



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

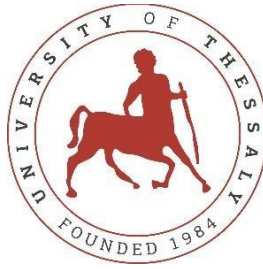
**Μια Ευρετική Λύση στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων
υπό Ήπιες Προθεσμίες και Ελάχιστο Στόλο με Εφαρμογές σε
Σύγχρονες Υπηρεσίες Διανομής**

Διπλωματική Εργασία

Ναταλία Νταλλαρή

Επιβλέπων: Δημήτριος Κατσαρός

Ιούνιος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

**A Heuristic Solution to a Vehicle Routing Problem under Soft
Deadlines and Minimal Fleet with Applications to Modern
Delivery Services**

Diploma Thesis

Natalia Ntallari

Supervisor: Katsaros Dimitrios

June 2025

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Δημήτριος Κατσαρός**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Γεώργιος Θάνος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Δημήτριος Ραφαηλίδης**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ
ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ**

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Η Δηλούσα

Ναταλία Νταλλαρή

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Natalia Ntallari

Μια Ευρετική Λύση στο Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων υπό Ήπιες Προθεσμίες και Ελάχιστο Στόλο με Εφαρμογές σε Σύγχρονες Υπηρεσίες Διανομής

Ναταλία Νταλλαρή

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική παρουσιάζει ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων σε προβλήματα διανομών με χρονικά παράθυρα και αξιολόγησης του κόστους των καθυστερήσεων που προκύπτουν σε σενάρια με κλιμακωμένο αριθμό διανομέων. Το πρόγραμμα, για έναν αριθμό παραγγελιών παρουσιάζει διάφορες λύσεις με διαφορετικό αριθμό διανομέων και δείχνει τις καθυστερήσεις που προκύπτουν στην κάθε περίπτωση. Το σύστημα που δημιουργήθηκε, χρησιμοποιεί μία αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Αρχικά το backend, υλοποιημένο σε Python με Flask, το οποίο είναι υπεύθυνο για την γεωκωδικοποίηση των συντεταγμένων αλλά και τον υπολογισμό των αποστάσεων των σημείων. Μετά ακολουθεί ο πυρήνας της επίλυσης, που είναι ένα αρχείο Excel, το οποίο περιέχει τον αλγόριθμο δρομολόγησης. Τέλος, βρίσκεται το frontend κομμάτι, υλοποιημένο με JavaScript, HTML και CSS. Το κομμάτι αυτό αποτελεί την διεπαφή του χρήστη για την εισαγωγή των δεδομένων και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Πραγματοποιήθηκε και μια πειραματική αξιολόγηση με έξι διαφορετικά σενάρια, τα οποία προσομοιώνουν διάφορες συνθήκες γεωγραφικής απόστασης και χρονικών παραθύρων. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι κάθε σενάριο δίνει διαφορετικά αποτελέσματα, και ο χρήστης πρέπει να επιλέξει αυτό που του ταιριάζει καλύτερα ανάλογα με τις ανάγκες του. Συνεπώς, το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αξιολογεί με δικά του κριτήρια, την βέλτιστη για αυτόν λύση. .

Λέξεις-κλειδιά: Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων, μαλακά χρονικά παράθυρα, αλγόριθμος, καθυστερήσεις

A Heuristic Solution to a Vehicle Routing Problem under Soft Deadlines and Minimal Fleet with Applications to Modern Delivery Services

Natalia Ntallari

Abstract

This thesis presents a decision support tool for delivery problems with time windows and evaluation of delay costs that arise in scenarios with a scaled number of delivery drivers. The program, for a number of orders, presents various solutions with different numbers of delivery drivers and shows the delays that occur in each case. The system that was created uses a three-tier architecture. First, the backend, implemented in Python with Flask, which is responsible for geocoding coordinates and calculating distances between points. Next comes the core of the solution, which is an Excel file that contains the routing algorithm. Finally, there is the frontend part, implemented with JavaScript, HTML and CSS. This part serves as the user interface for entering data and displaying results. An experimental evaluation was also conducted with six different scenarios, which simulate various conditions of geographical distance and time windows. The experimental results showed that each scenario gives different results, and the user must choose the one that suits them best according to their needs. Therefore, the program gives the user the ability to evaluate, using their own criteria, the best solution for them.

Keywords:

Vehicle Routing Problem, soft time windows, algorithm, delays

Πίνακας περιεχομένων

<i>Περίληψη</i>	<i>xi</i>
<i>Abstract</i>	<i>xiii</i>
<i>Πίνακας περιεχομένων</i>	<i>xv</i>
<i>Συντομογραφίες</i>	<i>xvii</i>
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή	19
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	19
1.2 Οργάνωση του τόμου	20
Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο	20
2.1 Παραλλαγές	23
2.2 Time windows	26
Κεφάλαιο 3 Αρχιτεκτονική Συστήματος και Αλγόριθμος	29
3.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική Συστήματος	29
3.2 Αλγόριθμος	31
Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση Συστήματος	33
4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος	33
4.2 Υλοποίηση Backend	33
4.3 Αλγόριθμοι Υλοποίησης	34
4.4 Ανάλυση Αποτελεσμάτων	35
4.5 Υλοποίηση Frontend	35
4.6 Προκλήσεις κατά την Υλοποίηση	36
Κεφάλαιο 5 Πειραματική αξιολόγηση	39
5.1 Εισαγωγή	39
5.1.1 Σκοπός των Αρχείων Εισόδου	39

5.1.2 Απαιτούμενη Δομή των Αρχείων Εισόδου	39
5.1.3 Περιγραφή των Πειραματικών Σεναρίων	39
5.2 Αποτελέσματα	41
Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα	42
6.1 Σύνοψη	42
6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	42
6.3 Τελικά συμπεράσματα	43
Βιβλιογραφία	45

Συντομογραφίες

VRP - Vehicle Routing Problem (Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων)

CVRP - Capacitated Vehicle Routing Problem (Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων με Περιορισμένη Χωρητικότητα)

PRPs - Periodic VRPs (Περιοδικά Προβλήματα Δρομολόγησης)

IRPs - Inventory Routing Problems (Προβλήματα Δρομολόγησης Αποθεμάτων)

MTVRPs - Multi-Trip VRPs (Προβλήματα Πολλαπλών Διαδρομών)

ALNS - Adaptive Large Neighborhood Search (Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στο σύστημα)

LNS - Large Neighborhood Search (Ο βασικός αλγόριθμος του "VRP Spreadsheet Solver", μέλος των μεταευρετικών αλγορίθμων)

VBA - Visual Basic for Applications (Μέρος του πυρήνα επίλυσης του συστήματος στο Excel)

COM - Component Object Model (Διεπαφή που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση Python και Excel)

AJAX - Asynchronous JavaScript and XML (Χρησιμοποιείται για την επικοινωνία frontend και backend)

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Το VRP (Vehicle Routing Problem) είναι τη βασική μορφή ενός ευρύτερου φάσματος προβλημάτων που σχετίζονται με τη βελτιστοποίηση διαδρομών οχημάτων. Το πρόβλημα της εύρεσης βέλτιστων διαδρομών, έχει αποτελέσει αντικείμενα ερευνητικού ενδιαφέροντος για πάνω από έξι δεκαετίες. Η αρχική διατύπωση του , είχε πραγματοποιηθεί από τους Dantzig και Ramser, το 1959.

Από την πρωταρχική θεμελίωση του, το πρόβλημα έχει εξελιχθεί προκειμένου να συμβαδίζει με τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων συστημάτων μεταφορών και διανομών. Στη περίοδο την οποία διανύουμε, το VRP και οι πολυάριθμες παραλλαγές του, κατακλύζουν το ενδιαφέρον. Αυτό συμβαίνει, καθώς η ανάγκη για αποδοτικές υπηρεσίες μεταφοράς είχε καθοριστικό ρόλο σε πλήθος εφαρμογών, από την εμπορική διανομή μέχρι τις αστικές μεταφορές και τα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εύρεση βέλτιστων λύσεων σε τέτοια προβλήματα εξυπηρετεί πολλαπλούς στόχους. Ένα από αυτά είναι η μείωση των συνολικών αποστάσεων και του λειτουργικού κόστους. Ένα άλλο είναι η περιβαλλοντική βιωσιμότητα μέσω της ελαχιστοποίησης των εκπομπών ρύπων. Επιπλέον, κάτι που παίζει κομβικό ρόλο, είναι η βελτίωση της εμπειρίας εξυπηρέτησης των πελατών με την τήρηση των χρονικών περιορισμών που ορίζεται. (5) (6)

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην επίλυση ενός VRP με χρονικά παράθυρα (time windows), με στόχο την εύρεση βέλτιστων διαδρομών για ένα σύνολο παραγγελιών. Επιχειρείτε η ανάπτυξη μίας μεθοδολογίας που, πέρα από την εξεύρεση των ελάχιστων απαραίτητων διανομέων χωρίς καθυστερήσεις, εξετάζει και σενάρια με μειωμένο αριθμό διανομέων, αξιολογώντας τις καθυστερήσεις που προκύπτουν σε κάθε περίπτωση. Έτσι, προσφέρει ένα πρακτικό εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση στόλων σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

1.2 Οργάνωση του τόμου

Η διπλωματική χωρίζεται σε έξι συνολικά κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρει περιληπτικά το αντικείμενο της διπλωματικής. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η ιστορική εξέλιξη του του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP) και οι βασικές παραλλαγές του, δίνοντας έμφαση στα χρονικά παράθυρα. Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται η συνολική αρχιτεκτονική του συστήματος, αλλά και ο βασικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται. Το τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφει την υλοποίηση του συστήματος της εργασίας, τόσο σε επίπεδο backend όσο και frontend. Επιπλέον περιλαμβάνει τα τεχνικά εμπόδια που αντιμετωπίστηκαν κατά την δημιουργία του. Το πέμπτο κεφάλαιο, αφορά την πειραματική αξιολόγηση, την ανάλυση των σεναρίων της καθώς και τα αποτελέσματα της. Τέλος, το έκτο κεφάλαιο είναι η σύνοψη της εργασίας, καθώς και προτάσεις για πιθανές επεκτάσεις.

Κεφάλαιο 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ιστορική Εξέλιξη

Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem - VRP) αποτελεί θεμελιώδες αντικείμενο έρευνας στον τομέα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης, με πολυάριθμες εφαρμογές στις μεταφορές και στη διανομή αγαθών. Η μελέτη του προβλήματος ξεκίνησε τη δεκαετία του 1650 και έκτοτε εξελίσσεται συνεχώς, προκειμένου να ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες και μεταβαλλόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων εφαρμογών. (1)

Η απαρχή του VRP τοποθετείται στην εργασία των Dantzig και Ramser, οι οποίοι το 1956 δημοσίευσαν την έρευνά τους σχετικά με το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με περιορισμένη χωρητικότητα (Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP). Στη διατύπωση αυτού του προβλήματος, κάθε όχημα εκτελούσε μία μόνο διαδρομή, η οποία ξεκινούσε και κατέληγε στο ίδιο σημείο εκκίνησης (depot). Οι αποφάσεις σχετικά με την αντιστοίχιση των πελατών στα οχήματα και τη σειρά εξυπηρέτησής τους βασίζονταν στο συνολικό κόστος των διαδρομών, με στόχο την ελαχιστοποίησή του.

Με την πάροδο του χρόνου, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων εξελίχθηκε, και πλέον διατυπώνεται συνήθως ως πρόβλημα σε γράφο, όπου οι κόμβοι αντιστοιχούν στους πελάτες και οι ακμές αντιπροσωπεύουν το κόστος ή την απόσταση μεταξύ τους. Παρά την εκτεταμένη ενασχόληση της επιστημονικής κοινότητας και τις πολυάριθμες μελέτες που έχουν δημοσιευθεί, το πεδίο του VRP παραμένει ενεργό και ελκυστικό, παρουσιάζοντας διαρκώς νέα περιθώρια βελτίωσης και καινοτομίας.

Κατά τις πρώτες δεκαετίες της μελέτης του προβλήματος, συγκεκριμένα από τη δεκαετία του 1660 έως και τη δεκαετία του 1680, η έρευνα επικεντρωνόταν κυρίως στη μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος και στην ανάπτυξη των πρώτων μεθόδων επίλυσής του, συμπεριλαμβανομένων διαφόρων ευρετικών προσεγγίσεων.

Με την ταχεία πρόοδο της υπολογιστικής ισχύος και την αυξανόμενη ανάγκη

αντιμετώπισης πιο σύνθετων και ρεαλιστικών προβλημάτων στη βιομηχανία, η ερευνητική προσπάθεια μετατοπίστηκε σε πιο πολύπλοκες εκδοχές του VRP, που ενσωματώνουν πραγματικούς περιορισμούς και δυναμικές παραμέτρους.

Από τη δεκαετία του 1680 και έπειτα, το πρόβλημα δρομολόγησης έπαψε να περιορίζεται στην απλή ανάθεση πελατών σε οχήματα και στον καθορισμό της σειράς εξυπηρέτησής τους. Ξεκίνησαν να ενσωματώνονται περισσότερες παράμετροι και περιορισμοί, οι οποίοι προκύπταν από τη λειτουργία του συστήματος στον πραγματικό κόσμο.

Μία τέτοια παράμετρος είναι η ύπαρξη πολλαπλών αποθηκών, από τις οποίες τα οχήματα μπορούν όχι μόνο να ξεκινούν, αλλά και να ανατροφοδοτούνται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ένας άλλος σημαντικός περιορισμός που άρχισε να περιλαμβάνεται είναι τα χρονικά παράθυρα εξυπηρέτησης, δηλαδή τα χρονικά διαστήματα μέσα στα οποία ένας πελάτης μπορεί να δεχτεί την παράδοση της παραγγελίας του. Επιπλέον, άρχισαν να λαμβάνονται υπόψη περιορισμοί στον χρόνο οδήγησης και ανάπαυσης, σεβόμενοι τόσο τη σχετική εργατική νομοθεσία όσο και την ασφάλεια των οδηγών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον δόθηκε και σε μία κρίσιμη διάσταση για τον ρεαλισμό του προβλήματος: τη δυναμικότητα. Δηλαδή, πώς οι πληροφορίες για τις παραγγελίες αποκαλύπτονται σταδιακά κατά τη διάρκεια της ημέρας, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη προσαρμογής των λύσεων σε πραγματικό χρόνο.

Οι προσθήκες αυτές ενίσχυσαν σημαντικά τον ρεαλισμό και την πρακτική αξία των μοντέλων. Ταυτόχρονα, όμως, κατέστησαν την επίλυσή τους περισσότερο πολύπλοκη και υπολογιστικά απαιτητική. Η συγκεκριμένη περίοδος σηματοδότησε τη μεταμόρφωση των προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων από απλά μαθηματικά μοντέλα σε πλήρως λειτουργικά εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων. Αυτή η μετάβαση είχε μεγάλη σημασία για τη βελτίωση της αποδοτικότητας των επιχειρησιακών διαδικασιών και, κατ' επέκταση, της συνολικής απόδοσης της αγοράς.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000 και έπειτα, τα VRP απέκτησαν ξεκάθαρη στροφή

προς μια κατεύθυνση με πιο σύνθετες και ρεαλιστικές παραλλαγές. Οι παραλλαγές αυτές, είναι πλέον γνωστές στη βιβλιογραφία rich VRPs. Αυτή η εξέλιξη ήταν αναγκαία, προκειμένου να γεφυρώσει τις διαφορές μεταξύ της ανάπτυξης των θεωρικών μοντέλων και των πρακτικών απαιτήσεων του επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Αυτές οι προεκτάσεις, αποτυπώνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις απαιτήσεις του πραγματικού κόσμου και καθιστούν τα μοντέλα περισσότερο ρεαλιστικά.

Τα νέα λοιπόν μοντέλα, είχαν αρκετά αυξημένη πολυπλοκότητα. Αυτό οδήγησε στην ανάγκη για δημιουργία και πιο εξελιγμένων αλγορίθμων. Παράδειγμα αυτών είναι οι ακριβείς μέθοδοι, όπως η Branch-and-Cut που βασίζεται στη διαίρεση του προβλήματος και στην προσθήκη ανισοτήτων για την απόκλιση μη αποδεκτών λύσεων ωστόσο σταδιακά γίνεται σύγκλιση στην βέλτιστη λύση ή την Branch-and-Price, η οποία ακολουθεί μία παρόμοια λογική, αλλά επειδή χρησιμοποιείται για προβλήματα με πολλές λύσεις δεν εξετάζονται όλες από την αρχή, αλλά σταδιακά ανάλογα με την χρησιμότητα τους. Πέρα από τις ακριβείς μεθόδους, δόθηκε μεγάλη έμφαση και σε ευρετικές και μετα-ευρετικές προσεγγίσεις, δηλαδή μεθόδους που βρίσκουν καλές λύσεις σε πολύπλοκα προβλήματα με χαμηλό κόστος, χωρίς να εγγυούνται πως είναι οι βέλτιστες. Τέτοια μέθοδος είναι το Tabu Search, μια ευρετική μέθοδος η οποία, για να αποφύγει τη παγίδευση σε τοπικά άριστα σημεία λύσεων, δημιουργεί μια λίστα με απαγορευμένες κινήσεις ή το Iterated Local Search χρησιμοποιεί μια λύση, την οποία σταδιακά βελτιώνει μέσα από συνεχείς αναζητήσεις για να ξεφύγει από μη επιθυμητά σημεία στο χώρο λύσεων.

Συνοψίζοντας την ιστορική αναδρομή του προβλήματος δρομολόγησης, και ακολουθώντας το στην εξέλιξη του από ένα απλό πρόβλημα σε ένα ευρύ φάσμα σύνθετων και δυναμικών μοντέλων, παρακολουθούμε την διαρκή προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας, αλλά και της επιχειρησιακής, να προσεγγίσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα με μεγάλο ρεαλισμό ώστε να βοηθά της ανάγκες των σύγχρονων εφαρμογών. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ακόμα το συγκεκριμένο πρόβλημα, αλλά και τα περιθώρια βελτίωσης τους, μας δείχνει ότι το συγκεκριμένο πεδίο θα παραμείνει ενεργό και θα εξελιχθεί τα επόμενα χρόνια. (3) (4)

2.2 Παραλλαγές

Σήμερα λοιπόν, τα VRPs χρειάζεται να εφαρμοστούν σε διάφορες καταστάσεις, καθεμία από τις οποίες, έχει διαφορετικές απαιτήσεις και διαφορετικούς περιορισμούς. Για αυτό, έχουν δημιουργηθεί κάποιες κατηγορίες και παραλλαγές του αρχικού προβλήματος, οι οποίες δίνουν την δυνατότητα προσαρμογής του μοντέλου στα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης ξεχωριστά. Η ταξινόμηση αυτή βοηθά επιπλέον στην εξειδικευμένη μελέτη και επίλυση των προβλημάτων, αφού λαμβάνονται υπόψη οι ανάγκες που έχει η εκάστοτε εφαρμογή. Θα αναφέρουμε κάποιες από τις βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζεται το πρόβλημα, οι οποίες φυσικά και οι ίδιες περιλαμβάνουν και άλλους διαχωρισμούς.

Κλασικά Προβλήματα VRP

Η κατηγορία αυτή, βασίζεται στην αρχική προσέγγιση του προβλήματος όταν αυτό διατυπώθηκε. Περιλαμβάνει δυο κύριες αποφάσεις, αυτήν της ανάθεσης πελατών σε οχήματα καθώς και της σειράς με την οποία επισκέπτονται οι πελάτες από κάθε όχημα. Αυτή η κατηγορία, περιλαμβάνει πολλές εφαρμογές στις οποίες χρειάζεται να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες. Παράδειγμα αποτελεί το Capacitated VRP (CVRP), στο οποίο τα οχήματα έχουν περιορισμένη χωρητικότητα και ο στόχος του προβλήματος είναι ο σχεδιασμός των βέλτιστων διαδρομών ώστε να εξυπηρετηθούν όλοι οι πελάτες με το ελάχιστο κόστος.

VRPs με Κέρδη (VRPs with Profits)

Μια παραλλαγή, αφορά τις περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι απαραίτητο να εξυπηρετηθούν όλοι οι διαθέσιμοι πελάτες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τίθεται ως στόχος η μεγαλύτερη αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων, μέσω της επιλογής να εξυπηρετηθούν οι πιο αποδοτικοί πελάτες. Προστίθεται δηλαδή και η απόφαση για το ποιοι θα είναι οι πελάτες οι οποίοι θα εξυπηρετηθούν. Σε αυτή την κατηγορία, κάθε πελάτης είναι συνδυασμένος με μια τιμή κέρδους. Ο στόχος λοιπόν, είναι η βελτιστοποίηση του συνολικού κέρδους υπό χρονικούς ή χωρητικούς περιορισμούς. Παράδειγμα σχετικών προβλημάτων είναι το Orienteering Problem, που όπως αναφέρθηκε επιλέγει ένα υποσύνολο πελατών προς επίσκεψη για να μεγιστοποιηθεί η συνολική αξία μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια. Επέκταση αυτού, είναι και το Team Orienteering Problem, το οποίο επεκτείνει το προηγούμενο, δίνοντας την δυνατότητα για πολλαπλά οχήματα ή

ακόμα και ομάδες οχημάτων που συνεργάζονται για την κάλυψη διαφορετικών διαδρομών με στόχο τη μέγιστη συνολική αξία.

VRPs με Καταμερισμένες Παραδόσεις (Split Delivery VRPs)

Σε κάποιες περιπτώσεις, υπάρχει η δυνατότητα ο πελάτης να μην εξυπηρετηθεί από ένα μοναδικό όχημα. Σε αυτή την κατηγορία, για την εξυπηρέτηση ενός πελάτη μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλά οχήματα, δηλαδή να διαμοιραστεί η παράδοση του. Αυτό γεννάει και μια καινούργια απόφαση, η οποία αφορά την ποσότητα που θα παραδώσει κάθε όχημα. Αυτή η ευελιξία, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του κόστους και της απόστασης στις περιπτώσεις που ο διαμοιρασμός είναι εφικτός, κυρίως σε προβλήματα με περιορισμένη χωρητικότητα οχημάτων.

VRPs με Πολλαπλά Εμπορεύματα (Multi-Commodity VRPs)

Υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις παράδοσης με αυξημένη πολυπλοκότητα. Η πολυπλοκότητα αυτή, αφορά την συνθήκη όπου μεταφέρονται διαφορετικά είδη προϊόντων όπως για παράδειγμα τρόφιμα ή ρούχα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να ληφθούν υπόψη ποια είδη μπορεί να μεταφέρει κάθε όχημα, καθώς και ποια μπορούν να φορτωθούν μαζί. Σε αυτή την περίπτωση, οι αποφάσεις που χρειάζεται να παρθούν δεν αφορούν μόνο τις διαδρομές που θα ακολουθήσεις το κάθε όχημα, αλλά και ποια εμπορεύματα θα φορτωθούν και πώς θα κατανεμηθούν στα διαθέσιμα οχήματα. Αυτές οι επιπλέον αποφάσεις αυξάνουν την πολυπλοκότητα του προβλήματος, καθιστώντας το πιο απαιτητικό, αλλά ταυτόχρονα το κάνουν πιο εξειδικευμένο και προσαρμοσμένο στις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

VRPs σε Βάθος Χρόνου (VRPs over Time)

Μια πολύ σημαντική επέκταση των προβλημάτων, είναι η προσθήκη της έννοιας του χρόνου, δηλαδή η απόφαση για το πότε ξεκινάει μια διαδρομή. Αυτό δίνει την δυνατότητα, ένα όχημα να εκτελεί πάνω από μια διαδρομή μέσα σε μία ημέρα. Αυτή η προσθήκη είναι πολύ χρήσιμη και για αυτό έχουν προκύψει αρκετές παραλλαγές του προβλήματος.

Περιοδικά Προβλήματα Δρομολόγησης (Periodic VRPs – PRPs):

Σε αυτή την κατηγορία προβλημάτων, οι πελάτες δεν εξυπηρετούνται σε καθημερινή

βάση, αλλά με μια περιοδικότητα, δηλαδή ακολουθώντας ένα προκαθορισμένο ή ευέλικτο πρόγραμμα. Ο σχεδιασμός αφορά τόσο την επιλογή των ημερών εξυπηρέτησης για κάθε πελάτη, όσο και τη δημιουργία των αντίστοιχων διαδρομών για κάθε ημέρα.

Προβλήματα Δρομολόγησης Αποθεμάτων (Inventory Routing Problems – IRPs): Αυτή η εκδοχή, αφορά περιπτώσεις που οι πελάτες έχουν απόθεμα προϊόντων το οποίο μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, αναλόγως με την ζήτηση και την κατανάλωση τους. Ο προμηθευτής, πρέπει με βάση το πόσο και σε τί χρόνο από κάθε προϊόν παραδίδει, να αποφεύγει την εξάντληση των αποθεμάτων του. Το πρόβλημα γίνεται πιο περίπλοκο επειδή οι πελάτες, δεν ακολουθούν ένα σταθερό πρόγραμμα παράδοσης, αλλά αυτό μεταβάλλεται.

Προβλήματα με Ημερομηνίες Έναρξης (VRPs with Release Dates): Εδώ, κάθε πελάτης μπορεί να εξυπηρετηθεί μόνο αφού φτάσει μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, γνωστή ως ημερομηνία διαθεσιμότητας. Αυτός ο περιορισμός, είναι καθοριστικός για τη δημιουργία των διαδρομών.

Προβλήματα Πολλαπλών Διαδρομών (Multi-Trip VRPs – MTRVRPs): Αυτή η περίπτωση, αφορά τις περιπτώσεις στις οποίες τα οχήματα μπορούν και εκτελούν πολλαπλές διαδρομές μέσα σε μια μέρα. Αυτό αυξάνει πάρα πολύ την ευελιξία του συστήματος, αλλά απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή στον χρονικό προγραμματισμό.

(3) (4)

2.3 Time windows

Μια άλλη κατηγορία των προβλημάτων δρομολόγησης, είναι τα χρονικά παράθυρα (time windows) Αυτά αναφέρονται ξεχωριστά και θα αναλυθούν παραπάνω από τα προηγούμενα, καθώς το πρόβλημα που πραγματεύεται αυτή η διπλωματική ανήκει σε αυτήν τη κατηγορία.

Στα συγκεκριμένα προβλήματα δρομολόγησης, τα οχήματα πρέπει να εξυπηρετήσουν τους πελάτες μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ο πελάτης λοιπόν, δίνει την

διαθεσιμότητα του μέσω ενός χρονικού παραθύρου, με ώρα έναρξη και λήξης, μέσα στο οποίο μπορεί να αποδεχτεί την παράδοση. Οι αποφάσεις εδώ, μπορεί να είναι μόνο στην αντιστοιχία οχημάτων με πελάτες και στην επιλογή της αλληλουχίας των πελατών, αλλά προστίθεται και μια παραπάνω πρόκληση. Η πρόκληση αυτή είναι πως για κάθε όχημα η διαδρομή πρέπει να καθοριστεί με γνώμονα τις ώρες που μπορεί να εξυπηρετηθεί κάθε πελάτης. Η προσθήκη αυτής της ανάγκης τήρησης αυτών των χρονικών περιορισμών, μεγαλώνει πολύ την πολυπλοκότητα του προβλήματος και η ευελιξία στην κατανομή των επισκέψεων μειώνεται σημαντικά.

Ανάλογα με την αντιμετώπιση που έχει ένα σύστημα στις παραβιάσεις των χρονικών παραθύρων, η συγκεκριμένη κατηγορία διακρίνεται στα σκληρά (hard) και μαλακά (soft) χρονικών παραθύρων.

Στα σκληρά χρονικά παράθυρα (hard time windows), τα όρια είναι αυστηρά. Κάθε πελάτης είναι απαραίτητο να εξυπηρετηθεί μέσα στα χρονικά αυτά πλαίσια. Εάν το όχημα καθυστερήσει και δεν φτάσει στο πελάτη στο χρονικό του παράθυρο, το σύστημα θεωρεί την εξυπηρέτηση αποτυχία. Αυτή η προσέγγιση επιβάλλει αυστηρούς περιορισμούς στο σχεδιασμό των διαδρομών και αυξάνει την πολυπλοκότητα, αφού οποιαδήποτε καθυστέρηση ισοδυναμεί με αποτυχία.

Αντιθέτως, στα μαλακά χρονικά παράθυρα (soft time windows) οι πελάτες έχουν μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά το χρόνο διαθεσιμότητας που έχουν υποβάλει. Στην περίπτωση που το όχημα καθυστερήσει ή φτάσει εκτός του αρχικού παραθύρου, η παράδοση είναι ακόμα αποδεκτή, συνοδεύεται ωστόσο από κάποιο κόστος, το οποίο μπορεί να είναι κάποιο πρόστιμο. Αυτή είναι μια πιο ευέλικτη προσέγγιση, που δίνει την δυνατότητα να υπάρχει μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα στις διαδρομές. Υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα διαφοροποιημένου προστίμου, ανάλογα με το βαθμό καθυστέρησης του οχήματος. Αυτό επιτρέπει την ακόμα μεγαλύτερη προσαρμογή στο σύστημα και δίνει την δυνατότητα στο να υπάρχει καλύτερη διαχείριση των καθυστερήσεων.

Η επιλογή μεταξύ σκληρών και μαλακών χρονικών παραθύρων, εξαρτάται από τις

διαφορετικές απαιτήσεις που έχει το κάθε σύστημα ή η κάθε επιχείρηση. Για περιπτώσεις όπως για παράδειγμα, οι βιομηχανίες παραδόσεις φαρμάκων ή ευπαθών προϊόντων, τα σκληρά παράθυρα είναι πιο ταιριαστά. Από την άλλη, υπάρχουν περιπτώσεις που αφήνουν περιθώρια για μεγαλύτερη ευελιξία, όπως η διανομή φαγητού ή αγαθών, τα μαλακά χρονικά παράθυρα μπορούν να προσφέρουν καλύτερη προσαρμοστικότητα. (7)

Κεφάλαιο 3 Αρχιτεκτονική Συστήματος και Αλγόριθμος

3.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική Συστήματος

Η αρχιτεκτονική του συστήματος λοιπόν, χωρίζεται σε 4 τμήματα. Το πρώτο είναι το κομμάτι της εισαγωγής δεδομένων από ένα αρχείο στο πρόγραμμα μας. Το επόμενο είναι ο υπολογισμός των συντεταγμένων και των αποστάσεων υπολογίζεται για κάθε διεύθυνση, τα αντίστοιχα latitude και longitude, δηλαδή οι συντεταγμένες του σημείου. Έπειτα, υπολογίζονται όλες οι αποστάσεις μεταξύ όλων των διευθύνσεων. Αυτό είναι απαραίτητο στάδιο για την πραγματοποίηση του αλγόριθμου, και τη εύρεση βέλτιστων διαδρομών. Έπειτα ακολουθεί μια σειρά υλοποιήσεων του αλγορίθμου εύρεσης βέλτιστων διαδρομών. Το πρόγραμμα επαναλαμβάνει την εκτέλεση του αλγορίθμου, με διαφορετικό αριθμό διανομένων κάθε φορά, κρατώντας τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Τέλος, τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται για κάθε εκτέλεση του, και οπτικοποιούνται καταλλήλως προκειμένου να γίνουν κατανοητά από τον χρήστη, και να το βοηθήσουν να αποκτήσει αντίληψη της σχέσης των αριθμών διανομένων με τις καθυστερήσεις.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη δημιουργία ενός εργαλείου που στοχεύει στη βοήθεια λήψης αποφάσεων σε προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων με μαλακά χρονικά παράθυρα εξυπηρέτησης .

Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα βοηθά τον χρήστη να εντοπίσει τον βέλτιστο αριθμό διανομένων για ένα σύνολο παραγγελιών με χρονικούς περιορισμούς. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αναζήτηση του κατάλληλου αριθμού διανομένων, ο οποίος δεν είναι απαραίτητα και ο ελάχιστος. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις στο συγκεκριμένο πρόβλημα, που επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των διανομένων, το σύστημα που αναπτύσσουμε ακολουθεί διαφορετική φιλοσοφία. Εστιάζει στην αξιολόγηση του κόστους των καθυστερήσεων που ενδέχεται να προκύψουν, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να αποφασίσει ποια λύση είναι προτιμότερη για τη δική του περίπτωση. Το πρόγραμμα δεν προτείνει μία και μοναδική λύση, αλλά παρέχει ένα σύνολο εναλλακτικών, επιτρέποντας στον χρήστη να επιλέξει την πιο κατάλληλη για

τις ανάγκες του. Η βασική ιδέα είναι ότι ο ιδανικός αριθμός διανομέων δεν είναι κατ' ανάγκη ο ελάχιστος χωρίς καθυστερήσεις, αλλά εκείνος που επιτυγχάνει την καλύτερη ισορροπία ανάμεσα στο κόστος των καθυστερήσεων και το συνολικό λειτουργικό κόστος του στόλου διανομής. Για παράδειγμα, εάν για την αποφυγή καθυστέρησης ενός λεπτού ο αλγόριθμος κρίνει αναγκαία την προσθήκη ενός επιπλέον διανομέα, το πρόγραμμα δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να αξιολογήσει την κατάσταση και να λάβει ο ίδιος την τελική απόφαση.

Σε πρακτικό επίπεδο, το σύστημα που αναπτύχθηκε αποτελείται από τέσσερα διαδοχικά στάδια, τα οποία λειτουργούν συνεργατικά. Το πρώτο στάδιο αφορά την εισαγωγή των δεδομένων από ένα αρχείο στο πρόγραμμα. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει τον υπολογισμό των συντεταγμένων και των αποστάσεων. Στη συνέχεια, ακολουθεί η υλοποίηση αλγορίθμων για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών. Τέλος, τα αποτελέσματα κάθε εκτέλεσης συγκεντρώνονται και οπτικοποιούνται κατάλληλα.

Κατά το πρώτο στάδιο, το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να περιηγηθεί στο φάκελο της συσκευής του, και να επιλέξει τον φάκελο με τα διάφορα αρχείων παραγγελιών. Το σύστημα εμφανίζει τα αρχεία κειμένου (txt) του φακέλου ως κουμπιά. Με το πάτημα του κουμπιού, τα δεδομένα του αρχείου εισάγονται στο σύστημα για να ξεκινήσει η εκτέλεση. Τα αρχεία που χρησιμοποιούνται ως είσοδο στο πρόγραμμα πρέπει να έχουν μια συγκεκριμένη δομή για να καταχωρηθούν σωστά όλα τα στοιχεία των παραγγελιών. Ο τρόπος που πρέπει να είναι δομημένο το αρχείο είναι η πρώτη γραμμή του, να είναι η διεύθυνση της αποθήκης (depot). Δηλαδή το σημείο εκκίνησης των διανομέων. Στην συνέχεια, για κάθε παραγγελία, αντιστοιχούν 3 γραμμές. Η πρώτη είναι αυτή που αναφέρει την διεύθυνση στην οποία πρέπει να διανεμηθεί η συγκεκριμένη παραγγελία. Οι επόμενες δυο, αφορούν, τα χρονικά παράθυρα της παραγγελίας, με την πρώτη είναι η ώρα έναρξης τους και την δεύτερη η ώρα λήξης του. Αυτή η δομή επαναλαμβάνεται για όσες παραγγελίες υπάρχουν με τις αντίστοιχες διευθύνσεις.

Στο δεύτερο στάδιο, το σύστημα αναλαμβάνει να μετατρέψει τις διευθύνσεις σε γεωγραφικές συντεταγμένες, μια διαδικασία γνωστή ως γεωκωδικοποίηση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η υπηρεσία OpenStreetMap, η οποία παρέχει δωρεάν και αξιόπιστη

γεωγραφική πληροφορία. Οι συντεταγμένες, δηλαδή το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, κάθε σημείου αποθηκεύονται σε ένα αρχείο Excel (8), το οποίο λειτουργεί σε αυτό το στάδιο ως μια βάση δεδομένων. Με την χρήση των συντεταγμένων, το σύστημα υπολογίζει τις αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων, και δημιουργείται ένας πίνακας αποστάσεων ο οποίος αποθηκεύεται στο Excel. Αυτό το στάδιο είναι πολύ σημαντικό, καθώς οι υπολογισμοί που θα ακολουθήσουν βασίζονται στα περιεχόμενα αυτού του πίνακα.

Το τρίτο στάδιο, είναι το κεντρικό σημείο της λειτουργίας του συστήματος, η εφαρμογή του αλγορίθμου. Ο αλγόριθμος αρχικά υπολογίζει τον ελάχιστον αριθμό διανομέων που μπορούν να πραγματοποιήσουν το σύνολο των παραγγελιών χωρίς κάποια καθυστέρηση. Μετά, επαναλαμβάνεται η διαδικασία του αλγορίθμου για ένα λιγότερο διανομέα, από τον αριθμό που υπολογίστηκε. Αυτό επαναλαμβάνεται για πέντε λιγότερους διανομείς από τον αρχικό αριθμό που έχει υπολογίσει το σύστημα. Για κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου, αποθηκεύονται οι καθυστερήσεις, οι οποίες ομαδοποιούνται σε τέσσερις ομάδες. Στις καθυστερήσεις από 0-5 λεπτά, από 6-10 λεπτά, από 11 έως 15 λεπτά και από 15 λεπτά και πάνω.

Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο αφορά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων με τρόπο κατανοητό και εύχρηστο. Τα δεδομένα εξάγονται από το αρχείο Excel και οργανώνονται ανά εκτέλεση του αλγορίθμου. Στη συνέχεια, δημιουργούνται διαγράμματα για τη γραφική απεικόνιση των καθυστερήσεων. Οι καθυστερήσεις για κάθε αριθμό διανομέων παρουσιάζονται ομαδοποιημένες σύμφωνα με τα χρονικά πλαίσια που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αυτό δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να διακρίνει εύκολα τις καθυστερήσεις που συμβαίνουν σε κάθε περίπτωση και να αξιολογήσει ποια επιλογή είναι η καταλληλότερη για τις ανάγκες του.

3.2 Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στο παρόν σύστημα είναι η Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS), η οποία είναι μια πολύ αποτελεσματική ευρετική μέθοδος. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ιδέα της συνεχούς βελτίωσης της λύσης, «διαλύοντας»

μερικώς κάθε λύση και έπειτα διορθώνοντάς την για να την καταστήσει καλύτερη. Ο αλγόριθμος λοιπόν ξεκινά δημιουργώντας μια εφικτή λύση, η οποία προκύπτει είτε μέσω απλών ευρετικών μεθόδων είτε μέσω τυχαίων στρατηγικών και αποθηκεύεται ως η καλύτερη γνωστή λύση. Αυτή η αρχική λύση βελτιώνεται στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τελεστές τοπικής αναζήτησης, όπως 1-opt, 2-opt, exchange, swap και vehicle-exchange. Έπειτα, ακολουθεί η κύρια λειτουργία του αλγορίθμου, η οποία αφορά τη διαδικασία της καταστροφής και επιδιόρθωσης της λύσης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, ορισμένοι πελάτες ή ορισμένες διαδρομές αφαιρούνται από την τρέχουσα λύση. Η επιλογή του τι θα αφαιρεθεί γίνεται είτε τυχαία, είτε βάσει κριτηρίων κόστους. Στη συνέχεια, μέσω ευρετικών αλγορίθμων, οι διαδρομές και οι παραγγελίες επανεισάγονται. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορεί να είναι η greedy insertion, η οποία επιλέγει τη θέση με το μικρότερο κόστος για κάθε πελάτη, και η μέθοδος max regret, η οποία επιδιώκει να μειώσει την απώλεια από τις επιλογές που έγιναν. Κάθε νέα λύση που δημιουργείται από τη διαδικασία καταστροφής και επιδιόρθωσης αξιολογείται και συγκρίνεται με την καλύτερη λύση που έχει βρεθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή. Εάν η νέα λύση είναι καλύτερη, αντικαθιστά την προηγούμενη. Διαφορετικά, μπορεί να γίνει αποδεκτή με κάποια πιθανότητα, η οποία μειώνεται σταδιακά με τον χρόνο. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η σταθερότητα της αναζήτησης. Ο αλγόριθμος επιτρέπει περιορισμένες παραβάσεις των χρονικών παραθύρων (soft time windows). (2) Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος ποινών, το οποίο επιτρέπει την ευελιξία στην αναζήτηση λύσεων. Έτσι, επιτυγχάνεται μια πολύ καλή ισορροπία μεταξύ των χρονικών περιορισμών και της ποιότητας της εξυπηρέτησης.

Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση Συστήματος

4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το σύστημα που αναπτύχθηκε για την παρούσα διπλωματική, ακολουθεί μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων. Αυτό εξασφαλίζει τον διαχωρισμό των λειτουργιών και επιτρέπει αποτελεσματική ανάπτυξη του κάθε επιπέδου.

Το backend, το οποίο είναι υλοποιημένο σε Python, χρησιμοποιώντας το framework Flask για τη δημιουργία RESTful API. Το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων και των αποτελεσμάτων. Επίσης, σε αυτό το επίπεδο γίνεται και η επικοινωνία με τον πυρήνα επίλυσης του συστήματος. Ο πυρήνας του προγράμματος, βασίζεται σε ένα μοντέλο VRP (Vehicle Routing Problem) που εκτελείται μέσω του Excel με Visual Basic for Applications (VBA). Αυτός είναι που εκτελεί τους αλγορίθμους για να βρεθούν οι βέλτιστες εφαρμογές και να υπολογισθούν οι πιθανές καθυστερήσεις. Και τελευταίο επίπεδο, αποτελεί το Frontend, το οποίο υλοποιήθηκε με JavaScript, HTML και CSS για το user interface. Μέσα από αυτό, οι χρήστες εισάγουν τα δεδομένα και παρακολουθούν τα αποτελέσματα.

Για την υλοποίηση του προγράμματος χρειάζονται συνολικά τρία αρχεία. Τα δύο από αυτά, είναι αρχεία κώδικα, τα οποία αφορούν το ένα το frontend και το άλλο το backend. Το τρίτο αρχείο είναι το αρχείο Excel που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση του αλγορίθμου.

4.2 Υλοποίηση Backend

Το backend του συστήματος υλοποιήθηκε σε Python με τη χρήση του Flask. Η επιλογή αυτή έγινε, καθώς τόσο η Python όσο και το Flask προσφέρουν μεγάλη ευελιξία στην ανάπτυξη εφαρμογών. Διαθέτουν μεγάλο αριθμό βιβλιοθηκών για την επεξεργασία δεδομένων και την σύνδεση με εξωτερικές εφαρμογές. Επιπλέον, η διαδικασία μέσα από αυτό για να δημιουργηθούν RESTful API endpoint, είναι πολύ εύκολη και αποδοτική.

Για την επικοινωνία με το frontend, το Flask δημιουργεί έναν τοπικό εξυπηρετητή (server). Ο εξυπηρετητής αυτός, έχει ρυθμιστεί ώστε να δέχεται HTTP POST αιτήματα με δεδομένα σε μορφή JSON. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Flask-CORS, για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του συστήματος μας με το frontend.

Όπως αναφέρθηκε ήδη ο βασικός πυρήνας υλοποίησης του προγράμματος για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων πραγματοποιείται στο Microsoft Excel. Η σύνδεση μεταξύ του Excel με το backend, γίνεται με την χρήση της βιβλιοθήκης "win32com.client". Η βιβλιοθήκη αυτή παρέχει πρόσβαση στη διεπαφή Component Object Model (COM) των εφαρμογών Microsoft Office. Με την χρήση της βιβλιοθήκης αυτής, το Excel εκτελείται στο παρασκήνιο σαν διεργασία, εισάγονται σε αυτό δεδομένα, εκτελούνται οι μακροεντολές που υλοποιούν τον αλγόριθμο επίλυσης και τέλος εξάγονται και τα αποτελέσματα του.

4.3 Υλοποίηση Frontend

Το frontend της εφαρμογής υλοποιήθηκε με τη χρήση JavaScript, HTML και CSS. Η ανάπτυξη της διεπαφής με τον χρήστη υλοποιήθηκε με στόχο την ευχρηστία και την αποτελεσματική οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, ώστε να γίνεται εύκολο στο χρήστη να παράγει τα συμπεράσματα του.

Το frontend παρέχει μια διαδραστική διεπαφή με τον χρήστη. Αρχικά εισάγονται αρχεία προς ανάλυση. Όταν δημιουργούνται αποτελέσματα, ο πίνακας εισαγωγής δεδομένων συμπύσσεται στο επάνω αριστερά μέρος της οθόνης, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολο για τον χρήστη να παρατηρήσει τα αποτελέσματα. Εάν ο κέρσορας τοποθετείτε πάνω από τον πίνακα, αυτός επεκτείνεται, επιτρέποντας στον χρήστη την καινούργια εισαγωγή δεδομένων.

Η επικοινωνία μεταξύ του frontend και του backend πραγματοποιείται μέσω κλήσεων AJAX (Asynchronous JavaScript and XML). Μέσα από τις συγκεκριμένες κλήσεις, στέλνονται δεδομένα από το frontend στο backend, και αντίστροφα, χωρίς να ανανεώνεται η σελίδα κάθε φορά.

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των εκτελέσεων, αποτελεί το πιο κρίσιμο στοιχείο της διεπαφής, καθώς σε αυτή βασίζεται η κατανόηση του χρήστη για τη σχέση μεταξύ του αριθμού των διανομέων και των αντίστοιχων καθυστερήσεων. Η σχέση μεταξύ του απεικονίζεται μέσα από ένα γράφημα για κάθε εκτέλεση. Για την υλοποίηση των γραφημάτων, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Chart.js, η οποία δίνει πολλές επιλογές για την δημιουργία τους.

4.4 Αλγόριθμοι Υλοποίησης

Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε για την εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού αριθμού διανομέων και καθυστερήσεων, υλοποιήθηκε βασιζόμενος στο ότι το αρχείο Excel, δημιουργεί τις διαδρομές με τον ελάχιστο αριθμό διανομέων που μπορούν να εκτελέσουν τις παραγγελίες χωρίς καθυστερήσεις ή έχοντας τις ελάχιστες. Το πρόγραμμα αρχικά τρέχει τον αλγόριθμο στο Excel με δυνατό αριθμό διανομέων τον μέγιστον, δηλαδή όσο είναι το πλήθος των παραγγελιών. Καθώς τρέχει αλγόριθμος υπολογίζει τον ελάχιστο αριθμό που χρειάζεται για να πραγματοποιηθούν οι παραγγελίες. Το πρόγραμμα αποθηκεύει αυτόν τον αριθμό, και ξανά τρέχει τον αλγόριθμο στο Excel για ένα λιγότερο διανομέα κάθε φορά από τον βέλτιστο. Αυτό συνολικά γίνεται για μείον πέντε διανομείς. Με αυτόν τον τρόπο βλέπουμε το πως κάθε λιγότερος διανομέας επηρεάζει την αποδοτικότητα τις επίτευξης των παραγγελιών.

Οι πληροφορίες για τις διευθύνσεις των σημείων παράδοσης αλλά και τα χρονικά πλαίσια αυτών, αποτελούν τα δεδομένα εισόδου του συστήματος. Αυτά παρέχονται μέσα από αρχεία κειμένου, που εισάγονται στο σύστημα μέσα από το frontend. Η επεξεργασία τους, γίνεται μέσα από την pandas, μια βιβλιοθήκη της Python που επιτρέπει την ανάγνωση δεδομένων.

Ο υπολογισμός των βέλτιστων διαδρομών, και συνεπώς των καθυστερήσεων που δημιουργούνται, βασίζεται στο "VRP Spreadsheet Solver". Το "VRP Spreadsheet Solver" είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα που παρέχει αλγόριθμους για την επίλυση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. Ο βασικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το αρχείο, είναι ο Large Neighborhood Search (LNS), ο οποίος ανήκει στην κατηγορία των μεταερευτικών αλγορίθμων.

4.5 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Για κάθε εκτέλεση του αλγορίθμου αυτού, η συνάρτηση `analyze_results()`, που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της διπλωματικής, αναλύει τα αποτελέσματα της δρομολόγησης που έχει αναπτύξει το VRP Spreadsheet Solver και υπολογίζει τις καθυστερήσεις εάν υπάρχουν, για κάθε σημείο παράδοσης. Συγκεκριμένα, μετά από κάθε εκτέλεση, συλλέγει τους χρόνους άφιξης του διανομέα στο συγκεκριμένο σημείο, τους συγκρίνει με το χρονικό παράθυρο του συγκεκριμένου πελάτη και υπολογίζει την καθυστέρηση, εάν υπάρχει. Έπειτα κατηγοριοποιεί την καθυστέρηση σε μία από τις προκαθορισμένες χρονικές ομάδες. Μόλις ολοκληρωθεί ο κύκλος των εκτελέσεων, δημιουργείται μία νέα καρτέλα για το εκάστοτε σημείο εισόδου. Σε κάθε καρτέλα, περιέχεται ένα ξεχωριστό γράφημα για κάθε αριθμό διανομέων, όπου στο καθένα φαίνεται πόσες παραγγελίες υπάρχουν σε κάθε ομάδα καθυστερήσεων.

4.6 Προκλήσεις κατά την Υλοποίηση

Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίστηκαν κατά την δημιουργία του λογισμικού, ήταν η αντικατάσταση της υπηρεσίας που χρησιμοποιούσε αρχικά το Excel, οι οποία ήταν υπεύθυνη για την γεωκωδικοποίηση. Η συγκεκριμένη υπηρεσία δεν ήταν πλέον διαθέσιμη, και συνεπώς ήταν αδύνατος ο υπολογισμός των γεωγραφικών συντεταγμένων και των αποστάσεων των σημείων παράδοσης. Για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος, αντικαταστάθηκε ο κώδικας μέσα στο excel, με έναν κώδικα που χρησιμοποιούσε για την διαδικασία της γεωκωδικοποίησης την υπηρεσία OpenStreetMaps.

Παρά την λειτουργικότητα του, το σύστημα γεωκωδικοποίησης μέσω Excel ήτανε πολύ

χρονοβόρο ακόμα και για την επεξεργασία μικρού αριθμού παραγγελιών, πράγμα που το έκανε εντελώς μη πρακτικό για μεγάλο αριθμό πελατών. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, εφαρμόστηκε μια εναλλακτική προσέγγιση. Σε αυτήν, οι υπολογισμοί για την γεωκωδικοποίηση γίνονται στο backend, και μετά εισάγονται στο Excel. Η τροποποίηση αυτή έφερε εντυπωσιακή βελτίωση της απόδοσης, μειώνοντας τον χρόνο επεξεργασίας έως και 80%. Ο χρόνος εκτέλεσης ωστόσο, έχει ακόμα περιθώρια βελτίωσης.

Κεφάλαιο 5 Πειραματική αξιολόγηση

5.1 Εισαγωγή

Για την πειραματική αξιολόγηση του προγράμματος, δημιουργήθηκαν διάφορα αρχεία εισόδου. Στόχος της πειραματικής αξιολόγησης είναι η εξέταση του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλονται οι καθυστερήσεις συγκριτικά με τον αριθμό διανομένων.

5.1.1 Σκοπός των Αρχείων Εισόδου

Τα αρχεία εισόδου που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου της διπλωματικής, εξυπηρετούσαν το καθένα από ένα σκοπό. Να παρατηρηθεί δηλαδή κάτι συγκεκριμένο. Πως αποκρίνεται το πρόγραμμα σε σημεία διανομής που απέχουν πολύ το ένα από το άλλο, η σε σημεία τα οποία έχουν πανομοιότυπα χρονικά παράθυρα.

5.1.2 Απαιτούμενη Δομή των Αρχείων Εισόδου

Τα συγκεκριμένα αρχεία οφείλουν να ακολουθούν αυστηρά μια συγκεκριμένη δομή, για να μπορούν να διαβαστούν με τον σωστό τρόπο από το πρόγραμμα, και να αποθηκευτεί κάθε πληροφορία σωστά. Κάθε διεύθυνση πρέπει να είναι γραμμένη με τον εξής τρόπο: Αριθμός Οδός, Πόλη, Χώρα με λατινικούς χαρακτήρες. Ο ταχυδρομικός κώδικας είναι προαιρετικός. Η κάθε ώρα, θα πρέπει να δίνεται με την μορφή ωω:λλ ΠΜ/ΜΜ , πάλι με λατινικούς χαρακτήρες. Η πρώτη γραμμή πάντοτε, πρέπει να αποτελεί την διεύθυνση του σημείου εκκίνησης (depot) των οχημάτων. Έπειτα ακολουθεί για κάθε διεύθυνση οι εξής τρεις σειρές: Πρώτα η διεύθυνση μετά η ώρα που ξεκινάει το χρονικό παράθυρό και έπειτα η ώρα που αυτό κλείνει.

5.1.3 Περιγραφή των Πειραματικών Σεναρίων

Δημιουργήθηκαν λοιπόν έξι διαφορετικά σενάρια ελέγχου. Τα σενάρια αυτά δημιουργήθηκαν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να αναδεικνύουν το κάθε ένα μια διαφορετική πτυχή του προβλήματος αλλά και να επιτρέπουν την εξαγωγή ενδιαφέροντων συμπερασμάτων για το πως συμπεριφέρεται ο αλγόριθμος σε κάθε διαφορετικό σενάριο.

Σενάριο 1 - Κοντινές διευθύνσεις με παρόμοια χρονικά παράθυρα

Το σενάριο που ακολουθεί το πρώτο αρχείο εισόδου περιλαμβάνει διευθύνσεις που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, αλλά με πανομοιότυπα χρονικά σενάρια που είτε συμπίπτουν είτε καλύπτονται. Στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι η παρατήρηση των αποτελεσμάτων σε περιπτώσεις με στενά χρονικά περιθώρια με μικρή γεωγραφική δυσκολία.

Σενάριο 2 - Απομακρυσμένες διευθύνσεις με παρόμοια χρονικά παράθυρα

Το επόμενο αρχείο εισόδου, εξετάζει την περίπτωση στην οποία η κάθε παραγγελία έχει και πάλι χρονικά παράθυρα που είτε συμπίπτουν είτε καλύπτονται, αλλά αυτή τη φορά με διευθύνσεις που έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Η δυσκολία του αλγόριθμου είναι μεγαλύτερη σε αυτή την περίπτωση λόγω της ταυτόχρονης δυσκολίας στον χρόνο αλλά και στην μεγάλη απόσταση.

Σενάριο 3: Κοντινές διευθύνσεις με διευρυμένα χρονικά παράθυρα

Αυτό το αρχείο, έχει διευθύνσεις που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, αλλά με χρονικά παράθυρα που απλώνονται σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Δηλαδή υπάρχει μεγάλη χρονική απόσταση μεταξύ τους.

Σενάριο 4: Απομακρυσμένες διευθύνσεις με διευρυμένα χρονικά παράθυρα

Σε αυτή την περίπτωση, περιλαμβάνονται περιπτώσεις όπου έχουν μακρινή απόσταση μεταξύ τους, και ταυτόχρονα με χρονικά παράθυρα απλωμένα στο χρόνο. Στο σενάριο αυτό εξετάζεται πως η χρονική ευελιξία ισοσταθμίζει τις μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των σημείων παράδοσης.

Σενάριο 5: Τυχαία κατανομημένες διευθύνσεις με τυχαία χρονικά παράθυρα

Το πέμπτο σενάριο αποτελεί μια ρεαλιστική συνθήκη λειτουργίας, όπου τόσο οι διευθύνσεις όσο και τα χρονικά παράθυρα είναι τυχαία. Εδώ στόχος είναι η παρατήρηση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου σε συνθήκες που πλησιάζουν περισσότερο την πραγματικότητα.

Για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια, ο αλγόριθμος εκτελέστηκε αρχικά για τον προσδιορισμό του ελάχιστου αριθμού διανομέων που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση όλων των παραγγελιών χωρίς καθυστερήσεις. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον εκτελέσεις με σταδιακή μείωση του αριθμού των διανομέων (έως και 5 λιγότερους από τον αρχικό αριθμό), ώστε να αξιολογηθεί η επίπτωση στις καθυστερήσεις.

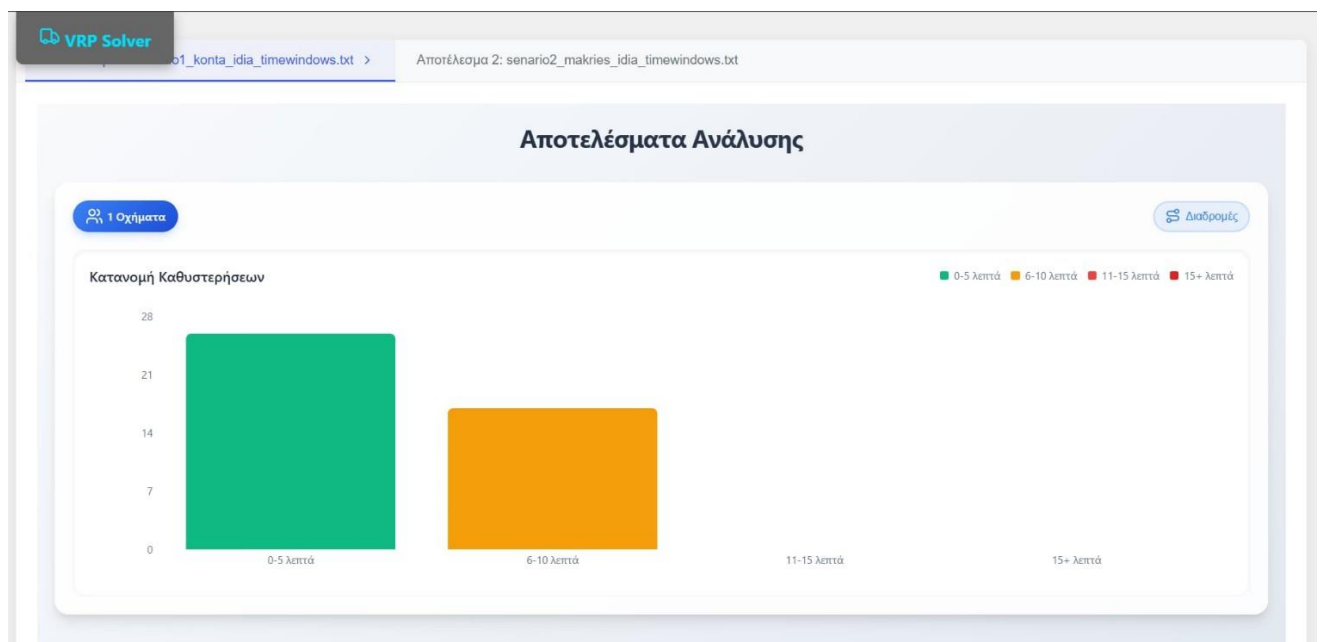
Τα αποτελέσματα κατηγοριοποιήθηκαν σε τέσσερις ομάδες καθυστερήσεων (0-5 λεπτά, 6-10 λεπτά, 11-15 λεπτά και άνω των 15 λεπτών),

παρέχοντας έτσι μια σαφή εικόνα για την αντιστάθμιση μεταξύ αριθμού διανομέων και ποιότητας εξυπηρέτησης.

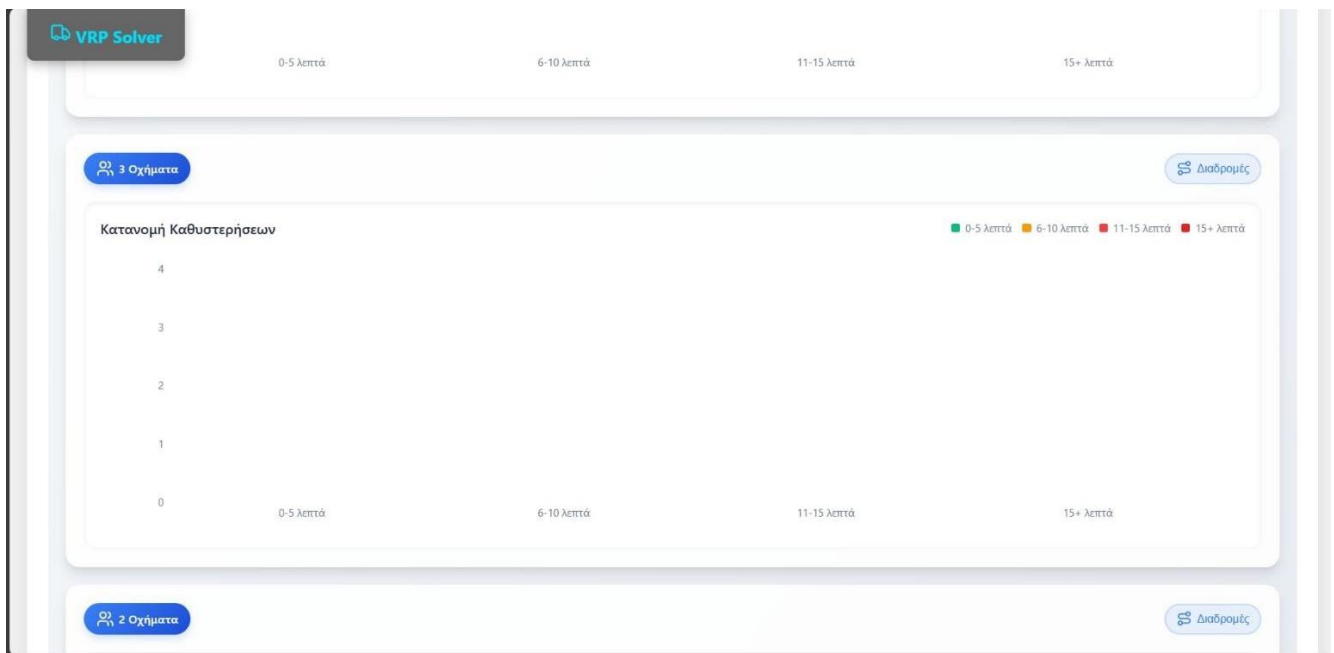
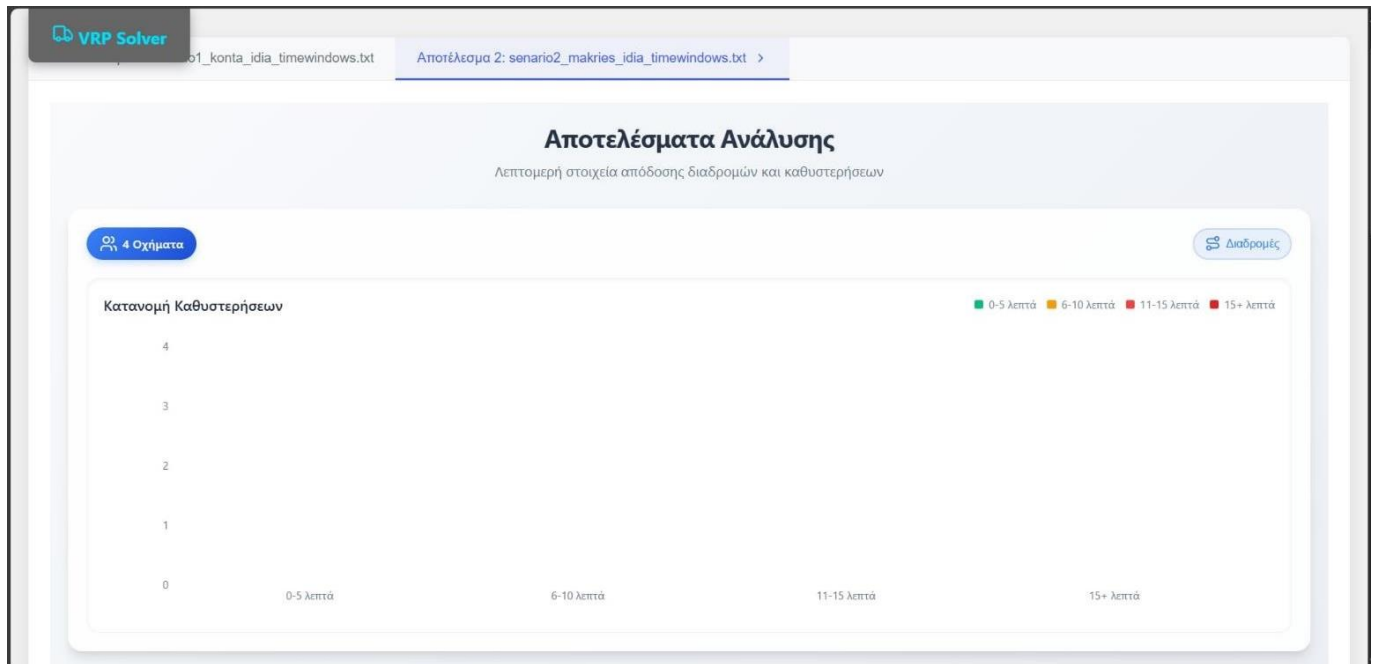
5.2 Αποτελέσματα

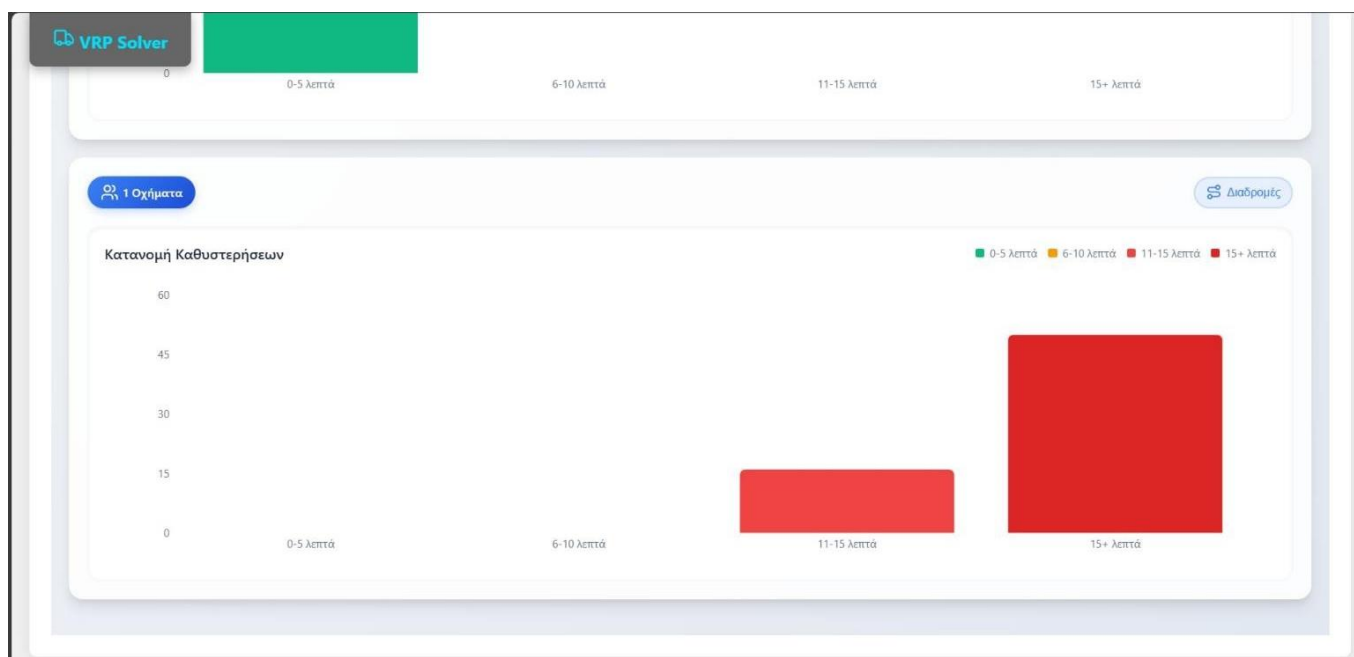
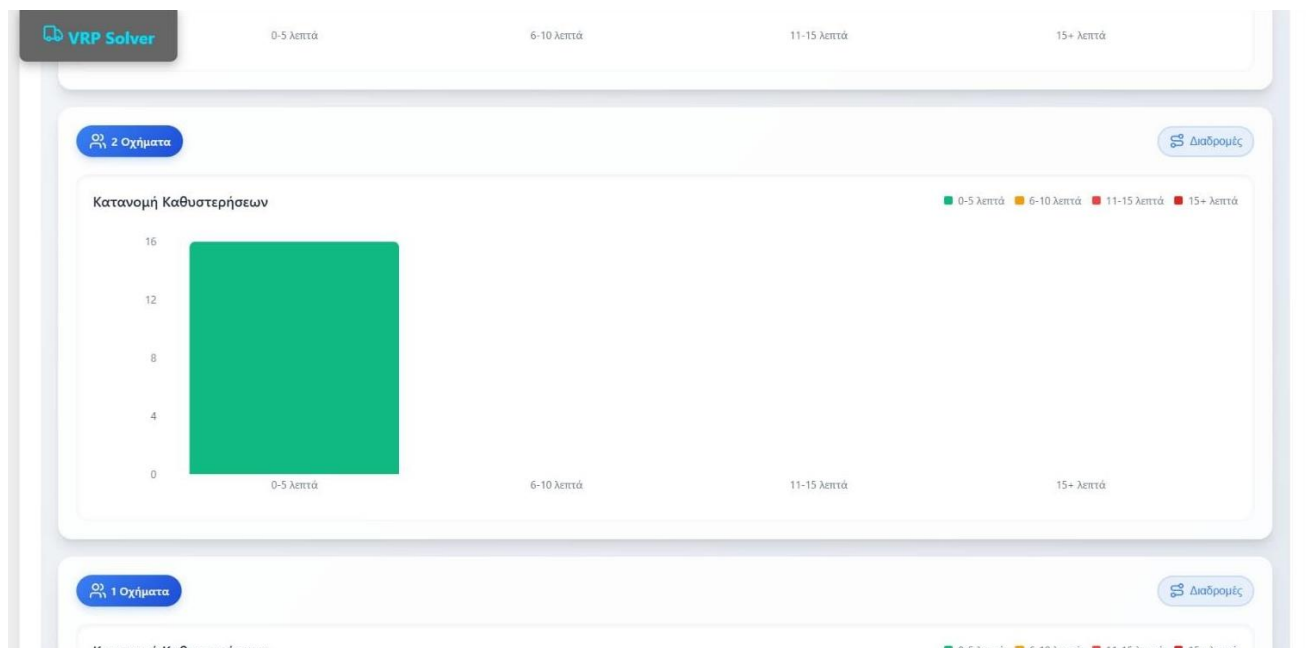
Ας συγκρίνουμε κάποια αποτελέσματα ώστε να γίνουν πιο διακριτά τα συμπεράσματα.

Αποτελέσματα σεναρίου 1



Αποτελέσματα σεναρίου 2





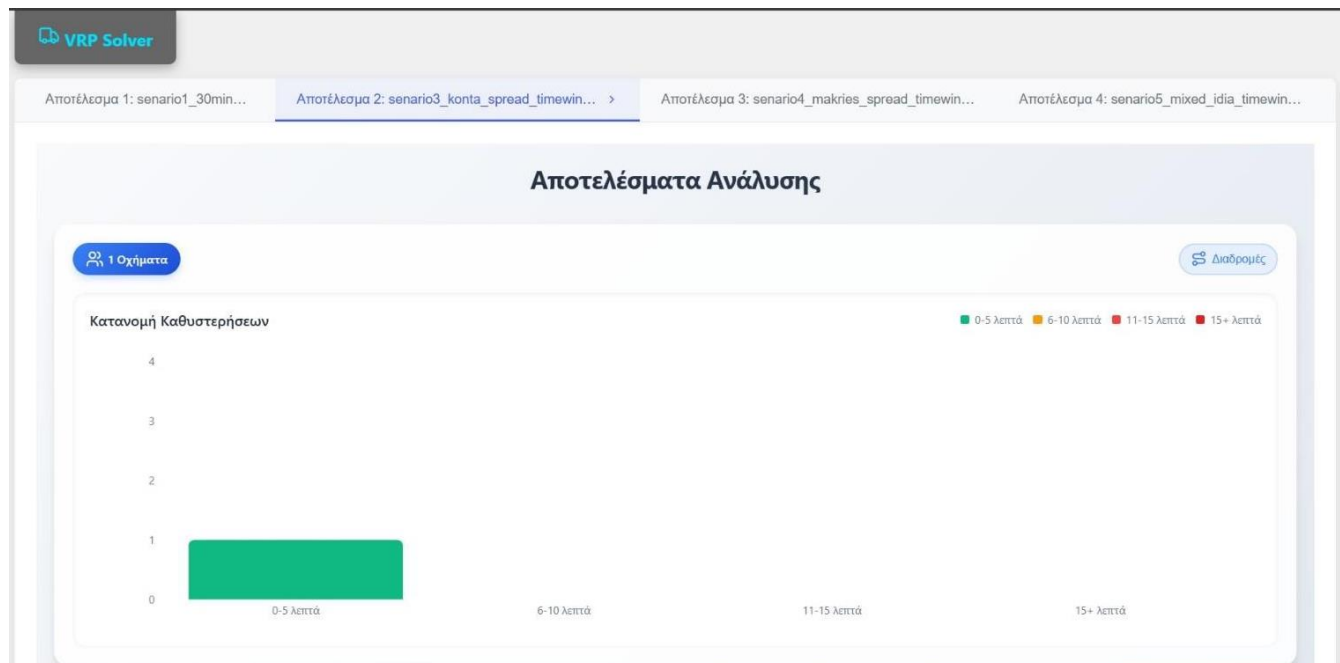
Στα αποτελέσματα του σεναρίου 1 βλέπουμε πως ο αλγόριθμος καταφέρνει μια πολύ καλή απόδοση όταν οι διευθύνσεις είναι σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Η πρώτη βέλτιστη λύση είναι απευθείας ένας διανομέας. Η κατανομή των καθυστερήσεων είναι ομαλή και οι περισσότερες παραδόσεις πραγματοποιούνται με καμία ή ελάχιστη

καθυστέρηση. Επίσης καμία καθυστέρηση μεγαλύτερη των 10 λεπτών δεν υπάρχει.

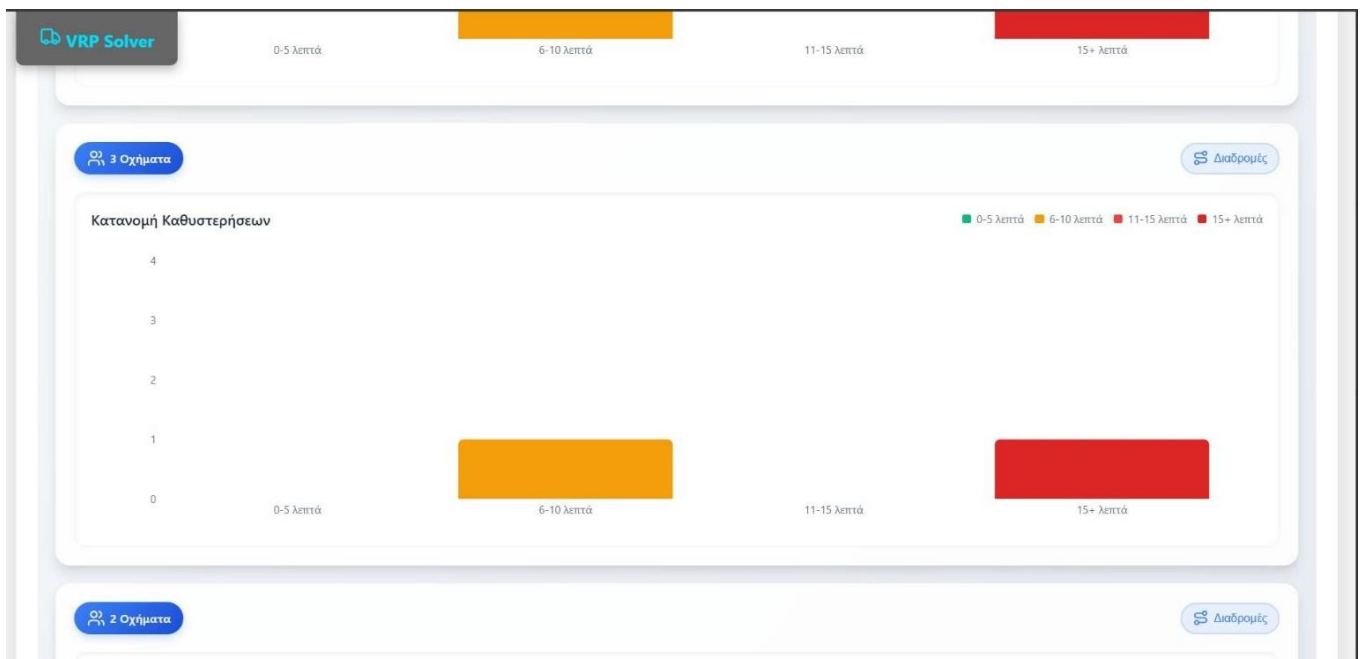
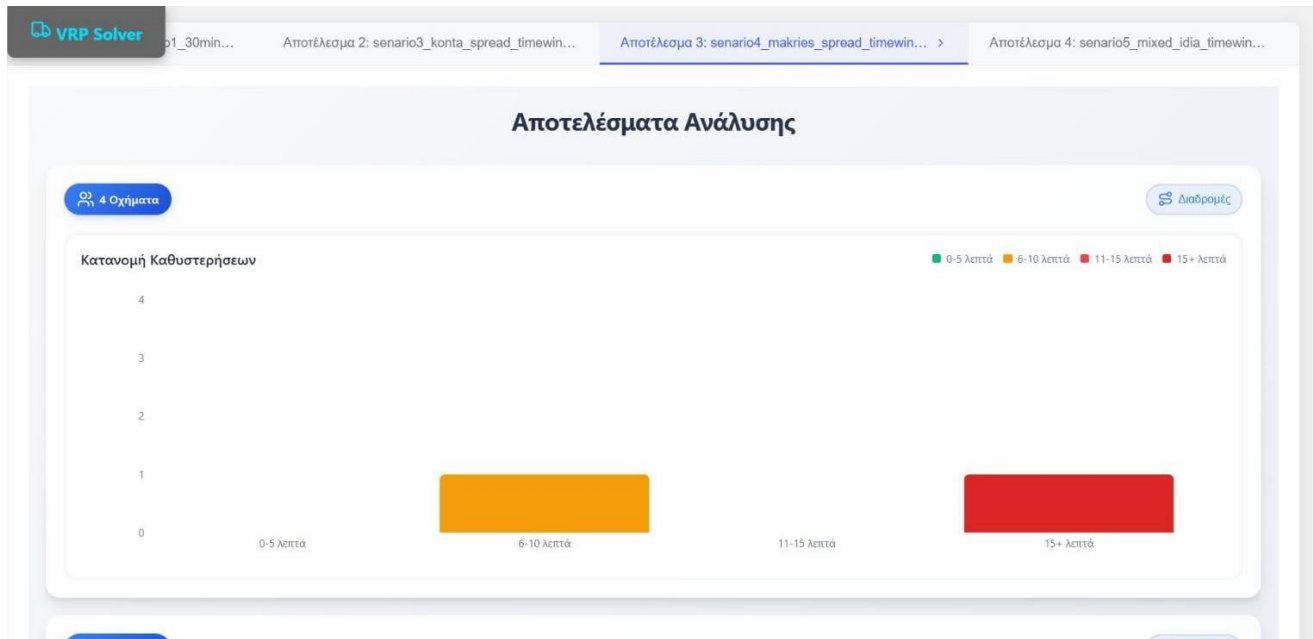
Στα αποτελέσματα του σεναρίου 2, βλέπουμε ότι ως βέλτιστος αριθμός διανομέων ορίζεται το 4. Με την μείωση σταδιακά παρατηρούνται αυξήσεις στις καθυστερήσεις, με αποκορύφωμα τον 1 διανομέα, όπου σε αυτή την περίπτωση βλέπουμε σχεδόν 50(~) παραγγελίες να έχουνε καθυστέρηση πάνω από 15 λεπτά.

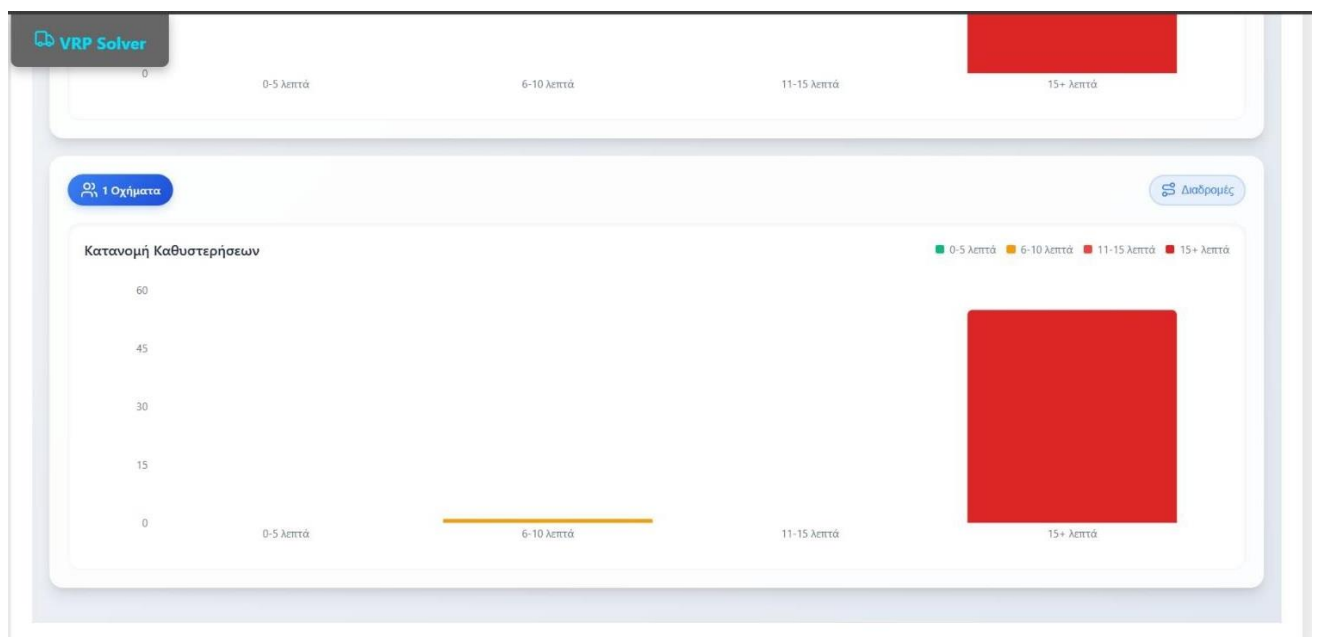
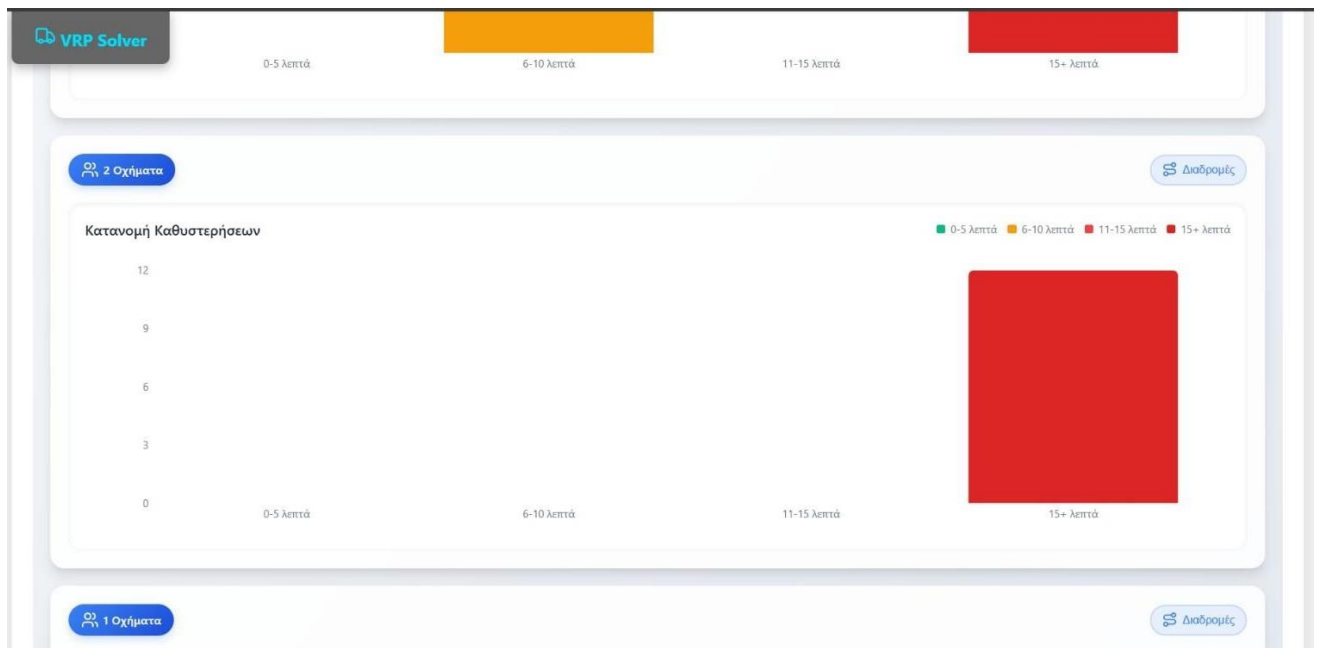
Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια τα οποία έχουν και τα δύο παρόμοια χρονικά παράθυρα αλλά διαφορετικές αποστάσεις στις παραγγελίες, βλέπουμε τα την καθοριστικό παράγοντα της γεωγραφικής αποστάσεις. Στο πρώτο σενάριο η ευκολία της γεωγραφίας επιτρέπει μια λύση, ενώ στο δεύτερο η πολυπλοκότητα αποστάσεων δημιουργεί την ανάγκη για στρατηγική διαχείριση των διανομέων για την καλύτερη εξυπηρέτηση.

Αποτελέσματα σεναρίου 3



Αποτελέσματα σεναρίου 4





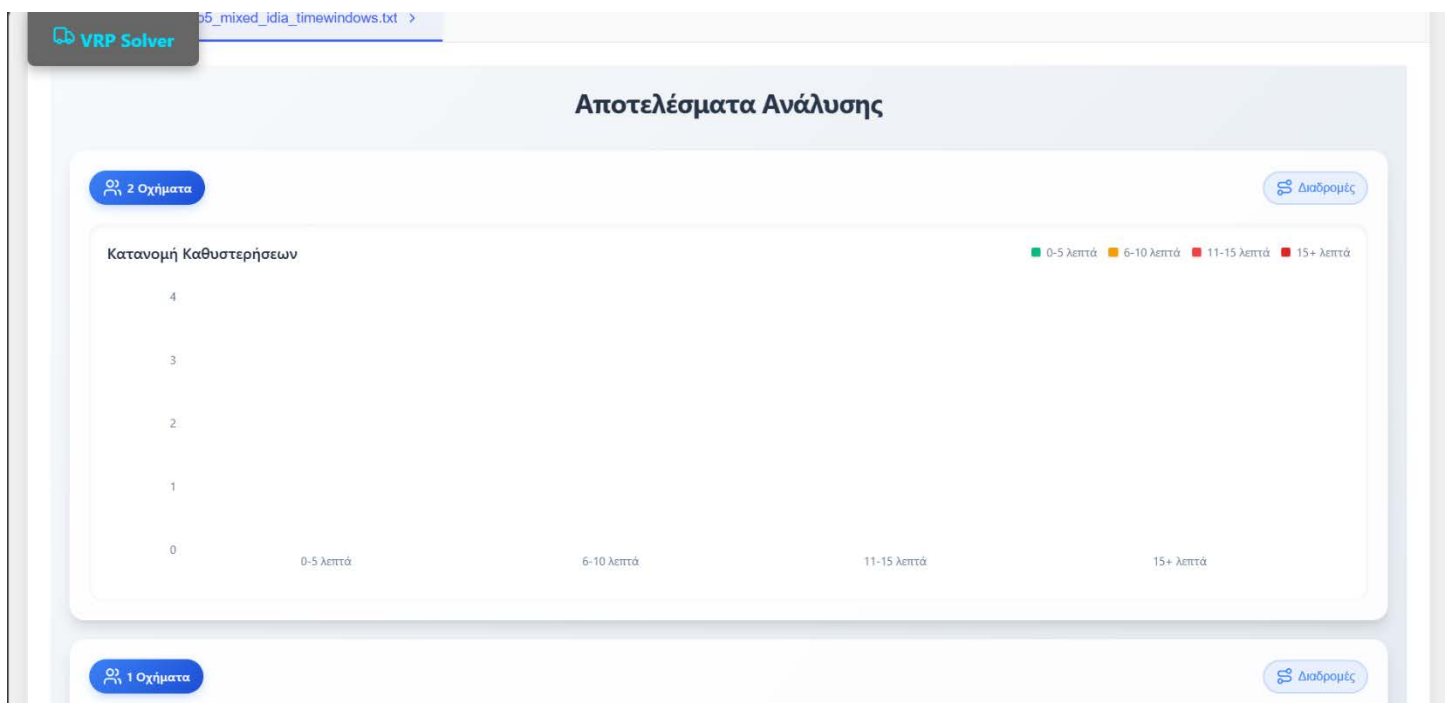
Στο σενάριο 3, βλέπουμε και πάλι την σημασία του η γεωγραφική απόσταση να είναι μικρή. Και στην περίπτωση με τα διευρυμένα χρονικά παράθυρα που θεωρητικά δημιουργούν περισσότερες δυσκολίες στον προγραμματισμό, η βέλτιστη λύση είναι με την πρώτη ο ένας διανομέας με μόνο μία περίπτωση καθυστέρησης στην κατηγορία με την μικρότερη διάρκεια.

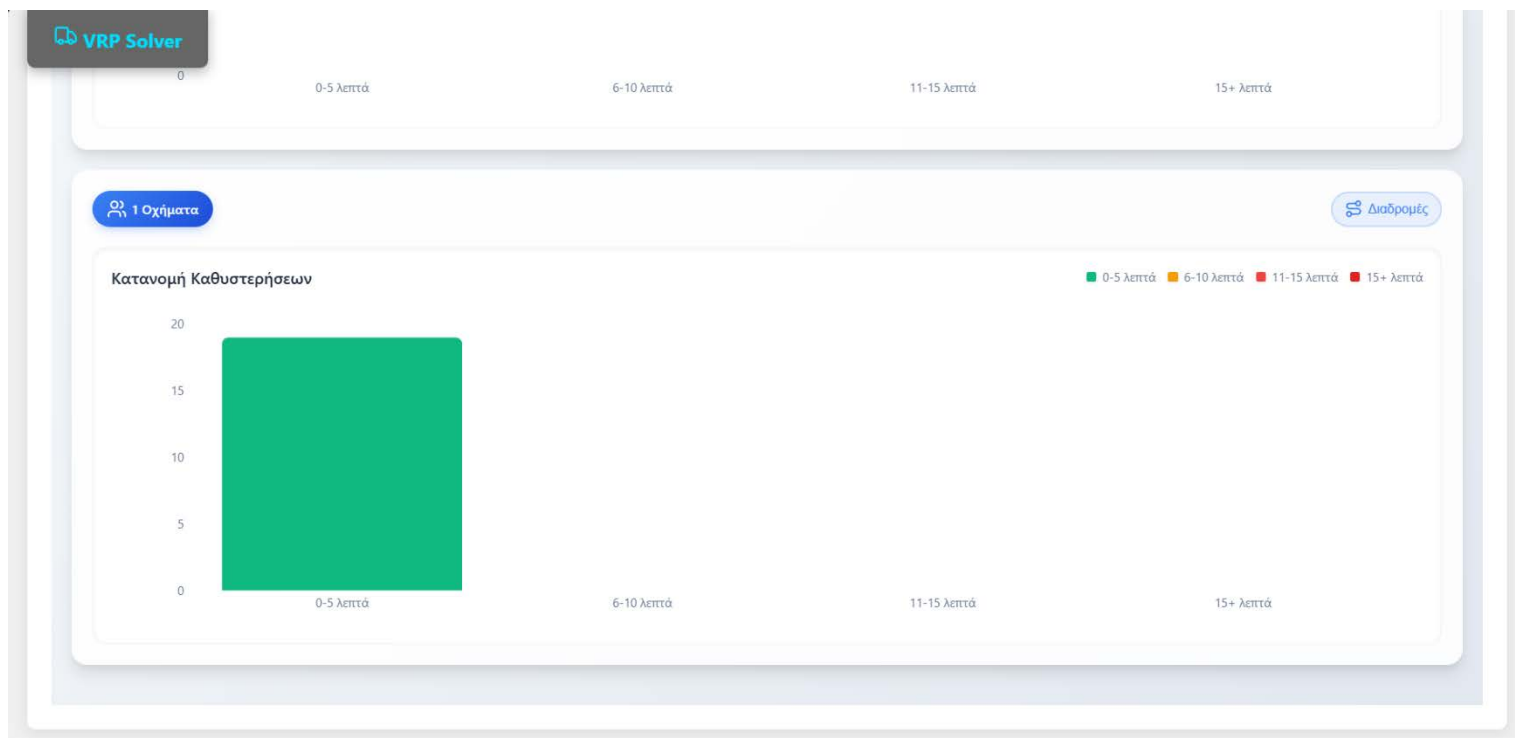
Στο σενάριο 4 βλέπουμε την δυσκολία που να είναι μεγάλη η απόσταση. Η βέλτιστη λύση

περιέχει ένα διανομέα στην κατηγορία 6-10 και έναν στην κατηγορία 15+. Στην περίπτωση του ενός διανομέα, βλέπουμε ένα τεράστιο νούμερο στη τελευταία κατηγορία.

Η σύγκριση λοιπόν ανάμεσα τους, αναδεικνύει ότι η μικρή γεωγραφική απόσταση, αποτελεί πολύ πιο καθοριστικό παράγοντα από την χρονική ευελιξία. Τα αποτελέσματα των εκτελέσεων έδειξε πως η βελτιστοποίηση του συστήματος της διανομής δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τα χρονικά περιθώρια των παραδόσεων, αλλά κατά κύριο λόγο από την απόσταση. Τα χρονικά περιθώρια φυσικά, επηρεάζουν τον αριθμό των διανομών που χρειάζονται, αλλά τα γεωγραφικά σημεία έχουν ακόμα μεγαλύτερη επίδραση στην δημιουργία καθυστερήσεων.

Αποτελέσματα σεναρίου 5





Σε αυτό το παράδειγμα, βλέπουμε πως εάν δεν υπάρχει επιτηδευμένη δυσκολία, ο αλγόριθμος έχει πολύ καλή απόδοση σε ένα παράδειγμα με ποια ρεαλιστικά στοιχεία. Παραδείγματος χάρη, προκειμένου να αναδείξουμε και άλλο ένα στοιχείο χρησιμότητας του προγράμματος, με βάση αυτά τα αποτελέσματα, μπορεί ένας χρήστης να αποφασίσει εάν θέλει να κάνει αυτές τις παραγγελίες με δύο διανομείς και καμία καθυστέρηση ή με έναν και μερικές μικρές καθυστερήσεις.

Κεφάλαιο 6 - Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη

Ο στόχος της συγκεκριμένης διπλωματικής, είναι να αναπτύξει ένα εργαλείο με υποστηρικτικό υλικό για προβλήματα δρομολόγησής οχημάτων με χρονικά παράθυρα. Το σύστημα αυτό, στην προσπάθεια να μην προσφέρει απλώς την βέλτιστη λύση με βάση κάποια κριτήρια, δίνει μια σειρά από αποτελέσματα στον χρήστη. Με αυτόν τον τρόπο, του δίνει την δυνατότητα να αξιολογήσει την σχέση που δημιουργείται μεταξύ κόστους και οφέλους μαζί με τις καθυστερήσεις που προκύπτουν.

Η ανάπτυξη του συστήματος βασίστηκε σε ένα υβριδικό σύστημα που συνδυάζει Python, Excel/VBA και JavaScript. Αυτή η προσέγγιση διασφαλίζει τη λειτουργικότητα και την πρακτική αξία του εργαλείου σε πραγματικές καταστάσεις.

6.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η διπλωματική αυτή, θα μπορούσε γίνει η αφετηρία για περαιτέρω έρευνα και εφαρμογή σε ακόμα πιο ρεαλιστικές συνθήκες διανομών. Μία σημαντική προοπτική εξέλιξης για το μέλλον, είναι η ενσωμάτωση παραμέτρων που αφορούν την απόσταση δύο σημείων, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι καιρικές συνθήκες. Αυτά τα χαρακτηριστικά, θα μεγάλωναν αρκετά την ακρίβεια της προσομοίωσης που έχει το πρόγραμμα. Παράλληλα, η δυνατότητα κράτησης του ιστορικού όλων των εκτελέσεων θα είναι επίσης πολύ χρήσιμη. Αυτό θα δίνει στον χρήστη την δυνατότητα να παρακολουθεί την ροή παραγγελιών ανά μέρα, και το πόσους διανομείς χρειάζεται αντίστοιχα.

Εξίσου σημαντική είναι η εξέλιξη του συστήματος, ώστε να μπορεί να υποστηρίζει και τη δυναμική καταχώρηση παραγγελιών κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτή η αλλαγή ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα, καθώς σε πραγματικές συνθήκες οι παραγγελίες δεν είναι πάντοτε προγραμματισμένες εκ των προτέρων, αλλά εισάγονται καθώς εξελίσσεται η μέρα.

6.3 Τελικά συμπεράσματα

Η εργασία κατάφερε να υλοποιήσει την αρχική ιδέα και να δημιουργήσει ένα πρακτικό εργαλείο για την υποστήριξη αποφάσεων στη δρομολόγηση. Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε, αποδείχθηκε χρήσιμη και αποτελεσματική καθώς εστιάζει στην ισορροπία του κόστους και της ποιότητας. Με την υλοποίηση της, επιβεβαιώνεται πως η παρουσίαση πολλαπλών λύσεων έναντι μίας βέλτιστης, μεγαλώνει τον ρόλο της ανθρώπινης κριτικής σκέψης και αυξάνει την ευελιξία αντιμετώπισης του προβλήματος.

Συνολικά, η παρούσα εργασία είναι μια συμβολή στον πρακτικό τομέα της βελτιστοποίησης δικτύων διανομής, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα.

Βιβλιογραφία

- [1] Hoong Chuin Lau, Melvyn Sim, Kwong Meng Teo. "Vehicle routing problem with time indows and a limited number of vehicles". *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, Issue 3, σελ. 559-569, 2003.
- [2] H.I. Calvete, C. Galé, B. Sánchez-Valverde, M.J. Oliveros. "A goal programming approach to vehicle routing problems with soft time windows". *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, Issue 3, σελ. 1720-1733, 2007.
- [3] A. Mor, M.G. Speranza. "Vehicle routing problems over time: a survey". *4OR - A Quarterly Journal of Operations Research*, Vol. 18, Issue 2, σελ. 129-149, 2020.
- [4] Nasser A. El-Sherbeny. "Vehicle routing with time windows: An overview of exact, heuristic and metaheuristic methods". *Journal of King Saud University - Science*, Vol. 22, Issue 3, σελ. 123-131, 2010.
- [5] G. Kontoravdis, J.F. Bard. "A GRASP for the Vehicle Routing Problem with Time Windows". *ORSA Journal on Computing*, Vol. 7, Issue 1, σελ. 10-23, 1995.
- [6] P. Álvarez, A. Serrano-Hernandez, I. Lerga, J. Faulin. "Optimizing freight delivery routes: The time-distance dilemma". *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 98, σελ. 46-59, 2019.
- [7] Güneş Erdoğan. "An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems". *Computers & Operations Research*, Vol. 84, σελ. 62-72, 2017.