμ	23/2/2035 10:24:42 μμ	1924,257732
Rethymno	23/2/2035 9:29:26 μμ	23/2/2035 9:59:26 μμ	2079,551582
Herakleion	23/2/2035 12:47:37 μμ	23/2/2035 1:17:37 μμ	2219,593111
Thessaloniki	23/2/2035 1:49:08 μμ	23/2/2035 2:19:08 μμ	2098,808339
Loutraki	23/2/2035 12:07:39 μμ	23/2/2035 12:37:39 μμ	649,801645
Lamia	23/2/2035 1:22:02 μμ	23/2/2035 1:52:02 μμ	1145,754559
Rhodes2	23/2/2035 12:19:07 μμ	23/2/2035 12:49:07 μμ	2966,229294
Patras2	23/2/2035 1:24:20 μμ	23/2/2035 1:54:20 μμ	1341,831233
Kalamata2	23/2/2035 2:01:49 μμ	23/2/2035 2:31:49 μμ	1322,740247
Volos2	23/2/2035 11:19:06 μμ	23/2/2035 11:49:06 μμ	1310,181817
Ioannina2	23/2/2035 10:09:02 μμ	23/2/2035 10:39:02 μμ	2185,779952
Alexandroupoli2	23/2/2035 1:05:59 μμ	23/2/2035 1:35:59 μμ	2574,927969
Herakleion2	23/2/2035 1:47:37 μμ	23/2/2035 2:17:37 μμ	2219,593111

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Thessaloniki2	23/2/2035 1:19:08	23/2/2035 1:49:08	2098,808339
Patras3	23/2/2035 2:24:20	23/2/2035 2:54:20	1341,831233
Volo3	23/2/2035 10:49:06	23/2/2035 11:19:06	1310,181817
Herakleion3	23/2/2035 1:17:37	23/2/2035 1:47:37	2219,593111
Thessaloniki3	23/2/2035 12:49:08	23/2/2035 1:19:08	2098,808339
Kos	23/2/2035 9:38:05	23/2/2035 10:08:05	2371,59995
Chania-Kissamos2	23/2/2035 9:24:42	23/2/2035 9:54:42	1924,257732
Lamia2	23/2/2035 12:52:02	23/2/2035 1:22:02	1145,754559
Average Revenue	1874,123067	Max Revenue	2966,229294
Standard Deviation	582,585604	Sum Revenue	67468,430414
Revenue		Min Revenue	649,801645

Πίν. 6.2.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-2^ο τρίμηνο

Routes-Piraeus-2nd quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
101	Piraeus	Piraeus	13388,828487	720	479,8/6/2035	8/6/2035	
102	Piraeus	Piraeus	11272,390938	720	424,8/6/2035	8/6/2035	
103	Piraeus	Piraeus	12568,908888	720	375,8/6/2035	8/6/2035	
104	Piraeus	Piraeus	10056,396904	720	359,8/6/2035	8/6/2035	
105	Piraeus	Piraeus	11908,375895	720	339,8/6/2035	8/6/2035	
106	Piraeus	Piraeus	13248,231606	720	591,8/6/2035	8/6/2035	
107	Piraeus	Piraeus	12881,891496	720	452,8/6/2035	8/6/2035	
108	Piraeus	Piraeus	12966,463944	720	456,720698/6/2035	8/6/2035	
109	Piraeus	Piraeus	11372,605286	720	310,8/6/2035	8/6/2035	
110	Piraeus	Piraeus	10336,527454	720	314,8/6/2035	8/6/2035	
Average TotalCost	12000,06209	Max TotalCost	13388,828487	Min TotalCost	10056,396904		
Standard Deviation	1201,782802	Sum TotalCost	120000,620897	Average	720		
Max MaxTotalTime	720	Min MaxTotalTime	720	Standard Deviation	0		
Sum MaxTotalTime	7200	Average	410,369561	Max	591,984377		
Min	310,379485	Standard Deviation	88,206737	Sum	4103,695607		
TotalTravelTime		TotalTravelTime		TotalTravelTime			

Πίν. 6.2.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-2^ο τρίμηνο

Orders-Piraeus-2nd quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Kythira	8/6/2035 11:49:22 μμ	8/6/2035 12:19:22 μμ	1457,081166
Mytilini	8/6/2035 10:29:27 μμ	8/6/2035 10:59:27 μμ	2013,258907
Chios	8/6/2035 2:22:08 μμ	8/6/2035 2:52:08 μμ	1638,200049
Samos	8/6/2035 1:44:34 μμ	8/6/2035 2:14:34 μμ	2059,123954
Ermoupoli	8/6/2035 11:06:07 μμ	8/6/2035 11:36:07 μμ	1042,814468
Naxos	8/6/2035 5:20:35 μμ	8/6/2035 5:50:35 μμ	1357,302536
Milos	8/6/2035 7:51:27 μμ	8/6/2035 8:21:27 μμ	1203,085296
Santorini	8/6/2035 8:13:39 μμ	8/6/2035 8:43:39 μμ	1692,319623
Kos	8/6/2035 4:10:05 μμ	8/6/2035 4:40:05 μμ	2371,59995
Rhodes	8/6/2035 4:26:44 μμ	8/6/2035 4:56:44 μμ	2966,229294
Karpathos	8/6/2035 8:56:56 μμ	8/6/2035 9:26:56 μμ	2829,663506
Patras	8/6/2035 9:29:27 μμ	8/6/2035 9:59:27 μμ	1341,831233
Kalamata	8/6/2035 1:11:49 μμ	8/6/2035 1:41:49 μμ	1322,740247
Corfu	8/6/2035 2:49:22 μμ	8/6/2035 3:19:22 μμ	2590,441335
Cefalonia	8/6/2035 4:47:25 μμ	8/6/2035 5:17:25 μμ	1993,729819
Volos	8/6/2035 9:59:05 μμ	8/6/2035 10:29:05 μμ	1310,181817
Ioannina	8/6/2035 9:32:02 μμ	8/6/2035 10:02:02 μμ	2185,779952
Alexandroupoli	8/6/2035 9:46:54 μμ	8/6/2035 10:16:54 μμ	2574,927969
Chania-Kissamos	8/6/2035 1:09:00 μμ	8/6/2035 1:39:00 μμ	1924,257732
Rethymno	8/6/2035 8:58:26 μμ	8/6/2035 9:28:26 μμ	2079,551582
Herakleion	8/6/2035 11:02:30 μμ	8/6/2035 11:32:30 μμ	2219,593111
Thessaloniki	8/6/2035 3:48:08 μμ	8/6/2035 4:18:08 μμ	2098,808339
Poros	8/6/2035 1:05:28 μμ	8/6/2035 1:35:28 μμ	589,139639
Loutraki	8/6/2035 8:01:28 μμ	8/6/2035 8:31:28 μμ	649,801645
Andros	8/6/2035 9:25:17 μμ	8/6/2035 9:55:17 μμ	854,444336
Lamia	8/6/2035 3:09:17 μμ	8/6/2035 3:39:17 μμ	1145,754559
Ermoupoli2	8/6/2035 11:36:07 μμ	8/6/2035 12:06:07 μμ	1042,814468
Naxos2	8/6/2035 4:50:35 μμ	8/6/2035 5:20:35 μμ	1357,302536
Santorini2	8/6/2035 8:43:39 μμ	8/6/2035 9:13:39 μμ	1692,319623
Kos2	8/6/2035 3:40:05 μμ	8/6/2035 4:10:05 μμ	2371,59995
Rhodes2	8/6/2035 3:56:44 μμ	8/6/2035 4:26:44 μμ	2966,229294
Patras2	8/6/2035 8:59:27 μμ	8/6/2035 9:29:27 μμ	1341,831233
Kalamata2	8/6/2035 12:41:49 μμ	8/6/2035 1:11:49 μμ	1322,740247
Corfu2	8/6/2035 2:19:22 μμ	8/6/2035 2:49:22 μμ	2590,441335
Cefalonia2	8/6/2035 4:17:25 μμ	8/6/2035 4:47:25 μμ	1993,729819
Volos2	8/6/2035 9:29:05 μμ	8/6/2035 9:59:05 μμ	1310,181817
Ioannina2	8/6/2035 9:02:02 μμ	8/6/2035 9:32:02 μμ	2185,779952

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Alexandroupoli2	8/6/2035 9:16:54 μμ	8/6/2035 9:46:54 μμ	2574,927969
Chania-Kissamos2	8/6/2035 12:39:00 uu	8/6/2035 1:09:00 μμ	1924,257732
Rethymno2	8/6/2035 8:28:26 μμ	8/6/2035 8:58:26 μμ	2079,551582
Herakleion2	8/6/2035 10:32:30 μμ	8/6/2035 11:02:30 μμ	2219,593111
The assalouki2	8/6/2035 3:18:08 μμ	8/6/2035 3:48:08 μμ	2098,808339
Loutraki2	8/6/2035 7:31:28 μμ	8/6/2035 8:01:28 μμ	649,801645
Lamia2	8/6/2035 2:39:17 μμ	8/6/2035 3:09:17 μμ	1145,754559
Koai	8/6/2035 3:10:05 μμ	8/6/2035 3:40:05 μμ	2371,59995
Rhodes3	8/6/2035 3:26:44 μμ	8/6/2035 3:56:44 μμ	2966,229294
Patras3	8/6/2035 8:29:27 μμ	8/6/2035 8:59:27 μμ	1341,831233
Kalamata3	8/6/2035 12:11:49 μμ	8/6/2035 12:41:49 μμ	1322,740247
Corfu3	8/6/2035 1:49:22 μμ	8/6/2035 2:19:22 μμ	2590,441335
Volo3	8/6/2035 8:59:05 μμ	8/6/2035 9:29:05 μμ	1310,181817
Ioannina3	8/6/2035 8:32:02 μμ	8/6/2035 9:02:02 μμ	2185,779952
Chania-Kissamos3	8/6/2035 12:09:00 uu	8/6/2035 12:39:00 uu	1924,257732
Rethymno3	8/6/2035 5:02:33 μμ	8/6/2035 5:32:33 μμ	2079,551582
Herakleion3	8/6/2035 10:02:30 μμ	8/6/2035 10:32:30 μμ	2219,593111
The assalouki3	8/6/2035 2:48:08 μμ	8/6/2035 3:18:08 μμ	2098,808339
Koai	8/6/2035 2:40:05 μμ	8/6/2035 3:10:05 μμ	2371,59995
Rhodes4	8/6/2035 2:56:44 μμ	8/6/2035 3:26:44 μμ	2966,229294
Patras4	8/6/2035 7:59:27 μμ	8/6/2035 8:29:27 μμ	1341,831233
Volo4	8/6/2035 8:29:05 μμ	8/6/2035 8:59:05 μμ	1310,181817
Alexandroupoli3	8/6/2035 8:46:54 μμ	8/6/2035 9:16:54 μμ	2574,927969
Chania-Kissamos4	8/6/2035 11:39:00 μμ	8/6/2035 12:09:00 uu	1924,257732
Herakleion4	8/6/2035 9:32:30 μμ	8/6/2035 10:02:30 μμ	2219,593111
The assalouki4	8/6/2035 2:18:08 μμ	8/6/2035 2:48:08 μμ	2098,808339
Rhodes5	8/6/2035 2:26:44 μμ	8/6/2035 2:56:44 μμ	2966,229294
Patras5	8/6/2035 3:55:54 μμ	8/6/2035 4:25:54 μμ	1341,831233
Volo5	8/6/2035 7:59:05 μμ	8/6/2035 8:29:05 μμ	1310,181817
Herakleion5	8/6/2035 9:02:30 μμ	8/6/2035 9:32:30 μμ	2219,593111
The assalouki5	8/6/2035 1:48:08 μμ	8/6/2035 2:18:08 μμ	2098,808339
Rhodes6	8/6/2035 1:56:44 μμ	8/6/2035 2:26:44 μμ	2966,229294
Patras6	8/6/2035 3:25:54 μμ	8/6/2035 3:55:54 μμ	1341,831233
Herakleion6	8/6/2035 8:32:30 μμ	8/6/2035 9:02:30 μμ	2219,593111
The assalouki6	8/6/2035 1:18:08 μμ	8/6/2035 1:48:08 μμ	2098,808339
Rhodes7	8/6/2035 1:26:44 μμ	8/6/2035 1:56:44 μμ	2966,229294
The assalouki7	8/6/2035 12:48:08 uu	8/6/2035 1:18:08 μμ	2098,808339
The assalouki8	8/6/2035 12:18:08 uu	8/6/2035 12:48:08 uu	2098,808339
Herakleion7	8/6/2035 2:01:34 μμ	8/6/2035 2:31:34 μμ	2219,593111

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Herakleion8	8/6/2035 1:31:34 μμ	8/6/2035 2:01:34 μμ	2219,593111
Herakleion9	8/6/2035 1:01:34 μμ	8/6/2035 1:31:34 μμ	2219,593111
Average Revenue	1922,865416	Max Revenue	2966,229294
Standard Deviation	610,322227	Sum Revenue	149983
Revenue			502437

Πίν. 6.3.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-3^ο τρίμηνο

Routes-Piraeus-3rd quarter

StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalTin	TotalTravelT	StartTime	EndTime
Piraeus	Piraeus	9625,166874	720	245,718682	3/8/2035 7:00:00 πμ	3/8/2035 3:35:43 μμ
Piraeus	Piraeus	9773,6262	720	343,760899	3/8/2035 7:01:00 πμ	3/8/2035 3:44:45 μμ
Piraeus	Piraeus	12583, 644701	720	405,98292	3/8/2035 7:02:00 πμ	3/8/2035 6:17:58 μμ
Piraeus	Piraeus	12194, 210599	720	414,886815	3/8/2035 7:03:00 πμ	3/8/2035 5:57:53 μμ
Piraeus	Piraeus	13004, 220331	720	398,765998	3/8/2035 7:04:00 πμ	3/8/2035 6:42:45 μμ
Piraeus	Piraeus	10206,00902	720	217,183587	3/8/2035 7:05:00 πμ	3/8/2035 4:12:11 μμ
Piraeus	Piraeus	13331,57422	720	506,499145	3/8/2035 7:06:00 πμ	3/8/2035 7:02:29 μμ
Piraeus	Piraeus	8865,181971	480	324,549403	3/8/2035 7:07:00 πμ	3/8/2035 3:01:32 μμ
Piraeus	Piraeus	9901,923783	720	290,710931	3/8/2035 7:08:00 πμ	3/8/2035 3:58:42 μμ
Piraeus	Piraeus	10783, 714724	720	248,478587	3/8/2035 7:09:00 πμ	3/8/2035 4:47:28 μμ
Piraeus	Piraeus	13271, 941644	720	413,268778	3/8/2035 7:10:00 πμ	3/8/2035 7:03:16 μμ
Piraeus	Piraeus	12597, 794946	720	376,749455	3/8/2035 7:11:00 πμ	3/8/2035 6:27:44 μμ
Average TotalCost	11344,917418	Max TotalCost	13331,57422	Min TotalCost	8865,181971	
Standard Deviation TotalCost	1637,871052	Sum TotalCost	136139, 009013	Average MaxTotalTime	700	
Max MaxTotalTime	720	Min MaxTotalTime	480	Standard Deviation MaxTotalTime	69,282032	
Sum MaxTotalTime	8400	Average TotalTravelTime	348,8796	Max TotalTravelTime	506,499145	
Min TotalTravelTime	217,183587	Standard Deviation TotalTravelTime	86,308718	Sum TotalTravelTime	4186,555201	

Πίν. 6.3.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-3^ο τρίμηνο

Orders-Piraeus-3rd quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Kythira	3/8/2035 5:35:48 μμ	3/8/2035 6:05:48 μμ	1457,081166
Mytilini	3/8/2035 12:39:59 μμ	3/8/2035 1:09:59 μμ	2013,258907
Chios	3/8/2035 8:36:18 μμ	3/8/2035 9:06:18 μμ	1638,200049
Samos	3/8/2035 12:20:05 μμ	3/8/2035 12:50:05 μμ	2059,123954
Ermoupoli	3/8/2035 11:38:07 μμ	3/8/2035 12:08:07 μμ	1042,814438
Naxos	3/8/2035 9:39:25 μμ	3/8/2035 10:09:25 μμ	1357,302536
Milos	3/8/2035 7:56:27 μμ	3/8/2035 8:26:27 μμ	1203,085296
Santorini	3/8/2035 8:15:39 μμ	3/8/2035 8:45:39 μμ	1692,319623
Kos	3/8/2035 11:09:05 μμ	3/8/2035 11:39:05 μμ	2371,59995
Rhodes	3/8/2035 1:02:51 μμ	3/8/2035 1:32:51 μμ	2966,229294
Karpathos	3/8/2035 8:59:56 μμ	3/8/2035 9:29:56 μμ	2829,663506
Patras	3/8/2035 2:55:00 μμ	3/8/2035 3:25:00 μμ	1341,831233
Kalamata	3/8/2035 3:16:43 μμ	3/8/2035 3:46:43 μμ	1322,740247
Corfu	3/8/2035 1:28:11 μμ	3/8/2035 1:58:11 μμ	2590,441335
Cefalonia	3/8/2035 9:27:42 μμ	3/8/2035 9:57:42 μμ	1993,729819
Volos	3/8/2035 11:33:59 μμ	3/8/2035 12:03:59 μμ	1310,181817
Ioannina	3/8/2035 11:12:43 μμ	3/8/2035 11:42:43 μμ	2185,779952
Alexandroupoli	3/8/2035 4:02:04 μμ	3/8/2035 4:32:04 μμ	2574,927969
Chania-Kissamos	3/8/2035 2:11:00 μμ	3/8/2035 2:41:00 μμ	1924,257732
Rethymno	3/8/2035 5:08:03 μμ	3/8/2035 5:38:03 μμ	2079,551582
Heraikleion	3/8/2035 4:42:15 μμ	3/8/2035 5:12:15 μμ	2219,593111
Thessaloniki	3/8/2035 8:31:16 μμ	3/8/2035 9:01:16 μμ	2098,808339
Methana	3/8/2035 7:27:38 μμ	3/8/2035 7:57:38 μμ	561,43794
Poros	3/8/2035 7:23:50 μμ	3/8/2035 7:53:50 μμ	589,139639
Loutraki	3/8/2035 9:36:09 μμ	3/8/2035 10:06:09 μμ	649,801645
Andros	3/8/2035 7:42:20 μμ	3/8/2035 8:12:20 μμ	854,444336
Lamia	3/8/2035 2:31:36 μμ	3/8/2035 3:01:36 μμ	1145,754559
Kea	3/8/2035 7:28:19 μμ	3/8/2035 7:58:19 μμ	669,447285
Mytilini2	3/8/2035 1:09:59 μμ	3/8/2035 1:39:59 μμ	2013,258907
Chios2	3/8/2035 8:06:18 μμ	3/8/2035 8:36:18 μμ	1638,200049
Samos2	3/8/2035 11:50:05 μμ	3/8/2035 12:20:05 μμ	2059,123954
Ermoupoli2	3/8/2035 11:08:07 μμ	3/8/2035 11:38:07 μμ	1042,814438
Naxos2	3/8/2035 9:09:25 μμ	3/8/2035 9:39:25 μμ	1357,302536
Santorini2	3/8/2035 8:45:39 μμ	3/8/2035 9:15:39 μμ	1692,319623
Kos2	3/8/2035 10:39:05 μμ	3/8/2035 11:09:05 μμ	2371,59995
Rhodes2	3/8/2035 12:32:51 μμ	3/8/2035 1:02:51 μμ	2966,229294

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
	uu		
Patras2	3/8/2035 2:25:00 μμ	3/8/2035 2:55:00 μμ	1341,831233
Kalamata2	3/8/2035 2:46:43 μμ	3/8/2035 3:16:43 μμ	1322,740247
Corfu2	3/8/2035 12:58:11	3/8/2035 1:28:11 μμ	2590,441335
	uu		
Cefalonia2	3/8/2035 8:57:42 μμ	3/8/2035 9:27:42 μμ	1993,729619
Volos2	3/8/2035 11:03:59	3/8/2035 11:33:59	1310,181817
	μμ	μμ	
Ioannina2	3/8/2035 10:42:43	3/8/2035 11:12:43	2185,779952
	μμ	μμ	
Alexandroupoli2	3/8/2035 3:32:04 μμ	3/8/2035 4:02:04 μμ	2574,927989
Chania-Kissamos2	3/8/2035 1:41:00 μμ	3/8/2035 2:11:00 μμ	1924,257732
Rethymno2	3/8/2035 4:38:03 μμ	3/8/2035 5:08:03 μμ	2079,551582
Herakleion2	3/8/2035 3:27:23 μμ	3/8/2035 3:57:23 μμ	2219,593111
The ssaloniki2	3/8/2035 2:16:54 μμ	3/8/2035 2:46:54 μμ	2098,806339
Loutraki2	3/8/2035 9:06:09 μμ	3/8/2035 9:36:09 μμ	649,801645
Lamia2	3/8/2035 2:01:36 μμ	3/8/2035 2:31:36 μμ	1145,754559
Kos3	3/8/2035 10:09:05	3/8/2035 10:39:05	2371,59995
	μμ	μμ	
Rhodes3	3/8/2035 12:02:51	3/8/2035 12:32:51	2966,229294
	uu	uu	
Patras3	3/8/2035 1:55:00 μμ	3/8/2035 2:25:00 μμ	1341,831233
Kalamata3	3/8/2035 2:16:43 μμ	3/8/2035 2:46:43 μμ	1322,740247
Corfu3	3/8/2035 12:28:11	3/8/2035 12:58:11	2590,441335
	uu	uu	
Cefalonia3	3/8/2035 8:27:42 μμ	3/8/2035 8:57:42 μμ	1993,729619
Volos3	3/8/2035 10:33:59	3/8/2035 11:03:59	1310,181817
	μμ	μμ	
Ioannina3	3/8/2035 10:12:43	3/8/2035 10:42:43	2185,779952
	μμ	μμ	
Chania-Kissamos3	3/8/2035 1:11:00 μμ	3/8/2035 1:41:00 μμ	1924,257732
Rethymno3	3/8/2035 4:08:03 μμ	3/8/2035 4:38:03 μμ	2079,551582
Herakleion3	3/8/2035 2:57:23 μμ	3/8/2035 3:27:23 μμ	2219,593111
The ssaloniki3	3/8/2035 1:46:54 μμ	3/8/2035 2:16:54 μμ	2098,806339
Lamia3	3/8/2035 1:31:36 μμ	3/8/2035 2:01:36 μμ	1145,754559
Kos4	3/8/2035 9:39:05 μμ	3/8/2035 10:09:05	2371,59995
	μμ	μμ	
Rhodes4	3/8/2035 11:32:51	3/8/2035 12:02:51	2966,229294
	μμ	uu	
Patras4	3/8/2035 1:25:00 μμ	3/8/2035 1:55:00 μμ	1341,831233
Kalamata4	3/8/2035 1:46:43 μμ	3/8/2035 2:16:43 μμ	1322,740247
Corfu4	3/8/2035 11:58:11	3/8/2035 12:28:11	2590,441335
	μμ	μμ	
Volos4	3/8/2035 10:03:59	3/8/2035 10:33:59	1310,181817
	μμ	μμ	
Ioannina4	3/8/2035 9:42:43 μμ	3/8/2035 10:12:43	2185,779952
	μμ	μμ	
Alexandroupoli3	3/8/2035 3:02:04 μμ	3/8/2035 3:32:04 μμ	2574,927989
Chania-Kissamos4	3/8/2035 12:41:00	3/8/2035 1:11:00 μμ	1924,257732
	uu		
Rethymno4	3/8/2035 3:38:03 μμ	3/8/2035 4:08:03 μμ	2079,551582

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue		
Herakleion4	3/8/2035 2:27:23 μμ	3/8/2035 2:57:23 μμ	2219,593111		
The ssaloniki4	3/8/2035 1:16:54 μμ	3/8/2035 1:46:54 μμ	2098,808339		
Kos6	3/8/2035 9:09:05 μμ	3/8/2035 9:39:05 μμ	2371,59995		
Rhodes6	3/8/2035 11:02:51 μμ	3/8/2035 11:32:51 μμ	2966,229294		
Patras6	3/8/2035 12:55:00 uu	3/8/2035 1:25:00 μμ	1341,831233		
Volos6	3/8/2035 5:06:39 μμ	3/8/2035 5:36:39 μμ	1310,181817		
Chania-Kissamos6	3/8/2035 12:11:00 uu	3/8/2035 12:41:00 uu	1924,257732		
Herakleion5	3/8/2035 1:57:23 μμ	3/8/2035 2:27:23 μμ	2219,593111		
The ssaloniki5	3/8/2035 12:46:54 uu	3/8/2035 1:16:54 μμ	2098,808339		
Kos6	3/8/2035 8:39:05 μμ	3/8/2035 9:09:05 μμ	2371,59995		
Rhodes6	3/8/2035 10:32:51 μμ	3/8/2035 11:02:51 μμ	2966,229294		
Patras6	3/8/2035 12:25:00 uu	3/8/2035 12:55:00 uu	1341,831233		
Volos6	3/8/2035 4:36:39 μμ	3/8/2035 5:06:39 μμ	1310,181817		
Chania-Kissamos6	3/8/2035 11:41:00 μμ	3/8/2035 12:11:00 uu	1924,257732		
Herakleion6	3/8/2035 1:27:23 μμ	3/8/2035 1:57:23 μμ	2219,593111		
The ssaloniki6	3/8/2035 12:16:54 uu	3/8/2035 12:46:54 uu	2098,808339		
Rhodes7	3/8/2035 10:02:51 μμ	3/8/2035 10:32:51 μμ	2966,229294		
Rhodes8	3/8/2035 9:32:51 μμ	3/8/2035 10:02:51 μμ	2966,229294		
Rhodes9	3/8/2035 9:02:51 μμ	3/8/2035 9:32:51 μμ	2966,229294		
Patras7	3/8/2035 11:55:00 μμ	3/8/2035 12:25:00 uu	1341,831233		
Patras8	3/8/2035 3:25:00 μμ	3/8/2035 3:55:00 μμ	1341,831233		
The ssaloniki7	3/8/2035 11:46:54 μμ	3/8/2035 12:16:54 uu	2098,808339		
The ssaloniki8	3/8/2035 11:16:54 μμ	3/8/2035 11:46:54 μμ	2098,808339		
The ssaloniki9	3/8/2035 10:46:54 μμ	3/8/2035 11:16:54 μμ	2098,808339		
The ssaloniki10	3/8/2035 10:16:54 μμ	3/8/2035 10:46:54 μμ	2098,808339		
The ssaloniki11	3/8/2035 9:46:54 μμ	3/8/2035 10:16:54 μμ	2098,808339		
Herakleion7	3/8/2035 2:42:15 μμ	3/8/2035 3:12:15 μμ	2219,593111		
Herakleion8	3/8/2035 3:12:15 μμ	3/8/2035 3:42:15 μμ	2219,593111		
Herakleion9	3/8/2035 3:42:15 μμ	3/8/2035 4:12:15 μμ	2219,593111		
Herakleion10	3/8/2035 4:12:15 μμ	3/8/2035 4:42:15 μμ	2219,593111		
Herakleion11	3/8/2035 3:57:23 μμ	3/8/2035 4:27:23 μμ	2219,593111		
Herakleion12	3/8/2035 12:57:23 μμ	3/8/2035 1:27:23 μμ	2219,593111		
Average Revenue	1920,347937	Max Revenue	2966,229294	Min Revenue	561,43794
Standard Deviation	605,072215	Sum Revenue	199716,		
Revenue			190646		

Πίν. 6.4.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Πειραιά-4^ο τρίμηνο

Routes-Piraeus-4th quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
101	Piraeus	Piraeus	7685, 849495	480	290,66357	21/12/2035 8:00:00 πμ	21/12/2035 2:50:39 μμ
102	Piraeus	Piraeus	8541, 275871	480	397,21	21/12/2035 0030278:01:00 πμ	21/12/2035 3:38:00 μμ
103	Piraeus	Piraeus	8785, 704465	480	380,21	21/12/2035 2440128:02:00 πμ	21/12/2035 3:52:14 μμ
104	Piraeus	Piraeus	8963, 532716	480	389,21	21/12/2035 8771798:03:00 πμ	21/12/2035 4:02:52 μμ
105	Piraeus	Piraeus	8638, 20782	480	372,21	21/12/2035 2539458:04:00 πμ	21/12/2035 3:46:15 μμ
106	Piraeus	Piraeus	8626, 469046	480	311,21	21/12/2035 6180428:05:00 πμ	21/12/2035 3:46:37 μμ
107	Piraeus	Piraeus	8482, 277749	480	273,21	21/12/2035 8070298:06:00 πμ	21/12/2035 3:39:48 μμ
108	Piraeus	Piraeus	7060, 689849	480	256,21	21/12/2035 7979338:07:00 πμ	21/12/2035 2:23:47 μμ
109	Piraeus	Piraeus	8959, 015588	480	389,63248	21/12/2035 8:08:00 πμ	21/12/2035 4:07:37 μμ
110	Piraeus	Piraeus	7629, 103303	480	257,21	21/12/2035 5895618:09:00 πμ	21/12/2035 2:56:35 μμ
111	Piraeus	Piraeus	8784, 917192	480	290,21	21/12/2035 2013658:10:00 πμ	21/12/2035 4:00:12 μμ
Average TotalCost	8377,913009	Max TotalCost	8963,532716	Min TotalCost	7060,689849		
StandardDeviation TotalCost	628,642952	Sum TotalCost	92157,043094	Average MaxTotalTime	480		
MaxMaxTotalTime	480	Min MaxTotalTime	480	StandardDeviation MaxTotalTime	0		
Sum MaxTotalTime	5280	Average TotalTravelTime	328,153467	Max TotalTravelTime	397,003027		
Min TotalTravelTime	256,797933	StandardDeviation TotalTravelTime	57,560153	Sum TotalTravelTime	3609,688142		

Πίν. 6.4.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Πειραιά-4^ο τρίμηνο

Orders-Piraeus-4th quarter

Name	Arrive Time	Depart Time	Revenue
Mytilini	21/12/2035 9:22:33	21/12/2035 9:52:33	2013,258907
	μμ	μμ	
Chios	21/12/2035 9:10:18	21/12/2035 9:40:18	1638,200049
	μμ	μμ	
Samos	21/12/2035 9:25:32	21/12/2035 9:55:32	2059,123954
	μμ	μμ	
Ermoupoli	21/12/2035 8:49:30	21/12/2035 9:19:30	1042,814468
	μμ	μμ	
Naxos	21/12/2035 2:37:04	21/12/2035 3:07:04	1357,302536
	μμ	μμ	
Santorini	21/12/2035 2:29:58	21/12/2035 2:59:58	1692,319623
	μμ	μμ	
Kos2	21/12/2035 1:39:09	21/12/2035 2:09:09	2371,59995
	μμ	μμ	
Rhodes	21/12/2035 12:17:48	21/12/2035 12:47:48	2966,229294
	μμ	μμ	
Karpathos	21/12/2035 1:11:03	21/12/2035 1:41:03	2829,663506
	μμ	μμ	
Patras	21/12/2035 12:21:28	21/12/2035 12:51:28	1341,831233
	μμ	μμ	
Kalamata	21/12/2035 8:57:38	21/12/2035 9:27:38	1322,740247
	μμ	μμ	
Corfu	21/12/2035 1:35:40	21/12/2035 2:05:40	2590,441335
	μμ	μμ	
Cefalonia	21/12/2035 11:31:36	21/12/2035 12:01:36	1993,729819
	μμ	μμ	
Volos	21/12/2035 10:00:05	21/12/2035 10:30:05	1310,181817
	μμ	μμ	
Ioannina	21/12/2035 9:32:02	21/12/2035 10:02:02	2185,779952
	μμ	μμ	
Alexandroupoli	21/12/2035 1:46:58	21/12/2035 2:16:58	2574,927989
	μμ	μμ	
Chania-Kissamos	21/12/2035 1:08:53	21/12/2035 1:38:53	1924,257732
	μμ	μμ	
Rethymno	21/12/2035 11:59:21	21/12/2035 12:29:21	2079,551582
	μμ	μμ	
Herakleion	21/12/2035 12:16:06	21/12/2035 12:46:06	2219,593111
	μμ	μμ	
Thessaloniki	21/12/2035 12:14:32	21/12/2035 12:44:32	2098,808339
	μμ	μμ	
Loutraki	21/12/2035 8:22:28	21/12/2035 8:52:28	649,801645
	μμ	μμ	
Lamia	21/12/2035 9:20:57	21/12/2035 9:50:57	1145,754559
	μμ	μμ	
Rhodes2	21/12/2035 11:47:48	21/12/2035 12:17:48	2966,229294
	μμ	μμ	
Patras2	21/12/2035 11:51:28	21/12/2035 12:21:28	1341,831233
	μμ	μμ	
Kalamata2	21/12/2035 9:27:38	21/12/2035 9:57:38	1322,740247
	μμ	μμ	
Volos2	21/12/2035 9:00:05	21/12/2035 9:30:05	1310,181817
	μμ	μμ	
Ioannina2	21/12/2035 9:33:02	21/12/2035 10:03:02	2185,779952
	μμ	μμ	
Alexandroupoli2	21/12/2035 1:16:58	21/12/2035 1:46:58	2574,927989
	μμ	μμ	

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue		
Herakleion2	21/1/2/2035 12:46:06 μμ	21/1/2/2035 1:16:06 μμ	2219,593111		
Thessaloniki2	21/1/2/2035 1:44:32 μμ	21/1/2/2035 2:14:32 μμ	2098,808339		
Patras3	21/1/2/2035 11:21:28 μμ	21/1/2/2035 11:51:28 μμ	1341,831233		
Volos3	21/1/2/2035 9:30:05 μμ	21/1/2/2035 10:00:05 μμ	1310,181817		
Herakleion3	21/1/2/2035 1:46:06 μμ	21/1/2/2035 2:16:06 μμ	2219,593111		
Thessaloniki3	21/1/2/2035 1:14:32 μμ	21/1/2/2035 1:44:32 μμ	2098,808339		
Thessaloniki4	21/1/2/2035 12:44:32 μμ	21/1/2/2035 1:14:32 μμ	2098,808339		
Koa	21/1/2/2035 1:09:09 μμ	21/1/2/2035 1:39:09 μμ	2371,59995		
Rhodes3	21/1/2/2035 11:17:46 μμ	21/1/2/2035 11:47:46 μμ	2966,229294		
Patras4	21/1/2/2035 10:51:28 μμ	21/1/2/2035 11:21:28 μμ	1341,831233		
Corfu2	21/1/2/2035 1:05:40 μμ	21/1/2/2035 1:35:40 μμ	2590,441335		
Chania-Kissamos2	21/1/2/2035 12:38:53 μμ	21/1/2/2035 1:08:53 μμ	1924,257732		
Milos	21/1/2/2035 8:54:27 μμ	21/1/2/2035 9:24:27 μμ	1203,085296		
Lamia2	21/1/2/2035 8:50:57 μμ	21/1/2/2035 9:20:57 μμ	1145,754559		
Herakleion4	21/1/2/2035 1:16:06 μμ	21/1/2/2035 1:46:06 μμ	2219,593111		
Rethymno2	21/1/2/2035 12:29:21 μμ	21/1/2/2035 12:59:21 μμ	2079,551582		
Average Revenue	1916,808422	Max Revenue	2966,229294	Min Revenue	649,801645
Standard Deviation	594,648395	Sum Revenue	84339,570553	Revenue	

6.1.2 Υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης

Πίν. 6.5.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-1^ο τρίμηνο

Routes-Thess-1st quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTravelTime	StartTime	EndTime
201	Thessaloniki	Thessaloniki	7347,404446	480	332,23/2/2035	23/2/2035	2:32:19 μμ
202	Thessaloniki	Thessaloniki	8781,239621	480	350,23/2/2035	23/2/2035	3:51:00 μμ
203	Thessaloniki	Thessaloniki	8135,661146	480	285,23/2/2035	23/2/2035	3:17:01 μμ
Average TotalCost	8088,101738	Max TotalCost	8781,239621	Min TotalCost	7347,404446		
Standard Deviation	718,099749	Sum TotalCost	24264,305213	Average	480		
TotalCost					MaxTotalTime		
Max MaxTotalTime	480	Min MaxTotalTime	480	Standard Deviation	0		
Sum MaxTotalTime	1440	Average	322,454049	Max	350,002146		
Min	285,030396	Standard Deviation	33,592811	Sum	967,362146		
TotalTravelTime			TotalTravelTime	TotalTravelTime			

Πίν. 6.5.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-1^ο τρίμηνο

Orders-Thess-1st quarter

Name	DeliveryQuantities	ArriveTime	DepartTime	Revenue	
Limnos	11	23/2/2035 1:49:27 μμ	23/2/2035 2:19:27 μμ	1459,83466	
Kastoria	18	23/2/2035 11:07:08 πμ	23/2/2035 11:37:08 πμ	1163,674719	
Corfu	17	23/2/2035 9:20:53 πμ	23/2/2035 9:50:53 πμ	1997,94366	
Volos	14	23/2/2035 8:42:53 πμ	23/2/2035 9:12:53 πμ	1097,827922	
Ioannina	18	23/2/2035 11:25:34 πμ	23/2/2035 11:55:34 πμ	1534,136206	
Alexandroupoli	15	23/2/2035 2:08:41 μμ	23/2/2035 2:38:41 μμ	1799,935654	
Kavala	18	23/2/2035 9:12:11 πμ	23/2/2035 9:42:11 πμ	1058,778815	
Piraeus	16	23/2/2035 12:37:03 μμ	23/2/2035 1:07:03 μμ	2098,809123	
Kastoria2	18	23/2/2035 11:37:08 πμ	23/2/2035 12:07:08 μμ	1163,674719	
Ioannina2	18	23/2/2035 10:55:34 πμ	23/2/2035 11:25:34 πμ	1534,136206	
Kavala2	18	23/2/2035 8:42:11 πμ	23/2/2035 9:12:11 πμ	1058,778815	
Average Revenue	1451,593682	Max Revenue	2098,809123	Min Revenue	1058,778815
Standard Deviation	381,047847	Sum Revenue	15967,530499		
Revenue					

Πίν. 6.6.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-2^ο τρίμηνο

Routes-Thessaloniki-2nd quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
201	Thessaloniki	Thessaloniki	12232, 501486	720	476,8/6/2035 9610777:00:00 πμ	8/6/2035 5:56:57 μμ	
202	Thessaloniki	Thessaloniki	11550, 357612	720	410,8/6/2035 0085387:01:00 πμ	8/6/2035 5:21:00 μμ	
203	Thessaloniki	Thessaloniki	3250, 446115	720	80,3925318/6/2035 7:02:00 πμ	8/6/2035 9:52:23 πμ	
Average TotalCost	9011,101738	Max TotalCost	12232,501486	Min TotalCost	3250,446115		
Standard Deviation	5000,51947	Sum TotalCost	27033,305213	Average	720		
TotalCost				MaxTotalTime			
Max MaxTotalTime	720	Min MaxTotalTime	720	StandardDeviation	0		
				MaxTotalTime			
Sum MaxTotalTime	2160	Average	322,454049	Max	476,961077		
		TotalTravelTime		TotalTravelTime			
Min	80,392531	StandardDeviation	212,287528	Sum	967,362146		
TotalTravelTime		TotalTravelTime		TotalTravelTime			

Πίν. 6.6.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-2^ο τρίμηνο

Orders-Thessaloniki-2nd quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue		
Limnos	8/6/2035 12:51:50 μμ	8/6/2035 1:21:50 μμ	1459,83466		
Kastoria	8/6/2035 10:39:31 πμ	8/6/2035 11:09:31 πμ	1163,674719		
Corfu	8/6/2035 11:45:31 πμ	8/6/2035 12:15:31 μμ	1997,94366		
Volos	8/6/2035 7:42:53 πμ	8/6/2035 8:12:53 πμ	1097,827922		
Ioannina	8/6/2035 3:50:12 μμ	8/6/2035 4:20:12 μμ	1534,136206		
Alexandroupoli	8/6/2035 8:12:18 πμ	8/6/2035 8:42:18 πμ	1799,935654		
Kavala	8/6/2035 8:42:11 πμ	8/6/2035 9:12:11 πμ	1058,778815		
Piraeus	8/6/2035 4:01:41 μμ	8/6/2035 4:31:41 μμ	2098,809123		
Kastoria2	8/6/2035 10:09:31 πμ	8/6/2035 10:39:31 πμ	1163,674719		
Ioannina2	8/6/2035 3:20:12 μμ	8/6/2035 3:50:12 μμ	1534,136206		
Kavala2	8/6/2035 8:12:11 πμ	8/6/2035 8:42:11 πμ	1058,778815		
Piraeus2	8/6/2035 3:31:41 μμ	8/6/2035 4:01:41 μμ	2098,809123		
Kastoria3	8/6/2035 9:39:31 πμ	8/6/2035 10:09:31 πμ	1163,674719		
Corfu2	8/6/2035 11:15:31 πμ	8/6/2035 11:45:31 πμ	1997,94366		
Kavala3	8/6/2035 7:42:11 πμ	8/6/2035 8:12:11 πμ	1058,778815		
Piraeus3	8/6/2035 3:01:41 μμ	8/6/2035 3:31:41 μμ	2098,809123		
Average Revenue	1524,096621	Max Revenue	2098,809123	Min Revenue	1058,778815
Standard Deviation	427,49991	Sum Revenue	24385,545939	Revenue	

Πίν. 6.7.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4^ο τρίμηνο

Routes-Thessaloniki-3rd quarter

Name	StartDepotName	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
201	Thessaloniki	Thessaloniki	13340, 101486	720	476,3/8/2035 9610777:00:00 πμ	3/8/2035 6:56:57 μμ	
202	Thessaloniki	Thessaloniki	12104, 157612	720	410,3/8/2035 0085387:01:00 πμ	3/8/2035 5:51:00 μμ	
203	Thessaloniki	Thessaloniki	3250, 446115	720	80,3925313/8/2035 7:02:00 πμ	3/8/2035 9:52:23 πμ	
Average TotalCost	9564,901738	Max TotalCost	13340,101486	Min TotalCost	3250,446115		
Standard Deviation	5503,285534	Sum TotalCost	28694,705213	Average	720		
TotalCost				MaxTotalTime			
Max MaxTotalTime	720	Min MaxTotalTime	720	Standard Deviation	0		
				MaxTotalTime			
Sum MaxTotalTime	2160	Average	322,454049	Max	476,961077		
		TotalTravelTime		TotalTravelTime			
Min	80,392531	Standard Deviation	212,287528	Sum	967,362146		
TotalTravelTime		TotalTravelTime		TotalTravelTime			

Πίν. 6.7.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-3^ο τρίμηνο

Orders-Thessaloniki-3rd quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Limnos	3/8/2035 12:51:50 μμ	3/8/2035 1:21:50 μμ	1459,83466
Kastoria	3/8/2035 10:39:31 πμ	3/8/2035 11:09:31 πμ	1163,674719
Corfu	3/8/2035 12:15:31 μμ	3/8/2035 12:45:31 μμ	1997,94366
Volos	3/8/2035 7:42:53 πμ	3/8/2035 8:12:53 πμ	1097,827922
Ioannina	3/8/2035 4:20:12 μμ	3/8/2035 4:50:12 μμ	1534,136206
Alexandroupoli	3/8/2035 8:12:18 πμ	3/8/2035 8:42:18 πμ	1799,935654
Kavala	3/8/2035 8:42:11 πμ	3/8/2035 9:12:11 πμ	1058,778815
Piraeus	3/8/2035 5:01:41 μμ	3/8/2035 5:31:41 μμ	2098,809123
Kastoria2	3/8/2035 10:09:31 πμ	3/8/2035 10:39:31 πμ	1163,674719
Ioannina2	3/8/2035 3:50:12 μμ	3/8/2035 4:20:12 μμ	1534,136206
Kavala2	3/8/2035 8:12:11 πμ	3/8/2035 8:42:11 πμ	1058,778815
Piraeus2	3/8/2035 4:31:41 μμ	3/8/2035 5:01:41 μμ	2098,809123
Kastoria3	3/8/2035 9:39:31 πμ	3/8/2035 10:09:31 πμ	1163,674719
Corfu2	3/8/2035 11:45:31 πμ	3/8/2035 12:15:31 μμ	1997,94366
Corfu3	3/8/2035 11:15:31 πμ	3/8/2035 11:45:31 πμ	1997,94366
Ioannina3	3/8/2035 3:20:12 μμ	3/8/2035 3:50:12 μμ	1534,136206
Kavala3	3/8/2035 7:42:11 πμ	3/8/2035 8:12:11 πμ	1058,778815
Piraeus4	3/8/2035 4:01:41 μμ	3/8/2035 4:31:41 μμ	2098,809123
Piraeus3	3/8/2035 3:31:41 μμ	3/8/2035 4:01:41 μμ	2098,809123
Average Revenue	1579,812365	Max Revenue	2098,809123
Standard Deviation	424,086484	Sum Revenue	30016,434929
Revenue		Min Revenue	1058,778815

Πίν. 6.8.1 Στοιχεία διαδρομών (routes)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4^ο τρίμηνο

Routes-Thessaloniki-4th quarter

Name	StartDepotNam	EndDepotName	TotalCost	MaxTotalT	TotalTrave	StartTime	EndTime
201	Thessaloniki	Thessaloniki	7901,204446	480	332,21/12/2035	21/12/2035	3:02:19 μμ
202	Thessaloniki	Thessaloniki	8781,239621	480	350,21/12/2035	21/12/2035	3:51:00 μμ
203	Thessaloniki	Thessaloniki	8135,661146	480	285,21/12/2035	21/12/2035	3:17:01 μμ
Average TotalCost	8272,701738	Max TotalCost	8781,239621	Min TotalCost	7901,204446		
Standard Deviation	455,74178	Sum TotalCost	24818,105213	Average	480		
TotalCost				MaxTotalTime			
Max MaxTotalTime	480	Min MaxTotalTime	480	Standard Deviation	0		
				MaxTotalTime			
Sum MaxTotalTime	1440	Average	322,454049	Max	350,002146		
		TotalTravelTime		TotalTravelTime			
Min	285,030398	Standard Deviation	33,592811	Sum	967,362146		
TotalTravelTime		TotalTravelTime		TotalTravelTime			

Πίν. 6.8.2 Εξυπηρέτηση περιφερειακών υδατοδρομίων (orders)- υδατοδρόμιο Θεσσαλονίκης-4^ο τρίμηνο

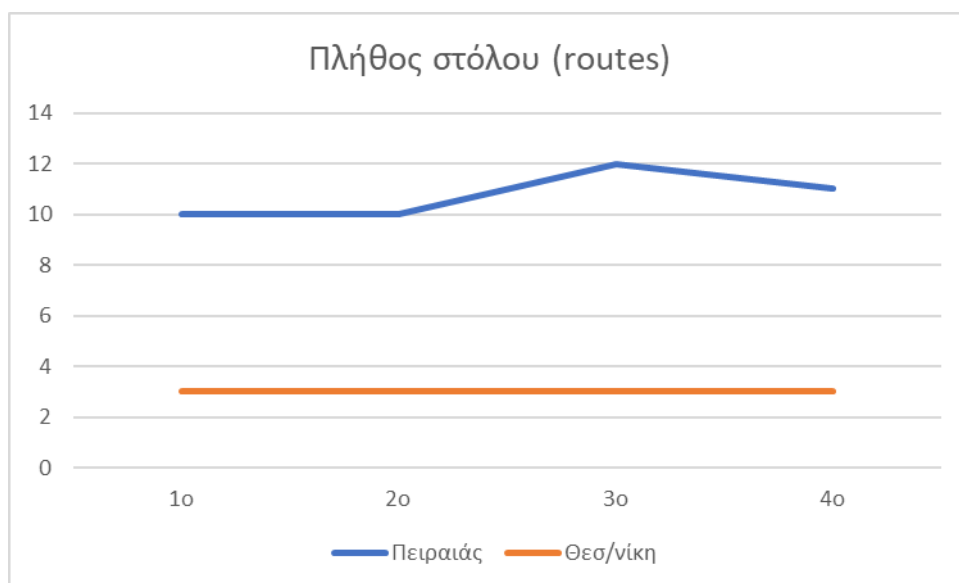
Orders-Thessaloniki-4th quarter

Name	ArriveTime	DepartTime	Revenue
Limnos	21/12/2035 1:49:27 μμ	21/12/2035 2:19:27 μμ	1459,83466
Kastoria	21/12/2035 11:07:08 πμ	21/12/2035 11:37:08 πμ	1163,674719
Corfu	21/12/2035 9:20:53 πμ	21/12/2035 9:50:53 πμ	1997,94366
Volos	21/12/2035 8:42:53 πμ	21/12/2035 9:12:53 πμ	1097,827922
Ioannina	21/12/2035 11:25:34 πμ	21/12/2035 11:55:34 πμ	1534,136206
Alexandroupoli	21/12/2035 2:08:41 μμ	21/12/2035 2:38:41 μμ	1799,935654
Kavala	21/12/2035 9:12:11 πμ	21/12/2035 9:42:11 πμ	1058,778815
Piraeus	21/12/2035 1:07:03 μμ	21/12/2035 1:37:03 μμ	2098,809123
Kastoria2	21/12/2035 11:37:08 πμ	21/12/2035 12:07:08 μμ	1163,674719
Ioannina2	21/12/2035 10:55:34 πμ	21/12/2035 11:25:34 πμ	1534,136206
Kavala2	21/12/2035 8:42:11 πμ	21/12/2035 9:12:11 πμ	1058,778815
Piraeus2	21/12/2035 12:37:03 μμ	21/12/2035 1:07:03 μμ	2098,809123
Average Revenue	1505,528302	Max Revenue	2098,809123
Standard Deviation	408,540098	Sum Revenue	18066,339623
Revenue		Min Revenue	1058,778815

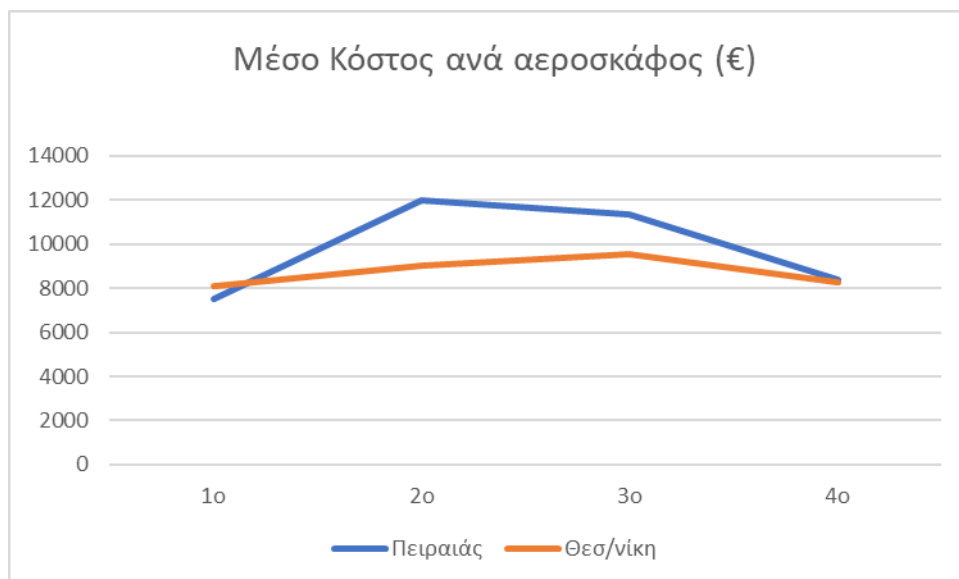
6.2 Στατιστική ανάλυση μεταβλητών αποτελεσμάτων-Εξαγωγή ποιοτικών στοιχείων

Στους πίν. 6.1 έως 6.8 πέρα από ένα ενδεικτικό πρόγραμμα είτε των δρομολογίων (*routes*), είτε των επισκέψεων σε ένα υδατοδρόμιο (*order*) και ορισμένων χαρακτηριστικών τιμών μεγεθών για το καθένα, έχουν υπολογιστεί από το ArcGIS στοιχεία όπως η μέγιστη (*maximum*) και η ελάχιστη (*minimum*) τιμή ενός μεγέθους, το άθροισμα του συνόλου (*sum*), η μέση τιμή (*average*) και η τυπική απόκλιση (*standard deviation*). Αυτό που ενδιαφέρει περισσότερο για σύγκριση των μεγεθών στη διάρκεια του έτους είναι η μέση τιμή ως στοιχείου αντιπροσώπευσης του δείγματος των δρομολογίων. Παρότι σε αυτήν την προσέγγιση βασίστηκε ολόκληρη η προηγούμενη εργασία (Πασχαλίδης, 2020 [0]) καθότι θεωρήθηκε ένα μοντέλο συνεχούς προσέγγισης (*continuum approximation model*), εντούτοις για αρκετούς λόγους δε θα πραγματοποιηθεί σύγκριση αποτελεσμάτων με σημαντικότερους: α) το έτος βάσης εδώ θεωρείται το 2035 ενώ στην [0] το 2030 και β) αποδείχθηκε στην [0] ότι το ολικό κόστος TC εφόσον αποτελεί μια μεταβλητή ελεγχόμενη από την τιμή του εισιτηρίου t ήταν αδιάφορη στο εκεί πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αντιθέτως εδώ, καθότι γίνεται αναφορά σε VRP, αναγκαστικά αντικειμενική συνάρτηση σε κάθε επίλυση από το ArcGIS αποτελεί η ελαχιστοποίηση του κόστους παρότι κι εδώ

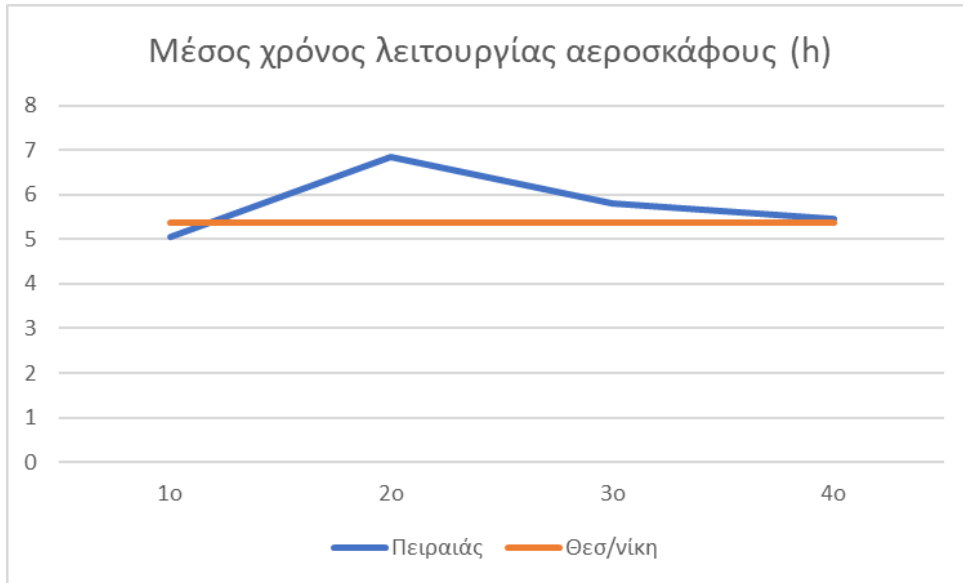
αναζητείται «χειροκίνητα» ο βέλτιστος (ελάχιστος) αριθμός αεροσκαφών (routes) που ικανοποιούν τη ζήτηση του προβλήματος.



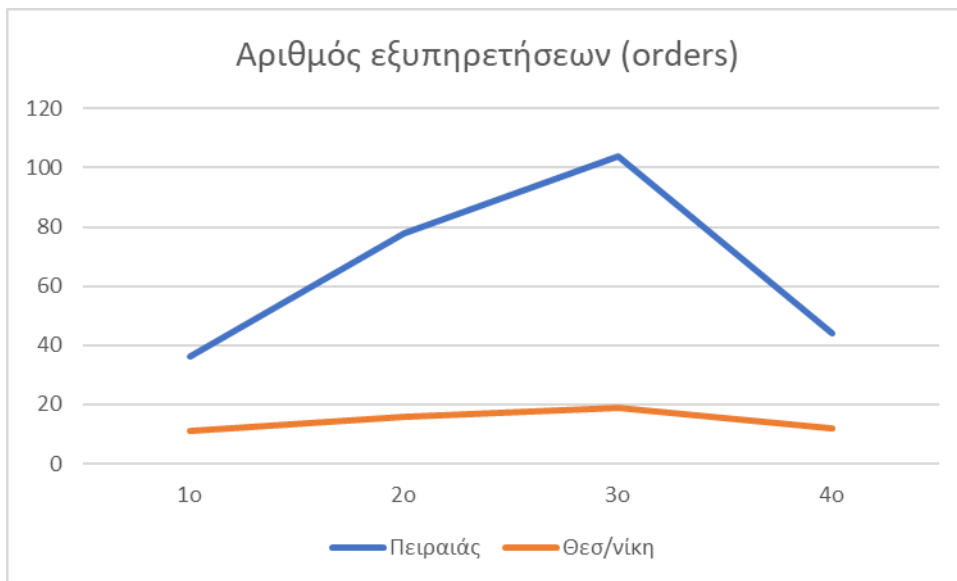
Σχ.6.1 Μεταβολή αριθμού στόλου αεροσκαφών (routes) ανά τρίμηνο και ανά μητροπολιτικό υδατοδρόμιο (derot)



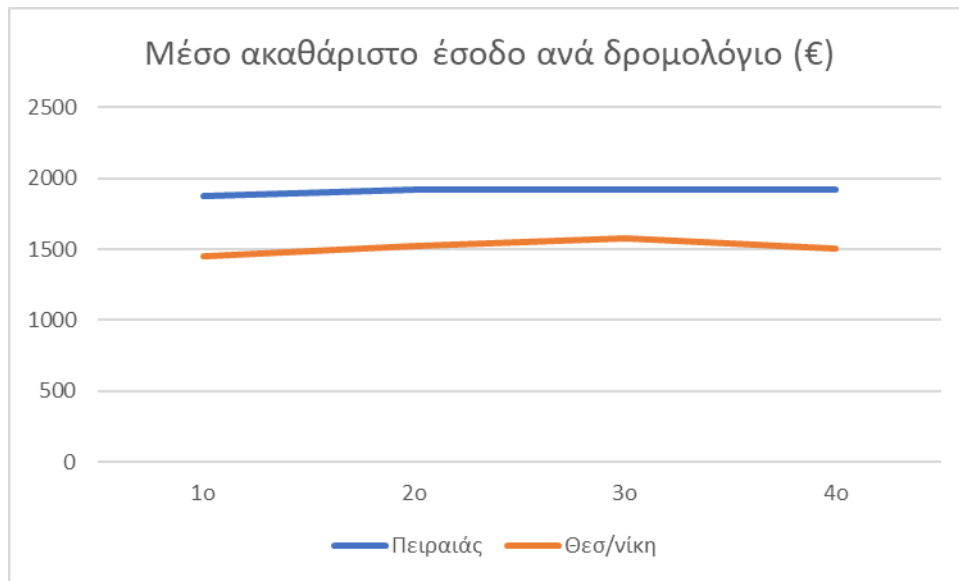
Σχ. 6.2 Μεταβολή μέσου κόστους (€) ανά αεροσκάφος (route)



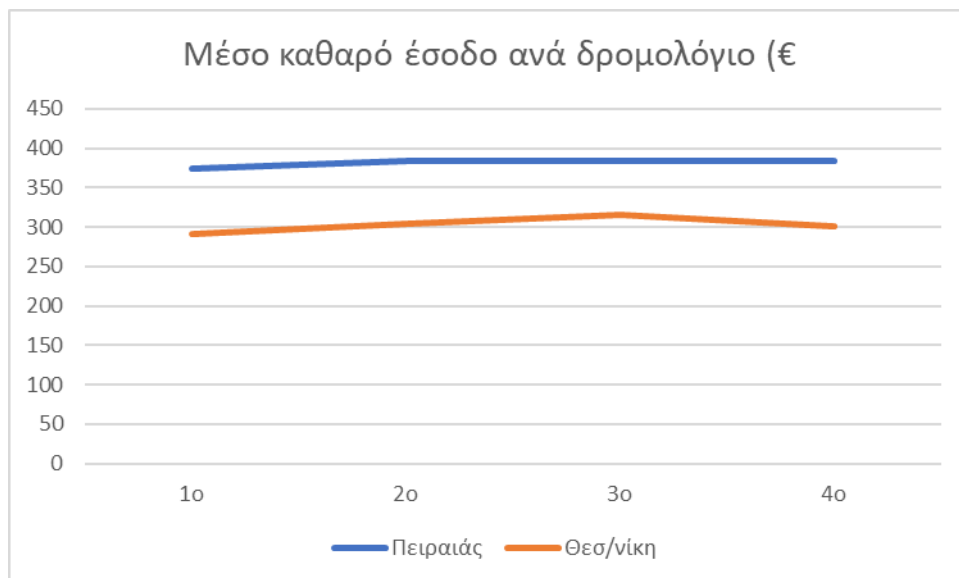
Σχ. 6.3 Μεταβολή μέσου χρόνου (h) λειτουργίας αεροσκάφους (route)



Σχ. 6.4 Μεταβολή αριθμού εξυπηρετήσεων υδατοδρομίων (orders) ανά τρίμηνο και ανά μητροπολιτικό υδατοδρόμιο (depot)



Σχ. 6.5 Μεταβολή μέσου ακαθάριστου εσόδου (€) ανά εξυπηρέτηση υδατοδρομίου (depot) από δρομολόγιο (route)



Σχ. 6.6 Μεταβολή μέσου καθαρού εσόδου (€) ανά εξυπηρέτηση υδατοδρομίου (depot) από δρομολόγιο (route)

Από τα παραπάνω σχ. 6.1 έως και 6.5 εξάγονται τα εξής χρήσιμα συμπεράσματα:

- Και για τα δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια επιτυγχάνεται ομοιογένεια στον απαιτούμενο αριθμό του στόλου των αεροσκαφών με σχετικούς συντελεστές μεταβλητότητας $CV_{M,T} = \sigma_{M,T} / \bar{x}_{M,T} = 8,91\% < 10\%$. Στο μεν υδατοδρόμιο του Πειραιά το εύρος του αριθμού υδροπλάνων μεταξύ διαφορετικών τριμήνων είναι μόνο 2 (12 στο 3^ο έναντι 10 σε 1^ο και 2^ο), ενώ στη Θεσσαλονίκη γίνεται δυνατόν να χρειάζεται όλο το χρόνο σταθερός αριθμός 3 υδροπλάνων. επιτυγχάνεται ομοιογένεια στον απαιτούμενο αριθμό του στόλου των αεροσκαφών με σχετικούς συντελεστές μεταβλητότητας

$CV_{M,P} = \sigma_{M,P} / \bar{x}_{M,P} = 8,91\% < 10\%$ και αντίστοιχα $CV_{M,T} = 0$ αφού ο στόλος των υδροπλάνων είναι σταθερός όλο το χρόνο.

- Το μέσο κόστος ATC (*Average Total Cost*) ανά αεροσκάφος ομοίως παρουσιάζει σχετική χαμηλή απόκλιση μέσα στο χρόνο, ειδικότερα στο υδατοδρόμιο της Θεσσαλονίκης, όπου προκύπτει συντελεστής μεταβλητότητας $CV_{ATC,T} = \sigma_{ATC,T} / \bar{x}_{ATC,T} = 7,81\% < 10\%$, επομένως υπάρχει ομοιογένεια. Αντιθέτως δε μπορεί να χαρακτηριστεί αντίστοιχα ομοιογένεια στο υδατοδρόμιο του Πειραιά, καθώς $CV_{ATC,P} = \sigma_{ATC,P} / \bar{x}_{ATC,P} = 22,41\% > 10\%$, εντούτοις δε λαμβάνει κάποια ακραία τιμή.
- Σε ό,τι αφορά το μέσο χρόνο λειτουργίας ATOT (*Average Total Operation Time*), ο αλγόριθμος της Αναζήτησης Ταμπού που χρησιμοποιεί το ArcGIS για την επίλυση του VRP [108D] επιτυγχάνει στο υδατοδρόμιο της Θεσσαλονίκης να υπάρχει σταθερός χρόνος λειτουργίας όλο το χρόνο, 5,37h! Σε ό,τι αφορά τον Πειραιά ακόμα και για ένα ελαφρώς outlier του 2^{ου} τριμήνου, επιτυγχάνεται συντελεστής μεταβλητότητας $CV_{ATOT,P} = \sigma_{ATOT,P} / \bar{x}_{ATOT,P} = 12,89\%$, δηλ. οριακά μη οριακά μη ομοιογένεια.
- Η σημασία των τιμών των παραπάνω μεταβλητών στην περίπτωση του Πειραιά φανερώνεται όταν βρεθεί ο αντίστοιχος συντελεστής μεταβλητότητας για τον αριθμό των εξυπηρετήσεων (orders) στον οποίο το σύστημα του διαχειριστή καλείται να ανταποκριθεί. Προκύπτει συγκεκριμένα $CV_{Ord,P} = \sigma_{Ord,P} / \bar{x}_{Ord,P} = 48,05\%$, δηλ. κατά πολύ μεγαλύτερο από τους αντίστοιχους συντελεστές $CV_{ATC,P}$ και $CV_{ATOT,P}$ του μέσου κόστους και μέσου χρόνου λειτουργίας αντίστοιχα, επομένως δηλ. η διαχείριση που έχει ακολουθηθεί μπορεί να κριθεί ορθολογική. Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης η σχετική τιμή είναι $CV_{Ord,T} = \sigma_{Ord,T} / \bar{x}_{Ord,T} = 25,5\%$, τόσο χαμηλή δηλαδή που μπορεί να μηδενιστεί για τον αριθμό αεροσκαφών και χρόνου λειτουργίας ATOT, εφόσον ο αριθμός των παραπάνω μεταβλητών παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- Η μεγαλύτερη ομοιογένεια τέλος επιτυγχάνεται στο μέσο καθαρό έσοδο AGRV (*average gross revenue*) και για τα δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια: $CV_{ANRV,P} = \sigma_{ANRV,P} / \bar{x}_{ANRV,P} = 1,21\%$ και $CV_{ANRV,T} = \sigma_{ANRV,T} / \bar{x}_{ANRV,T} = 3,49\%$. Δηλαδή ο διαχειριστής του συστήματος θα μπορούσε να το λειτουργήσει σύμφωνα με τις παραπάνω παραδοχές για όλο το χρόνο ακόμα και τη χειμερινή περίοδο. Προφανώς παρόμοια είναι και η συμπεριφορά του μέσου καθαρού εσόδου ANRV (*average net revenue*), καθώς έχει υποθεθεί ότι $NRV = 0,2 * GRV$ (6.1) (Πασχαλίδης, 2020 [0]).

Γενικότερα ο ισχυρισμός ότι το υδροπλάνο αποτελεί ένα μέσο κατάλληλο για τις ανάγκες της χώρας δεν αφορά μόνο την ελληνική γεωγραφία [0], αλλά κυρίως ότι ο βασικός περιοριστικός παράγοντας για τη λειτουργία του μέσου (μαζί με τις τοπικές συνθήκες του ανέμου που ακόμα δεν έχουν εξεταστεί [88]), η ηλιοφάνεια αποτελεί ταυτόχρονα και τον περιοριστικό παράγοντα για τις μετακινήσεις στην Ελλάδα για λόγους αναψυχής, είτε για τους ντόπιους, είτε πολύ περισσότερο για τους τουρίστες. Δηλαδή η περιορισμένη χρονικά δυνατότητα λειτουργίας το

χειμώνα αντιστοιχεί σε μικρότερη ζήτηση και αντιθέτως το καλοκαίρι για τον ίδιο ακριβώς λόγο που οι πτήσεις με υδροπλάνο έχουν μεγαλύτερη ζήτηση , δηλ. την ηλιοφάνεια, μπορούν να πραγματοποιηθούν. Συνεπώς επιτυγχάνονται τα παραπάνω ικανοποιητικά αποτελέσματα για τη διαχείριση του συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

7.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

Από την προηγούμενη ερευνητική προσπάθεια του συντάκτη το 2020 [0]-και αφού κατέστη σαφές ότι το υδροπλάνο αποτελεί ένα μέσο όπου ταιριάζει με την περίπτωση της Ελλάδας- αντλήθηκε μία πρώτη επιφανειακή (*smooth*) προσέγγιση για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά ενός εθνικού δικτύου δρομολογίων με δύο μητροπολιτικά υδατοδρόμια ως βάσεις-σε Ελευσίνα και Θεσσαλονίκη-αξιοποιώντας δεδομένα από προηγούμενη έρευνα του Μ. Παγωνάκη [1] και με κάποιες παραδοχές για τις τιμές εισόδου.

Τη φορά αυτή, έχοντας πλέον ένα νέο εύρος γνώσεων από το ΔΠΜΣ «Γεωπληροφορική» του Ε.Μ.Π. αποφασίζεται να γίνει μία πιο σε βάθος και πιο «απτή» προσέγγιση ακόμα και σε ό,τι αφορά τη θεώρηση των ζωνών επιρροής (ή αλλιώς Κοινωνικο-Οικονομικών Μονάδων Κ.Ο.Μ.) του κάθε μητροπολιτικού υδατοδρομίου. Έτσι ενώ απλοϊκά στην προηγούμενη εργασία θεωρήθηκαν οι αντίστοιχες περιφέρειες Αττικής (πλην της π.ε. Νήσων) και Κεντρικής Μακεδονίας ως ενδεικτικές για τα υδατοδρόμια, πλέον με τη χρήση του GIS, κυρίως σε ό,τι αφορά την οπτική αναπαράσταση της κατάστασης, και αξιοποίηση ξανά ενός χάρτη δρομολογίων δημιουργίας του Μ. Παγωνάκη [1], δημιουργήθηκαν 4 πανελλαδικές ζώνες επιρροής, εξυπηρέτησης μόνο από τον Πειραιά (ζώνη Α) (έλαβε τη θέση της Ελευσίνας ως μητροπολιτικό υδατοδρόμιο της Αττικής), μόνο από τη Θεσσαλονίκη (ζώνη Β), και από τα δύο υδατοδρόμια (ζώνη Γ) ή μη εξυπηρέτησης από υδροπλάνο

(ζώνη 0). Με την προηγούμενη θεώρηση είχε προκύψει $\frac{\frac{Beds_{T0}}{Pop_{T0}}}{\frac{Beds_{P0}}{Pop_{P0}}} = \frac{Beds_{T0} * Pop_{P0}}{Beds_{P0} * Pop_{T0}} \cong 3,5$

(7.1.1), ενώ τώρα $\frac{\frac{Beds_{T1}}{Pop_{T1}}}{\frac{Beds_{P1}}{Pop_{P1}}} = \frac{Beds_{T1} * Pop_{P1}}{Beds_{P1} * Pop_{T1}} \cong 0,3$ (7.1.2) δηλ. σχεδόν αντίστροφα

(εφόσον $0,3 * 3,5 = 1,05 \cong 1$)! Ενδεχομένως κι εδώ να έγιναν κάποιες παραδοχές όχι τόσο ρεαλιστικές (π.χ. στην κατανομή της ζήτησης της ζώνης Γ στα δύο υδατοδρόμια), σε κάθε περίπτωση καταδεικνύεται πόσο διαφέρουν τα αποτελέσματα μεταξύ τους. Εντέλει η νέα παραδοχή αποδεικνύεται ευνοϊκότερη για το διαχειριστή του συστήματος αφού στο υδατοδρόμιο της Θεσσαλονίκης προκύπτει πλέον ένα πιο οργανωμένο σύστημα δρομολογίων.

Περαιτέρω, με τα εργαλεία που προσφέρει το ArcGIS σχετικά με την Ανάλυση Δικτύου και πιο συγκεκριμένα τη Θεώρηση του προβλήματος ως Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχήματος (VRP) είναι δυνατή ακόμα και η σύνταξη ενός πλήρους προγράμματος δρομολόγησης σε ημερήσιο επίπεδο. Εντούτοις, στην περίπτωση εδώ δεν επρόκειτο καθαρά για πρόβλημα VRP αλλά για ένα δυσκολότερο αφού πιθανότατα κάθε κόμβος του δικτύου να χρειάζεται να διανυθεί $N > 1$ φορές. Αφενός, υπάρχει μεν η δυνατότητα με τις κατάλληλες θεωρήσεις π.χ. ο κόμβος που εξυπηρετείται N φορές να μοντελοποιηθεί ως N διαφορετικοί γειτονικοί αλλά ανεξάρτητοι μεταξύ τους κόμβοι, αφετέρου ωστόσο χρειάζεται η κατάλληλη υπολογιστική προεργασία όπως εδώ στο Microsoft Excel.

Γενικότερα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το ArcGIS αλλά και γενικά όλα τα αντίστοιχα λογισμικά GIS αποτελούν ιδιαίτερα δυνατά υπολογιστικά εργαλεία αφού εντάσσουν την εποπτεία που προσφέρει η γεωχωρική πληροφορία ως κομμάτι της επεξεργαστικής ισχύος των Η/Υ. Δεν παύουν εντούτοις να αποτελούν μία ανθρώπινη επινόηση και συνεπώς να βελτιώνονται και να εξελίσσονται καλύπτοντας νέες ανάγκες που δημιουργούνται.

7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στην προηγούμενη εργασία του συντάκτη το 2020 [0] είχαν διατυπωθεί 4 σχετικές προτάσεις για μία μελλοντική εργασία:

- Επέκταση του συστήματος και στα τοπικά δρομολόγια καθώς και σε άλλου τύπου Πτήσεων.
- Χρησιμοποίηση και άλλου τύπου αεροσκάφους στο μοντέλο.
- Περαιτέρω διερεύνηση των καθυστερήσεων του συστήματος λόγω καιρικών ή άλλων συνθηκών.
- Όταν το αντίστοιχο σύστημα τεθεί σε λειτουργία, επανατροφοδότηση με τα νέα πραγματικά δεδομένα και σύγκριση αποτελεσμάτων

Καθότι στο ενδιάμεσο προέκυψε για το συντάκτη το ΔΠΜΣ «Γεωπληροφορική» εντέλει η μελλοντική για το 2020 εργασία κινήθηκε σε διαφορετικό πεδίο που όμως προσομοιάζει με το τέταρτο παραπάνω, αυτό της επανατροφοδότησης των δεδομένων όχι όμως από την πραγματικότητα αλλά από ένα νέο μοντέλο και μίας αδρομερούς σύγκρισης. Για την ακόμα πιο μελλοντική προσπάθεια ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το τρίτο στοιχείο παραπάνω που αφορά τις καθυστερήσεις, το οποίο στην παρούσα εργασία δε μελετήθηκε καθόλου. Το ArcGIS αλλά και τα άλλα αντίστοιχα λογισμικά είναι πολύ δυνατά στην επεξεργασία χωρικών δεδομένων όπου απεικονίζονται π.χ. μετεωρολογικά φαινόμενα οπότε μπορεί ένα σχετικό λογισμικό να συμβάλλει στη μελέτη των σχετικών παραγόντων ως αιτίες καθυστερήσεων και δημιουργίας συνολικά ενός πλέγματος δρομολογίων για πλήθος σεναρίων.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει και η πρώτη περίπτωση. Δίκτυα που προσομοιάζουν περισσότερο στη μορφή του VRP, σε διαδρομές τύπου περιήγησης [84] ή εμπορικές πτήσεις θα μπορούσαν πιθανότατα να δώσουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα σε επίπεδο λειτουργίας. Τέλος σε ό,τι αφορά τη δεύτερη περίπτωση, με τη χρήση μικρότερων αεροσκαφών θα ήταν δυνατό να ενσωματωθούν στο σύστημα και νέες διαδρομές μικρότερης ζήτησης, και να γίνει μία προσπάθεια οργάνωσης των δρομολογίων με μορφή ανταποκρίσεων από τα περιφερειακά στα κεντρικά και από εκεί στα μητροπολιτικά υδατοδρόμια (Παγωνάκης, 2016) [1].

Προφανώς τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο σε όλα τα παραπάνω, χωρίς κάθε περίπτωση όμως να πρέπει να αγνοηθούν άλλοι τρόποι οργάνωσης και επίλυσης προβλημάτων δρομολόγησης και

βελτιστοποίησης, εφόσον αυτοί εξακολουθούν να αναπτύσσονται από τους ερευνητές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [0] Σ.Ζ. Πασχαλίδης, Ανάπτυξη μοντέλου συνεχούς προσέγγισης για την προτυποποίηση της λειτουργίας υδροπλάνων, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2020, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.20044>
- [1] Μ. Παγωνάκης, Επιχειρησιακός σχεδιασμός των υδατοδρομίων στην Ελλάδα: Εφαρμογή στην περιφέρεια της Κρήτης, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2016, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.13287>
- [2] L. Euler, *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*, 1736, *Comment. Acad. Sci. U. Petrop* 8, 128–40.,
- [3] J. Robinson, On the Hamiltonian game (a traveling salesman problem), *RAND cooperation*, 1949, <https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD0204961>
- [4] K. Menger, *Ergebnisse eines Mathematischen Kolloquiums* , 1932 (αναφορά μεταφρασμένη στα αγγλικά από A. Schrijver, *On the History of Combinatorial Optimization* (Till 1960), *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Volume 12, 2005, Pages 1-68, [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)12001-5](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)12001-5))
- [5] H. Whitney, The 48 states problem, 1934, σεμιναριακή ομιλία στο Princeton University, αναφορά από M.M. Flood, *The Traveling-Salesman Problem*, *Operations Research*, Vol. 4, No. 1 (Feb., 1956), pp. 61-75, <https://www.jstor.org/stable/167517>
- [6] M.M. Flood, *The Traveling-Salesman Problem*, 1956, *Operations Research*, Vol. 4, No. 1 (Feb., 1956), pp. 61-75, <https://www.jstor.org/stable/167517>
- [7] Dantzig, George Bernard; Ramser, John Hubert (October 1959). "The Truck Dispatching Problem" *Management Science*. 6 (1): 80–91. doi:10.1287/mnsc.6.1.80
- [8] L. Bodin and B. Golden, *Classification in vehicle routing and scheduling*, Volume 11, Issue 2, Summer 1981, Pages 97-108, <https://doi.org/10.1002/net.3230110204>
- [9] M. Desrochers, J.K. Lenstra, and M.W.P. Savelsbergh. A classification scheme for vehicle routing and scheduling problems, *European Journal of Operational Research* Volume 46, Issue 3, 15 June 1990, Pages 322-332, [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90007-X](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90007-X)
- [10] G. Laporte and I.H. Osman. *Routing problems: A bibliography*. *Annals of Operations Research*, volume 61, pages 227–262 (1995), <https://doi.org/10.1007/BF02098290>
- [11] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, SIAM 2002, <https://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/1.9780898718515.fm>
- [12] B. Kallehauge, J. Larsen, O.B.G. Madsen and M.M. Solomon, *Vehicle Routing Problem with Time Windows*, 2005, https://doi.org/10.1007/0-387-25486-2_3

- [13] C. Jacobs-Blecha and M. Goetschalckx, The Vehicle Routing Problem With Backhauls: Properties and Solution Algorithms, Transportation Research Board, 1992, <https://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/data/articles/VRPB.pdf>
- [14] G. Desaulniers, J. Desrosiers, A. Erdmann, M.M. Solomon and F. Soumis, VRP with Pickup and Delivery, chapter 9 on “The Vehicle Routing Problem”, SIAM 2002, <https://epubs.siam.org/doi/pdf/10.1137/1.9780898718515.fm>
- [15] M. Dror, G. Laporte, P. Trudeau. Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics*, 1994
- [16] Golden B.L. and Assad A.A., Vehicle routing: methods and studies, *The Journal of the Operational Research Society*. 1988, Vol 39, Num 10, pp 979-980,
- [17] D.J. Bertsimas, A Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands, *HomeOperations Research* Vol. 40, No. 3, 1992, <https://doi.org/10.1287/opre.40.3.574>
- [18] Min H. The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up points, *Transportation Research Part A: General*, Volume 23, Issue 5, September 1989, Pages 377-386, [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(89\)90085-X](https://doi.org/10.1016/0191-2607(89)90085-X)
- [19] Tarantilis, C.D., Kiranoudis, C.T.: Distribution of fresh meat., *Journal of Food Engineering*, Volume 51, Issue 1, January 2002, Pages 85-91, [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00040-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00040-1)
- [20] Kara İ, Kara BY, Yetis MK, Energy minimizing vehicle routing problem. In: *International conference on combinatorial optimization & applications*, Part of the *Lecture Notes in Computer Science* book series (LNTCS, volume 4616), 2007, https://doi.org/10.1007/978-3-540-73556-4_9
- [21] Cattaruzza D, Absi N, Feillet D, Vehicle routing problems with multiple trips, *Annals of Operations Research* volume 271, pages127–159, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2988-7>
- [22] H. Zhang, H. Ge, J. Yang and Y. Tong, Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms, *Archives of Computational Methods in Engineering* volume 29, pages195–221, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09574-x>
- [23] R. Elshaer and H. Awad, A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 140, February 2020, 106242, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106242>
- [24] J. van Leeuwen, *Handbook of Theoretical Computer Science*, Estados Unidos : Elsevier Science B.V, 1998

- [25] F.W. Glover, Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence, *Computers & Operations Research*, Volume 13, Issue 5, 1986, Pages 533-549, [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(86\)90048-1](https://doi.org/10.1016/0305-0548(86)90048-1)
- [26] N. Mladenović and P. Hansen, Variable neighborhood search, *Computers & Operations Research*, Volume 24, Issue 11, November 1997, Pages 1097-1100, [https://doi.org/10.1016/S0305-0548\(97\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0305-0548(97)00031-2)
- [27] D. Pisinger and S. Roepke, Large Neighborhood Search, *Handbook of Metaheuristics* pp 399–419, 2010, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1665-5_13
- [28] Kirkpatrick, S., Gelatt Jr, C. D., Vecchi, M. P. Optimization by Simulated Annealing, *SCIENCE*, VOL. 220, NO. 4598, pp. 671-680, DOI: 10.1126/science.220.4598.671
- [29] N.A. Baricelli, Symbiogenetic evolution processes realized by artificial methods, 1957, *Methodos IX*, Nr. 35–36
- [30] P. Moscato, On Evolution, Search, Optimization, Genetic Algorithms and Martial Arts: Towards Memetic Algorithms, Caltech concurrent computation program, C3P Report, 1989, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.27.9474&rep=rep1&type=pdf>
- [31] F.W. Glover, M. Laguna & R. Marti, Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking, *Control and Cybernetics*, 2000, Vol. 29, no 3, p.653-684, <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BAT2-0001-0558?&locale=pl>
- [32] M. Dorigo, Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992
- [33] J. Kennedy and R.C. Eberhart, Particle Swarm Optimization, *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, DOI: 10.1109/ICNN.1995.488968
- [34] R. Baldacci, A. Mingozzi and R. Roberti, Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints, *European Journal of Operational Research*, Volume 218, Issue 1, 1 April 2012, Pages 1-6, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.037>
- [35] Χρ. Ηλιοπούλου, Βέλτιστος Σχεδιασμός Δικτύου με Περιορισμούς στη Χωρητικότητα, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2013, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.12886>
- [36] Dethloff, J., 2001. "Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pick-up." *OR Spektrum* 23 (1): 79–96.

- [37] Nagy,G., Salhi,S., 2005. "Heuristic Algorithms for Single and Multiple Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries." *European Journal of Operational Research* 162 (1): 126–141. doi:10.1016/j.ejor.2002.11.003
- [38] Crispim,J., Brandão,J., 2005. "Metaheuristics Applied to Mixed and Simultaneous Extensions of Vehicle Routing Problems with Backhauls." *Journal of the Operational Research Society* 56 (11): 1296–1302. doi:10.1057/palgrave.jors.2601935
- [39] Chen, J.-F., Wu,T.-H., 2006. "Vehicle Routing Problem with Simultaneous Deliveries and Pickups." *Journal of the Operational Research Society* 57 (5): 579–587. doi:10.1057/palgrave.jors.2602028.
- [40] Montané,F.A.T., Galvão,R.D., 2006. "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery Service." *Computers & Operations Research* 33 (3) (March): 595–619. doi:10.1016/j.cor.2004.07.009.
- [41] Dell'Amico,M., Righini,G., Salani,M., "A Branch-and-price Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Distribution and Collection." *Transportation Science* 2006 40:235-247
- [42] Wassan,N.A., Wassan,A.H., Nagy,G., 2007. "A Reactive Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickups and Deliveries." *Journal of Combinatorial Optimization* 15 (4) (June 8): 368–386. doi:10.1007/s10878-007-9090-4.
- [43] Bianchessi,N., Righini,G., 2007. "Heuristic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery." *Computers and Operations Research* 34 (2): 578–594. doi:10.1016/j.cor.2005.03.014
- [44] Karlaftis, M.G., Kepaptsoglou,K., Sambracos,E., 2009. "Containership Routing with Time Deadlines and Simultaneous Deliveries and Pick-ups." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45 (1): 210–221.
- [45] Zachariadis,E.E., Kiranoudis,C.T., 2011. "A Local Search Metaheuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-ups and Deliveries." *Expert Syst. Appl.*38 (3) (March): 2717–2726. doi:10.1016/j.eswa.2010.08.061.
- [46] Gajpal,Y., Abad,P., 2009. "An Ant Colony System (ACS) for Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup." *Computers & Operations Research* 36 (12) (December): 3215–3223. doi:10.1016/j.cor.2009.02.017.
- [47] Ai,T.J., and Kachitvichyanukul,V., 2009. "A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery." *Computers and Operations Research* 36 (5): 1693–1702. doi:10.1016/j.cor.2008.04.003

- [48] Zachariadis,E.E., Tarantilis,C.D., Kiranoudis,C.T., 2010. “An Adaptive Memory Methodology for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-ups and Deliveries.” *European Journal of Operational Research* 202 (2) (April 16): 401–411. doi:10.1016/j.ejor.2009.05.015.
- [49] Zachariadis,E.E., Kiranoudis,C.T., 2011. “A Local Search Metaheuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-ups and Deliveries.” *Expert Syst. Appl.*38 (3) (March): 2717–2726. doi:10.1016/j.eswa.2010.08.061.
- [50] J. Andelmin, E. Bartolini, An Exact Algorithm for the Green Vehicle Routing Problem, *Transportation Science*, Vol. 51, No. 4, 2017, <https://doi.org/10.1287/trsc.2016.0734>
- [51] F Theurich, A Fischer, G Scheithauer, A branch-and-bound approach for a Vehicle Routing Problem with Customer Costs, *EURO Journal on Computational Optimization* Volume 9, 2021, 100003, <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2020.100003>
- [52] ET Yassen, M Ayob, MZA Nazri, NR Sabar, An adaptive hybrid algorithm for vehicle routing problems with time windows, *Computers & Industrial Engineering* Volume 113, November 2017, Pages 382-391, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.034>
- [53] C Gauvin, G Desaulniers, M Gendreau, A branch-cut-and-price algorithm for the vehicle routing problem with stochastic demands, *Computers & Operations Research* Volume 50, October 2014, Pages 141-153, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.028>
- [54] S Krichen, S Faiz, T Tlili, K Tej, Tabu-based GIS for solving the vehicle routing problem, *Expert Systems with Applications*, Volume 41, Issue 14, 15 October 2014, Pages 6483-6493, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.03.028>
- [55] D Schermer, M Moeini, O Wendt, A matheuristic for the vehicle routing problem with drones and its variants, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Volume 106, September 2019, Pages 166-204, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.06.016>
- [56] M Marinaki, Y Marinakis, A hybridization of clonal selection algorithm with iterated local search and variable neighborhood search for the feature selection problem, *Memetic Computing* volume 7, pages181–201 (2015), <https://doi.org/10.1007/s12293-015-0161-2>
- [57] S Mancini, The hybrid vehicle routing problem, Volume 78, May 2017, Pages 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.02.004>
- [58] A Hottung, K Tierney, Neural Large Neighborhood Search for the Capacitated Vehicle Routing Problem, *ECAI 2020*: 443-450, <https://doi.org/10.3233/FAIA200124>
- [59] R Baños, J Ortega, C Gil, A Fernández, F de Toro, A Simulated Annealing-based parallel multi-objective approach to vehicle routing problems with time windows, *Expert Systems with Applications* Volume 40, Issue 5, April 2013, Pages 1696-1707, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.012>

- [60] DM Pierre, N Zakaria, Stochastic partially optimized cyclic shift crossover for multi-objective genetic algorithms for the vehicle routing problem with time-windows, *Applied Soft Computing* Volume 52, March 2017, Pages 863-876, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.09.039>
- [61] PRO da Costa, S Mauceri, P Carroll, F Pallonetto, A Genetic Algorithm for a Green Vehicle Routing Problem, *Electronic Notes in Discrete Mathematics* Volume 64, February 2018, Pages 65-74, <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.01.008>
- [62] Y Qi, Z Hou, H Li, J Huang, X Li, A decomposition based memetic algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows, *Computers & Operations Research*, Volume 62, October 2015, Pages 61-77, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.04.009>
- [63] J Euchí, A Yassine, H Chabchoub, The dynamic vehicle routing problem: Solution with hybrid metaheuristic approach, *Swarm and Evolutionary Computation*, Volume 21, April 2015, Pages 41-53, <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2014.12.003>
- [64] SH Xu, JP Liu, FH Zhang, L Wang, LJ Sun, A Combination of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization for Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Sensors* 2015, 15(9), 21033-21053, <https://doi.org/10.3390/s150921033>
- [65] F Arnold, K Sörensen, What makes a VRP solution good? The generation of problem-specific knowledge for heuristics, *Computers & Operations Research*, Volume 106, June 2019, Pages 280-288, <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.02.007>
- [66] WR Tobler, *Automation and Cartography*, *Geographical Review*, Vol. 49, No. 4 (Oct., 1959), pp. 526-534, <https://doi.org/10.2307/212211>
- [67] EF Codd, *Derivability, Redundancy, and Consistency of Relations Stored in Large Data Banks*, Research Report, IBM, 1969
- [68] WR Tobler, A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography*, Vol. 46, Supplement: Proceedings. International Geographical Union. Commission on Quantitative Methods (Jun., 1970), pp. 234-240, <https://doi.org/10.2307/143141>
- [69] WR Tobler, A Model of Geographical Movement, September 2010, *Geographical Analysis* 13(1):1 – 20 (first published in 1981), DOI:10.1111/j.1538-4632.1981.tb00711.x
- [70] MF Goodchild, Geographic information systems and disaggregate transportation modeling, *Geographical Systems*, Vol. 5(1-2):19-44 1998, DOI=10.1.1.162.383
- [71] MF Goodchild, GIS and Transportation: Status and Challenges, *GeoInformatica* volume 4, pages127–139 (2000), <https://doi.org/10.1023/A:1009867905167>
- [72] EW Dijkstra, A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*. 1: 269–271. [doi:10.1007/BF01386390](https://doi.org/10.1007/BF01386390)

- [73] WR Franklin, W. R., 'Triangulated irregular network program', <ftp://ftp.cs.rpi.edu/pub/franklin/tin73.tar.gz>, 1973
- [74] EL Hillsman, The p-Median Structure as a Unified Linear Model for Location—Allocation Analysis Environment and Planning A, 1984 - [journals.sagepub.com https://doi.org/10.1068/a160305](https://doi.org/10.1068/a160305)
- [75] MB Teitz, P Bart, Heuristic Methods for Estimating the Generalized Vertex Median of a Weighted Graph-Operations research, Volume 16, Issue 5, September-October 1968, Pages 901-1091, <https://doi.org/10.1287/opre.16.5.955>
- [76] MM Fischer, GIS and Network Analysis (chapter), Spatial Analysis and GeoComputation, pp 43–60, https://doi.org/10.1007/3-540-35730-0_4
- [77] M Chen, Y Fu, J Ge, X Zhou, Study of Logistics Vehicle Routing Problem Based on GIS, Workshop on Intelligent Information Technology Application (IITA 2007), DOI: 10.1109/IITA.2007.35
- [78] H Kawano, M Kokai, W Yue, GIS-based Solution of Vehicle Scheduling and Routing Problems in Day-care Center, The 7th International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'08), Lijiang, China, October 31–November 3, 2008, Copyright © 2008 ORSC & APORC, pp. 336–343, <http://180.76.190.102/LNOR/8/ISORA2008F41.pdf>
- [79] T Bosona, I Nordmark, G Gebresenbet, D Ljungberg, GIS-Based Analysis of Integrated Food Distribution Network in Local Food Supply Chain, International Journal of Business and Management; Vol. 8, No. 17; 2013, : <http://dx.doi.org/10.5539/ijbm.v8n17p13>
- [80] S Niu, Y Yang, W Pan, Assessment of waste characteristics and their impact on GIS vehicle collection route optimization using ANN waste forecasts, Waste Management, Volume 88, 1 April 2019, Pages 118-130, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.037>
- [81] JM Wunderli, C Zellmann, M Köpfli, M Habermacher, sonAIR – a GIS-Integrated Spectral Aircraft Noise Simulation Tool for Single Flight Prediction and Noise Mapping, Acta Acustica united with Acustica, Volume 104, Number 3, May/June 2018, pp. 440-451(12), <https://doi.org/10.3813/AAA.919180>
- [82] RP DeFusco, Wdelling Bird Hazards to Aircraft: A GIS Application Study, 1993, <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1993journal/oct/highlight-article.pdf>
- [83] Y Li, Y Zhang, L Wang, X Guan, Research on potential ground risk regions of aircraft crashes based on ADS-B flight tracking data and GIS, Journal of Transportation Safety & Security, Volume 14, 2022, <https://doi.org/10.1080/19439962.2020.1754981>

- [84] Αν. Κονίδη, Διερεύνηση θεμάτων οργάνωσης περιηγητικών υπηρεσιών υδροπλάνων στο Αιγαίο, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2021, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.22846>
- [85] Β. Κότσιαλος, Διερεύνηση της συνέργειας των περιηγητικών υπηρεσιών υδροπλάνων και της κρουαζιέρας στην Ελλάδα, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2019, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.17887>
- [86] Ν. Ζαχαριάδης, Τα υδροπλάνα στον ελληνικό τουρισμό: Έρευνα ζήτησης υπηρεσιών και επιχειρησιακός σχεδιασμός πτήσεων, διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π., 2020, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.19494>
- [87] B Mohr, J Schömann, Seaplane data base, 2007, http://www.fusetra.eu/documents/FUSETRA_D11_seaplane_data_base.pdf
- [88] J Odedra, G Hope, C Kennell, Use of Seaplanes and Integration within a Sea Base, 2004, <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA476447>
- [89] T Denz, S Smith, R Shrestha, 2007, apps.dtic.mil/sti/citations/ADA487947
- [90] Α Συμβώνης, σημειώσεις μαθήματος «Θεωρία Γραφημάτων», ΣΕΜΦΕ ΕΜΠ, 2022
- [91] Ε.Ι. Σαπουντζάκης, σημειώσεις μαθήματος «Ανάλυση Ραβδωτών Φορέων-Σύγχρονες Μέθοδοι», ΣΠΜ ΕΜΠ
- [92] Δ. Κουτσογιάννης, και Α. Ευστρατιάδης, Σημειώσεις μαθήματος «Αστικά Υδραυλικά Έργα - Μέρος 1: Υδρευτικά Έργα», ΣΠΜ ΕΜΠ, 2007
- [93] Π Παντουβάκης, Διαχείριση Τεχνικών Έργων, 2012, εκδ. Συμμετρία
- [94] Α Antonopoulos, notes on lecture “Theoretical computer science I”, ΣΗΜΜΥ ΕΜΠ, 2019
- [95A] A Church, A note on the entscheidungsproblem, Journal of Symbolic Logic 1 (1):40-41 (1936), DOI 10.2307/2269326
- [95B] A Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, Proceedings of the London Mathematical Society, series 2, volume 42 (1936–7), <https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230>
- [96] Κ. Τσίχλας, Ι. Μανωλόπουλος, Αν. Γούναρης, Σχεδίαση και Ανάλυση Αλγορίθμων, http://repfiles.kallipos.gr/html_books/4410, 2015
- [97] MM Fischer, Vehicle routing. In: Ball M.O., Magnanti T.L., Monma C.L. and Nemhauser G.L. (eds.) Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 8, Elsevier, Amsterdam, pp. 1-33
- [98] Α. Polimeni, Α. Vitetta, A Comparison Of Vehicle Routing Approaches With Link Costs Variability: An Application For A City Logistic Plan, WIT Transactions on The Built Environment, p. 823-834, DOI:10.2495/UT130661

- [99] NA El-Sherbeny, Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods- Journal of King Saud University-Science, Volume 22, Issue 3, July 2010, Pages 123-131, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.03.002>
- [100] Μ.Γ. Καρλαύτης, Ν.Δ. Λαγαρός, Επιχειρησιακή Έρευνα και Βελτιστοποίηση για Μηχανικούς, 2010, εκδ. Συμμετρία
- [101] Y Liu, B Cao, H Li , Improving ant colony optimization algorithm with epsilon greedy and Levy flight, Complex & Intelligent Systems volume 7, pages 1711–1722 (2021), <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00138-3>
- [102] Μ. Κάβουρας, Αθ. Δάρρα, Σ. Κονταξάκη, Ελ. Τομαή, Επιστήμη της Γεωγραφικής Πληροφορίας-Αρχές και Τεχνολογίες, κριτικός αναγνώστης: Μ. Κόκλα, 2016, <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/6392>
- [103] Β. Νάκος, Αναλυτική Χαρτογραφία, κριτικός αναγνώστης: Β. Νάκος, 2015, <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2233>
- [104] Λ. Τσούλος, Ανδρ. Σκοπελίτη, Λ. Στάμου, Χαρτογραφική Σύνθεση & Απόδοση σε Ψηφιακό Περιβάλλον, κριτικός αναγνώστης: Β. Νάκος, 2015, <https://repository.kallipos.gr/handle/11419/2506>
- [105] ICAO Annex 14 - Aerodromes - Volume I - Aerodromes Design and Operations, 8th Edition, July 2018, ανακτήθηκε από https://www.iacm.gov.mz/app/uploads/2018/12/an_14_v1_Aerodromes_8ed.2018_rev.14_01.07.18.pdf
- [106] Β. Ψαράκη, Φ. Μερτζάνης, Ι. Παγώνη, σημειώσεις «Σχεδιασμός Αεροδρομίων-Ασκήσεις», ΣΠΜ ΕΜΠ, 2014
- [107] Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης, Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων, 2^η έκδοση, 2016, εκδόσεις Συμμετρία
- [108A] ArcGIS Network Analyst brochure and poster. <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/brochures/pdfs/arcgis-networkanalyst.pdf>
- [108B] <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-a-network-dataset.htm>
- [108C] <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm>
- [108D] <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm>
- [108E] <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/editing-topology/geodatabase-topology-rules-and-topology-error-fixes.htm>

[e%9a%ce%97%20%ce%91%ce%95%ce%a1%ce%9f%ce%a0%ce%9f%ce%a1%ce%99%ce%9a%ce%97%ce%a3%20%ce%9a%ce%99%ce%9d%ce%97%ce%a3%ce%97%ce%a%202019_3.pdf](#)

[117A] https://en.wikipedia.org/wiki/Graph_theory

[117B] https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Bridges_of_K%C3%B6nigsberg

[117C] https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Prize_Problems

[117D] <https://en.wikipedia.org/wiki/NP-hardness>

[117E] <https://en.wikipedia.org/wiki/Geography>

[117F] https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system_software

[117G] https://en.wikipedia.org/wiki/Web_mapping

[117H] https://en.wikipedia.org/wiki/Hypertext_Transfer_Protocol

[117I] <https://en.wikipedia.org/wiki/Shapefile>

[117J] https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Geospatial_Consortium

[118] <https://www.britannica.com/topic/information-system>

[119] Θ. Λιανός, Α. Παπαβασιλείου, Ανδρ. Χατζηανδρέου, Αρχές Οικονομικής Θεωρίας, Γ' τάξη Γενικού Λυκείου, ΙΤΥΕ Διόφαντος

[120A] <https://piraeuspress.gr/piraeus/dimos-peiraia/381313/ydroplana-sto-sef-to-ydatodromio-tis-attikis/>

[120B] <https://www.cna.gr/crete/chania-ytopografike-i-symvasi-gia-to-ydatodromio-sto-kasteli/>