



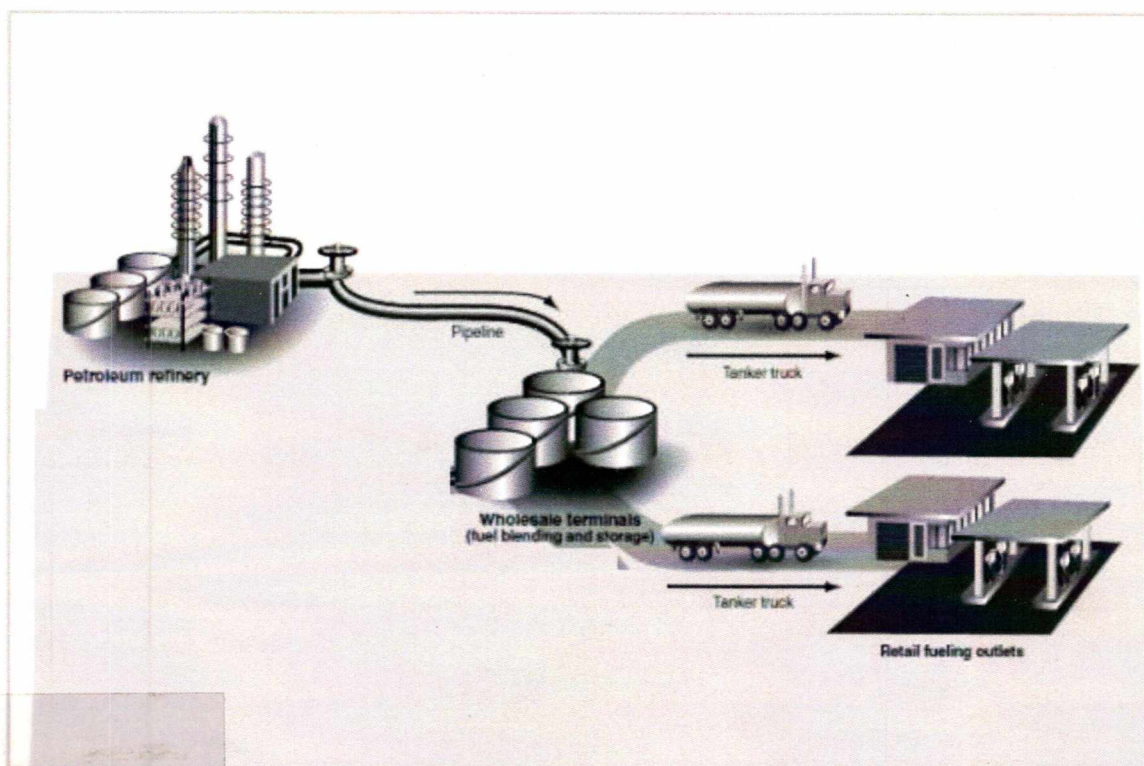
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας – Πολυτεχνική Σχολή –
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΜΠΙΖΑΣ ΛΑΜΠΡΟΣ

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΝΟΜΗ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ Κ.Δ. ΣΑΧΑΡΙΔΗΣ



ΒΟΛΟΣ 2014

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κοζανίδης Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής

Λυμπερόπουλος Γεώργιος, Καθηγητής

Σαχαρίδης Γεώργιος, Λέκτορας (επιβλέπων καθηγητής)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 12859/1
Ημερ. Εισ.: 08-09-2014
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ
2014
ΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί αναφέρεται στην προσέγγιση λύσης στο πρόβλημα της διανομής καυσίμων από ένα διυλιστήριο σε έναν αριθμό από πρατήρια υγρών καυσίμων με τη χρήση βυτιοφόρων. Στη μελέτη αυτή παρουσιάζεται η γενική περιγραφή του προβλήματος μαζί με ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα. Επίσης, γίνεται αναφορά σε λογισμικά προγράμματα αλλά και επιστημονικές δημοσιεύσεις που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων. Το βασικό μέρος της παρούσας μελέτης είναι η αναλυτική περιγραφή και η υλοποίηση μοντέλων και ευρετικών μεθόδων που επιλύουν το πρόβλημα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού για την υλοποίηση των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων. Ένα από τα σημαντικότερα τμήματα αυτής της διπλωματικής εργασίας, είναι η σύγκριση των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων επίλυσης λαμβάνοντας υπ' όψιν την τιμής αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης. Τέλος, παρουσιάζεται το λογισμικό που αναπτύχθηκε για την εισαγωγή των δεδομένων από το χρήστη και η λύση από κάθε μοντέλο και κάθε ευρετική μέθοδο, η οποία απεικονίζει τα πρατήρια που θα εξυπηρετήσει κάθε βυτιοφόρο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας Κο Γεώργιο Κ.Δ. Σαχαρίδη, λέκτορα του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την βοήθεια, τις γνώσεις, την παρότρυνση αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, για τη βοήθεια σε καίρια σημεία, την υποστήριξη και την ανταλλαγή πληροφοριών θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ηλία Λαλουδάκη, πτυχιούχο του τμήματος αλλά και όλα τα παιδιά του εργαστηρίου Οργάνωσης Παραγωγής.

Ακόμη, ευχαριστώ όλους τους φίλους μου για την συμπαράσταση, την ανοχή όλο το διάστημα της εργασίας καθώς και τη βοήθεια που λίγο πολύ όλοι μου προσέφεραν. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλα τα εφόδια που μου έχει προσφέρει και για την συνεχή υποστήριξή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	12
ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	16
1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ	17
1.1 Εισαγωγή.....	17
1.2 Περιγραφή προβλήματος	17
1.3 Ανάλυση λογισμικών που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων	24
1.3.1 Fuelsoft	25
1.3.2 TransLogix.....	26
1.3.3 Το λογισμικό Octane της Eurodecision για την Total.....	28
1.4 Επίλογος.....	30
2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ	31
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Περιγραφή επιστημονικών δημοσιεύσεων	31
2.2.1 Distribution planning of bulk lubricants at BP Turkey (Furkan Uzar & Çatay, 2012)	31
2.2.2 Heuristic approach to fleet composition problem (Redmer, Žak, Sawicki, & Maciejewski, 2012)	33
2.2.3 Variable Neighborhood Search heuristic for the Inventory Routing Problem in fuel delivery (Popović, Vidović, & Radivojević, 2012).....	36
2.3 Επίλογος.....	38
3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι με χρήση παραδοχής	39
3.2.1 Κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP).....	43

3.2.2	Ανάπτυξη ισχυουσών ανισοτήτων (valid inequalities).....	46
3.2.3	Αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή	47
3.3	Μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι χωρίς χρήση παραδοχής	56
3.3.1	Μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων	59
3.3.2	Αλγόριθμοι clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή	62
3.3.3	Μυωπικός αλγόριθμος	66
3.3.4	Χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.....	67
3.4	Επίλογος.....	71
4	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	73
4.1	Εισαγωγή.....	73
4.2	Μέθοδοι επίλυσης.....	73
4.3	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	74
4.3.1	Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής	75
4.3.2	Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς παραδοχή.....	80
4.4	Επίλογος.....	85
5	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	87
5.1	Εισαγωγή.....	87
5.2	Σύγκριση αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής ...	87
5.2.1	Σύγκριση μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap	89
5.2.2	Σύγκριση μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο	93
5.3	Σύγκριση αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής	95
5.4	Επίλογος.....	98
6	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	99
7	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	103

7.1	Παρουσίαση λογισμικού	103
7.2	Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων	105
7.2.1	Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής.....	107
7.2.2	Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής	118
7.3	Μέγεθος προβλήματος.....	123
8	BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1:	Χάρτης πρατηρίων	19
Εικόνα 1-2:	Πρατήριο υγρών καυσίμων με δεξαμενές.....	20
Εικόνα 1-3:	Βυτιοφόρο χωρητικότητας 36000 λίτρων	21
Εικόνα 1-4:	Βυτιοφόρο χωρητικότητας 24000 λίτρων	22
Εικόνα 1-5:	Βυτιοφόρο χωρητικότητας 18000 λίτρων	23
Εικόνα 1-6:	Τομή βυτίου	24
Εικόνα 1-7:	Λογότυπο του λογισμικού Fuelsoft.....	25
Εικόνα 1-8:	Υπολογιστής συστήματος (POS)	26
Εικόνα 1-9:	Λογότυπο της TransLogix.....	27
Εικόνα 1-10:	Λογότυπο της Total.....	28
Εικόνα 1-11:	Λογότυπο της Eurodecision	29
Εικόνα 3-1:	Υποδιαδρομές	45
Εικόνα 3-2:	Σημεία πριν το clustering	47
Εικόνα 3-3:	Σημεία μετά το clustering	48
Εικόνα 7-1:	κύρια φόρμα λογισμικού.....	103
Εικόνα 7-2:	Αλλαγή μεγέθους πρατηρίου	104
Εικόνα 7-3:	Φόρμα εισαγωγής δεδομένων ζήτησης.....	105
Εικόνα 7-4:	Λύση μοντέλου χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI).....	114
Εικόνα 7-5:	Λύση μοντέλων χώρισμα 1ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1a) και χώρισμα 2ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1b) χωρίς παραδοχή	115

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το παράδειγμα	32
Πίνακας 2-2: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το παράδειγμα	33
Πίνακας 2-3: Διαφορές Προβλήματος σύνθεσης στόλου - Προβλήματος διανομής υγρών καυσίμων.....	35
Πίνακας 2-4: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το παράδειγμα	37
Πίνακας 2-5: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το παράδειγμα	37
Πίνακας 3-1: Ζητήσεις πρατηρίων με παραδοχή.....	42
Πίνακας 3-2: Χωρητικότητες βυτιοφόρων με παραδοχή.....	43
Πίνακας 3-3: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το (VRP) με παραδοχή	44
Πίνακας 3-4: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clustering I	49
Πίνακας 3-5: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clustering II	53
Πίνακας 3-6: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο (TSP).....	55
Πίνακας 3-7: Ζήτηση πρατηρίων χωρίς παραδοχή.....	58
Πίνακας 3-8: Χωρητικότητες βυτιοφόρων χωρίς παραδοχή	58
Πίνακας 3-9: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων	60
Πίνακας 3-10: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clusters τύπου II	63
Πίνακας 3-11: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.....	68
Πίνακας 3-12: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα των ιδιωτών.....	71
Πίνακας 4-1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις ισχύουσες ανισότητες του κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με παραδοχή	76
Πίνακας 4-2: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου του μοντέλου NVI και των υπόλοιπων συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) με παραδοχή.....	77
Πίνακας 4-3: παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή	79
Πίνακας 4-4: Παρουσίαση αποτελέσματος μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων	81
Πίνακας 4-5: παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή	82

Πίνακας 4-6: Παρουσίαση αποτελέσματος του μυωπικού αλγορίθμου	84
Πίνακας 4-7: Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τη χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διαμονή καυσίμων	85
Πίνακας 5-1: Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής	88
Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.68%).....	90
Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.94%).....	91
Πίνακας 5-4: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου του μοντέλου NVI με τους υπόλοιπους συνδυασμούς των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) και με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.94%).....	92
Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο (396,14 δευτερόλεπτα).....	94
Πίνακας 5-6: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης του μοντέλου NVI με τους υπόλοιπους συνδυασμούς των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) και με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο (396.14 δευτερόλεπτα).....	95
Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής που θα συγκριθούν.....	96
Πίνακας 5-8: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων με τις υπόλοιπες ευρετικές μεθόδους χωρίς παραδοχή.....	97
Πίνακας 7-1: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων	106
Πίνακας 7-2: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%).....	107
Πίνακας 7-3: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VI1a) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%).....	108
Πίνακας 7-4: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)	108
Πίνακας 7-5: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)	109
Πίνακας 7-6: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)	109

Πίνακας 7-7: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%).....	110
Πίνακας 7-8: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)	110
Πίνακας 7-9: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VI1a) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)	111
Πίνακας 7-10: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα).....	111
Πίνακας 7-11: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)	112
Πίνακας 7-12: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα).....	112
Πίνακας 7-13: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα).....	113
Πίνακας 7-14: Λύση μοντέλου χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI).....	113
Πίνακας 7-15: Λύση μοντέλων χώρισμα 1ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1a) και χώρισμα 2ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1b) χωρίς παραδοχή.....	114
Πίνακας 7-16: Λύση του Clustering II για την ομάδα a1 (MCIIa1).....	115
Πίνακας 7-17: Λύση του Clustering II για την ομάδα a2 (MCIIa2).....	116
Πίνακας 7-18: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3).....	116
Πίνακας 7-19: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3).....	116
Πίνακας 7-20: Λύση του Clustering II για την ομάδα b1 (MCIIb1).....	116
Πίνακας 7-21: Λύση του Clustering II για την ομάδα b2 (MCIIb2).....	116
Πίνακας 7-22: Λύση αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή	117
Πίνακας 7-23: Λύση του Clustering II για την ομάδα a1 (MCIIa1).....	118
Πίνακας 7-24: Λύση του Clustering II για την ομάδα a2 (MCIIa2).....	118
Πίνακας 7-25: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3).....	119
Πίνακας 7-26: Λύση του Clustering II για την ομάδα b1 (MCIIb1).....	119
Πίνακας 7-27: Λύση του Clustering II για την ομάδα b2 (MCIIb2).....	119
Πίνακας 7-28: Λύση του Clustering II για την ομάδα b3 (MCIIb3).....	119

Πίνακας 7-29: Λύση αλγορίθμου clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή	120
Πίνακας 7-30: Λύση μωπικού αλγορίθμου.....	121
Πίνακας 7-31: Λύση χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα της εταιρίας	122
Πίνακας 7-32: Λύση χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα μισθωμένα βυτιοφόρα	122
Πίνακας 7-33: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής.....	123
Πίνακας 7-34: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής.....	123
Πίνακας 7-35: Συνολικός αριθμός περιορισμών για τους συνδυασμούς ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής	124
Πίνακας 7-36: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή.....	125
Πίνακας 7-37: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή.....	126
Πίνακας 7-38: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων.....	126
Πίνακας 7-39: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων	126
Πίνακας 7-40: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή.....	127
Πίνακας 7-41: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή.....	129
Πίνακας 7-42: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον μωπικό αλγόριθμο	129
Πίνακας 7-43: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης για τον μωπικό αλγόριθμο	130
Πίνακας 7-44: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.....	130
Πίνακας 7-45: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων	131

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

VRP	Το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων
MILP	Πρόβλημα μικτού-ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού
UB	Άνω όριο
TSP	Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή

1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιγραφή του προβλήματος της διανομής καυσίμων από ένα διυλιστήριο σε ένα αριθμό από πρατήρια υγρών καυσίμων. Στη συνέχεια, θα δοθεί ένα ρεαλιστικό παράδειγμα το οποίο θα βοηθήσει στην ανάπτυξη μοντέλων που θα βελτιστοποιήσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα και τέλος θα γίνει ανάλυση τριών λογισμικών που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων.

1.2 Περιγραφή προβλήματος

Αυτή η εργασία εκπονήθηκε με σκοπό τη βελτιστοποίηση της διανομής υγρού καυσίμου από ένα διυλιστήριο σε ένα αριθμό από πρατήρια υγρών καυσίμων. Η βελτιστοποίηση επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα παρουσιάζει ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει κάθε βυτιοφόρο. Επίσης αναπτύχθηκε και ένα λογισμικό για την εισαγωγή των δεδομένων της ζήτησης για κάθε πρατήριο από το χρήστη, η λειτουργία του οποίου παρουσιάζεται στο παράρτημα.

Η διανομή των υγρών καυσίμων από το διυλιστήριο στα πρατήρια πραγματοποιείται με τα βυτιοφόρα, τα οποία χωρίζονται σε δύο ομάδες, τα βυτιοφόρα που ανήκουν στον στόλο της εταιρείας παραγωγής υγρών καυσίμων και τα βυτιοφόρα που μισθώνονται από ιδιώτες.

Η πολιτική, που ακολουθεί η εταιρεία για την μεταφορά των υγρών καυσίμων από το διυλιστήριο στα πρατήρια, είναι τα βυτιοφόρα που ανήκουν στον στόλο της εταιρείας να τροφοδοτούν τα πρατήρια, που βρίσκονται κοντά στο διυλιστήριο, ενώ τα βυτιοφόρα που μισθώνονται από ιδιώτες τροφοδοτούν τα υπόλοιπα πρατήρια, που βρίσκονται μακριά από το διυλιστήριο. Αυτή η πολιτική επιλέχθηκε επειδή τα βυτιοφόρα της εταιρείας έχουν ως κόστος, την κατανάλωση του κάθε βυτιοφόρου σε καύσιμο, επομένως ζητούμενο είναι να διανυθούν όσο το δυνατόν λιγότερα χιλιόμετρα, ενώ τα βυτιοφόρα που μισθώνονται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

από ιδιώτες έχουν ως κόστος τον όγκο που μεταφέρουν, δηλαδή υπάρχει συγκεκριμένη τιμολόγηση ανά λίτρο καυσίμου που μεταφέρει το κάθε μισθωμένο βυτιοφόρο, επομένως στόχος είναι η ελαχιστοποίηση των μεταφερόμενων λίτρων από τους ιδιώτες.

Για την λύση αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται ένα ρεαλιστικό παράδειγμα με 38 πρατήρια, 1 διυλιστήριο και 22 φορτηγά, όπου κάθε πρατήριο ικανοποιείται από ένα βυτιοφόρο. Το ότι ένα πρατήριο ικανοποιείται από ένα και μόνο βυτιοφόρο είναι ένας ρεαλιστικός περιορισμός που ισχύει στην πραγματικότητα για κάθε εταιρία διανομής υγρών καυσίμων. Από την άλλη, ένα βυτιοφόρο έχει τη δυνατότητα να εξυπηρετήσει παραπάνω από ένα πρατήριο την κάθε φορά με πιο συνηθισμένη περίπτωση δύο έως τρία πρατήρια ανά δρομολόγιο. Ο ακριβής αριθμός εξαρτάται από τον όγκο που μπορεί να μεταφέρει ένα βυτιοφόρο, αλλά και από τον όγκο και τους τύπους των υγρών καυσίμων που ζητούνται από τα πρατήρια. Στο παράδειγμα μας, τα πρατήρια βρίσκονται κατά κύριο λόγο στον νομό Αττικής και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα, όπου το διυλιστήριο βρίσκεται στο σημείο 38 (άσπρο χρώμα), ενώ τα πρατήρια υγρών καυσίμων βρίσκονται στα σημεία 0-37 (κίτρινο χρώμα).



Εικόνα 1-1: Χάρτης πρατηρίων¹

Το πρόβλημα είναι συμμετρικό, δηλαδή οι αποστάσεις μεταξύ δύο πρατηρίων i και j είναι ίσες είτε η μετάβαση γίνει από το i στο j , είτε από το j στο i . Επίσης, η απόσταση ενός πρατηρίου από τον εαυτό του στην πραγματικότητα είναι ίση με το μηδέν, αλλά σε αυτού του είδους τα προβλήματα είναι ίση με άπειρο, για να αποφευχθεί η επιλογή της μετάβασης από ένα πρατήριο στον εαυτό του από τους τρόπους επίλυσης. Επειδή, όμως το άπειρο δεν μπορεί να τοποθετηθεί σαν αριθμός στα δεδομένα που απεικονίζουν την χιλιομετρική απόσταση μεταξύ των πρατηρίων, έχει επιλεγεί ένας μεγάλος αριθμός, ο οποίος είναι λίγο μεγαλύτερος από το διπλάσιο της μέγιστης απόστασης μεταξύ δύο σημείων. Αυτός ο αριθμός είναι ίσος με 300. Οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων εμφανίζονται στον Πίνακα 7-1 στο παράρτημα.

¹ Google earth

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Η ζήτηση υγρών καυσίμων είναι διαφορετική για κάθε πρατήριο. Τα υγρά καύσιμα χωρίζονται σε έξι είδη. Αυτά είναι:

- αμόλυβδη βενζίνη,
- σούπερ αμόλυβδη βενζίνη,
- πετρέλαιο κίνησης,
- πετρέλαιο θέρμανσης,
- βενζίνη με υποκατάστατο μολύβδου (LRP) (lead replacement petrol),
- φωτιστικό πετρέλαιο.

Στην εικόνα που ακολουθεί εμφανίζεται ένα πρατήριο με τις δεξαμενές του, όπου αποθηκεύονται τα διαφορετικά είδη υγρών καυσίμων.



Εικόνα 1-2: Πρατήριο υγρών καυσίμων με δεξαμενές²

² <http://sell.bizrice.com/selling-leads/623798/High-quality-PetroFirst-Petrol-Station.html>

Όσον αφορά τα βυτιοφόρα, διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη συνολική χωρητικότητα, αλλά και ως προς την κατανομή του χώρου μέσα στο βυτίο. Συγκεκριμένα, ως προς τη συνολική χωρητικότητα τα βυτιοφόρα χωρίζονται σε τρεις ομάδες, οι οποίες είναι:

- 36000 λίτρων,
- 24000 λίτρων,
- 18000 λίτρων.

Στις εικόνες που ακολουθούν αναδεικνύεται ένα βυτιοφόρο από την κάθε ομάδα.



Εικόνα 1-3: Βυτιοφόρο χωρητικότητας 36000 λίτρων³

³ http://www.ballynahinchfuel.com/dynamic_content.php?id=74



Εικόνα 1-4: Βυτιοφόρο χωρητικότητας 24000 λίτρων⁴

⁴ <http://www.corporatehelicopters.com/staticpages/index.php?page=fuel-tankers-trucks>

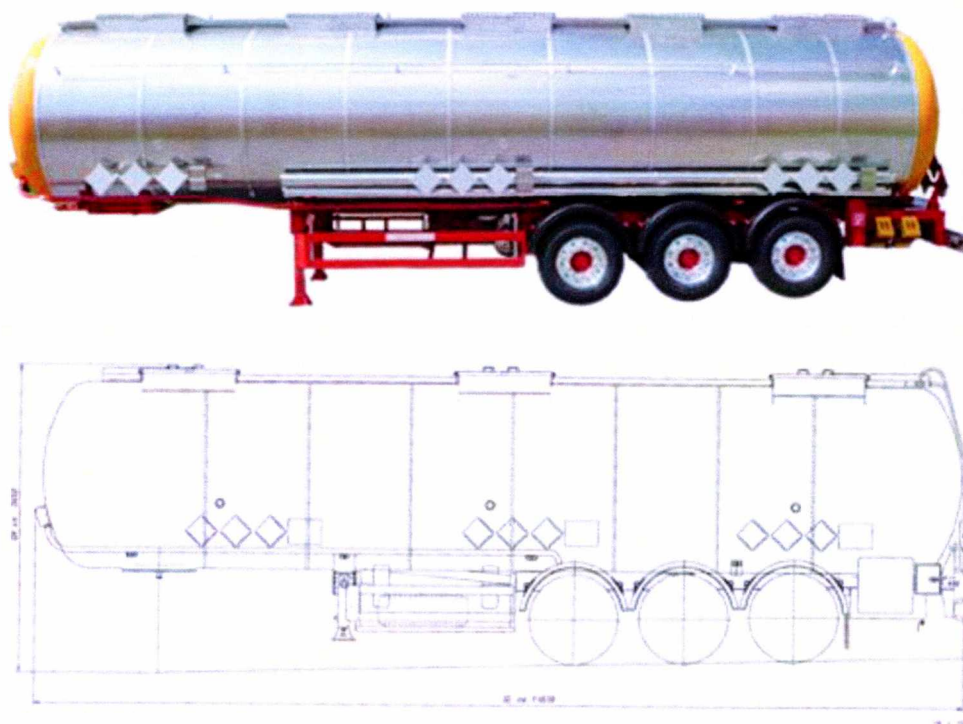


Εικόνα 1-5: Βυτιοφόρο χωρητικότητας 18000 λίτρων⁵

⁵ http://voltowner.blogspot.gr/2012_07_01_archive.html

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Η κατανομή του χώρου μέσα στο βυτίο ποικίλει από βυτιοφόρο σε βυτιοφόρο. Το κάθε βυτίο αποτελείται από χωρίσματα (όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-6) και συγκεκριμένα το κάθε βυτιοφόρο έχει από πέντε έως δέκα χωρίσματα. Αυτά τα χωρίσματα μπορούν να έχουν χωρητικότητα από 2000 λίτρα μέχρι 6000 λίτρα. Επίσης, σε κάθε χωρίσμα μπορεί να τοποθετηθεί το πολύ έως ένα είδος.



Εικόνα 1-6: Τομή βυτίου⁶

Τα βυτιοφόρα που ανήκουν στο στόλο της εταιρίας παραγωγής υγρών καυσίμων είναι χωρητικότητας 36000 λίτρων, ενώ τα βυτιοφόρα που μισθώνονται σε ιδιώτες ανήκουν και στις τρεις ομάδες.

1.3 Ανάλυση λογισμικών που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα γίνει η παρουσίαση τριών λογισμικών, τα οποία επιλύουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων και θα γίνει ανάλυση για τα χαρακτηριστικά του κάθε λογισμικού.

⁶ <http://www.hefas.lt/en/transport/>

Αυτά τα λογισμικά είναι τα εξής:

- Fuelsoft⁷,
- το λογισμικό της TransLogix⁸,
- το λογισμικό Octane⁹ της Eurodecision¹⁰ για την Total¹¹.

1.3.1 Fuelsoft

Το λογισμικό Fuelsoft αποτελεί την ραχοκοκαλιά πολλών κορυφαίων επιχειρήσεων, όπως των Brogan Fuels, Silvey Fuels και Ford Fuels. Η συγκεκριμένη εταιρία προμηθεύει και υποστηρίζει το λογισμικό, το οποίο είναι μια πλήρης ολοκληρωμένη εφαρμογή των Windows που ενσωματώνει (CRM) (Customer Relationship Management), για την επεξεργασία των πωλήσεων για καύσιμα, λιπαντικά και φυσικό αέριο, για τον έλεγχο των αποθεμάτων και παρέχει ολοκληρωμένα πακέτα χρηματοοικονομικής λογιστικής. Ως (CRM) ονομάζεται ένα σύστημα κανόνων ή μια συλλογή από συστήματα και τεχνολογίες πληροφορικής που εστιάζονται στην αυτοματοποίηση και βελτίωση των επιχειρηματικών διαδικασιών. Οι διαδικασίες αυτές σχετίζονται με την διαχείριση των πελατειακών σχέσεων και έχουν σχέση με τα τμήματα των πωλήσεων, μάρκετινγκ, εξυπηρέτησης και υποστήριξης πελατών.



Εικόνα 1-7: Λογότυπο του λογισμικού Fuelsoft

Αυτή τη στιγμή το λογισμικό χρησιμοποιείται από 34 διανομείς καυσίμων που ποικίλουν σε μέγεθος, από κάποιους από τους μεγαλύτερους διανομείς, με πάνω από 100 οχήματα, έως τους μικρότερους με 2 και 3 οχήματα. Το τρέχον λογισμικό Fuelsoft που παρέχεται βασίζεται σε πλατφόρμες της Microsoft και συγκεκριμένα, εργαλεία όπως το Outlook και το Office.

⁷ <http://www.fuelsoft.co.uk/fuelsoft-fuel-distribution/>

⁸ <http://www.translogix.com.au/solutions/fuel-distribution>

⁹ http://www.eurodecision.es/temoignage_total

¹⁰ <http://www.eurodecision.eu/company>

¹¹ http://el.wikipedia.org/wiki/Total_S.A.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Η εταιρία αυτή δίνει σημασία στον πελάτη και συνεργάζεται με επιχειρήσεις που παρέχουν υψηλής ποιότητας υπηρεσίες, τόσο στο σχεδιασμό τους όσο και στην καθημερινή υποστήριξη.

1.3.2 TransLogix

Το λογισμικό της TransLogix χρησιμοποιείται ευρέως από ανεξάρτητους διανομείς καυσίμων στην Αυστραλία, για την μεταφορά καυσίμων και λιπαντικών. Καλύπτει όλες τις ανάγκες της διανομής, της ανάμειξης, της λογιστικής, των μεταφορών, των συστημάτων εφοδιασμού και διακίνησης προϊόντων (logistics) με καθορισμένη διασύνδεση για τα πιο κοινά συστήματα (POS) (Point of Sale) και τους υπολογιστές που βρίσκονται πάνω στα φορτηγά. Το σύστημα (POS) είναι ένα σύστημα για τη διαχείριση των πωλήσεων αγαθών σε λιανική. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στο λογισμικό και το υλικό που σχετίζονται με την αναχώρηση των αγαθών και όλα τα συνοδευτικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνονται. Οι περισσότεροι έμποροι λιανικής χρησιμοποιούν ένα σύστημα (POS) στα ταμεία ή στους χώρους καταμέτρησης των αποθεμάτων. Ακόμα πολλοί μεγάλοι κατασκευαστές προσφέρουν συστήματα (POS) που έχουν σχεδιαστεί για διάφορους τύπους επιχειρήσεων. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα (POS) μία επιχείρηση γίνεται πιο αποτελεσματική, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας της επιχείρησης, ενώ παράλληλα βελτιώνει την εξυπηρέτηση των πελατών. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας υπολογιστής που ανήκει σε ένα σύστημα (POS).



Εικόνα 1-8: Υπολογιστής συστήματος (POS)¹²

¹² <http://www.internationalpointofsale.com/completespos.html>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες του λογισμικού της TransLogix για την διανομή καυσίμων μπορούν να αποφέρουν σημαντικά οφέλη για τους χρήστες του, συγκεκριμένα:

- μείωση του λειτουργικού κόστους με την κατάργηση των χειροκίνητων διαδικασιών, καθώς και ακριβής υπολογισμός του κόστους και των αποθεμάτων,
- βελτιώσεις στην εξυπηρέτηση πελατών μέσω της βελτίωσης της ταχύτητας και μείωση των σφαλμάτων,
- βελτίωση της διαχείρισης των πληροφοριών που οδηγεί σε καλύτερη λήψη αποφάσεων.



Εικόνα 1-9: Λογότυπο της TransLogix

Το λογισμικό της TransLogix, για τη διανομή καυσίμων, εξειδικεύεται στη βιομηχανία και επομένως καλύπτει όλες τις βασικές απαιτήσεις των εταιριών διανομής καυσίμων. Απέκτησε μεγάλη αποδοχή και ασχολείται ειδικά με την Αυστραλιανή βιομηχανία διανομής καυσίμου. Μερικά χαρακτηριστικά του είναι:

- διαχειρίζεται το μεγαλύτερο μέρος της μετακίνησης των καυσίμων σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού, η οποία γίνεται με φορτηγά, από την αποθήκη στα σημεία διανομής,
- αποτελεί την ιδανική επιλογή για το σύστημα τιμολόγησης και κοστολόγησης που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία διανομής καυσίμου,
- έχει την ικανότητα διασύνδεσης με τα φορτηγά μέσω υπολογιστών, που βρίσκονται πάνω σε αυτά,
- έχει τη δυνατότητα διασύνδεσης με τις αντλίες καυσίμου των φορτηγών,
- παρέχει εκτεταμένη αναφορά σε όλες της πτυχές της λειτουργίας της διανομής καυσίμων συμπεριλαμβανομένου:
 - την απόδοση του στόλου,
 - την κοστολόγηση της διανομής,
 - το προφίλ των πελατών.

1.3.3 Το λογισμικό Octane της Eurodecision για την Total

‘Το Octane είναι απλό και εύκολο στη χρήση. Μας επιτρέπει να εξετάσουμε γρήγορα αρκετά σενάρια και παράγει τη βέλτιστη λύση μέσα σε μία ώρα, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου εισαγωγής δεδομένων. Με το παλιό μας σύστημα θα έπρεπε να περιμένουμε μία εβδομάδα για να πάρουμε αποτέλεσμα’. Arnaud Leclercq, Head of Logistics Management, Total



Εικόνα 1-10: Λογότυπο της Total

Η Total είναι μία γαλλική πολυεθνική εταιρία πετρελαίου και φυσικού αερίου, η οποία λειτουργεί 7 διυλιστήρια (εξολοκλήρου ή μερικώς ιδιόκτητα) και 30 αποθήκες σε όλη τη Γαλλία. Στις αποθήκες διανέμονται καύσιμα μέσω αγωγών, καραβιών ή τρενιτών. Υπάρχουν 3000 σταθμοί εξυπηρέτησης στο δίκτυο της Total, που είναι τοποθετημένοι κοντά σε κάθε δήμο. Ο κάθε δήμος περιλαμβάνει αρκετούς σταθμούς εξυπηρέτησης που προμηθεύονται καύσιμα από βυτιοφόρα, τα οποία φορτώνονται είτε απ’ ευθείας στο διυλιστήριο είτε μέσω των αποθηκών που βρίσκονται σε όλη τη Γαλλία.

Στόχος της Total είναι να βελτιστοποιήσει τη διανομή καυσίμου σε κάθε γεωγραφική περιοχή ανάλογα με τη τοποθεσία της πηγής. Η μείωση του κόστους διανομής ικανοποιώντας της ανάγκες της αγοράς είναι ένα σύνθετο πρόβλημα. Επειδή, όμως, αρκετοί παράγοντες συμμετέχουν σε αυτό, μπορούν να διαταράξουν μία συνήθως ικανοποιητική λύση. Αυτοί οι παράγοντες ποικίλουν, από το κλείσιμο της αποθήκης μέχρι την αλλαγή της τοποθεσίας της πηγής.

Μία μικρή ομάδα από εμπειρογνώμονες των συστημάτων εφοδιασμού και διακίνησης προϊόντων (logistics) με έδρα το La Défense, στο Παρίσι, είναι υπεύθυνη για τη μελέτη του πώς να βελτιστοποιείται συνεχώς η αλυσίδα διανομής. Μέχρι το 2004, αυτές οι εντατικές μελέτες λάμβαναν χώρα με λογισμικά προγράμματα που δεν είχαν εύκολη εισαγωγή δεδομένων και δεν ήταν φιλικά προς το χρήστη. Έτσι, η

Total διοργάνωσε μια πρόσκληση υποβολής προσφορών, που κέρδισε η Eurodecision. Μέσα σε λίγους μήνες, αναπτύχθηκε μία λύση για την βελτιστοποίηση του συνόλου της εφοδιαστικής αλυσίδας με λογισμικό βελτιστοποίησης της Eurodecision, το οποίο προσφέρει διαχείριση των αποστάσεων και μία μονάδα χαρτογράφησης για την αναπαράσταση των ροών διανομής. Όλα τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε ένα υπολογιστικό φύλλο του Excel. Αυτό το λογισμικό ονομάστηκε Octane και έχει τεθεί σε λειτουργία από το φθινόπωρο του 2004.

Η Eurodecision είναι μία εταιρία επιχειρησιακής έρευνας η οποία εστιάζει στην βελτιστοποίηση αγοράς πόρων. Οι πρώτοι πελάτες της ήταν επιχειρήσεις όπως η Air France, η RATP (Paris bus and metro system) και η Renault. Έτσι λοιπόν, η Eurodecision απέκτησε γρήγορα μία ισχυρή φήμη στην επιχειρησιακή έρευνα.



Εικόνα 1-11: Λογότυπο της Eurodecision

Δεδομένου ότι η βελτιστοποίηση εφαρμόζεται για ένα δεδομένο σημείο παράδοσης, τα πρατήρια υγρών καυσίμων που βρίσκονται σε όλο το δήμο εξυπηρετούνται από την ίδια αποθήκη ή διυλιστήριο. Τα βυτιοφόρα διαθέτουν διαμερίσματα για τη μεταφορά διαφόρων τύπων υγρών καυσίμων (βενζίνη και πετρέλαιο). Κάθε προσομοίωση λαμβάνει υπ' όψιν της, τις απαιτήσεις παράδοσης κάθε πρατηρίου όσον αφορά τις εργάσιμες μέρες και ώρες, καθώς επίσης και όλες τις συγκεκριμένες πληροφορίες για την μεταφορά. Τέτοιες πληροφορίες περιλαμβάνουν αν θα χρησιμοποιηθεί ένας ή δυο οδηγοί φορτηγών, το μέγιστο όριο ημερήσιου χρόνου οδήγησης, χρόνου φόρτωσης και παράδοσης.

Το λογισμικό Octane έχει αποδειχθεί ότι είναι ένα εξαιρετικά πολύτιμο εργαλείο στην μελέτη των σεναρίων του τύπου 'τι θα συμβεί αν;'. Για παράδειγμα, ποιες θα ήταν οι επιπτώσεις αν μια αποθήκη έκλεινε; Ποία θα ήταν η επίδραση αν άλλαζε η προέλευση των πόρων; Γίνεται μία εύκολη σύγκριση ενός πλάνου βελτιστοποίησης με λύση που προκύπτει καταγράφοντας τις αλλαγές. Αφού έχουν εισαχθεί όλα τα δεδομένα, το λογισμικό Octane παίρνει λίγα λεπτά για να εξετάσει διεξοδικά όλες τις δυνατότητες και να δημιουργήσει την βέλτιστη λύση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΩΝ

Η Total είναι ικανοποιημένη από αυτή την αρχική ενασχόληση της και πλέον στοχεύει να παίξει ρόλο με την παροχή προσομοιώσεων αλυσίδας, του Octane στις γειτονικές χώρες.

1.4 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο, έγινε η περιγραφή του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων, δόθηκε ένα παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση του και παρουσιάστηκαν τρία λογισμικά προγράμματα που το επιλύουν. Με τα παραπάνω έγινε κατανοητή η πολυπλοκότητα του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων αλλά και το που μπορεί να εφαρμοστεί η λύση του. Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα γίνει περιγραφή των επιστημονικών δημοσιεύσεων που υπάρχουν για τα μοντέλα και τους τρόπους επίλυσης που ασχολούνται με το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τρεις επιστημονικές δημοσιεύσεις που σχετίζονται με το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων. Θα δοθεί η ανάλυση για κάθε μία από αυτές και θα γίνει σύγκριση με το πρόβλημα που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

2.2 Περιγραφή επιστημονικών δημοσιεύσεων

2.2.1 Distribution planning of bulk lubricants at BP Turkey (Furkan Uzar & Çatay, 2012)

Αυτή η εργασία έχει ως σκοπό την αντιμετώπιση του προβλήματος του σχεδιασμού της διανομής χύμα λιπαντικών για την εταιρία πετρελαϊκών προϊόντων BP της Τουρκίας. Το πρόβλημα αφορά την διανομή των διαφόρων προϊόντων λιπαντικών από μία μονάδα παραγωγής σε βιομηχανικούς πελάτες με ένα ετερογενή στόλο οχημάτων. Ο στόλος αυτός αποτελείται από βυτιοφόρα, όπου σε κάθε δεξαμενή μπορεί να ανατεθεί μόνο ένα είδος λιπαντικού. Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της μεταφοράς των λιπαντικών. Το πρόβλημα συνιστάται κυρίως από την ανάθεση των παραγγελιών των πελατών στις δεξαμενές των βυτιοφόρων και ταυτόχρονα από τον προσδιορισμό των δρομολογίων των βυτιοφόρων. Το πρόβλημα αυτό έχει μοντελοποιηθεί ως ένα πρόβλημα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (Mixed Integer Linear Programming-MILP). Δεδομένου ότι το μοντέλο είναι δύσκολο να λυθεί για το πραγματικό βιομηχανικό περιβάλλον προτείνονται δύο ευρετικές προσεγγίσεις και συγκρίνονται οι επιδόσεις τους. Η πρώτη προσέγγιση είναι μία χαλάρωση γραμμικού προγραμματισμού που βασίζεται σε αλγόριθμο (linear programming relaxation-based algorithm), ενώ η δεύτερη είναι η rolling-horizon threshold heuristic. Ακόμα προτείνονται δύο παραλλαγές της τελευταίας προσέγγισης, η πρώτη είναι να δίνεται προτεραιότητα στην απόσταση και η δεύτερη να έχει προτεραιότητα την ημερομηνία λήξης της παράδοσης. Η αριθμητική ανάλυση που έγινε βασισμένη σε στοιχεία της εταιρίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

δείχνει ότι και οι δύο παραλλαγές του rolling-horizon threshold heuristic είναι σε θέση να παρέχουν καλά και γρήγορα αποτελέσματα.

Η προτεινόμενη ευρετική μέθοδος της γραμμικής χαλάρωσης (linear programming relaxation-based heuristic-LPH) ουσιαστικά χρησιμοποιεί την γραμμική χαλάρωση με ορισμένες τεχνικές στρογγυλοποίησης και προσπαθεί να βρει μία καλή εφικτή λύση για το αρχικό πρόβλημα. Αρχικά πειράματα που έγιναν σχετικά με την γραμμική χαλάρωση έδειξαν ότι η ύπαρξη του κόστους επίσκεψης στην αντικειμενική συνάρτηση προκαλεί τη μη αποτελεσματική χρησιμοποίηση των βυτιοφόρων στις λύσεις. Γι' αυτό το λόγο η ευρετική μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο για την εξέταση του κόστους δρομολόγησης.

Η μέθοδος επίλυσης που λέγεται rolling-horizon threshold heuristic είναι μία ευρετική τμηματική προσέγγιση της βέλτιστης λύσης. Ο πρωταρχικός της στόχος είναι να βρεθεί ένα ελάχιστο κόστος για το πλάνο μεταφοράς ικανοποιώντας τις ζητήσεις με ημερομηνία λήξης 1. Προτείνονται δύο παραλλαγές, η πρώτη έχει ως προτεραιότητα την απόσταση, ενώ η δεύτερη έχει την ημερομηνία λήξης της παράδοσης στην επιλογή της παραγγελίας του επόμενου πελάτη.

Στο συγκεκριμένο άρθρο παρουσιάζεται ένα μοντέλο MILP που έχει δημιουργηθεί για την λύση του προβλήματος της διανομής των λιπαντικών καθώς επίσης και ένα παράδειγμα. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ονοματολογίες των δεικτών αλλά και οι τιμές που λαμβάνουν αυτές για το παράδειγμα καθώς επίσης και ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης και των περιορισμών για το μοντέλο του MILP για το συγκεκριμένο παράδειγμα.

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
T	σύνολο των ημερών,	15
K	σύνολο των πελατών,	13
P	σύνολο των προϊόντων,	5
J_t	σύνολο των βυτιοφόρων που είναι διαθέσιμα την ημέρα t ,	12
I_j	σύνολο των δεξαμενών στο βυτιοφόρο j ,	5
R	σύνολο των πόλεων,	6
J_t^B	σύνολο των βυτιοφόρων μεγάλου μεγέθους,	9
K_r	σύνολο των πελατών που βρίσκονται στην πόλη r ,	3
K_s	σύνολο των «μικρών πελατών».	2

Πίνακας 2-1: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το παράδειγμα

Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης	$TJ_t[K(2I_jP + 1) + R(2 + R)]$	127980
Συνολικός αριθμός περιορισμών	$T\{P(K + I_jJ_t^B K_s) + J_t[I_j(2KP + 1) + R(K_r + 2 + R) + K + 2]\}$	140205

Πίνακας 2-2: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το παράδειγμα

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζει κάποιες διαφορές με το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Αρχικά, η εργασία των (Furkan Uzar & Çatay, 2012) έχει ως στόχο την μεταφορά διαφόρων τύπων λιπαντικών, ενώ η διπλωματική εργασία αναφέρεται σε μεταφορά καυσίμων διαφορετικού τύπου. Αυτή η διαφορά δεν είναι σημαντική, διότι και στις δύο περιπτώσεις γίνεται μεταφορά διαφόρων τύπων προϊόντων, που στη μία περίπτωση τα προϊόντα είναι λιπαντικά και στην άλλη είναι υγρά καύσιμα. Επιπρόσθετα, στην εργασία για την διανομή λιπαντικών σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ημερομηνία λήξης της παράδοσης των προϊόντων, δηλαδή σε όλους τους τρόπους επίλυσης του προβλήματος αυτού, εμπεριέχεται ο παράγοντας χρόνος, κάτι που στο πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων δε λαμβάνει χώρα. Άλλη μία διαφορά που υπάρχει σε σχέση με την διπλωματική εργασία είναι ότι στην εργασία για την διανομή λιπαντικών τα φορτηγά χωρίζονται σε μεγάλου και μικρού μεγέθους. Τα φορτηγά μικρού μεγέθους έχουν συνολική χωρητικότητα περίπου 7 τόνους και χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετήσουν πελάτες των οποίων η περιοχή εκφόρτωσης δεν είναι αρκετά μεγάλη για να φιλοξενήσει τα φορτηγά μεγάλου μεγέθους. Οι (Furkan Uzar & Çatay, 2012) αναφέρονται σε αυτό το είδος των πελατών ως «μικροί πελάτες», ενώ οι πελάτες που μπορούν να εξυπηρετηθούν με οποιοδήποτε όχημα, ονομάζονται «μεγάλοι πελάτες». Στο πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων δεν υπάρχει αυτός ο διαχωρισμός.

2.2.2 Heuristic approach to fleet composition problem (Redmer, Żak, Sawicki, & Maciejewski, 2012)

Η εργασία αυτή ασχολείται με το πρόβλημα σύνθεσης στόλου (Fleet Composition Problem-FCP), για ένα σύστημα διανομής καυσίμου, που αποτελείται από μία περιφερειακή αποθήκη καυσίμου

(depot) και 100 πρατήρια (πελάτες). Οι παραγγελίες των πελατών περιλαμβάνουν τυχαίες ποσότητες από τα 4 είδη καυσίμου, τα οποία διανέμονται με εξειδικευμένο στόλο βυτιοφόρων. Ο στόλος των βυτιοφόρων περιλαμβάνει 4 και 8 χωρίσματα-δεξαμενές τα οποία χαρακτηρίζονται από διαφορετικές χωρητικότητες και σταθερό αλλά και μεταβλητό κόστος. Εφόσον διαφορετικοί τύποι καυσίμου δεν μπορούν να αναμιχθούν μαζί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μεταφοράς των παραγγελιών, είναι αναγκαία η συγκεκριμένη ανάθεση των παραγγελιών σε συγκεκριμένα τμήματα (χωρίσματα) των βυτιοφόρων. Το πρόβλημα απόφασης συνιστάται συνθέτοντας τον βέλτιστο στόλο βυτιοφόρων, δηλαδή στον καθορισμό των βέλτιστων τύπων βυτιοφόρων που θα χρησιμοποιηθούν και τον βέλτιστο αριθμό των οχημάτων κάθε τύπου. Θεωρείται ως ένα πρόβλημα ανάθεσης οχημάτων, στο οποίο υπάρχουν διάφορα είδη οχημάτων, τα οποία πρέπει να ικανοποιήσουν την ζήτηση των πελατών και διατυπώνεται ως ένα πρόβλημα μαθηματικού προγραμματισμού, όπου το κριτήριο βελτιστοποίησης είναι το συνολικό ημερήσιο κόστος διανομής. Προτείνονται δύο εναλλακτικοί τρόποι μορφοποίησης του προβλήματος, που βασίζονται σε διαφορετικές αναθέσεις των οχημάτων που διατίθενται για τις εργασίες της μεταφοράς. Για να λυθεί το πρόβλημα παρουσιάζονται δύο τρόποι μορφοποίησης, που κατασκευάζονται από συγκεκριμένες εναλλακτικές ευρετικές διαδικασίες. Οι συγκεκριμένοι τρόποι βασίζονται σε αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης ((local search algorithm)-LS), σε εξελικτικό αλγόριθμο ((evolutionary algorithm)-EA) και σε υβριδικό αλγόριθμο που συνδυάζει τους προηγούμενους δύο ((hybrid algorithm)-LS+EA). Έγιναν υπολογιστικά πειράματα και τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται και συγκρίνονται στο επιστημονικό έγγραφο των (Redmer, Żak, Sawicki, & Maciejewski, 2012).

Ο αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης ((local search algorithm)-LS) είναι μία μετά-ευρετική (metaheuristic) μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση δύσκολων υπολογιστικών προβλημάτων βελτιστοποίησης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα που μπορούν να διατυπωθούν ως εξεύρεση λύσης που μεγιστοποιεί κάποιο κριτήριο μεταξύ ενός αριθμού υποψηφίων λύσεων. Ο αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης (local search algorithm) κινείται από λύση σε λύση μέσα σε ένα χώρο από υποψήφιες λύσεις (χώρος αναζήτησης) εφαρμόζοντας τοπικές αλλαγές, έως ότου μία λύση που βρεθεί να κριθεί βέλτιστη ή αν έχει παρέλθει κάποιο συγκεκριμένο χρονικό όριο.

Ως μετά-ευρετική (metaheuristic) μέθοδος ορίζεται μία υπολογιστική μέθοδος που βελτιστοποιεί ένα πρόβλημα με επαναληπτικές προσπάθειες με σκοπό να βελτιστοποιήσει μία υποψήφια λύση σε σχέση με ένα συγκεκριμένο μέτρο ποιότητας. Η μετά-ευρετική (metaheuristic) μέθοδος κάνει λίγες ή καθόλου παραδοχές σχετικά με το πρόβλημα που εξετάζει έτσι ώστε να ψάξει σε μεγαλύτερους χώρους υποψηφίων λύσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

Στην τεχνητή νοημοσύνη, ο εξελικτικός αλγόριθμος (evolutionary algorithm) βασίζονται σε μετά-ευρετικό (metaheuristic) αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιεί μηχανισμούς εμπνευσμένους από την βιολογική εξέλιξη, όπως η αναπαραγωγή, η μετάλλαξη, ο ανασυνδυασμός και η επιλογή. Οι υποψήφιες λύσεις για το πρόβλημα βελτιστοποίησης παίζουν τον ρόλο των ατόμων σε έναν πληθυσμό και η καταλληλότητα της συνάρτησης καθορίζει το περιβάλλον μέσα στο οποίο βρίσκονται οι λύσεις.

Ο υβριδικός αλγόριθμος (hybrid algorithm) εκμεταλλεύεται τις καλές ιδιότητες των διαφορετικών μεθόδων με την εφαρμογή του σε προβλήματα που μπορεί να λύσει αποτελεσματικά. Στην συγκεκριμένη εργασία των (Redmer, Žak, Sawicki, & Maciejewski, 2012) ο υβριδικός αλγόριθμος (hybrid algorithm) συνδυάζει τον αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης και τον εξελικτικό αλγόριθμο.

Σε αυτή την εργασία δε παρουσιάζεται κάποιο μαθηματικό μοντέλο για την ακριβή λύση του προβλήματος που παρουσιάζεται, αλλά μόνο ευρετικοί τρόποι επίλυσης. Επομένως, δεν είναι δυνατό να δοθούν τα σύνολα των μεταβλητών απόφασης και των περιορισμών.

Οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα δυο προβλήματα, της σύνθεσης στόλου και της διανομής υγρών καυσίμων, έχουν σχέση με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για να λυθεί το κάθε πρόβλημα. Συγκεκριμένα οι διαφορές εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

	Πρόβλημα σύνθεσης στόλου	Πρόβλημα διανομής υγρών καυσίμων
Είδη καυσίμου	4	6
Χωρίσματα βυτιοφόρων	4 και 8	από 5 έως 10
Σημεία εφαρμογής του προβλήματος	1 αποθήκη και 100 πρατήρια	1 αποθήκη και 38 πρατήρια
Ζητήσεις πρατηρίων	τυχαίες	καθορισμένες

Πίνακας 2-3: Διαφορές Προβλήματος σύνθεσης στόλου - Προβλήματος διανομής υγρών καυσίμων

2.2.3 Variable Neighborhood Search heuristic for the Inventory Routing Problem in fuel delivery (Popović, Vidović, & Radivojević, 2012)

Στη εργασία αυτή παρατηρούμε την επέκταση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem-VRP) στην παροχή καυσίμου, που περιλαμβάνει τη διαχείριση αποθεμάτων στους σταθμούς βενζίνης και μπορεί να χαρακτηριστεί Inventory Routing Problem (IRP) στη διανομή καυσίμων. Στόχος του IRP είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της δρομολόγησης των οχημάτων και η διαχείριση των αποθεμάτων. Έχει αναπτυχθεί μία γειτονική μεταβλητή αναζήτηση (Variable Neighborhood Search-VNS), ευρετική μέθοδος για την επίλυση ενός IRP με πολλά προϊόντα και πολλές περιόδους στην διανομή καυσίμων με ομογενή οχήματα, που το καθένα έχει πολλά διαμερίσματα και με ντετερμινιστική ζήτηση, η οποία ποικίλει ανάλογα με το πρατήριο και το είδος του καυσίμου. Η στοχαστική ευρετική μέθοδος VNS συγκρίνεται με μοντέλο του MILP και με την ευρετική μέθοδο μεταφοράς διαμερισμάτων (Compartment Transfer-CT). Για τρία προβλήματα διαφορετικής κλίμακας, με διαφορετικούς τύπους οχημάτων, η ευρετική μέθοδος VNS δίνει καλύτερη λύση από την ευρετική μέθοδο CT. Επίσης, για προβλήματα μικρότερης κλίμακας, η μέθοδος VNS ήταν ικανή να αποκτήσει λύσεις, που είναι κοντά στις βέλτιστες. Το μοντέλο του MILP είναι σε θέση να λύσει μόνο προβλήματα μικρότερης κλίμακας.

Ο αλγόριθμος VNS, ως ένα νέο μετά-ευρετικό (metaheuristic) σχέδιο, αναπτύχθηκε από τους (Mladenovic & Hansen, 1997) με τη βασική ιδέα της συστηματικής αλλαγής της γειτονίας μέσα σε ένα αλγόριθμο τοπικής αναζήτησης. Αυτό σημαίνει ότι διάφορες γειτονιές χρησιμοποιούνται για την αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Κάθε επιτυχημένη γειτονιά καλύπτει ένα μεγαλύτερο χώρο αναζήτησης. Η διαδικασία είναι υπεύθυνη για ένα νέο σημείο εκκίνησης για μία τοπική αναζήτηση, σε κάθε γειτονιά. Όταν βρεθεί μία καλύτερη λύση, η τρέχουσα καλύτερη λύση ενημερώνεται και ο αλγόριθμος VNS ξεκινά την αναζήτηση του από την πρώτη γειτονιά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά κριτήρια τερματισμού, όπως ο χρόνος υπολογισμού, ο αριθμός των επαναλήψεων και άλλα.

Η ευρετική μέθοδος CT, βασίζεται στην ιδέα της επίλυσης του μοντέλου IRP του MILP και στην επαναληπτική αλλαγή του σχεδίου παράδοσης μεταφέροντας τις παραδόσεις μία ή λίγες ώρες νωρίτερα. Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία της εύρεσης της καλύτερης λύσης, τα στάδια βελτίωσης αξιολογούνται με τη χρήση του υπολογισμού επιλεξιμότητας και για κάθε μέρα τηρείται μόνο ένας συγκεκριμένος αριθμός από μεταβιβάσεις, που είναι πιο επιλέξιμες. Η εκτίμηση της επιλεξιμότητας βασίζεται στις αξίες από τρία κριτήρια, όπως η δυνατότητα μετακίνησης της παράδοσης, η αλλαγή των αριθμών των πρατηρίων που εξυπηρετούνται και η χωρική ομαδοποίηση των πρατηρίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ

Στην εργασία των (Ρορονιό, Vidονιό, & Radivojeνιό, 2012) παρουσιάζεται ένα μοντέλο MILP που έχει δημιουργηθεί για τη διανομή καυσίμων καθώς επίσης και ένα παράδειγμα. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι ονοματολογίες των δεικτών αλλά και οι τιμές που λαμβάνουν αυτές για το παράδειγμα καθώς επίσης και ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης και των περιορισμών για το μοντέλο του MILP για το συγκεκριμένο παράδειγμα.

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
I	σύνολο πρατηρίων	10
J	σύνολο τύπων καυσίμου	3
T	σύνολο των ημερών	3
K	σύνολο των διαμερισμάτων	3

Πίνακας 2-4: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το παράδειγμα

Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης	$IT[I(I + 1) + JK + 2]$	3630
Συνολικός αριθμός περιορισμών	$2IT(J + I + I^2 + 2) + I + T$	6913

Πίνακας 2-5: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το παράδειγμα

Σημαντική διαφορά μεταξύ της συγκεκριμένης επιστημονικής δημοσίευσης με το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων είναι ότι στην εργασία των (Ρορονιό, Vidονιό, & Radivojeνιό, 2012) γίνεται ο σχεδιασμός της διανομής για έναν αριθμό ημερών, ενώ στο πρόβλημα που εξετάζεται στην διπλωματική εργασία ο σχεδιασμός της διανομής γίνεται για μία ημέρα, αφού δε λαμβάνεται υπ' όψιν ο χρόνος. Επίσης, στην επιστημονική έρευνα ο στόλος με τον οποίο γίνεται η διανομή καυσίμων είναι ομογενής, ενώ στο πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων ο στόλος είναι ομογενής.

2.3 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε η ανάλυση τριών επιστημονικών δημοσιεύσεων, των οποίων το αντικείμενο είναι η μελέτη της διανομής καυσίμων. Παρουσιάστηκαν οι διαφορές που υπήρχαν ανάμεσα σε κάθε μία από αυτές με το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων, που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Συνοψίζοντας, σε όλες τις εργασίες, συμπεριλαμβανομένου και τις διπλωματικής εργασίας, εξετάζεται το πρόβλημα διανομής διαφόρων προϊόντων (καύσιμα ή λιπαντικά) από ένα σημείο αφετηρίας σε έναν αριθμό από σημεία (πελάτες). Αυτή η διανομή γίνεται με ετερογενή στόλο βυτιοφόρων, εκτός από την εργασία των (Porović, Vidović, & Radivojević, 2012) όπου ο στόλος είναι ομογενής. Κάθε βυτιφόρο έχει δεξαμενές-χωρίσματα, δηλαδή διαμερίσματα. Επίσης, σε κάθε διαμέρισμα κάθε βυτιοφόρου μπορεί να τοποθετηθεί ένα είδος προϊόντος. Ακόμα, στόχος όλων των εργασιών είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Τέλος, σε όλες τις επιστημονικές έρευνες το μοντέλο MILP που έχει δημιουργηθεί είναι δύσκολο να λυθεί για πρόβλημα μεγάλης κλίμακας και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρετικές μέθοδοι για την επίλυση του εκάστοτε προβλήματος. Στο επόμενο κεφάλαιο παραθέτονται μαθηματικά μοντέλα αλλά και ευρετικές μέθοδοι που έχουν δημιουργηθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων.

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων, τα λογισμικά προγράμματα που υπάρχουν για τα συγκεκριμένα είδη προβλημάτων, καθώς και επιστημονικές έρευνες που έχουν γίνει με σκοπό την επίλυση του προβλήματος της διανομής καυσίμων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, θα γίνει η περιγραφή μαθηματικών μοντέλων και ευρετικών μεθόδων που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας για την επίλυση του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων. Τα μοντέλα και ευρετικοί μέθοδοι χωρίζονται σε δύο ομάδες, αυτά που λαμβάνουν υπ' όψιν τους μία παραδοχή και αυτά που δεν την λαμβάνουν. Η παραδοχή που χρησιμοποιείται για να λυθεί το πρόβλημα της διανομής καυσίμων είναι ότι όλες οι ζητήσεις από οποιοδήποτε είδος πρέπει να είναι της τάξεως των 3000 λίτρων, καθώς επίσης και τα χωρίσματα-διαμερίσματα από τα βυτιοφόρα πρέπει να έχουν χωρητικότητα ίση με 3000 λίτρα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται τα διαφορετικά είδη στις ζητήσεις των πρατηρίων, αφού κάθε είδος θα τοποθετηθεί σε ένα ή παραπάνω του ενός διαμερίσματα κάποιου βυτιοφόρου. Έτσι λοιπόν, η ζήτηση του κάθε είδους κάθε πρατηρίου και η συνολική χωρητικότητα κάθε βυτιοφόρου διαιρούνται με το 3000 και ο αριθμός που προκύπτει είναι η ζήτηση του εκάστοτε πρατηρίου και η χωρητικότητα του εκάστοτε βυτιοφόρου, αντίστοιχα.

3.2 Μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι με χρήση παραδοχής

Σε αυτή την ενότητα, θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα και οι ευρετικοί μέθοδοι που χρησιμοποιούν την παραδοχή, για την επίλυση της διανομής καυσίμων. Για την καλύτερη κατανόηση του ορισμού της παραδοχής δίνεται το παρακάτω παράδειγμα. Αν η ζήτηση ενός πρατηρίου από ένα συγκεκριμένο είδος είναι 6000 λίτρα τότε η ζήτηση αυτού του πρατηρίου για το συγκεκριμένο είδος γίνεται $2 \left(= \frac{6000}{3000} \right)$ μονάδες, αν είναι 12000 λίτρα τότε γίνεται $4 \left(= \frac{12000}{3000} \right)$ μονάδες κ.ο.κ. Ακόμα, η συνολική ζήτηση ενός πρατηρίου είναι το άθροισμα των ζητήσεων του κάθε είδους για το συγκεκριμένο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

πρατήριο. Δηλαδή, αν ένα πρατήριο έχει ζήτηση από τρία διαφορετικά είδη και η ποσότητα του κάθε είδους είναι: 2, 4 και 3 αντίστοιχα, τότε η ζήτηση αυτού του πρατηρίου θα είναι ίση με το άθροισμα της ζήτησης από το εκάστοτε είδος υγρού καυσίμου, δηλαδή 9. Αν η συνολική χωρητικότητα ενός βυτιοφόρου είναι 18000 λίτρα τότε η συνολική χωρητικότητα αυτού του βυτιοφόρου γίνεται $6 \left(= \frac{18000}{3000} \right)$ μονάδες, αν είναι 36000 λίτρα τότε γίνεται $12 \left(= \frac{36000}{3000} \right)$ μονάδες κ.ο.κ. Να σημειωθεί ότι οι ζητήσεις πρέπει να είναι πολλαπλάσιο των 3000, έτσι ώστε όταν διαιρεθούν με αυτό τον αριθμό το νούμερο που θα προκύψει να είναι ακέραιος αριθμός.

Η επιλογή του αριθμού 3000 δεν είναι τυχαία, αλλά έχει κάποιο νόημα. Αρχικά, από το αριθμητικό παράδειγμα που υπάρχει στη διάθεση μας, οι περισσότερες ζητήσεις είναι της τάξεως των 3000 λίτρων. Ακόμα, ο αριθμός αυτός ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα, διότι αν αντί του αριθμού 3000 είχε επιλεγεί ο αριθμός 1000 ή 6000 θα απείχε πολύ από την πραγματικότητα, γιατί με την επιλογή του 1000 θα υπήρχαν πάρα πολλά διαμερίσματα στα βυτιοφόρα και με την επιλογή του 6000 θα υπήρχαν πολύ λίγα. Επομένως, για την αποφυγή των ακραίων περιπτώσεων επιλέχτηκε ένας μέσος όρος, που αυτός είναι ο αριθμός 3000.

Έτσι λοιπόν, με αυτή τη παραδοχή έχει αποφευχθεί η πολυπλοκότητα του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων, αφού πλέον δεν χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψιν τα διαφορετικά είδη καυσίμου και τα διαμερίσματα των βυτιοφόρων. Επομένως, το πρόβλημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem- (VRP)).

Το (VRP) είναι μία συνδυαστική βελτιστοποίηση και πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού που επιδιώκει να εξυπηρετήσει έναν αριθμό πελατών, με ένα στόλο οχημάτων. Σύμφωνα με τους (Dantzig & Ramser, 1959) το (VRP) είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στους τομείς της μεταφοράς, της διανομής και των συστημάτων εφοδιασμού και διακίνησης προϊόντων (logistics). Σκοπός του (VRP) είναι η παράδοση των αγαθών που βρίσκονται σε μία κεντρική αποθήκη σε πελάτες που έχουν δώσει τις παραγγελίες για τα εμπορεύματα αυτά, έχοντας ως στόχο να επιτύχει ελαχιστοποίηση του κόστους της διανομής των αγαθών.

Επίσης, να σημειωθεί ότι, σε όλα τα μαθηματικά μοντέλα και σε όλους τους ευρετικούς τρόπους επίλυσης, το διυλιστήριο θεωρείται σαν να είναι το τελευταίο πρατήριο και έχει ζήτηση ίση με 0.

Πριν την παρουσίαση των τρόπων επίλυσης του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων με τη χρήση της παραδοχής, δίνονται τα δεδομένα του προβλήματος. Συγκεκριμένα, στους πίνακες που ακολουθούν αποτυπώνονται οι ζητήσεις των πρατηρίων και οι χωρητικότητες των βυτιοφόρων σύμφωνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

με την παραδοχή που έχει γίνει. Αντίστοιχοι πίνακες θα παρουσιαστούν στην ενότητα 3.3, οι οποίοι θα περιέχουν τα δεδομένα του προβλήματος χωρίς την χρήση της παραδοχής, όπως συμβαίνει πιο συχνά στην πραγματικότητα.

Πρατήριο	Ζήτηση
0	6
1	6
2	6
3	8
4	6
5	5
6	6
7	5
8	4
9	6
10	10
11	4
12	6
13	7
14	5
15	7
16	4
17	3
18	3
19	3
20	7
21	4
22	3
23	5
24	3
25	3
26	5
27	4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΕΠΙΛΥΣΗΣ

28	2
29	3
30	1
31	1
32	2
33	7
34	7
35	3
36	7
37	8
38	0

Πίνακας 3-1: Ζητήσεις πρατηρίων με παραδοχή

Βυτιοφόρο	Χωρητικότητα
0	12
1	12
2	12
3	12
4	12
5	12
6	12
7	6
8	6
9	6
10	6
11	6
12	6
13	8
14	8
15	8
16	8
17	8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΕΠΙΛΥΣΗΣ

18	8
19	8
20	12
21	12

Πίνακας 3-2: Χωρητικότητες βυτιοφόρων με παραδοχή

Τα βυτιοφόρα 0 έως 6 ανήκουν στον στόλο της εταιρίας παραγωγής υγρών καυσίμων και τα υπόλοιπα μισθώνονται σε ιδιώτες.

3.2.1 Κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP)

Αρχικά, πριν την παρουσίαση του κλασικού μαθηματικού μοντέλου του (VRP) δίνεται ο παρακάτω πίνακας, ο οποίος περιέχει τους δείκτες, τον συμβολισμό των δεδομένων και τις μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιούνται στο συγκεκριμένο μοντέλο του (VRP).

Ονοματολογία	
Δείκτες	
i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
h	πρατήριο,
k	βυτιοφόρο,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων.
Δεδομένα	
Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i ,
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j ,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,
Μεταβλητές Απόφασης	
$X_{i,j,k}$	δυναμική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το ζευγάρι των

Y_i πρατηρίων i, j είναι στη διαδρομή του βυτιοφόρου k , 0 αν όχι,
συνεχής μεταβλητή που δείχνει την σειρά με την οποία το πρατήριο i
έχει επισκεφτεί, χρησιμοποιείται για την απαλοιφή των
υποδιαδρομών.

Πίνακας 3-3: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το (VRP) με παραδοχή

Ο Πίνακας 3-3 δεν περιέχει τον αριθμό των βυτιοφόρων που μισθώνονται από τους ιδιώτες, αυτό γίνεται διότι ο αριθμός των μισθωμένων βυτιοφόρων προκύπτει από την αφαίρεση του αριθμού των βυτιοφόρων της εταιρίας από τον συνολικό αριθμό βυτιοφόρων, δηλαδή είναι ίσος με $NTT - NOT$. Σύμφωνα με τη δημοσίευση των (Kulkarni & Bhave, 1985) το κλασικό μαθηματικό μοντέλου του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων (VRP) είναι το εξής:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NTT} C_{i,j} X_{i,j,k} \quad (3.1)$$

$$\text{Περιορισμοί: } \sum_{i=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NTT} X_{i,j,k} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NTT} X_{i,j,k} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^{NS} X_{i,h,k} - \sum_{j=1}^{NS} X_{h,j,k} = 0, \quad k = 1, 2, \dots, NTT, h = 1, 2, \dots, NS \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^{NS} Q_i \sum_{j=1}^{NS} X_{i,j,k} \leq P_k, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.5)$$

$$\sum_{j=1}^{NS-1} X_{NS,j,k} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.6)$$

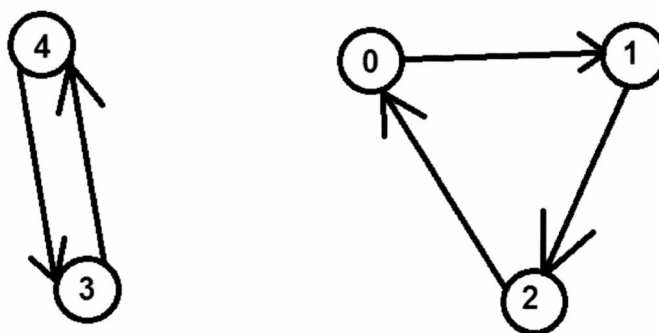
$$\sum_{i=1}^{NS-1} X_{i,NS,k} \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.7)$$

$$Y_i - Y_j + NS X_{i,j,k} \leq NS - 1, \quad 1 \leq i, j \leq NS - 1, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.8)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.1) εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης. Οι περιορισμοί (3.2) και (3.3) εκφράζουν ότι κάθε πρατήριο i , εκτός του τελευταίου, εξυπηρετείται από ένα και μόνο βυτιοφόρο k . Ο περιορισμός (3.4) εγγυάται την συνέχεια στη διαδρομή κάθε βυτιοφόρου, αφού αν ένα βυτιοφόρο k μεταβεί σε ένα πρατήριο h , στη συνέχεια θα πρέπει να φύγει από αυτό για να συνεχίσει το 'ταξίδι' του. Ο περιορισμός (3.5) είναι περιορισμός χωρητικότητας και καθορίζει ότι το βυτιοφόρο k που θα εξυπηρετήσει ένα πρατήριο i έχει χωρητικότητα το λιγότερο ίση με τη ζήτηση του συγκεκριμένου πρατηρίου. Οι περιορισμοί (3.6) και (3.7) βεβαιώνουν ότι αν χρησιμοποιηθεί ένα βυτιοφόρο τότε αυτό πρέπει να ξεκινήσει και να καταλήξει στο ίδιο σημείο, που είναι το τελευταίο πρατήριο, το σημείο εκκίνησης όλων των οχημάτων. Δηλαδή, για το πρόβλημα που μελετάται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, αυτό το σημείο είναι το δυλιστήριο. Ο περιορισμός (3.8) εξαλείφει τη περίπτωση δημιουργίας υποδιαδρομών στο 'ταξίδι' κάθε βυτιοφόρου.

Χωρίς τον περιορισμό (3.8) δεν υπάρχει συνεχόμενη ροή στο 'ταξίδι' του κάθε βυτιοφόρου και υπάρχει περίπτωση δημιουργίας υποδιαδρομών. Η έννοια της δημιουργίας υποδιαδρομών μπορεί να γίνει κατανοητή από το παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3-1: Υποδιαδρομές

Με τον περιορισμό (3.8) τα πρατήρια που βρίσκονται στη διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε βυτιοφόρο αναγκάζονται να συνδεθούν με τέτοια σειρά, ώστε ο μέγιστος αριθμός των πρατηρίων που παρεμβάλλονται ανάμεσα τους να είναι $NS-1$. Αυτή η σειρά που δημιουργείται δεν επιτρέπει τη δημιουργία υποδιαδρομών.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς των καυσίμων για την εταιρία, το οποίο προκύπτει από τα χιλιόμετρα που θα διανύσουν τα βυτιοφόρα της

εταιρίας και τα λίτρα καυσίμου που μεταφέρονται από τους ιδιώτες. Για το λόγο αυτό στην παραπάνω διατύπωση του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων η αντικειμενική συνάρτηση διαμορφώνεται ως εξής:

$$\text{Minimize} \quad Z = \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} C_{i,j} X_{i,j,k} \right) * c + \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=NOT+1}^{NTT} Q_j X_{i,j,k} \right) * l \quad (3.9)$$

Στην εξίσωση (3.9) η σταθερά c εκφράζει το κόστος ανά χιλιόμετρο που διανύουν τα φορτηγά της εταιρίας και η σταθερά l εκφράζει το κόστος ανά μεταφερόμενη μονάδα (3000 λίτρα) από τα μισθωμένα βυτιοφόρα.

3.2.2 Ανάπτυξη ισχυουσών ανισοτήτων (valid inequalities)

Οι ισχύουσες ανισότητες (valid inequalities) είναι περιορισμοί, οι οποίοι πηγάζουν από τα δεδομένα του προβλήματος και από τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Οι ισχύουσες ανισότητες τοποθετούνται για να περιοριστεί ο χώρος λύσεων και έτσι ο αλγόριθμος επίλυσης που θα αναπτυχθεί να έχει την ευκαιρία να ελέγξει για την βέλτιστη λύση σε μικρότερο χρόνο και πιθανώς να βρει τη βέλτιστη λύση με μικρότερο υπολογιστικό φορτίο και κατ' επέκταση σε μικρότερο υπολογιστικό χρόνο (CPU solution time). Να σημειωθεί ότι οι επιπρόσθετες ισχύουσες ανισότητες δεν αποκλείουν την βέλτιστη λύση, αποκλείουν μόνο λύσεις που εκ των πρότερων γνωρίζουμε ότι δε θα μπορούσαν να είναι βέλτιστες. Για το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων με παραδοχή έχουν δημιουργηθεί δύο ισχύουσες ανισότητες, οι οποίες τοποθετούνται στο μοντέλο του (VRP). Αυτές είναι οι εξής:

$$\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} X_{i,j,k} \leq UB, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.10)$$

$$P_k \geq X_{NS,j,k} Q_j, \quad j = 1, 2, \dots, NS, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.11)$$

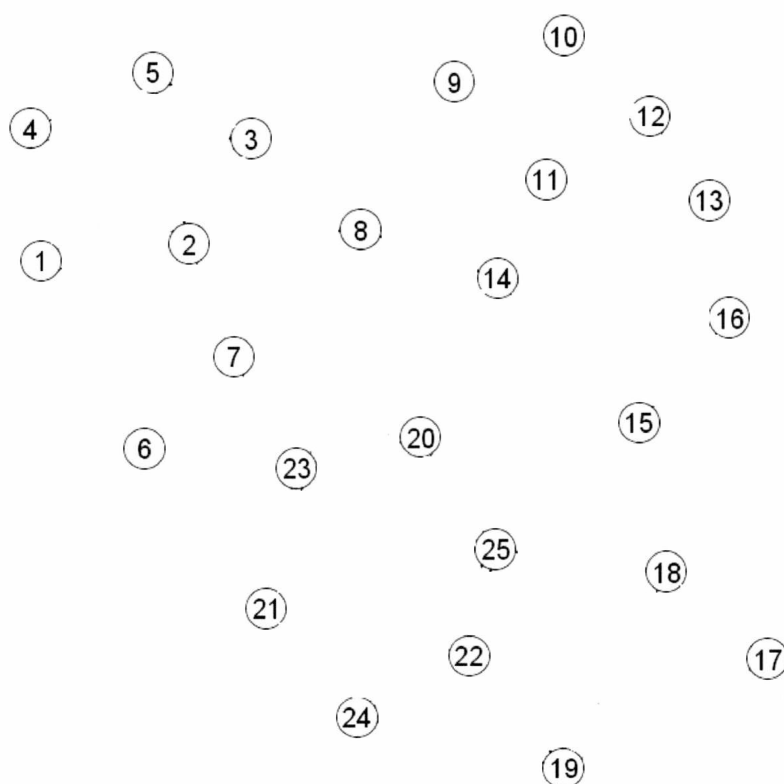
Η ισχύουσα ανισότητα (3.10) εξασφαλίζει ότι ένα βυτιοφόρο θα επισκεφτεί το πολύ UB σημεία, δηλαδή $UB - 2$ πρατήρια, αφού θα επισκεφτεί και δύο φορές το διυλιστήριο, μία όταν ξεκινήσει και μία όταν ολοκληρώσει την διανομή καυσίμων. Η επιλογή του αριθμού UB δεν είναι τυχαία, αλλά προέκυψε από τα αποτελέσματα αλλά και την πρακτική που εφαρμόζεται από τις εταιρίες διανομής. Ο αριθμός UB , συμβολίζει ένα άνω όριο. Από τα αποτελέσματα των μοντέλων με την παραδοχή ο μέγιστος αριθμός

πρατηρίων που μπορούσε να επισκεφτεί ένα βυτιοφόρο είναι τρία, άρα $UB = 5$. Όμως τα αποτελέσματα από μία ευρετική μέθοδο χωρίς την παραδοχή, έδειξαν ότι ένα βυτιοφόρο μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και τέσσερα πρατήρια, δηλαδή $UB = 6$. Επομένως, το άνω όριο στον περιορισμό (3.10) μπορεί να πάρει δύο τιμές, είτε την τιμή 5, είτε την τιμή 6.

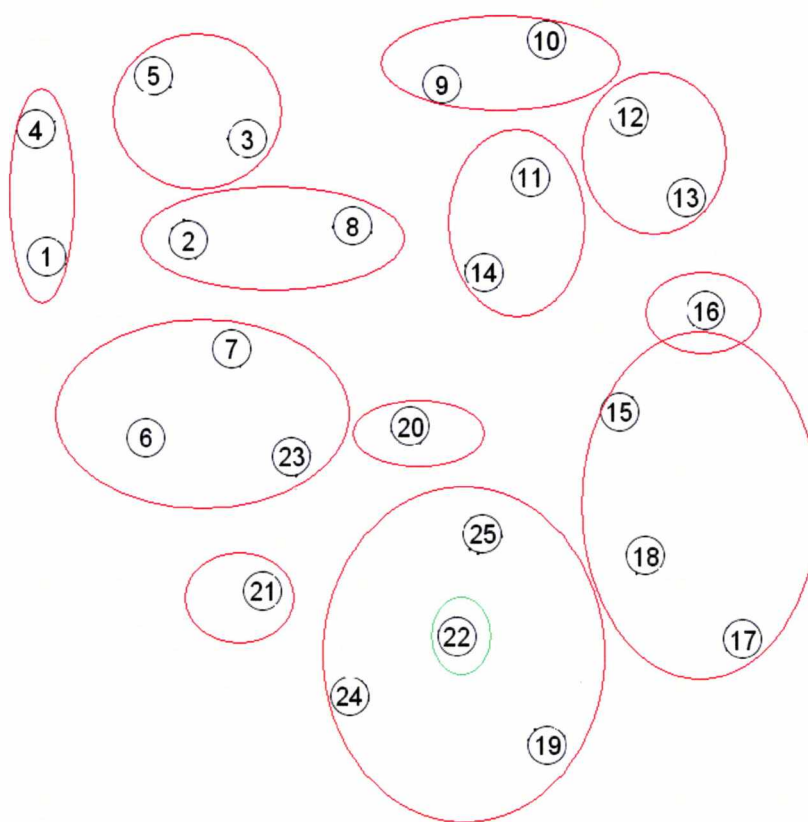
Η ισχύουσα ανισότητα (3.11) εγγυάται ότι το πρώτο πρατήριο j που θα επισκεφτεί κάθε βυτιοφόρο k όταν ξεκινήσει από το διυλιστήριο ($i = NS$), θα έχει ζήτηση μικρότερη ή ίση από τη χωρητικότητα του εκάστοτε βυτιοφόρου k .

3.2.3 Αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή

Το clustering είναι η ομαδοποίηση των σημείων (πρατηρίων) σύμφωνα με μια ή περισσότερες ιδιότητες. Στις εικόνες που ακολουθούν γίνεται κατανοητό πως λειτουργεί το clustering.



Εικόνα 3-2: Σημεία πριν το clustering



Εικόνα 3-3: Σημεία μετά το clustering

Η Εικόνα 3-2 παρουσιάζει 22 σημεία, τα οποία ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με κάποιες ιδιότητες, σύμφωνα με τις οποίες προήλθε το αποτέλεσμα του clustering που εμφανίζεται στην Εικόνα 3-3.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία, που εξετάζει το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων το μοντέλο clustering ομαδοποιεί τα πρατήρια ανάλογα με τις μεταξύ τους αποστάσεις. Δηλαδή, δημιουργεί ομάδες πρατηρίων, όπου σε κάθε ομάδα, τα πρατήρια που την απαρτίζουν απέχουν όσο το δυνατό τη λιγότερη απόσταση. Περισσότερες πληροφορίες για αυτόν τον τύπο clustering, θα δοθούν παρακάτω στην επεξήγηση της ευρετικής μεθόδου.

Στην ευρετική μέθοδο του αλγόριθμου clustering και (TSP) με παραδοχή, χρησιμοποιούνται τρία μαθηματικά μοντέλα. Τα δύο μοντέλα αφορούν τη δημιουργία ομάδων (clusters) και το άλλο είναι το μαθηματικό μοντέλο του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή (Travelling Salesman Problem-(TSP)). Το πρώτο μοντέλο clustering (clustering I) που χρησιμοποιείται έχει ως βασική ιδέα να χωρίσει όλο των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

χώρο των πρατηρίων σε ομάδες, έτσι ώστε, τα πρατήρια που ανήκουν σε αυτή την ομάδα να απέχουν μεταξύ τους την λιγότερη δυνατή απόσταση.

Στη συνέχεια σε κάθε μία από τις ομάδες που δημιουργήθηκαν εκτελείται ο δεύτερος αλγόριθμος clustering (clustering II), ο οποίος έχει ως βασική ιδέα να χωρίσει όλα τα πρατήρια της κάθε ομάδας, σε τόσες υποομάδες, ώστε η κάθε υποομάδα να μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα βυτιοφόρο. Σε κάθε υποομάδα πρατηρίων, θα πρέπει τα πρατήρια που ανήκουν σε αυτή να απέχουν μεταξύ τους την λιγότερη δυνατή απόσταση, αλλά παράλληλα να μπορούν να ικανοποιηθούν και από ένα βυτιοφόρο. Η παραπάνω ιδέα συνδυάζεται με την πολιτική του κόστους ώστε τελικά, το αποτέλεσμα του μοντέλου να είναι ποια πρατήρια θα εξυπηρετηθούν από το κάθε βυτιοφόρο.

Τέλος, εφαρμόζεται ένα μαθηματικό μοντέλο (TSP) για κάθε βυτιοφόρο της εταιρίας, το οποίο εξυπηρετεί μια υποομάδα που περιέχει περισσότερα από 2 πρατήρια, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή που θα ακολουθήσει.

Το μοντέλο clustering I που έχει δημιουργηθεί για την δημιουργία των ομάδων πρατηρίων είναι ένα μοντέλο ακέραιου προγραμματισμού. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης, που χρησιμοποιούνται για το συγκεκριμένο μοντέλο.

Ονοματολογία	
Δείκτες	
i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
v	ομάδα πρατηρίων (clusters),
NS	αριθμός πρατηρίων,
NC	αριθμός ομάδων πρατηρίων (clusters).
Δεδομένα	
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j .
Μεταβλητές Απόφασης	
$N_{i,v}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το πρατήριο i ανήκει στο cluster v , 0 αν όχι,

Πίνακας 3-4: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clustering I

Το μαθηματικό μοντέλο του ακέραιου προγραμματισμού για το clustering I είναι το εξής:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{i=1}^{NS-1} \sum_{j=1}^{NS-1} \sum_{v=1}^{NC} C_{i,j} N_{i,v} N_{j,v}, \quad i \neq j \quad (3.12)$$

$$\text{Περιορισμοί:} \quad \sum_{v=1}^{NC} N_{i,v} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS-1 \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^{NS-1} N_{i,v} \geq 1, \quad v = 1, 2, \dots, NC \quad (3.14)$$

Αρχικά, σε αυτό το μοντέλο δεν χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψιν που βρίσκεται το διυλιστήριο (το τελευταίο πρατήριο), γιατί ο σκοπός είναι η δημιουργία ομάδων πρατηρίων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των μεταξύ τους αποστάσεων. Η αντικειμενική συνάρτηση (3.12) λοιπόν, εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης που απέχουν μεταξύ τους τα πρατήρια του κάθε cluster (ομάδα πρατηρίων). Ο περιορισμός (3.13), εγγυάται ότι το κάθε πρατήριο i τοποθετείται ακριβώς σε ένα cluster v . Ο περιορισμός (3.14) εκφράζει ότι σε κάθε cluster v τοποθετείται τουλάχιστον ένα πρατήριο i .

Επειδή, το μοντέλο αυτό είναι μη-γραμμικό, αφού πολλαπλασιάζονται δύο μεταβλητές απόφασης ($N_{i,v} N_{j,v}$), κάποια λογισμικά δε μπορούν να το λύσουν. Γι' αυτό το λόγο παρουσιάζεται ένας τρόπος απαλοιφής της μη-γραμμικότητας. Προσθέτουμε στο μοντέλο μία μεταβλητή απόφασης και δύο περιορισμούς. Η μεταβλητή απόφασης είναι η:

$$H_{i,j,v} \quad \text{συνεχής μεταβλητή απόφασης που χρησιμεύει για την απαλοιφή της μη-γραμμικότητας και είναι ίση με } N_{i,v} N_{j,v}, \text{ δηλαδή } H_{i,j,v} = N_{i,v} N_{j,v}.$$

Η αντικειμενική συνάρτηση αλλάζει και μετατρέπεται σε:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{i=1}^{NS-1} \sum_{j=1}^{NS-1} \sum_{v=1}^{NC} C_{i,j} H_{i,j,v}, \quad i \neq j \quad (3.15)$$

Οι επιπρόσθετοι περιορισμοί είναι οι εξής:

$$N_{i,v} - (1 - N_{j,v}) \leq H_{i,j,v} \leq N_{i,v}, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, v = 1, 2, \dots, NC \quad (3.16)$$

$$0 \leq H_{i,j,v} \leq N_{j,v}, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, v = 1, 2, \dots, NC \quad (3.17)$$

Επομένως, το μοντέλο με την απαλοιφή της μη-γραμμικότητας αποτελείται από την αντικειμενική συνάρτηση (3.15) και τους περιορισμούς (3.13), (3.14), (3.16) και (3.17). Οι περιορισμοί (3.16) και (3.17) αναγκάζουν την μεταβλητή απόφασης $H_{i,j,v}$ να πάρει την τιμή που πρέπει σύμφωνα με τον ορισμό της ($H_{i,j,v} = N_{i,v}N_{j,v}$). Συγκεκριμένα, υπάρχουν τέσσερεις συνδυασμοί των $N_{i,v}$ και $N_{j,v}$, όπου στον καθένα από αυτούς θα εξεταστεί η λειτουργία των περιορισμών (3.16) και (3.17) και το αποτέλεσμα τους θα συγκριθεί με τον ορισμό της μεταβλητής απόφασης $H_{i,j,v}$.

1 ^{ος} συνδυασμός	$N_{i,v} = 1$ $N_{j,v} = 1$	εξορισμού $H_{i,j,v} = N_{i,v}N_{j,v} = 1 * 1 = 1$
(3.16) \Rightarrow	$1 - (1 - 1) \leq H_{i,j,v} \leq 1 \Rightarrow 1 \leq H_{i,j,v} \leq 1$	} $\Rightarrow H_{i,j,v} = 1$
(3.17) \Rightarrow	$0 \leq H_{i,j,v} \leq 1$	
2 ^{ος} συνδυασμός	$N_{i,v} = 0$ $N_{j,v} = 0$	εξορισμού $H_{i,j,v} = N_{i,v}N_{j,v} = 0 * 0 = 0$
(3.16) \Rightarrow	$0 - (1 - 0) \leq H_{i,j,v} \leq 0 \Rightarrow -1 \leq H_{i,j,v} \leq 0$	} $\Rightarrow H_{i,j,v} = 0$
(3.17) \Rightarrow	$0 \leq H_{i,j,v} \leq 0$	
3 ^{ος} συνδυασμός	$N_{i,v} = 1$ $N_{j,v} = 0$	εξορισμού $H_{i,j,v} = N_{i,v}N_{j,v} = 1 * 0 = 0$
(3.16) \Rightarrow	$1 - (1 - 0) \leq H_{i,j,v} \leq 1 \Rightarrow 0 \leq H_{i,j,v} \leq 1$	} $\Rightarrow H_{i,j,v} = 0$
(3.17) \Rightarrow	$0 \leq H_{i,j,v} \leq 0$	
4 ^{ος} συνδυασμός	$N_{i,v} = 0$ $N_{j,v} = 1$	εξορισμού $H_{i,j,v} = N_{i,v}N_{j,v} = 0 * 1 = 0$
(3.16) \Rightarrow	$0 - (1 - 1) \leq H_{i,j,v} \leq 0 \Rightarrow 0 \leq H_{i,j,v} \leq 0$	} $\Rightarrow H_{i,j,v} = 0$
(3.17) \Rightarrow	$0 \leq H_{i,j,v} \leq 1$	

Αποτέλεσμα αυτού του μοντέλου είναι να δώσει NC ομάδες πρατηρίων. Η κάθε ομάδα πρατηρίων θα περιέχει έναν αριθμό πρατηρίων, χωρίς να περιλαμβάνει το διυλιστήριο. Επομένως στην κάθε ομάδα πρατηρίων προστίθεται και το διυλιστήριο, σαν το τελευταίο της εκάστοτε ομάδας με ζήτηση σε υγρά καύσιμα ίση με το μηδέν.

Το μοντέλο clustering II που έχει δημιουργηθεί για την δημιουργία των υποομάδων πρατηρίων είναι, επίσης, ένα μοντέλο ακέραιου προγραμματισμού. Σημαντικό ρόλο σε αυτό το μοντέλο διαδραματίζει ο αριθμός των βυτιοφόρων που θα επιλεγθούν για να εξυπηρετήσουν την κάθε υποομάδα πρατηρίων. Το κάθε βυτιοφόρο συνήθως εξυπηρετεί δύο έως τρία πρατήρια ανά δρομολόγιο. Έτσι λοιπόν, αν θεωρήσουμε ότι ένα βυτιοφόρο εξυπηρετεί το πολύ τρία πρατήρια, τότε για τρία πρατήρια (εκτός του διυλιστηρίου) θεωρούμε ότι αντιστοιχούν ένα βυτιοφόρο από την κάθε ομάδα βυτιοφόρων, δηλαδή ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 6, ένα 8 και ένα 12. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης, που χρησιμοποιούνται για το μοντέλο clustering II.

Ονοματολογία	
Δείκτες	
i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
k	αριθμός βυτιοφόρου,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,
Δεδομένα	
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j .
Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i , σε μονάδες,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,
c	κόστος ανά χιλιόμετρο που διανύουν τα φορτηγά της εταιρίας,
l	κόστος ανά μεταφερόμενη μονάδα (3000 λίτρα) από τα μισθωμένα βυτιοφόρα,
Μεταβλητές Απόφασης	
$W_{i,k}$	δυναδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το πρατήριο i εξυπηρετείται από το βυτιοφόρο k , 0 αν όχι.

$H_{i,j,k}$ συνεχής μεταβλητή απόφασης που χρησιμεύει για την απαλοιφή της μη-γραμμικότητας και είναι ίση με $W_{i,k}W_{j,k}$,
δηλαδή $H_{i,j,k} = W_{i,k}W_{j,k}$.

Πίνακας 3-5: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clustering II

Το μαθηματικό μοντέλο του ακέραιου προγραμματισμού για το clustering II είναι το εξής:

Minimize

$$Z = \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} (C_{i,j} H_{i,j,k} / 2) \right) * c + \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{k=NOT+1}^{NTT} W_{i,k} Q_i \right) * l \quad (3.18)$$

Περιορισμοί:
$$\sum_{k=1}^{NTT} W_{i,k} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.19)$$

$$\sum_{i=1}^{NS-1} W_{i,k} Q_i \leq P_k, \quad k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.20)$$

$$W_{i,k} - (1 - W_{j,k}) \leq H_{i,j,k} \leq W_{i,k}, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.21)$$

$$0 \leq H_{i,j,k} \leq W_{j,k}, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.22)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.18) λοιπόν, εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης που απέχουν μεταξύ τους τα πρατήρια που εξυπηρετούνται από τα βυτιοφόρα της εταιρίας, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των μεταφερόμενων μονάδων από τα βυτιοφόρα που μισθώνονται από ιδιώτες. Ο περιορισμός (3.19) εγγυάται ότι το κάθε πρατήριο i τοποθετείται ακριβώς σε ένα βυτιοφόρο. Ο περιορισμός (3.20) είναι περιορισμός χωρητικότητας και καθορίζει ότι η συνολική ζήτηση των πρατηρίων που θα εξυπηρετηθούν από ένα βυτιοφόρο k δεν υπερβαίνει την συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου. Οι περιορισμοί (3.21) και (3.22) χρησιμοποιούνται για την απαλοιφή της μη γραμμικότητας όπως αναλύθηκε παραπάνω.

Όσον αφορά τα βυτιοφόρα, για να γίνει πιο ξεκάθαρη η διαδικασία, υπάρχει η λίστα όλων των βυτιοφόρων. Τοποθετούνται στην πρώτη ομάδα πρατηρίων τα βυτιοφόρα που πρέπει από την λίστα, με τον τρόπο που αναφέρθηκε πιο πάνω. Τα βυτιοφόρα που θα χρησιμοποιηθούν για την πρώτη ομάδα,

αφαιρούνται από τη λίστα των βυτιοφόρων, αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πια, αυτά που δεν χρησιμοποιούνται επιστρέφουν στη λίστα. Στην δεύτερη ομάδα πρατηρίων, τοποθετούνται τα βυτιοφόρα που πρέπει από την ανανεωμένη λίστα, δηλαδή από την λίστα που περιέχει όλα τα βυτιοφόρα εκτός από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη ομάδα πρατηρίων. Στη συνέχεια, τα βυτιοφόρα που χρησιμοποιήθηκαν στην δεύτερη ομάδα, αφαιρούνται και αυτά από την λίστα των βυτιοφόρων. Επομένως, πλέον υπάρχει μία λίστα βυτιοφόρων, η οποία περιέχει όλα τα βυτιοφόρα, εκτός των βυτιοφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη και στην δεύτερη ομάδα πρατηρίων, από την οποία προκύπτουν τα βυτιοφόρα που θα χρησιμοποιηθούν στην τρίτη ομάδα πρατηρίων. Αυτή η λογική συνεχίζεται έως ότου να τελειώσουν οι ομάδες πρατηρίων και να έχουν εξυπηρετηθεί όλα τα πρατήρια. Ενδέχεται η περίπτωση να εξαντληθούν κάποια βυτιοφόρα από μία ομάδα βυτιοφόρων καθώς λύνονται τα μοντέλα (clustering II) για τις διάφορες ομάδες πρατηρίων. Αν συμβεί αυτό, τότε στην ομάδα πρατηρίων όπου συνέβη αυτό, τοποθετούνται βυτιοφόρα από τις υπόλοιπες ομάδες βυτιοφόρων. Σε περίπτωση που στην τελευταία ομάδα πρατηρίων, τα βυτιοφόρα που έχουν απομείνει για αυτή την ομάδα πρατηρίων δεν μπορούν να τα ικανοποιήσουν τότε προστίθενται τόσα βυτιοφόρα, έτσι ώστε να ικανοποιηθούν πλήρως όλα τα πρατήρια. Τα επιπρόσθετα αυτά βυτιοφόρα τα ονομάζουμε εφεδρικά και μπορεί να είναι κάποια βυτιοφόρα που θα εκτελέσουν διπλό δρομολόγιο.

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω, δίνεται το παρακάτω παράδειγμα. Έστω ότι στον στόλο των βυτιοφόρων υπάρχουν τέσσερα βυτιοφόρα χωρητικότητας των 6, πέντε των 8 και επτά των 12 και υπάρχουν συνολικά εικοσιπέντε πρατήρια. Από το clustering I, ζητάμε να δημιουργηθούν πέντε ομάδες (δηλαδή $NC = 5$). Στην πρώτη ομάδα υπάρχουν έξι πρατήρια, στη δεύτερη επτά, στην τρίτη πέντε, στην τέταρτη τρία και στην πέμπτη τέσσερα πρατήρια. Στην πρώτη ομάδα που υπάρχουν έξι πρατήρια, θα τοποθετηθούν δύο βυτιοφόρα από την κάθε ομάδα βυτιοφόρων, δηλαδή δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 6 μονάδων, δύο των 8 και δύο των 12 για να εκτελεστεί το μαθηματικό μοντέλο clustering II για τη δημιουργία των υποομάδων. Αν το μοντέλο clustering II επιλέξει δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 8 μονάδων και δύο βυτιοφόρα των 12, για να εξυπηρετήσουν τα έξι πρατήρια που ανήκουν στην πρώτη ομάδα, τότε η λίστα των βυτιοφόρων ανανεώνεται και περιέχει τέσσερα βυτιοφόρα χωρητικότητας 6 μονάδων, τρία των 8 και πέντε των 12. Η δεύτερη ομάδα πρατηρίων περιέχει επτά πρατήρια, από την ανανεωμένη λίστα βυτιοφόρων τοποθετούνται δύο βυτιοφόρα από κάθε ομάδα και έστω ότι επιλέγονται τρία βυτιοφόρα χωρητικότητας 6 μονάδων και δύο των 8 για την δεύτερη ομάδα πρατηρίων. Η λίστα των βυτιοφόρων ανανεώνεται και πλέον περιέχει ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 6 μονάδων, δύο των 8 και πέντε των 12. Από αυτή τη λίστα διαλέγονται τα βυτιοφόρα που θα ικανοποιήσουν την τρίτη ομάδα πρατηρίων, η οποία περιέχει έξι πρατήρια. Κανονικά, θα έπρεπε να τοποθετηθούν δύο βυτιοφόρα από κάθε ομάδα, αλλά στην ανανεωμένη λίστα των βυτιοφόρων υπάρχει

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

μόνο ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 6 μονάδων, τη θέση του δεύτερου βυτιοφόρου χωρητικότητας 6 μονάδων θα πάρει ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας των 12, αφού υπάρχουν μόνο δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 8 μονάδων. Συγκεκριμένα, για την τρίτη ομάδα πρατηρίων, στο μαθηματικό μοντέλο clustering II τοποθετούνται τα πρατήρια που ανήκουν στην τρίτη ομάδα πρατηρίων και από τα βυτιοφόρα τοποθετούνται ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 6 μονάδων, δύο των 8 και δύο των 12. Από τα οποία επιλέγονται κάποια βυτιοφόρα και αφαιρούνται από την λίστα των βυτιοφόρων. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου να λυθεί το μοντέλο clustering II και για την τελευταία ομάδα, δηλαδή έως ότου εξυπηρετηθούν όλα τα πρατήρια.

Το τελευταίο μοντέλο που αναπτύσσεται σε αυτή την ευρετική μέθοδο είναι το μοντέλο του πλανόδιου πωλητή (TSP), το οποίο εκτελείται για να την δημιουργία της σειράς με την οποία θα εξυπηρετηθούν τα πρατήρια από το κάθε βυτιοφόρο της εταιρίας. Επειδή το πρόβλημα, όμως, είναι συμμετρικό το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται μόνο για τα βυτιοφόρα που θα εξυπηρετήσουν περισσότερα από δύο πρατήρια. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρησιμοποιούνται για το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο.

Ονοματολογία

Δείκτες

i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
NS	αριθμός πρατηρίων,

Δεδομένα

$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j .
-----------	--

Μεταβλητές Απόφασης

$X_{i,j}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν γίνεται μετάβαση από το πρατήριο i στο πρατήριο j , 0 αν όχι,
Y_i	συνεχής μεταβλητή που δείχνει την σειρά με την οποία το πρατήριο i έχει επισκεφτεί, χρησιμοποιείται για την απαλοιφή των υποδιαδρομών.

Πίνακας 3-6: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο (TSP)



Παρακάτω παρουσιάζεται το μαθηματικό μοντέλο για το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή:

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} C_{i,j} X_{i,j} \quad (3.23)$$

$$\text{Περιορισμοί:} \quad \sum_{i=1}^{NS} x_{i,j} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, NS \quad (3.24)$$

$$\sum_{j=1}^{NS} x_{i,j} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS \quad (3.25)$$

$$Y_i - Y_j + NS X_{i,j} \leq NS - 1, \quad 1 \leq i, j \leq NS - 1 \quad (3.26)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.23) εξασφαλίζει την ελαχιστοποίηση της διαδρομής που θα ακολουθήσει το βυτιοφόρο. Οι περιορισμοί (3.24) και (3.25) εξασφαλίζουν ότι το βυτιοφόρο θα περάσει μια και μόνο φορά από το κάθε πρατήριο, ενώ ο περιορισμός (3.26) χρησιμοποιείται για την αποφυγή υποδιαδρομών.

3.3 Μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι χωρίς χρήση παραδοχής

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται μαθηματικά μοντέλα και ευρετικοί μέθοδοι που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων όπως ακριβώς αυτό είναι στην πραγματικότητα, χωρίς την ύπαρξη παραδοχής. Τα δεδομένα του προβλήματος παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Επίσης να σημειωθεί ότι, σε όλα τα μαθηματικά μοντέλα και σε όλες τις ευρετικές μεθόδους, το διυλιστήριο θεωρείται σαν να είναι το τελευταίο πρατήριο και έχει ζήτηση ίση με 0.

Αριθμός πρατηρίου	Ζήτηση ανά είδος σε λίτρα						Συνολική ζήτηση σε λίτρα
	Αμόλυβδη βενζίνη	Σούπερ αμόλυβδη βενζίνη	Πετρέλαιο κίνησης	Πετρέλαιο θέρμανσης	(LRP)	Φωτιστικό πετρέλαιο	
0	6000	3000	3000	6000	0	0	6000
1	6000	0	3000	8000	0	0	6000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΕΠΙΛΥΣΗΣ

2	8000	0	0	10000	0	0	8000
3	12000	0	3000	6000	3000	0	12000
4	0	4000	4000	10000	0	0	0
5	12000	0	3000	0	0	0	12000
6	8000	0	0	10000	0	0	8000
7	4000	0	0	12000	0	0	4000
8	0	0	0	11000	0	0	0
9	6000	0	6000	6000	0	0	6000
10	0	0	0	30000	0	0	0
11	8000	0	0	0	3000	0	8000
12	4000	0	0	14000	0	0	4000
13	0	0	0	20000	0	0	0
14	12000	0	3000	0	0	0	12000
15	0	0	0	20000	0	0	0
16	8000	3000	0	0	0	0	8000
17	0	0	0	10000	0	0	0
18	6000	0	0	2000	0	0	6000
19	0	0	0	10000	0	0	0
20	12000	0	3000	6000	0	0	12000
21	0	3000	0	10000	0	0	0
22	6000	0	3000	0	0	0	6000
23	12000	0	3000	0	0	0	12000
24	8000	0	0	0	0	0	8000
25	0	0	3000	6000	0	0	0
26	12000	0	3000	0	0	0	12000
27	8000	0	3000	0	0	0	8000
28	0	0	3000	0	3000	0	0
29	8000	0	0	0	0	0	8000
30	0	0	3000	0	0	0	0
31	0	0	3000	0	0	0	0
32	0	0	3000	0	0	3000	0
33	12000	3000	0	6000	0	0	12000
34	0	0	3000	20000	0	0	0

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

35	6000	0	3000	0	0	0	6000
36	0	3000	0	20000	0	0	0
37	0	3000	3000	20000	0	0	0

Πίνακας 3-7: Ζήτηση πρατηρίων χωρίς παραδοχή

Βυτιοφόρο	Συνολική χωρητικότητα σε λίτρα	Αριθμός διαμερισμάτων	Χωρητικότητες διαμερισμάτων σε λίτρα									
			Διαμέρισμα									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	36000	10	2000	4000	6000	5000	3000	5000	4000	2000	2000	3000
1	36000	9	4000	5000	2000	5000	6000	2000	4000	3000	5000	0
2	36000	10	5000	4000	3000	3000	2000	4000	5000	2000	4000	4000
3	36000	9	6000	5000	3000	4000	2000	3000	6000	4000	3000	0
4	36000	10	5000	4000	6000	3000	2000	4000	5000	2000	2000	3000
5	36000	9	4000	5000	2000	5000	6000	2000	4000	3000	5000	0
6	36000	10	5000	4000	6000	3000	2000	4000	5000	2000	2000	3000
7	18000	5	4000	3000	6000	2000	3000	0	0	0	0	0
8	18000	5	2000	4000	5000	5000	2000	0	0	0	0	0
9	18000	6	3000	2000	4000	3000	2000	4000	0	0	0	0
10	18000	6	2000	4000	5000	2000	3000	2000	0	0	0	0
11	18000	6	2000	3000	2000	5000	4000	2000	0	0	0	0
12	18000	5	4000	5000	4000	2000	3000	0	0	0	0	0
13	24000	8	3000	2000	6000	2000	2000	3000	2000	4000	0	0
14	24000	8	2000	4000	3000	3000	2000	3000	5000	2000	0	0
15	24000	8	2000	3000	4000	2000	3000	3000	4000	3000	0	0
16	24000	9	3000	2000	4000	3000	2000	2000	3000	2000	3000	0
17	24000	9	2000	3000	2000	3000	4000	3000	2000	3000	2000	0
18	24000	9	2000	3000	2000	4000	3000	2000	4000	2000	2000	0
19	24000	9	3000	4000	2000	3000	3000	2000	3000	2000	2000	0
20	36000	9	5000	4000	2000	6000	3000	5000	3000	2000	6000	0
21	36000	10	6000	4000	5000	2000	3000	2000	2000	4000	3000	5000

Πίνακας 3-8: Χωρητικότητες βυτιοφόρων χωρίς παραδοχή

Τα βυτιοφόρα 0 έως 6 ανήκουν στον στόλο της εταιρίας παραγωγής υγρών καυσίμων και τα υπόλοιπα μισθώνονται σε ιδιώτες.

3.3.1 Μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) το οποίο επιλύει το πρόβλημα της διανομής καυσίμων. Αυτό το μαθηματικό μοντέλο ουσιαστικά είναι ένα κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) το οποίο έχει επιπλέον περιορισμούς χωρητικότητας, λόγω των διαμερισμάτων, που υπάρχουν στα βυτιοφόρα και λόγω των διαφορετικών ειδών υγρών καυσίμων που υπάρχουν, όπως επίσης και διαφορετική αντικειμενική συνάρτηση, η οποία εκφράζει την ελαχιστοποίηση του κόστους για τη μεταφορά των καυσίμων από το διυλιστήριο στα πρατήρια. Συγκεκριμένα, είναι ένας συνδυασμός του κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) που δημοσιεύτηκε από τους (Kulkarni & Bhave, 1985), των περιορισμών χωρητικότητας που εμπνεύστηκαν από την δημοσίευση των (Saharidis, Minoux, & Dallery, 2009) και της νέας αντικειμενικής συνάρτησης. Πριν την παρουσίαση του μαθηματικού μοντέλου (VRP) για την διανομή καυσίμων δίνεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης.

Ονοματολογία

Δείκτες

i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
h	πρατήριο,
k	βυτιοφόρο,
l	διαμέρισμα βυτιοφόρου,
z	είδος καυσίμου,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,
NAT	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),
NTF	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια) .

Δεδομένα

Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i , σε λίτρα,
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j ,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

$CAP_{k,l}$	συνολική χωρητικότητα του διαμερίσματος l , του k βυτιοφόρου,
$AS_{i,z}$	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i από το είδος z , σε λίτρα,
c	κόστος ανά χιλιόμετρο που διανύουν τα φορτηγά της εταιρίας,
l	κόστος ανά λίτρο που μεταφέρεται από τα μισθωμένα βυτιοφόρα.
Μεταβλητές Απόφασης	
$X_{i,j,k}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το ζευγάρι των πρατηρίων i, j είναι στη διαδρομή του βυτιοφόρου k , 0 αν όχι,
Y_i	συνεχής μεταβλητή που δείχνει την σειρά με την οποία το πρατήριο i έχει επισκεφτεί, χρησιμοποιείται για την απαλοιφή των υποδιαδρομών.
$U_{z,l,k,i}$	συνεχής μεταβλητή η οποία εκφράζει την ποσότητα του είδους ζυγρού καυσίμου που τοποθετείται στο διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k για το πρατήριο i ,
$F_{z,l,k}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) που είναι ίση με 1, αν το διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k περιέχει το είδος ζυγρού καυσίμου, 0 αν όχι.

Πίνακας 3-9: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων

Το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων χωρίς παραδοχή είναι το εξής:

Η αντικειμενική συνάρτηση, όπως και κάποιοι περιορισμοί είναι κοινοί με το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων με τη χρήση παραδοχής που αναλύθηκε στην υποενότητα 3.2.1. Συγκεκριμένα η αντικειμενική συνάρτηση είναι η (3.9) και οι περιορισμοί είναι οι (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) και (3.8). Οι επιπρόσθετοι περιορισμοί χωρητικότητας είναι οι ακόλουθοι:

$$\sum_{z=1}^{NTF} F_{z,l,k} \leq 1, \quad l = 1, 2, \dots, NAT, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.27)$$

$$\sum_{l=1}^{NAT} \sum_{k=1}^{NTT} U_{z,l,k,i} = AS_{i,z}, \quad i = 1, 2, \dots, NS, z = 1, 2, \dots, NTF \quad (3.28)$$

$$m3 F_{z,l,k} \leq \sum_{i=1}^{NS} U_{z,l,k,i} \leq M2 F_{z,l,k}, \quad z = 1, 2, \dots, NTF, l = 1, 2, \dots, NAT, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.29)$$

$$\sum_{i=1}^{NS} \sum_{z=1}^{NTF} U_{z,l,k,i} \leq CAP_{k,l}, \quad k = 1, 2, \dots, NTT, l = 1, 2, \dots, NAT \quad (3.30)$$

$$m3 \sum_{i=1}^{NS} X_{i,j,k} \leq \sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} \leq M1 \sum_{i=1}^{NS} X_{i,j,k}, \quad j = 1, 2, \dots, NS, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.31)$$

Ο περιορισμός (3.27) εγγυάται ότι σε κάθε διαμέρισμα κάθε βυτιοφόρου τοποθετείται το πολύ ένα είδος υγρού καυσίμου. Ο περιορισμός (3.28) εξασφαλίζει ότι η ποσότητα που θα φορτωθεί από το είδος z για το πρατήριο i σε όλα τα διαμερίσματα l όλων των βυτιοφόρων k , πρέπει να είναι ίση με τη ζήτηση του πρατηρίου i από το συγκεκριμένο είδος z . Ο περιορισμός (3.29) εκφράζει τη σύμβαση για το $F_{z,l,k}$, και το $U_{z,l,k,i}$, το $m3$ είναι ο ελάχιστος αριθμός που τοποθετείται σε ένα διαμέρισμα (εκτός του μηδενός) και το $M2$ είναι η μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί να έχει ένα διαμέρισμα, ανεξαρτήτως βυτιοφόρου. Αυτός ο περιορισμός αποτελεί ασφαλιστική δικλίδα αφού συνδέει την ποσότητα που τοποθετείται σε ένα διαμέρισμα l ενός βυτιοφόρου k από ένα είδος καυσίμου z με το αν υπάρχει ή όχι ($F_{z,l,k} = 1$ ή $F_{z,l,k} = 0$) αυτό το είδος καυσίμου z σε αυτό το διαμέρισμα l του συγκεκριμένου βυτιοφόρου k . Πιο απλά, αν έχει τοποθετηθεί ένα είδος καυσίμου z σε ένα διαμέρισμα l ενός βυτιοφόρου k ($U_{z,l,k,i} \neq 0$) τότε υπάρχει αυτό το ένα είδος καυσίμου z στο διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k ($F_{z,l,k} = 1$), διαφορετικά αν $U_{z,l,k,i} = 0$ τότε $F_{z,l,k} = 0$. Ο περιορισμός (3.30) καθορίζει ότι η ποσότητα που θα τοποθετηθεί σε ένα διαμέρισμα, πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με την χωρητικότητα του διαμερίσματος. Συγκεκριμένα, το άθροισμα των ποσοτήτων από όλα τα πρατήρια και από όλα τα είδη που θα φορτωθούν σε ένα διαμέρισμα l ενός βυτιοφόρου k πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από την χωρητικότητα του διαμερίσματος l του συγκεκριμένου βυτιοφόρου k . Ο περιορισμός (3.31) εκφράζει τη σύμβαση για το $X_{i,j,k}$ και το $U_{z,l,k,i}$, το $M1$ είναι η μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί να έχει ένα βυτιοφόρο που ανήκει στο στόλο, που έχει στη διάθεσή της η εταιρία για την διανομή καυσίμων (ιδιότητα και μισθωμένα). Με αυτό τον περιορισμό εξασφαλίζεται ότι αν ένα βυτιοφόρο k μεταβεί σε ένα πρατήριο j τότε θα πρέπει να έχει κάποια ποσότητα υγρού καυσίμου για να αφήσει στο συγκεκριμένο

πρατήριο, αν δεν μεταβεί τότε δεν έχει κάποια ποσότητα καυσίμου να αφήσει, δηλαδή αν $X_{i,j,k} = 1$ τότε πρέπει $U_{z,l,k,i} \neq 0$ και αν $X_{i,j,k} = 0$ τότε πρέπει $U_{z,l,k,i} = 0$. Επίσης, αυτός ο περιορισμός εξασφαλίζει και το αντίστροφο, δηλαδή αν ένα βυτιοφόρο k έχει σε κάποιο διαμέρισμα l ένα οποιοδήποτε είδος υγρού καυσίμου z που προορίζεται για το πρατήριο j , τότε το βυτιοφόρο k πρέπει να μεταβεί στο πρατήριο j , αν δεν έχει κάποια ποσότητα υγρού καυσίμου για το πρατήριο j τότε δεν πρέπει να μεταβεί σε αυτό. Έτσι λοιπόν, αν $U_{z,l,k,i} \neq 0$ τότε πρέπει $X_{i,j,k} = 1$ και αν $U_{z,l,k,i} = 0$ τότε πρέπει $X_{i,j,k} = 0$.

Επειδή αυτό το μαθηματικό μοντέλο δεν λύνει προβλήματα μεγάλης κλίμακας, δημιουργήθηκαν ευρετικοί μέθοδοι επίλυσης, οι οποίοι βασίζονται σε αυτό το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων. Αυτοί οι ευρετικοί μέθοδοι θα αναλυθούν στις επόμενες υποενότητες.

3.3.2 Αλγόριθμοι clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

Ο αλγόριθμος clustering και (TSP) λειτουργεί με την ίδια λογική του αλγόριθμου clustering και (TSP) με παραδοχή, που παρουσιάστηκε στην υποενότητα 3.2.3. Δηλαδή, η συγκεκριμένη ευρετική μέθοδος περιλαμβάνει ένα μοντέλο clustering I, ένα μοντέλο clustering II και ένα μαθηματικά μοντέλο (TSP). Το μοντέλο clustering I είναι πανομοιότυπο με αυτό που παρουσιάστηκε στην υποενότητας 3.2.3. Το μοντέλο clustering II ομαδοποιεί τα πρατήρια με τον ίδιο τρόπο όπως και το clustering II της υποενότητας 3.2.3. έχοντας προσθέσει τους νέους περιορισμούς χωρητικότητας που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.3.1. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένα μαθηματικό μοντέλο (TSP) για κάθε υποομάδα που εξυπηρετείται από βυτιοφόρο της εταιρίας και περιέχει περισσότερα από 2 πρατήρια, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή που θα ακολουθήσει το εκάστοτε βυτιοφόρο.

Παρακάτω δίνεται η ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρειάζονται για την κατανόηση του μοντέλου clustering II χωρίς παραδοχή.

Ονοματολογία

Δείκτες

i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
h	πρατήριο,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΕΠΙΛΥΣΗΣ

k	βυτιοφόρο,
l	διαμέρισμα βυτιοφόρου,
z	είδος καυσίμου,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,
NAT	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),
NTF	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια).
Δεδομένα	
Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i , σε λίτρα,
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j ,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,
$CAP_{k,l}$	συνολική χωρητικότητα του διαμερίσματος l , του k βυτιοφόρου,
$AS_{i,z}$	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i από το είδος z , σε λίτρα,
c	κόστος ανά χιλιόμετρο που διανύουν τα φορτηγά της εταιρίας,
l	κόστος ανά λίτρο που μεταφέρεται από τα μισθωμένα βυτιοφόρα.
Μεταβλητές Απόφασης	
$W_{i,k}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το βυτιοφόρο k επισκεφτεί το πρατήριο i , 0 αν όχι,
$H_{i,j,v}$	συνεχής μεταβλητή απόφασης που χρησιμεύει για την απαλοιφή της μη-γραμμικότητας και είναι ίση με $W_{i,k}W_{j,k}$, δηλαδή $H_{i,j,k} = W_{i,k}W_{j,k}$.
$U_{z,l,k,i}$	συνεχής μεταβλητή η οποία εκφράζει την ποσότητα του είδους z υγρού καυσίμου που τοποθετείται στο διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k για το πρατήριο i ,
$F_{z,l,k}$	δυαδική μεταβλητή (0-1) που είναι ίση με 1, αν το διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k περιέχεται το είδος z υγρού καυσίμου, 0 αν όχι.

Πίνακας 3-10: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο clusters τύπου II

Το μαθηματικό μοντέλο για την δημιουργία των δύο ομάδων (clusters τύπου II) είναι το εξής:

$$\text{Minimize } Z = \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} (C_{i,j} H_{i,j,k} / 2) \right) * c + \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{k=NOT+1}^{NTT} W_{i,k} Q_i \right) * l \quad (3.32)$$

$$\text{Περιορισμοί: } \sum_{z=1}^{NTF} F_{z,l,k} \leq 1, \quad l = 1, 2, \dots, NAT, k = 1, 2, \dots, NTT \quad (3.33)$$

$$m3 F_{z,l,k} \leq \sum_{i=1}^{NS} U_{z,l,k,i} \leq M2 F_{z,l,k}, \quad (3.34)$$

$$z = 1, 2, \dots, NTF, l = 1, 2, \dots, NAT, k = 1, 2, \dots, NTT$$

$$\sum_{i=1}^{NS} \sum_{z=1}^{NTF} U_{z,l,k,i} \leq CAP_{k,l}, \quad k = 1, 2, \dots, NTT, l = 1, 2, \dots, NAT \quad (3.35)$$

$$\sum_{k=1}^{NOT} W_{i,k} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.36)$$

$$m3 W_{i,k} \leq \sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} \leq M1 W_{i,k}, \quad (3.37)$$

$$k = 1, 2, \dots, NTT, i = 1, 2, \dots, NS$$

$$AS_{i,z} \sum_{k=1}^{NTT} W_{i,k} = \sum_{l=1}^{NAT} \sum_{k=1}^{NTT} U_{z,l,k,i}, \quad i = 1, 2, \dots, NS, z = 1, 2, \dots, NTF \quad (3.38)$$

$$W_{i,k} - (1 - W_{j,k}) \leq H_{i,j,k} \leq W_{i,k}, \quad (3.39)$$

$$i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, k = 1, 2, \dots, NTT$$

$$0 \leq H_{i,j,v} \leq W_{j,k}, \quad (3.40)$$

$$i = 1, 2, \dots, NS - 1, j = 1, 2, \dots, NS - 1, k = 1, 2, \dots, NTT$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (3.32) εξασφαλίζει ότι τα πρατήρια που θα επιλεγτούν θα βρίσκονται κοντά στο διυλιστήριο. Οι περιορισμοί (3.33), (3.34), (3.35), (3.36), (3.38), (3.39) και (3.40) έχουν την ίδια λειτουργία με τους (3.27), (3.29), (3.30), (3.19), (3.28), (3.21) και (3.22) αντίστοιχα. Ο περιορισμός (3.37) εκφράζει τη σύμβαση για το $W_{i,k}$ και το $U_{z,l,k,i}$, το $M1$ είναι η μέγιστη χωρητικότητα που μπορεί

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

να έχει ένα βυτιοφόρο που ανήκει στο στόλο, που έχει στη διάθεσή της η εταιρία για την διανομή καυσίμων (ιδιότητα και μισθωμένα). Με αυτό τον περιορισμό εξασφαλίζεται ότι αν ένα βυτιοφόρο k μεταβεί σε ένα πρατήριο i τότε θα πρέπει να έχει κάποια ποσότητα υγρού καυσίμου για να αφήσει στο συγκεκριμένο πρατήριο, αν δεν μεταβεί τότε δεν έχει κάποια ποσότητα καυσίμου να αφήσει, δηλαδή αν $W_{i,k} = 1$ τότε πρέπει $\sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} \neq 0$ και αν $W_{i,k} = 0$ τότε πρέπει $\sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} = 0$. Επίσης, αυτός ο περιορισμός εξασφαλίζει και το αντίστροφο, δηλαδή αν ένα βυτιοφόρο k έχει σε κάποιο διαμέρισμα l ένα οποιοδήποτε είδος υγρού καυσίμου z που προορίζεται για το πρατήριο i , τότε το βυτιοφόρο k πρέπει να μεταβεί στο πρατήριο i , αν δεν έχει κάποια ποσότητα υγρού καυσίμου για το πρατήριο i τότε δεν πρέπει να μεταβεί σε αυτό. Έτσι λοιπόν, αν $\sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} \neq 0$ τότε πρέπει $W_{i,k} = 1$ και αν $\sum_{z=1}^{NTF} \sum_{l=1}^{NAT} U_{z,l,k,i} = 0$ τότε πρέπει $W_{i,k} = 0$.

Σημαντικό ρόλο στο παραπάνω μοντέλο διαδραματίζει ο αριθμός των βυτιοφόρων που θα επιλεγθούν για να εξυπηρετήσουν την κάθε υποομάδα πρατηρίων. Το κάθε βυτιοφόρο συνήθως εξυπηρετεί δύο έως τρία πρατήρια ανά δρομολόγιο. Έτσι λοιπόν, αν θεωρήσουμε ότι ένα βυτιοφόρο εξυπηρετεί το πολύ τρία πρατήρια, τότε για τρία πρατήρια (εκτός του διωλιστηρίου) θεωρούμε ότι αντιστοιχούν ένα βυτιοφόρο από την κάθε ομάδα βυτιοφόρων, δηλαδή ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 18000 λίτρων, ένα 24000 λίτρων και ένα 36000 λίτρων. Για να γίνει πιο ξεκάθαρη η διαδικασία, υπάρχει η λίστα όλων των βυτιοφόρων. Τοποθετούνται στην πρώτη ομάδα πρατηρίων τα βυτιοφόρα που πρέπει από την λίστα, με τον τρόπο που αναφέρθηκε πιο πάνω. Τα βυτιοφόρα που θα χρησιμοποιηθούν για την πρώτη ομάδα, αφαιρούνται από τη λίστα των βυτιοφόρων, αφού δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν πια, αυτά που δεν χρησιμοποιούνται επιστρέφουν στη λίστα. Στην δεύτερη ομάδα πρατηρίων, τοποθετούνται τα βυτιοφόρα που πρέπει από την ανανεωμένη λίστα, δηλαδή από την λίστα που περιέχει όλα τα βυτιοφόρα εκτός από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη ομάδα πρατηρίων. Στη συνέχεια, τα βυτιοφόρα που χρησιμοποιήθηκαν στην δεύτερη ομάδα, αφαιρούνται και αυτά από την λίστα των βυτιοφόρων. Επομένως, πλέον υπάρχει μία λίστα βυτιοφόρων, η οποία περιέχει όλα τα βυτιοφόρα, εκτός των βυτιοφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην πρώτη και στην δεύτερη ομάδα πρατηρίων, από την οποία προκύπτουν τα βυτιοφόρα που θα χρησιμοποιηθούν στην τρίτη ομάδα πρατηρίων. Αυτή η λογική συνεχίζεται έως ότου να τελειώσουν οι ομάδες πρατηρίων και να έχουν εξυπηρετηθεί όλα τα πρατήρια. Ενδέχεται η περίπτωση να εξαντληθούν κάποια βυτιοφόρα από μία ομάδα βυτιοφόρων καθώς λύνονται τα μοντέλα (clustering II) για τις διάφορες ομάδες πρατηρίων. Αν συμβεί αυτό, τότε στην ομάδα πρατηρίων όπου συνέβη αυτό, τοποθετούνται βυτιοφόρα από τις υπόλοιπες ομάδες βυτιοφόρων. Σε περίπτωση που στην τελευταία ομάδα πρατηρίων, τα βυτιοφόρα που έχουν απομείνει για αυτή την ομάδα πρατηρίων δεν μπορούν να τα ικανοποιήσουν τότε προστίθενται τόσα βυτιοφόρα, έτσι ώστε να

ικανοποιηθούν πλήρως όλα τα πρατήρια. Τα επιπρόσθετα αυτά βυτιοφόρα τα ονομάζουμε εφεδρικά και μπορεί να είναι κάποια βυτιοφόρα που θα εκτελέσουν διπλό δρομολόγιο.

Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται με το μοντέλο του πλανόδιου πωλητή (TSP), που παρουσιάστηκε στην ενότητα 3.2.3, για τα βυτιοφόρα της εταιρίας που θα εξυπηρετήσουν περισσότερα από δύο πρατήρια, ώστε να δημιουργηθεί η σειρά με την οποία θα εξυπηρετηθούν τα πρατήρια από το κάθε βυτιοφόρο.

3.3.3 Μυωπικός αλγόριθμος

Η ευρετική αυτή μέθοδος, είναι η μοναδική που παρουσιάζεται σε αυτή την διπλωματική εργασία, η οποία αποτελείται αποκλειστικά από έναν αλγόριθμο και δεν συνδυάζεται με κάποιο μαθηματικό μοντέλο. Ο μυωπικός αλγόριθμος λαμβάνει υπ' όψιν του τις ιδιαιτερότητες του προβλήματος της διανομής υγρών καυσίμων, που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 1.

Η αρχή λειτουργίας του μυωπικού αλγόριθμου είναι η εξέταση του πιο κοντινού πρατηρίου σε σχέση με αυτό που βρίσκεται κάθε στιγμή για κάθε βυτιοφόρο. Ξεκινώντας από ένα πρατήριο εξετάζονται με τη σειρά όλα τα πρατήρια, τα οποία έχουν ζήτηση διαφορετική του μηδενός. Αρχικά, εξετάζεται αν η απόσταση του πρατηρίου είναι μικρότερη από την ελάχιστη (στην αρχή, η ελάχιστη απόσταση είναι η απόσταση μεταξύ του πρατηρίου που βρίσκεται ο αλγόριθμος και του εαυτού του, δηλαδή είναι το $C_{i,i}$). Αν η απόσταση είναι μικρότερη, εξετάζεται αν η ζήτηση του πρατηρίου μπορεί να ικανοποιηθεί πλήρως από το βυτιοφόρο. Αν η ζήτηση μπορεί να ικανοποιηθεί, τότε ελάχιστη γίνεται η απόσταση μεταξύ του πρατηρίου αυτού και του προηγούμενου. Όταν εξεταστούν όλα τα πρατήρια τοποθετείται στο βυτιοφόρο ποσότητα ίση με τη ζήτηση του πρατηρίου που απείχε τη μικρότερη απόσταση από το προηγούμενο, αλλά παράλληλα η ζήτηση του θα μπορούσε να ικανοποιηθεί εξολοκλήρου από το βυτιοφόρο που εξετάζεται. Στο πρατήριο όπου η ζήτηση του ικανοποιείται πλήρως, μηδενίζεται η ζήτησή του και από τη χωρητικότητα του βυτιοφόρου αφαιρείται η ποσότητα που τοποθετήθηκε για την ικανοποίηση της ζήτησης του πρατηρίου. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσες είναι τα πρατήρια για κάθε βυτιοφόρο. Δηλαδή, μπορούν να τοποθετηθούν και όλα τα πρατήρια σε κάποιο βυτιοφόρο, αν η ζήτηση τους μπορεί να καλυφθεί από την χωρητικότητα του συγκεκριμένου βυτιοφόρου. Όσον αφορά την εξέταση ικανοποίησης της ζήτησης, αυτή εφαρμόζεται για κάθε βυτιοφόρο ως εξής, για κάθε πρατήριο εξετάζεται ξεχωριστά η ζήτηση για κάθε είδος υγρού καυσίμου. Αρχικά, ελέγχονται όλα τα διαμερίσματα του βυτιοφόρου αν περιέχουν το συγκεκριμένο είδος υγρού καυσίμου που εξετάζεται κάθε φορά ή όχι. Αν υπάρχει διαμέρισμα που περιέχει το είδος που

εξετάζεται, τότε τοποθετείται στο διαμέρισμα αυτό τόση ποσότητα υγρού καυσίμου είτε μέχρι να γεμίσει το διαμέρισμα, είτε μέχρι να ικανοποιηθεί η ζήτηση του συγκεκριμένου είδους υγρού καυσίμου του εκάστοτε πρατηρίου. Αν αφού εξεταστούν όλα τα διαμερίσματα που περιέχουν ήδη κάποιο είδος υγρού καυσίμου και η ζήτηση από το είδος που εξετάζεται είναι διάφορη του μηδενός, τότε ελέγχονται με τη σειρά όλα τα διαμερίσματα μέχρι να βρεθεί κάποιο άδειο. Όταν βρεθεί κάποιο άδειο, τότε τοποθετείται στο διαμέρισμα αυτό όση ποσότητα γίνεται, είτε μέχρι να ικανοποιηθεί η ζήτηση είτε μέχρι να γεμίσει το διαμέρισμα. Αν η ζήτηση δεν έχει ικανοποιηθεί, τότε ο αλγόριθμος αναζητά για το επόμενο άδειο διαμέρισμα. Ο μυωπικός αλγόριθμος δίνει ως αποτέλεσμα για κάθε βυτιοφόρο τα πρατήρια που θα ικανοποιήσει, αλλά και με ποια σειρά.

Στο μυωπικό αλγόριθμο, όμως, ενδέχεται να εξαντληθούν όλα τα βυτιοφόρα και να μην έχει ικανοποιηθεί η ζήτηση σε όλα τα πρατήρια. Για το λόγο αυτό ο παραπάνω αλγόριθμος εκτελείται εκ νέου από την αρχή με όλα τα βυτιοφόρα διαθέσιμα αλλά οι ζητήσεις των πρατηρίων είναι μηδενικές για όσα πρατήρια εξυπηρετήθηκαν. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη δεύτερη εκτέλεση του αλγορίθμου είναι ποια βυτιοφόρα θα εκτελέσουν δεύτερο δρομολόγιο για να ικανοποιηθεί η ζήτηση όλων των πρατηρίων, ποια πρατήρια θα εξυπηρετηθούν από κάθε βυτιοφόρο, αλλά και με ποια σειρά.

3.3.4 Χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Στην υποενότητα αυτή γίνεται μια προσπάθεια εύρεσης λύσης στο πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων με τη μέθοδο της χαλάρωσης του αρχικού μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων. Συγκεκριμένα, γίνεται χαλάρωση των περιορισμών ικανοποίησης της ζήτησης, που επέβαλαν την εξυπηρέτηση όλων των πρατηρίων, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ένα πρατήριο να μην εξυπηρετηθεί. Αυτό που αλλάζει επίσης είναι και ο αριθμός των βυτιοφόρων που είναι διαθέσιμα για την εξυπηρέτηση των πρατηρίων, καθώς χρησιμοποιούνται μόνο τα ιδιόκτητα βυτιοφόρα της εταιρίας. Παρακάτω παρουσιάζονται ο πίνακας με την ονοματολογία των δεικτών, των δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρειάζονται για την κατανόηση του μοντέλου όπως επίσης και το μαθηματικό μοντέλο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.

Ονοματολογία

Δείκτες

i	πρατήριο,
j	πρατήριο,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

h	πρατήριο,
k	βυτιοφόρο,
l	διαμέρισμα βυτιοφόρου,
z	είδος καυσίμου,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NAT	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),
NTF	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια) .
Δεδομένα	
Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i , σε λίτρα,
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j ,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,
$CAP_{k,l}$	συνολική χωρητικότητα του διαμερίσματος l , του k βυτιοφόρου,
$AS_{i,z}$	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i από το είδος z , σε λίτρα,
c	κόστος ανά χιλιόμετρο που διανύουν τα φορτηγά της εταιρίας,
l	κόστος ανά λίτρο που μεταφέρεται από τα μισθωμένα βυτιοφόρα.
Μεταβλητές Απόφασης	
$X_{i,j,k}$	δυναδική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το ζευγάρι των πρατηρίων i, j είναι στη διαδρομή του βυτιοφόρου k , 0 αν όχι,
Y_i	συνεχής μεταβλητή που δείχνει την σειρά με την οποία το πρατήριο i έχει επισκεφτεί, χρησιμοποιείται για την απαλοιφή των υποδιαδρομών.
$U_{z,l,k,i}$	συνεχής μεταβλητή η οποία εκφράζει την ποσότητα του είδους ζυγρού καυσίμου που τοποθετείται στο διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k για το πρατήριο i ,
$F_{z,l,k}$	δυναδική μεταβλητή (0-1) που είναι ίση με 1, αν το διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k περιέχεται το είδος ζυγρού καυσίμου, 0 αν όχι.

Πίνακας 3-11: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων είναι το εξής:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Στο συγκεκριμένο μοντέλο κάποιιοι περιορισμοί είναι κοινοί με το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων με τη χρήση παραδοχής που αναλύθηκε στην υποενότητα 3.2.1. Επίσης, κάποιιοι περιορισμοί είναι κοινοί με το μοντέλο (VRP) χωρίς παραδοχή για τη διανομή καυσίμων που αναλύθηκε στην υποενότητα 3.3.1. Συγκεκριμένα οι περιορισμοί αυτοί είναι οι (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.27), (3.29), (3.30) και (3.31). Σε όλους τους παραπάνω περιορισμούς γίνεται αντικατάσταση του συνολικού αριθμού των βυτιοφόρων (NTT), με τον αριθμό των ιδιόκτητων βυτιοφόρων της εταιρίας (NOT). Το μοντέλο ολοκληρώνεται με την αντικειμενική συνάρτηση και τους χαλαρωμένους περιορισμούς ικανοποίησης της ζήτησης που παρουσιάζονται παρακάτω.

$$\text{Minimize} \quad Z = \left(\sum_{i=1}^{NS} \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} (C_{i,j} X_{i,j,k}) \right) * c + \left(\sum_{j=1}^{NS} Q_j * \left(1 - \sum_{i=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} X_{i,j,k} \right) \right) * l \quad (3.41)$$

$$\text{Περιορισμοί:} \quad \sum_{i=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} X_{i,j,k} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.42)$$

$$\sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} X_{i,j,k} \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, NS - 1 \quad (3.43)$$

$$\sum_{l=1}^{NAT} \sum_{k=1}^{NOT} U_{z,l,k,i} = AS_{i,z} * \sum_{j=1}^{NS} \sum_{k=1}^{NOT} X_{i,j,k}, \quad (3.44)$$

$$i = 1, 2, \dots, NS, z = 1, 2, \dots, NTF$$

Η παραπάνω αντικειμενική συνάρτηση (3.41) εκφράζει τη συνάρτηση του κόστους. Οι περιορισμοί (3.42) και (3.43) εκφράζουν ότι ένα πρατήριο θα εξυπηρετηθεί το πολύ μία φορά, ενώ ο περιορισμός (3.44) εξασφαλίζει αν ένα πρατήριο εξυπηρετηθεί, η ποσότητα που θα φορτωθεί σε όλα τα βυτιοφόρα, για ένα συγκεκριμένο είδος, που προορίζεται για αυτό το πρατήριο, θα είναι ίση με την ζήτηση του πρατηρίου από το συγκεκριμένο είδος.

Το αποτέλεσμα του παραπάνω μαθηματικού μοντέλου είναι η εύρεση της βέλτιστης λύσης του κόστους για την εταιρία για την διανομή των καυσίμων, ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσουν τα βυτιοφόρα της εταιρίας αλλά και ποια διαδρομή θα ακολουθήσουν. Το παραπάνω μοντέλο παρόλο που δίνει το ελάχιστο κόστος, δίνει το σύνολο των πρατηρίων που θα εξυπηρετηθούν από τους ιδιώτες και όχι ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει το εκάστοτε βυτιοφόρο των ιδιωτών. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια εκτελείται είτε ένα το νέο μοντέλο της χαλάρωσης του (VRP) για διανομή καυσίμων χωρίς παραδοχή για τα βυτιοφόρα των ιδιωτών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η ονοματολογία των δεικτών, των

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΕΥΡΕΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

δεδομένων και των μεταβλητών απόφασης που χρησιμοποιούνται για το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο.

Ονοματολογία

Δείκτες

i	πρατήριο,
j	πρατήριο,
h	πρατήριο,
k	βυτιοφόρο,
l	διαμέρισμα βυτιοφόρου,
z	είδος καυσίμου,
NS	αριθμός πρατηρίων,
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,
NAT	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),
NTF	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια) .

Δεδομένα

Q_i	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i , σε λίτρα,
$C_{i,j}$	χιλιομετρική απόσταση του πρατηρίου i από το j ,
P_k	συνολική χωρητικότητα του βυτιοφόρου k ,
$CAP_{k,l}$	συνολική χωρητικότητα του διαμερίσματος l , του k βυτιοφόρου,
$AS_{i,z}$	συνολική ζήτηση του πρατηρίου i από το είδος z , σε λίτρα,

Μεταβλητές Απόφασης

$X_{i,j,k}$	δυναμική μεταβλητή (0-1) η οποία είναι ίση με 1, αν το ζευγάρι των πρατηρίων i, j είναι στη διαδρομή του βυτιοφόρου k , 0 αν όχι,
Y_i	συνεχής μεταβλητή που δείχνει την σειρά με την οποία το πρατήριο i έχει επισκεφτεί, χρησιμοποιείται για την απαλοιφή των υποδιαδρομών.
$U_{z,l,k,i}$	συνεχής μεταβλητή η οποία εκφράζει την ποσότητα του είδους z καυσίμου που τοποθετείται στο διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k για το πρατήριο i ,

$F_{z,l,k}$ δυαδική μεταβλητή (0-1) που είναι ίση με 1, αν το διαμέρισμα l του βυτιοφόρου k περιέχεται το είδος ζυγρού καυσίμου, 0 αν όχι.

Πίνακας 3-12: Ονοματολογία δεικτών, δεδομένων και μεταβλητών απόφασης για το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα των ιδιωτών

Το μαθηματικό μοντέλο χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα των ιδιωτών είναι το εξής:

Στο συγκεκριμένο μοντέλο όλοι οι περιορισμοί είναι κοινοί με το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) για την διανομή καυσίμων χωρίς τη χρήση παραδοχής που αναλύθηκε στην υποενότητα 3.3.1. συγκεκριμένα πρόκειται για τους περιορισμούς (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8), (3.27), (3.28), (3.29), (3.30) και (3.31). Σε όλους τους παραπάνω περιορισμούς γίνεται αντικατάσταση του συνολικού αριθμού των βυτιοφόρων (NTT), με τον αριθμό των βυτιοφόρων που μισθώνονται από ιδιώτες, δηλαδή (NTT) μείον (NOT). Το μοντέλο ολοκληρώνεται με την αντικειμενική συνάρτηση που παρουσιάζεται παρακάτω.

$$\text{Minimize} \quad Z = M \quad (3.45)$$

Στην παραπάνω αντικειμενική συνάρτηση (3.45) το M εκφράζει έναν σταθερό αριθμό. Με τον τρόπο αυτό στο παραπάνω μοντέλο δεν υπάρχει κάτι προς βελτιστοποίηση και το αποτέλεσμα δίνει ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει κάθε βυτιοφόρο των ιδιωτών ικανοποιώντας όλους τους περιορισμούς. Δηλαδή, το μοντέλο δίνει απλά μια εφικτή λύση για τους ιδιώτες και ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει κάθε βυτιοφόρο τους.

3.4 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκαν μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού και ευρετικοί μέθοδοι που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων από το διυλιστήριο σε έναν αριθμό από πρατήρια, με ένα συγκεκριμένο στόλο οχημάτων, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους. Αναλύθηκαν μοντέλα και ευρετικοί μέθοδοι χρησιμοποιώντας παραδοχή στις ζητήσεις των πρατηρίων και στις χωρητικότητες των βυτιοφόρων, αλλά και χωρίς αυτή. Το κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται στα αποτελέσματα, που προκύπτουν από την επίλυση των παραπάνω μοντέλων και ευρετικών μεθόδων.

4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε η παρουσίαση και η περιγραφή των μαθηματικών μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων που επιλύουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων από ένα διυλιστήριο σε έναν αριθμό από πρατήρια. Στο κεφάλαιο αυτό, θα γίνει η παρουσίαση των μεθόδων επίλυσης και αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την λύση των παραπάνω μοντέλων και ευρετικών τρόπων επίλυσης.

4.2 Μέθοδοι επίλυσης

Για την υλοποίηση των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το IBM CPLEX Optimization Studio Academic Research Edition 12.5. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού. Το όνομα CPLEX προέρχεται από την καινοτομία του λογισμικού αυτού που αφορά στην ενσωμάτωση του αλγορίθμου βελτιστοποίησης Simplex σε προγραμματιστικό περιβάλλον της γλώσσας C. Κατόπιν στο πρόγραμμα εισήχθη και η χρήση άλλων γλωσσών προγραμματισμού για την μοντελοποίηση προβλημάτων βελτιστοποίησης.

Η μοντελοποίηση των προγραμμάτων στην παρούσα μελέτη έγινε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού C++. Η συγκεκριμένη γλώσσα προγραμματισμού είναι αντικειμενοστραφής και είναι συνδυασμός των ευρέως χρησιμοποιούμενων γλωσσών C και Java. Επίσης, το λογισμικό ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση των προγραμμάτων είναι το Microsoft Visual Studio 2010.

Το πακέτο βελτιστοποίησης της IBM σε συνδυασμό με τη διαδικασία του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού (C++) δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα της αποτελεσματικής υλοποίησης κάθε είδους βελτιστοποίησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται στο Microsoft Visual Studio η βιβλιοθήκη της CPLEX, πράγμα το οποίο δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής αντικειμένων των κλάσεων της CPLEX. Για παράδειγμα, για τον ορισμό των μεταβλητών απόφασης χρησιμοποιούνται αντικείμενα της κλάσης «IloNumVarArray» ή «IloNumVarMatrix» για μονοδιάστατους ή πολυδιάστατους πίνακες αριθμητικών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

μεταβλητών απόφασης. Για τους περιορισμούς ορίζονται αντικείμενα των κλάσεων «IloRangeArray» ή «IloRangeMatrix» αντίστοιχα. Τέλος, εφόσον έχουν εισαχθεί τα δεδομένα, οι μεταβλητές απόφασης, οι περιορισμοί και η αντικειμενική συνάρτηση, ορίζεται στο σύστημα ο τύπος της βελτιστοποίησης (μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση) και χρησιμοποιείται η εντολή «cplexsolve» που ορίζει την επίλυση με το υπολογιστικό πακέτο της IBM.

Η υλοποίηση των προγραμμάτων έλαβε χώρα στο εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που βρίσκεται στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε είναι τα εξής:

- Επεξεργαστής: Intel(R) Core(TM) i5-3330 CPU 3.00GHz,
- Εγκατεστημένη μνήμη: 8,00 GB,
- Λογισμικό: Windows 7 Professional 64-bit.

Αντικείμενο μελέτης εκτός από την εύρεση της βέλτιστης λύσης που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση κόστους για τους διάφορους τρόπους επίλυσης, αποτέλεσε και ο χρόνος εκτέλεσης κάθε προγράμματος. Για τον παραπάνω λόγο όλα τα αποτελέσματα λήφθηκαν από τον ίδιο υπολογιστή.

4.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων να αναφερθεί ότι η βέλτιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί από όλα τα μοντέλα. Αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του προβλήματος, όσο πιο μικρό είναι το πρόβλημα, τόσο πιο εύκολα μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη λύση. Ένα πρόβλημα ορίζεται ως μικρό, όταν έχει πολύ λιγότερα πρατήρια και βυτιοφόρα από το αρχικό παράδειγμα που έχουμε χρησιμοποιήσει (38 πρατήρια, 1 διυλιστήριο και 22 βυτιοφόρα). Όσο μεγαλώνει το μέγεθος του προβλήματος, ο υπολογισμός της βέλτιστης λύσης γίνεται πιο δύσκολος και ο υπολογιστικός χρόνος αυξάνεται εκθετικά. Σε πολλές περιπτώσεις, τα προγράμματα κατά την επίλυση τους καταλαμβάνουν όλη τη διαθέσιμη μνήμη του υπολογιστή με αποτέλεσμα να τερματίζονται πριν την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Όταν συμβαίνει αυτό, εμφανίζεται από το λογισμικό η ένδειξη «out of memory».

Στους πίνακες που παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, δίπλα σε κάποια νούμερα παρουσιάζονται κάποια σύμβολα. Με (*) συμβολίζεται ότι το πρόγραμμα βρέθηκε εκτός μνήμης, δηλαδή εμφανίστηκε το

μήνυμα «out of memory». Αν σε κάποιο κελί ενός πίνακα αποτελεσμάτων δεν υπάρχει αριθμός αλλά το σύμβολο “-“ τότε το πρόγραμμα δε κατάφερε να βρει έστω και μία εφικτή λύση.

4.3.1 Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των μοντέλων με τη χρήση της παραδοχής βρίσκονται στους Πίνακες 3-1 και Πίνακας 3-2.

Το κόστος, που εξετάζεται η ελαχιστοποίησή του, προκύπτει από το σύνολο των χιλιομέτρων που διανύουν τα βυτιοφόρα της εταιρίας πολλαπλασιασμένο με το κόστος ανά διανυθέν χιλιόμετρο, το οποίο ανέρχεται στα 0,47 ευρώ ανά χιλιόμετρο, συν το κόστος που προκύπτει από τις μονάδες που μεταφέρουν οι ιδιώτες και ανέρχεται στα 18 ευρώ ανά μεταφερόμενη μονάδα.

4.3.1.1 Κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με ισχύουσες ανισότητες

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του προβλήματος με παραδοχή και συγκεκριμένα το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP), με την χρήση όλων των συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων.

Συνδυασμοί ισχυουσών ανισοτήτων στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με παραδοχή	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε ευρώ)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI)	2043.5	396.9	8.68% (*)
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	2037.96	566.76	8.66% (*)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b)	2008.87	845.83	6.99% (*)
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	2043.5	396.14	8.68% (*)
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	2037.96	569.81	8.66% (*)
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	2008.87	847.97	6.99% (*)

Πίνακας 4-1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τις ισχύουσες ανισότητες του κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με παραδοχή

Όπως είναι φανερό από τον Πίνακα 4-1, τα κλασικά μαθηματικά μοντέλα (VRP) με παραδοχή με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των ισχυουσών ανισοτήτων τέθηκαν εκτός μνήμης σε διαφορετικό Gap και σε διαφορετικούς χρόνους το καθένα από αυτά, δηλαδή κανένα δεν κατάφερε να βρει τη βέλτιστη λύση. Για να βρεθεί ποιος συνδυασμός ισχυουσών ανισοτήτων είναι ο καλύτερος, αρκεί να γίνει μία σύγκριση στις τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης που δίνει ο κάθε συνδυασμός, αλλά και στον χρόνο που ο καθένας δίνει αυτή τη λύση. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των μοντέλων με τις ισχύουσες ανισότητες ως προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, αλλά και ως προς τον χρόνο επίλυσης όλων των μοντέλων σε σχέση με το μοντέλο (VRP) χωρίς παραδοχή που δεν περιέχει ισχύουσες ανισότητες, δηλαδή το μοντέλο NVI.

Συνδυασμοί ισχυουσών ανισοτήτων στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με παραδοχή	Σύγκριση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) σε σχέση με τον συνδυασμό NVI	Σύγκριση του υπολογιστικού χρόνου επίλυσης (CPU solution time) σε σχέση με τον συνδυασμό NVI
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	0,271103%	-42,7967%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b)	1,694642%	-113,109%
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	0%	0,191484%
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	0,271103%	-43,5651%
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	1,694642%	-113,648%

Πίνακας 4-2: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου του μοντέλου NVI και των υπόλοιπων συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) με παραδοχή

Ο Πίνακας 4-2 απεικονίζει τη σύγκριση των συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων που μπορούν να τοποθετηθούν στο μοντέλο (VRP) με παραδοχή σε σχέση με το μοντέλο (VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI). Στον παραπάνω πίνακα λοιπόν, παρουσιάζεται η διαφορά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και στον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης όλων των συνδυασμών εκφρασμένη σε (%) ποσοστό επί της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης και του χρόνου επίλυσης του συνδυασμού NVI, αντίστοιχα. Επίσης, στα αποτελέσματα υπάρχουν κάποια αρνητικά ποσοστά. Η παρουσία του μείων απεικονίζει ότι ο συνδυασμός NVI έχει καλύτερο αποτέλεσμα από τον συνδυασμό που εμφανίζεται το μείων, στο κάθε πεδίο σύγκρισης. Όσον αφορά για το τι είναι καλύτερο, αυτό σημαίνει ότι έχει χαμηλότερο αποτέλεσμα, είτε στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, αφού πρόκειται για ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους, είτε στον χρόνο επίλυσης. Σύμφωνα λοιπόν, με τα αποτελέσματα που παραθέτονται στον Πίνακα 4-2, γίνεται εύκολα κατανοητό ότι οι τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων βρίσκονται όλες πολύ κοντά αφού σε καμία περίπτωση δε ξεπερνά το 2% σε σχέση με τον συνδυασμό NVI. Αντίθετα, όσον αφορά τους χρόνους επίλυσης υπάρχουν κάποιες διαφοροποιήσεις, που θα αναλυθούν στη συνέχεια. Επιστρέφοντας, στην σύγκριση για την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, παρατηρείται ότι ο συνδυασμός VI2 έχει την ίδια αντικειμενική συνάρτηση με τον συνδυασμό NVI, αφού η διαφορά τους είναι 0%. Ακόμα, το μοντέλο που δεν χρησιμοποιεί ισχύουσες ανισότητες (NVI) έχει χειρότερη τιμή αντικειμενικής συνάρτησης από τους συνδυασμούς VIIa και AVIa κατά 0.27% και στους δύο. Επίσης, έχει χειρότερη τιμή και από τους συνδυασμούς VI1b και AVIb περίπου κατά 1.7% και στους δύο. Επομένως, όσον αφορά την τιμή που λαμβάνει η

αντικειμενική συνάρτηση, μικρότερο κόστος, δηλαδή καλύτερη αντικειμενική συνάρτηση, δίνουν οι συνδυασμοί με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b) και με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb). Η σύγκριση των αποτελεσμάτων για τους χρόνους επίλυσης, αναφέρουν ότι ο συνδυασμός NVI έχει χειρότερο χρόνο επίλυσης μόνο από έναν συνδυασμό, τον VI2. Ενώ οι υπόλοιποι συνδυασμοί έχουν υψηλότερο χρόνο επίλυσης σε σχέση με τον συνδυασμό NVI. Συγκεκριμένα ο συνδυασμός VI1a έχει χειρότερο χρόνο επίλυσης περίπου κατά 42,8%, ο VI1b περίπου κατά 113%, ο AVIa περίπου κατά 43,5% και ο AVIb κατά 113% σε σχέση με τον συνδυασμό NVI. Επομένως, όσον αφορά τον χρόνο επίλυσης, λιγότερο χρόνο για να δώσει την καλύτερη λύση που μπορεί, χρειάζεται το μοντέλο που δεν χρησιμοποιεί ισχύουσες ανισότητες (NVI). Συνοψίζοντας, από την παραπάνω σύγκριση που έγινε για την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και για τον χρόνο επίλυσης, οι συνδυασμοί NVI και VI2 παρουσιάζουν τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, αλλά ο VI2 είναι καλύτερος και ως προς τον χρόνο επίλυσης, στον οποίο παρουσιάστηκε αυτή η τιμή.

4.3.1.2 Αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή

Ο ευρετικός αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή περιλαμβάνει το μοντέλο clustering I, που είναι αρμόδιο για το χώρισμα των πρατηρίων σε ομάδες, τόσα μοντέλα clustering II, όσες είναι και οι ομάδες των πρατηρίων και τέλος μοντέλα (TSP) για όσα βυτιοφόρα έχουν να εξυπηρετήσουν περισσότερα από 2 πρατήρια. Ο αριθμός των ομάδων είναι έξι, έτσι ώστε σε κάθε ομάδα να μπορεί να εκτελεστεί και να δώσει βέλτιστη λύση σε σχετικά μικρό χρόνο το μοντέλο clustering II. Επειδή, όμως το μοντέλο του clustering I δεν είχε τη δυνατότητα να χωρίσει τα πρατήρια απ' ευθείας σε έξι ομάδες, χρησιμοποιήθηκε το εξής τέχνασμα. Αρχικά, ο χώρος των πρατηρίων χωρίζεται σε δύο ομάδες και έπειτα, η κάθε ομάδα χωρίζεται σε τρεις υποομάδες. Επομένως, συνολικά έχουν δημιουργηθεί έξι υποομάδες, όπου σε κάθε μία από αυτές θα εκτελεστεί ένα μοντέλο clustering II, δηλαδή, θα χρησιμοποιηθούν έξι clustering II. Η λογική σύμφωνα με την οποία θα χρησιμοποιηθούν τα βυτιοφόρα σε κάθε ομάδα έχει αναπτυχθεί στην υποενότητα 3.2.4. Τα αποτελέσματα του αλγόριθμου clustering και (TSP) με παραδοχή παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μοντέλα	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)	0,09	0%
Χώρισμα 1 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIa)	11,16	0%
Χώρισμα 2 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIb)	0,36	0%
Clustering II ομάδα a1 (MCIIa1)	0,16	0%
Clustering II ομάδα a2 (MCIIa2)	0,16	0%
Clustering II ομάδα a3 (MCIIa3)	0,95	0%
Clustering II ομάδα b1 (MCIIb1)	0,05	0%
Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2)	0,05	0%
Clustering II ομάδα b3 (MCIIb3)	0,05	0%
(TSP) βυτιοφόρο 5 (TSP-B5)	0,16	0%
Συνολικά	13,19	

Πίνακας 4-3: παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή

Η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση των μοντέλων που είναι αρμόδια για την ομαδοποίηση των πρατηρίων ομάδες (MCI, MCIIa, MCIIb) δε χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψιν, αφού το ζητούμενο είναι η εύρεση του συνολικού κόστους για τη μεταφορά. Κάτι τέτοιο δεν περιλαμβάνεται στην αντικειμενική συνάρτηση του κάθε μοντέλου MCI, MCIIa και MCIIb, αφού τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι υπεύθυνα για την ομαδοποίηση των πρατηρίων. Το πρώτο μοντέλο που χωρίζει τα πρατήρια σε δύο ομάδες δίνει ως αποτέλεσμα στην πρώτη ομάδα 23 πρατήρια και στην δεύτερη 15. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από το χώρισμα της πρώτης ομάδας σε τρεις υποομάδες είναι ότι στην πρώτη υποομάδα (a1) υπάρχουν 7 πρατήρια, στην δεύτερη (a2) 7 και στην τρίτη (a3) 9. Το χώρισμα της δεύτερης ομάδας σε τρεις υποομάδες έχει ως αποτέλεσμα στην τέταρτη υποομάδα (b1) να τοποθετηθούν 5 πρατήρια, στην Πέμπτη (b2) 7 και στην έκτη (b3) 3. Όπως έχει αναφερθεί στην παρουσίαση της συγκεκριμένης ευρετικής μεθόδου στην υποενότητα 3.2.4, στις υποομάδες αυτές δεν περιλαμβάνεται το διυλιστήριο, το οποίο τοποθετείται σε κάθε υποομάδα σαν το τελευταίο πρατήριο με ζήτηση ίση με το μηδέν. Επομένως, η πρώτη υποομάδα περιέχει 8 πρατήρια, η δεύτερη 8, η τρίτη 10, η τέταρτη 6, η πέμπτη 8 και η έκτη 4. Όσον αφορά τα βυτιοφόρα που τοποθετούνται σε κάθε υποομάδα, αυτά τοποθετούνται όπως έχει

αναλυθεί στην υποενότητα 3.2.4. Συγκεκριμένα, στην πρώτη υποομάδα τοποθετούνται δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 12 μονάδων, δύο των 6 και ένα των 8. Κατά την εκτέλεση το μοντέλο clustering II για την πρώτη υποομάδα (MCIIa1) επιλέγει όλα τα διαθέσιμα βυτιοφόρα. Στην δεύτερη υποομάδα τοποθετούνται, επίσης, 5 βυτιοφόρα, δύο των 12, δύο των 6 και ένα των 8 και επιλέγονται όλα από το μοντέλο (MCIIa2). Στην τρίτη υποομάδα τοποθετούνται 8 βυτιοφόρα. Τρία βυτιοφόρα χωρητικότητας 12 μονάδων, δύο των 6 και τρία των 8. Από αυτά, το (MCIIa3) επιλέγει τρία χωρητικότητας 12 και δύο των 6. Για την επίλυση της τέταρτης υποομάδας τοποθετούνται από δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 12 και 8 μονάδων και επιλέγονται από το μοντέλο (MCIIb1) μόνο τα δύο με χωρητικότητα 8. Στην πέμπτη υποομάδα τοποθετούνται δύο βυτιοφόρα χωρητικότητας 12 και τρία των 8 που έχουν περισσέψει, δηλαδή δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση των πρατηρίων που ανήκουν σε άλλες υποομάδες και ένα εφεδρικό βυτιοφόρο χωρητικότητας 6 μονάδων, το οποίο ανήκει στον στόλο όλων των βυτιοφόρων και θα εκτελέσει διπλό δρομολόγιο. Το μοντέλο clustering II για αυτή υποομάδα (MCIIb2) αποφασίζει να χρησιμοποιήσει όλα τα διαθέσιμα βυτιοφόρα. Στην τελευταία υποομάδα τοποθετούνται τρία εφεδρικά βυτιοφόρα, ένα από κάθε ομάδα, δηλαδή ένα χωρητικότητας 12, ένα των 8 και ένα των 6. Το μοντέλο (MCIIb3) επιλέγει μόνο τα δύο από τα τρία διαθέσιμα βυτιοφόρα, αυτά με χωρητικότητες 12 και 8. Μετά την εκτέλεση των μοντέλων clustering II για την κάθε υποομάδα εκτελούνται τα μοντέλα (TSP) για κάθε βυτιοφόρο που ανήκει στο στόλο της εταιρίας και έχει να εξυπηρετήσει περισσότερα από 2 πρατήρια. Το μοναδικό βυτιοφόρο που χρειάζεται να εκτελεστεί (TSP) είναι το 5. Το βυτιοφόρο έχει να εξυπηρετήσει 3 πρατήρια, δηλαδή να περάσει από 4 σημεία μαζί με το διυλιστήριο. Η συνολική τιμή του κόστους, που αναφέρεται στο συνολικό πρόβλημα και προκύπτει από τα δεδομένα που λήφθηκαν από την εκτέλεση των μοντέλων clustering II για κάθε υποομάδα και (TSP) για το βυτιοφόρο που προαναφέραμε. Στην τελευταία γραμμή του Πίνακα 4-3 εμφανίζεται ο συνολικός χρόνος επίλυσης, ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα των χρόνων που χρειάστηκαν για την δημιουργία των υποομάδων, των χρόνων που χρειάστηκε το κάθε clustering II για να δώσει λύση για κάθε υποομάδα και του χρόνου που χρειάζεται το (TSP) για να δώσει λύση. Δηλαδή είναι το άθροισμα των μοντέλων MCI, MCIIa, MCIIb, MCIIa1, MCIIa2, MCIIa3, MCIIb1, MCIIb2, MCIIb3, TSP-B5. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή, βρήκε βέλτιστη λύση σε 13,25 δευτερόλεπτα, η οποία υποδεικνύει ότι το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 1928,03 ευρώ, χρησιμοποιώντας 3 εφεδρικά βυτιοφόρα.

4.3.2 Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς παραδοχή

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των μοντέλων χωρίς παραδοχή εμφανίζονται στους πίνακες 3-8 και 3-9.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το κόστος, που εξετάζεται η ελαχιστοποίησή του, προκύπτει από το σύνολο των χιλιομέτρων που διανύουν τα βυτιοφόρα της εταιρίας πολλαπλασιασμένο με το κόστος ανά διανυθέν χιλιόμετρο, το οποίο ανέρχεται στα 0,47 ευρώ ανά χιλιόμετρο, συν το κόστος που προκύπτει από τα λίτρα υγρού καυσίμου που μεταφέρουν οι ιδιώτες και ανέρχεται, σε αυτή την περίπτωση, στα 0,006 ευρώ ανά μεταφερόμενο λίτρο.

4.3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων

Ο Πίνακας 4-4 παρουσιάζει το αποτέλεσμα της επίλυσης του μαθηματικού μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
(VRP) για διανομή καυσίμων (XV)	(-)	22820	(-)

Πίνακας 4-4: Παρουσίαση αποτελέσματος μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Όπως είναι φανερό από τον παραπάνω πίνακα, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν έδωσε καμία εφικτή λύση. Συγκεκριμένα, μετά το πέρας 6,5 περίπου ωρών το πρόγραμμα τέθηκε εκτός μνήμης, χωρίς να έχει δώσει κάποια εφικτή λύση. Για το συγκεκριμένο λόγο, δημιουργήθηκαν οι επόμενοι ευρετικοί τρόποι επίλυσης. Δηλαδή, για να βρεθεί λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα, αφού το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων δεν μπορεί να λύσει το πρόβλημα της διανομής υγρών καυσίμων.

4.3.2.2 Αλγόριθμοι clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

Ο αλγόριθμος clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή αποτελείται από το μοντέλο clustering I, που είναι αρμόδιο για το χώρισμα των πρατηρίων σε ομάδες, τόσα μοντέλα clustering II, όσες είναι και οι ομάδες των πρατηρίων και τέλος μοντέλα (TSP) για όσα βυτιοφόρα έχουν να εξυπηρετήσουν περισσότερα από 2 πρατήρια. Ο αριθμός των ομάδων είναι έξι, έτσι ώστε σε κάθε ομάδα να μπορεί να εκτελεστεί και να δώσει βέλτιστη λύση σε σχετικά μικρό χρόνο το μοντέλο clustering II. Επειδή, όμως το μοντέλο του clustering I δεν είχε τη δυνατότητα να χωρίσει τα πρατήρια απ' ευθείας σε έξι ομάδες,

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

χρησιμοποιείται το τέχνασμα που αναλύθηκε στην ενότητα 4.3.1.2. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Μοντέλα	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)	0,09	0%
Χώρισμα 1 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIa)	11,16	0%
Χώρισμα 2 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIb)	0,36	0%
Clustering II ομάδα a1 (MCIIa1)	5,34	0%
Clustering II ομάδα a2 (MCIIa2)	4,18	0%
Clustering II ομάδα a3 (MCIIa3)	15,52	0%
Clustering II ομάδα b1 (MCIIb1)	0,13	0%
Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2)	3,7	0%
Clustering II ομάδα b3 (MCIIb3)	0,14	0%
(TSP) βυτιοφόρο 4 (TSP-B4)	0,13	0%
Συνολικά	40,84	

Πίνακας 4-5: παρουσίαση αποτελεσμάτων για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή

Η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση των μοντέλων που είναι αρμόδια για την ομαδοποίηση των πρατηρίων ομάδες (MCI, MCIIa, MCIIb) δε χρειάζεται να ληφθεί υπ' όψιν, αφού το ζητούμενο είναι η εύρεση του συνολικού κόστους για τη μεταφορά. Κάτι τέτοιο δεν περιλαμβάνεται στην αντικειμενική συνάρτηση του κάθε μοντέλου MCI, MCIIa και MCIIb, αφού τα συγκεκριμένα μοντέλα είναι υπεύθυνα για την ομαδοποίηση των πρατηρίων. Το πρώτο μοντέλο που χωρίζει τα πρατήρια σε δύο ομάδες δίνει ως αποτέλεσμα στην πρώτη ομάδα 23 πρατήρια και στην δεύτερη 15. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από το χώρισμα της πρώτης ομάδας σε τρεις υποομάδες είναι ότι στην πρώτη υποομάδα (a1) υπάρχουν 7 πρατήρια, στην δεύτερη (a2) 7 και στην τρίτη (a3) 9. Το χώρισμα της δεύτερης ομάδας σε τρεις υποομάδες έχει ως αποτέλεσμα στην τέταρτη υποομάδα (b1) να τοποθετηθούν 5 πρατήρια, στην Πέμπτη (b2) 7 και στην έκτη (b3) 3. Όπως έχει αναφερθεί στην παρουσίαση της συγκεκριμένης

ευρετικής μεθόδου στην υποενότητα 3.3.2, στις υποομάδες αυτές δεν περιλαμβάνεται το διυλιστήριο, το οποίο τοποθετείται σε κάθε υποομάδα σαν το τελευταίο πρατήριο με ζήτηση ίση με το μηδέν. Επομένως, η πρώτη υποομάδα περιέχει 8 πρατήρια, η δεύτερη 8, η τρίτη 10, η τέταρτη 6, η πέμπτη 8 και η έκτη 4. Όσον αφορά τα βυτιοφόρα που τοποθετούνται σε κάθε υποομάδα, αυτά τοποθετούνται όπως έχει αναλυθεί στην υποενότητα 3.3.2. Συγκεκριμένα, στην πρώτη υποομάδα τοποθετούνται δύο βυτιοφόρο 18000 λίτρων, ένα 24000 λίτρων και δύο 36000 λίτρων. Από αυτά, το (MCIIa1) επιλέγει να τα χρησιμοποιήσει όλα. Στην δεύτερη υποομάδα τοποθετούνται πέντε βυτιοφόρα, δύο βυτιοφόρο 18000 λίτρων, ένα 24000 λίτρων και δύο 36000 λίτρων, τα οποία επιλέγονται όλα για την εξυπηρέτηση των πρατηρίων που ανήκουν στην δεύτερη υποομάδα. Εννέα βυτιοφόρα, δύο βυτιοφόρο 18000 λίτρων, τέσσερα 24000 λίτρων και τρία 36000 λίτρων, τοποθετούνται στην τρίτη υποομάδα. Από τα οποία, το μοντέλο (MCIIa3) επιλέγει να χρησιμοποιήσει τα πέντε και συγκεκριμένα ένα 18000 λίτρων, δύο 24000 λίτρων και τρία 36000 λίτρων. Συνεχίζοντας, με την ίδια λογική, για την επίλυση της τέταρτης υποομάδας τοποθετούνται ένα βυτιοφόρο χωρητικότητας 24000 λίτρων και ένα 36000 λίτρων. Η επίλυση του (MCIIb1) δεσμεύει και τα δύο βυτιοφόρα. Για την πέμπτη υποομάδα, τοποθετείται ένα βυτιοφόρο 18000, δύο 24000 λίτρων και δύο 36000 λίτρων, εκ των οποίων το ένα είναι εφεδρικό. Για αυτή την υποομάδα το (MCIIb2) αποφασίζει να χρησιμοποιήσει όλα τα διαθέσιμα βυτιοφόρα. Στην τελευταία υποομάδα, τοποθετείται ένα εφεδρικό βυτιοφόρο από κάθε τύπο, δηλαδή ένα 18000, ένα 24000 λίτρων και ένα 36000 λίτρων και δεσμεύονται από το (MCIIb3). Μετά την εκτέλεση των μοντέλων clustering II για την κάθε υποομάδα εκτελούνται τα μοντέλα (TSP) για κάθε βυτιοφόρο που ανήκει στο στόλο της εταιρίας και έχει να εξυπηρετήσει περισσότερα από 2 πρατήρια. Το βυτιοφόρο που χρειάζεται να εκτελεστεί (TSP), ώστε να βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή είναι το 4. Το βυτιοφόρο αυτό πρέπει να εξυπηρετήσει τρία πρατήρια, δηλαδή πρέπει να περάσει από τέσσερα σημεία. Η συνολική τιμή του κόστους, που αναφέρεται στο συνολικό πρόβλημα και προκύπτει από τα δεδομένα που λήφθηκαν από την εκτέλεση των μοντέλων clustering II για κάθε υποομάδα και (TSP) για το βυτιοφόρο που προαναφέραμε. Στην τελευταία γραμμή του Πίνακα 4-5 εμφανίζεται ο συνολικός χρόνος επίλυσης, ο οποίος προκύπτει από το άθροισμα των χρόνων που χρειάστηκαν για την δημιουργία των υποομάδων, των χρόνων που χρειάστηκε το κάθε clustering II για να δώσει λύση για κάθε υποομάδα και του χρόνου που χρειάζεται το (TSP) για να δώσει. Δηλαδή είναι το άθροισμα των μοντέλων MCI, MCIIa, MCIIb, MCIIa1, MCIIa2, MCIIa3, MCIIb1, MCIIb2, MCIIb3 και TSP-B4. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή, βρήκε βέλτιστη λύση σε 40,84 δευτερόλεπτα, η οποία υποδεικνύει ότι το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 1747,68 ευρώ, χρησιμοποιώντας 3 εφεδρικά βυτιοφόρα.

4.3.2.3 Μυωπικός αλγόριθμος

Η ευρετική αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί έναν μυωπικό αλγόριθμο, στον οποίο τα βυτιοφόρα εξετάζονται με τη σειρά. Αρχικά εξετάζονται τα βυτιοφόρα της εταιρίας που είναι όλα χωρητικότητας 36000 λίτρων. Στη συνέχεια εξετάζονται τα βυτιοφόρα των ιδιωτών με χωρητικότητα 18000 λίτρων, 24000 λίτρων και 36000 λίτρων, με τη σειρά που προαναφέρθηκε. Τα αποτελέσματα της ευρετικής μεθόδου αυτής εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε ευρώ)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Εφεδρικά βυτιοφόρα που χρησιμοποιούνται
Μυωπικό αλγόριθμος	1969,65	0,05	3

Πίνακας 4-6: Παρουσίαση αποτελέσματος του μυωπικού αλγορίθμου

Ο μυωπικός αλγόριθμος δεν έχει την ικανότητα να εμφανίσει τη βέλτιστη λύση του προβλήματος καθώς δεν χρησιμοποιεί κάποιο μοντέλο βελτιστοποίησης. Η λύση που εμφανίζεται είναι μία εφικτή λύση η οποία προκύπτει από τα χαρακτηριστικά του μυωπικού αλγορίθμου που αναλύθηκε στην ενότητα 3.3.3. Ο αλγόριθμος αυτός, βρήκε τη λύση σε σχεδόν μηδενικό χρόνο, η οποία υποδεικνύει ότι το συνολικό κόστος ανέρχεται στα 1969,65 ευρώ, με τη χρήση 3 εφεδρικών βυτιοφόρων.

Αυτή η ομάδα ευρετικών μεθόδων υπενθυμίζεται ότι αποτελείται από τις μεθόδους: Συνεχόμενες γραμμικές χαλαρώσεις του μοντέλου (VRP) χωρίς παραδοχή και την μετεξέλιξη μυωπικού αλγορίθμου.

4.3.2.4 Χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Αρχικά υπενθυμίζεται ότι η ευρετική μέθοδος χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων αποτελείται από τα μοντέλα: χαλαρωμένο μαθηματικό μοντέλο (VRP) με δεδομένα τα βυτιοφόρα της εταιρίας και χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα των ιδιωτών. Τα αποτελέσματα της ευρετικής μεθόδου αυτής εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε ευρώ)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χαλάρωση για ιδιότητα βυτιοφόρα	1995,52	3650,76	6,93%
Αποτελέσματα για ιδιώτες	0	6,93	0%
Συνολικά	1995,52	3657,69	

Πίνακας 4-7: Παρουσίαση αποτελεσμάτων για τη χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διαμονή καυσίμων

4.4 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο έλαβε χώρα η παρουσίαση των μεθόδων επίλυσης αλλά και των αποτελεσμάτων των μαθηματικών μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων. Ακόμα, έγινε σύγκριση στους συνδυασμούς που θα μπορούσε να έχει κάποιο μοντέλο ή κάποια ευρετική μέθοδος, μέσα από την οποία επιλέχθηκε ο καλύτερος συνδυασμός, έτσι αυτός να έχει την χαμηλότερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση, αλλά και τον χαμηλότερο χρόνο επίλυσης σε σχέση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς. Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την επίλυση των μοντέλων και των ευρετικών τρόπων επίλυσης. Επίσης, γίνεται και σχολιασμός της παραπάνω σύγκρισης.

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκαν οι μέθοδοι επίλυσης αλλά και τα αποτελέσματα των μαθηματικών μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων, έγινε σύγκριση στους συνδυασμούς που θα μπορούσε να έχει κάποιο μαθηματικό μοντέλο ή κάποια ευρετική μέθοδος. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, θα γίνουν δύο συγκρίσεις, μία για τα μοντέλα και τις ευρετικές μεθόδους που χρησιμοποιούν παραδοχή και μία για αυτά που δεν χρησιμοποιούν παραδοχή. Η κάθε σύγκριση περιλαμβάνει σύγκριση ως προς το ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από τη βέλτιστη (Gap) και ως προς τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (CPU solution time) του κάθε μοντέλου και της κάθε ευρετικής μεθόδου. Το κάθε μαθηματικό μοντέλο για να παρουσιάσει την λύση που έχει σε δεδομένο gap και σε δεδομένο χρόνο, χρειάζεται δύο εντολές οι οποίες θα τοποθετηθούν στο πρόγραμμα επίλυσης που έχει αναφερθεί στην ενότητα 4.2. Αυτές οι εντολές είναι οι: «cplex.setParam(IloCplex::EpGap, G);» και «cplex.setParam(IloCplex::TiLim, T);». Όπου με G, συμβολίζεται το ποσοστό Gap, στο οποίο ζητείται από το πρόγραμμα να παρουσιάσει τη λύση που έχει σε εκείνο το ποσοστό, ενώ με T, συμβολίζεται ο χρόνος διαιρεμένος δια δύο, στον οποίο ζητείται από το πρόγραμμα να παρουσιάσει τη λύση που έχει στον συγκεκριμένο αυτό χρόνο. Επίσης, υπενθυμίζεται ότι με (*) συμβολίζεται ότι το πρόγραμμα βρέθηκε εκτός μνήμης, δηλαδή εμφανίστηκε το μήνυμα «out of memory».

5.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής

Στην ενότητα αυτή, αρχικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των μαθηματικών μοντέλων και όλων των ευρετικών μεθόδων που χρησιμοποιούν παραδοχή και στη συνέχεια γίνεται σύγκριση μεταξύ αυτών των μοντέλων. Συγκεκριμένα, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα όλων των συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP), αλλά και του αλγόριθμου clustering με παραδοχή. Υπενθυμίζεται ότι στον αλγόριθμο clustering με παραδοχή, το μοντέλο (VRP)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

που χρησιμοποιείται για τα δύο υποσύνολα είναι αυτό που περιέχει την ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων λαμβάνει χώρα στον πίνακα που ακολουθεί.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI)	2043.5	396.9	8.68% (*)
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	2037.96	566.76	8.66% (*)
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb)	2008.87	845.83	6.99% (*)
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	2043.5	396.14	8.68% (*)
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	2037.96	569.81	8.66% (*)
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	2008.87	847.97	6.99% (*)
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	1928.03	13.19	

Πίνακας 5-1: Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής

Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων έγινε στις υποενότητες 0 και 4.3.1.2. Η σύγκριση που μπορεί να γίνει σε αυτά τα αποτελέσματα, μπορεί να είναι και ως προς το ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από τη βέλτιστη (Gap), αλλά και ως προς τον

υπολογιστικό χρόνο. Συγκεκριμένα, όσον αφορά το ποσοστό Gap, πρέπει να είναι το μεγαλύτερο δυνατό από αυτά που εμφανίζονται στην τελευταία στήλη του Πίνακα 5-1. Αυτό γίνεται για να μπορέσουν όλα τα μοντέλα να παρουσιάσουν λύση σε αυτό το ποσοστό, που είναι το ποσοστό σύμφωνα με το οποίο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα για όλα τα μοντέλα. Έτσι λοιπόν, το συγκεκριμένο ποσοστό, ονομάζεται ποσοστό σύγκρισης και είναι αυτό που θα τοποθετηθεί στην εντολή για το gap ως G. Όσον αφορά τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή, δηλαδή τα μοντέλα: Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI), Χώρισμα 1^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa), Χώρισμα 2^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MC Ib), Clustering II ομάδα a1 (MCIIa1), Clustering II ομάδα a2 (MCIIa2), Clustering II ομάδα a3 (MCIIa3), Clustering II ομάδα b1 (MCIIb1), Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2), Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2), Clustering II ομάδα b3 (MCIIb3), (TSP) βυτιοφόρο 5 (TSP-B5), το ποσοστό σύγκρισης θα τοποθετηθεί μόνο στο (TSP-B5). Αυτό γίνεται για τον λόγο ότι η τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση των υπόλοιπων μοντέλων δεν προστίθεται στο κόστος, καθώς τα μοντέλα αυτά είναι υπεύθυνα για την ομαδοποίηση των πρατηρίων.

Για την σύγκριση ως προς τον υπολογιστικό χρόνο, η διαδικασία δεν είναι ίδια, αλλά ως χρόνο σύγκρισης θα επιλεγεί ο χρόνος που χρειάζεται ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή για να παρουσιάσει αποτέλεσμα. Αυτός ο χρόνος ουσιαστικά είναι το άθροισμα των χρόνων όλων των μοντέλων που συμμετέχουν στο αλγόριθμο. Έτσι λοιπόν, αυτός ο χρόνος αυτός θα διαιρεθεί δια του δύο και ο αριθμός που θα προκύψει, θα τοποθετηθεί ως T, στην εντολή για τον χρόνο.

5.2.1 Σύγκριση μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap

Σύμφωνα με αυτά που ειπώθηκαν παραπάνω το ποσοστό σύγκρισης είναι το 8,68%. Είναι ένα ποσοστό που φαίνεται ότι μπορεί να δώσει λύση σε όλα τα μοντέλα του Πίνακα 5-1. Στον πίνακα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, χρησιμοποιώντας την εντολή «cplex.setParam(IloCplex::EpGap, 0.0868);». Δηλαδή, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα μοντέλα, όταν τους ζητήθηκε να παρουσιάσουν την λύση που έχουν σε Gap ίσο με 8,68%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)	Ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap)
Χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI)	2045.7	493.32	8.94% (*)
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VI1a)	2037.96	498.28	6.68%
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b)	2034.95	503.5	8.26%
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	2045.7	491.8	8.94% (*)
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	2030.86	336.1	8.43%
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	2034.95	514.6	8.26%
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	1928.03	13.19	0%

Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.68%)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι κάποια μοντέλα τίθενται εκτός μνήμης, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να φτάσουν στο ζητούμενο ποσοστό (8.68%) και έτσι δεν κατάφεραν να βγάλουν λύση. Αυτά τα μοντέλα είναι το NVI και VI2. Επίσης στο μοντέλο (ACM) το ποσοστό είναι 0%, καθώς στο μοντέλο (TSP-B5), παρόλο που τοποθετήθηκε το ποσοστό σύγκρισης το μοντέλο εμφάνισε τη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

βέλτιστη λύση. Έτσι λοιπόν, για να υπάρχει λύση για όλα τα μοντέλα πρέπει, όλα τα μοντέλα να βγάλουν λύση σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό Gap. Αυτό το ποσοστό Gap σύγκρισης, είναι το μεγαλύτερο από την τελευταία στήλη του Πίνακα 5-2, το οποίο είναι ίσο με 8.94%. Επομένως, τα αποτελέσματα για όλα τα μοντέλα σύμφωνα με την εντολή «cplex.setParam(IloCplex::EpGap, 0.0894);» παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI)	2043.5	393.06
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	2030.86	335.05
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb)	2047.4	487.24
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	2043.5	389.33
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	2030.86	335.93
Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	2047.4	487.16
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	1928.03	13.19

Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.94%)

Όπως είναι φανερό από τον Πίνακα 5-3, όλα τα μοντέλα κατάφεραν να βγάλουν λύση σε ποσοστό Gap ίσο με 8.94%. Η σύγκριση που θα γίνει για τα μοντέλα που χρησιμοποιούν παραδοχή, θα περιλαμβάνει σύγκριση ως προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και ως προς τον χρόνο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

επίλυσης. Όσον αφορά τα μοντέλα που θα συγκριθούν, αυτά είναι οι συνδυασμοί των ισχυουσών ανισοτήτων στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) και ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή. Ως βάση σύγκρισης, δηλαδή ως βασικό μοντέλο του οποίου οι τιμές θα συγκριθούν με τα υπόλοιπα, θεωρείται το μοντέλο (VRP). Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Μοντέλα	Σύγκριση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) σε σχέση με το μοντέλο VIIa	Σύγκριση του υπολογιστικού χρόνου επίλυσης (CPU solution time) σε σχέση με το μοντέλο VIIa
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	0,618547	14,75856
(VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb)	-0,19085	-23,9607
(VRP) με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.18) (VI2)	0	0,948965
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.18) (AVIa)	0,618547	14,53468
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.17) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.18) (AVIb)	-0,19085	-23,9404
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	5,650599	96,64428

Πίνακας 5-4: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου του μοντέλου NVI με τους υπόλοιπους συνδυασμούς των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) και με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή σε συγκεκριμένο Gap (8.94%)

Ο Πίνακας 5-4 παρουσιάζει τη διαφορά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και στον υπολογιστικό χρόνο όλων των μοντέλων που χρησιμοποιούν παραδοχή εκφρασμένη σε (%) ποσοστό επί της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης και του υπολογιστικού χρόνου του μοντέλου NVI, αντίστοιχα.

Σε κάποια κελία του παραπάνω πίνακα, εμφανίζονται αρνητικές τιμές. Το αρνητικό πρόσημο, απεικονίζει ότι το μοντέλο NVI είναι καλύτερο από το αντίστοιχο μοντέλο που συγκρίνεται, στο συγκεκριμένο πεδίο σύγκρισης. Όταν ένα μοντέλο είναι καλύτερο, αυτό σημαίνει ότι έχει είτε χαμηλότερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση, είτε μικρότερο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης, ανάλογα με το πεδίο σύγκρισης. Έτσι λοιπόν, από τον παραπάνω πίνακα, όσον αφορά την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, παρατηρείται ότι το μοντέλο ACM έχει χαμηλότερη τιμή, άρα και καλύτερη, από τα υπόλοιπα μοντέλα και είναι κατά 5% καλύτερο από τα μοντέλα που χρησιμοποιούν την πρώτη ισχύουσα ανισότητα με άνω όριο ίσο με 5. Επίσης, η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του μοντέλου NVI καλύτερη σε σχέση με αυτές των μοντέλων που χρησιμοποιούν τη 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6, αλλά η διαφορά τους είναι πολύ μικρή καθώς δεν ξεπερνά το 1%. Το μοντέλο που χρησιμοποιεί μόνο την 2^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) VI2 παρουσιάζει το ίδιο αποτέλεσμα με το μοντέλο NVI. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούν τη 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 παρουσιάζουν οριακά καλύτερο αποτέλεσμα, βελτιωμένο μόλις κατά 0,2%.

Η σύγκριση που αφορά τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης, απεικονίζει ότι τα μοντέλα με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6, δηλαδή τα VI1b και AV1b, έχουν τον χειρότερο χρόνο σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα μοντέλα, και είναι περίπου 24% πιο αργά από το NVI. Το μοντέλο VI2 εκτός από την ίδια τιμή στην αντικειμενική όπως προαναφέρθηκε χρειάζεται και σχεδόν τον ίδιο χρόνο σε σχέση με το μοντέλο NVI καθώς είναι πιο γρήγορο λιγότερο από 1%. Επίσης, παρατηρείται ότι το μοντέλο NVI έχει μεγαλύτερο χρόνο επίλυσης σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα του VRP, αφού τα μοντέλα VI1b, AV1b είναι πιο γρήγορα περίπου κατά 14,5%. Το μοντέλο ACM παρουσιάζει τη μεγαλύτερη διαφορά σε σχέση με το μοντέλο NVI, καθώς είναι περίπου κατά 96,5% πιο γρήγορο.

5.2.2 Σύγκριση μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο

Στην συγκεκριμένη υποενότητα συγκρίνονται οι συνδυασμοί των ισχυουσών ανισοτήτων που μπορούν να τοποθετηθούν στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) και ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή. Η σύγκριση αυτή λαμβάνει χώρα για έναν συγκεκριμένο χρόνο επίλυσης, δηλαδή λαμβάνονται οι τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης έχοντας οριστικοποιήσει τον χρόνο επίλυσης. Συγκεκριμένα, ο χρόνος επίλυσης που χρησιμοποιείται ως βάση σύγκρισης, είναι ο χρόνος που χρειάζεται το μαθηματικό μοντέλο (VRP) με παραδοχή, χωρίς τη χρήση κάποιας ισχύουσας ανισότητας. Επομένως, σύμφωνα με τον Πίνακα 5-1, ο χρόνος αυτός είναι ίσος με 396,14 δευτερόλεπτα. Στον

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα μοντέλα, στα οποία χρησιμοποιήθηκε η εντολή «cplex.setParam(IloCplex::TiLim, 198.07);», δηλαδή εμφανίζονται οι τιμές που έλαβε η αντικειμενική συνάρτηση κάθε μοντέλου σε χρόνο ίσο με 396,14 δευτερόλεπτα.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)
(VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI)	2045,71
(VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	2041,86
(VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb)	2064,23
(VRP) με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2)	2045,71
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa)	2047,41
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.16) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb)	2064,23
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	1928.03

Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα σύγκρισης μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο (396,14 δευτερόλεπτα)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης μεταξύ των παραπάνω μοντέλων. Ως βάση σύγκρισης, δηλαδή ως βασικό μοντέλο του οποίου οι τιμές θα συγκριθούν με τα υπόλοιπα, θεωρείται το μοντέλο (VRP) χωρίς τη χρήση ισχυουσών ανισοτήτων.

Μοντέλα	Σύγκριση του υπολογιστικού χρόνου επίλυσης (CPU solution time) σε σχέση με το μοντέλο VIIa
(VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa)	0,188199
(VRP) με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb)	-0,90531

(VRP) με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2)	0
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa)	-0,0831
(VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb)	-0,90531
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM)	5,752526

Πίνακας 5-6: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης του μοντέλου NVI με τους υπόλοιπους συνδυασμούς των ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο του (VRP) και με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο (396.14 δευτερόλεπτα)

Ο Πίνακας 5-6 παρουσιάζει τη διαφορά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης όλων των μοντέλων που χρησιμοποιούν παραδοχή εκφρασμένη σε (%) ποσοστό επί της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης του μοντέλου NVI. Σε κάποια κελία του παραπάνω πίνακα, εμφανίζονται αρνητικές τιμές. Όπως έχει αναφερθεί το αρνητικό πρόσημο, απεικονίζει ότι το μοντέλο NVI είναι καλύτερο από το αντίστοιχο μοντέλο που συγκρίνεται. Όταν ένα μοντέλο είναι καλύτερο, αυτό σημαίνει ότι έχει χαμηλότερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση. Αρχικά, από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το μοντέλο NVI έχει την ίδια τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση με το μοντέλο VI2. Επίσης, οι διαφορές είναι μικρές αφού η μεγαλύτερη φτάνει μέχρι το 6% περίπου. Τα μοντέλα VIIb, AVIa και AVIb έχουν μεγαλύτερες τιμές στην αντικειμενική συνάρτηση σε σχέση με το NVI, με το AVIa να παρουσιάζει χειρότερη λύση κατά 0,08%, ενώ τα άλλα δύο μοντέλα να παρουσιάζουν την ίδια λύση η οποία υστερεί κατά 0,9%. Τα μοντέλα VIIa και ACM έχουν μικρότερη αντικειμενική συνάρτηση κατά 0,19% και 5,75% αντίστοιχα.

5.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής

Στην συγκεκριμένη ενότητα, λαμβάνει χώρα σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων όλων των μαθηματικών μοντέλων και όλων των ευρετικών μεθόδων που δεν χρησιμοποιούν παραδοχή. Συγκεκριμένα, θα συγκριθούν τα αποτελέσματα του μαθηματικού μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων, του αλγορίθμου clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή, του μυωπικού αλγορίθμου και της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μεθόδων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

έχουν παρουσιαστεί και έχουν αναλυθεί στην ενότητα 4.3.2. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής, θα γίνει μόνο για τον αλγόριθμο clustering και (TSP), το μυωπικό αλγόριθμο και την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων, καθώς το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων δεν κατάφερε να βγάλει έστω και μία εφικτή λύση, αφού τέθηκε εκτός μνήμης μετά το πέρασ 6 ωρών και 20 λεπτών. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων χωρίς παραδοχή.

Μοντέλα	Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value) (σε χιλιόμετρα)	Υπολογιστικός χρόνος επίλυσης (CPU solution time) (σε δευτερόλεπτα)
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή	1747,68	40,84
Μυωπικό αλγόριθμος	1969,65	0,05
Συνολικά αποτελέσματα της ευρετικής μεθόδου Χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων	1995,52	3657,69

Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής που θα συγκριθούν

Η σύγκριση που θα γίνει για τα μοντέλα που δεν χρησιμοποιούν παραδοχή, θα περιλαμβάνει σύγκριση ως προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και ως προς τον χρόνο επίλυσης. Ως βάση σύγκρισης, δηλαδή ως βασικό μοντέλο του οποίου οι τιμές θα συγκριθούν με τα υπόλοιπα, θεωρείται η χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μοντέλα	Σύγκριση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης (Objective value)	Σύγκριση του υπολογιστικού χρόνου επίλυσης (CPU solution time)
Συνολικά αποτελέσματα του αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή	12,41982	98,88345
Μυωπικό αλγόριθμος	1,296404	99,99863

Πίνακας 5-8: Σύγκριση ποσοστού (%) διαφοράς τιμής αντικειμενικής συνάρτησης και υπολογιστικού χρόνου της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων με τις υπόλοιπες ευρετικές μεθόδους χωρίς παραδοχή

Ο Πίνακας 5-8 παρουσιάζει τη διαφορά στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης και στον υπολογιστικό χρόνο όλων των μοντέλων που δεν χρησιμοποιούν παραδοχή εκφρασμένη σε (%) ποσοστό επί της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης και του υπολογιστικού χρόνου της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP), αντίστοιχα. Από τον παραπάνω πίνακα, όσον αφορά την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης, παρατηρείται ότι η χαλάρωση του μοντέλου του (VRP) δίνει μεγαλύτερη τιμή, δηλαδή χειρότερη, κατά 12,5% και 1,3% σε σχέση με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή και τον μυωπικό αλγόριθμο, αντίστοιχα.

Όσον αφορά τον υπολογιστικό χρόνο επίλυσης, τα πράγματα δεν είναι ίδια, αφού ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή και ο μυωπικός αλγόριθμος, έχουν κατά πολύ καλύτερο χρόνο, σε ποσοστά μεγαλύτερα του 98,5% σε σχέση με τη χαλάρωση του μοντέλου του (VRP). Συγκεκριμένα, καλύτερο χρόνο φαίνεται να έχει ο μυωπικός, αφού είναι κατά περίπου 99,99% πιο γρήγορος από τη χαλάρωση του μοντέλου του (VRP), ενώ ο πιο “αργός” αλγόριθμος clustering και (TSP), είναι κατά 98,88% πιο γρήγορος από τη χαλάρωση του μοντέλου του (VRP).

Επίσης, να σημειωθεί ότι, όπως αναφέρθηκε στις υποενότητες 4.3.2.2 και 4.3.2.3, οι αλγόριθμοι clustering και (TSP) και μυωπικός ενδέχεται να χρησιμοποιούν και εφεδρικά βυτιοφόρα. Από την επίλυση και των δύο αλγορίθμων προέκυψαν 3 εφεδρικά βυτιοφόρα σε κάθε περίπτωση.

5.4 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο, έγινε η σύγκριση των μοντέλων και των μεθόδων επίλυσης με αλλά και χωρίς χρήση παραδοχής. Στα μοντέλα και στις ευρετικές μεθόδους επίλυσης με χρήση παραδοχής, έγινε σύγκριση σε συγκεκριμένο ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap) και σε συγκεκριμένο χρόνο. Από την άλλη, στα μοντέλα και τις ευρετικές μεθόδους επίλυσης χωρίς παραδοχή, δεν έγινε κάτι τέτοιο, απλά συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα κατευθείαν. Αυτό έγινε γιατί τα συγκριθέντα μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι αποτελούνταν από το μυωπικό αλγόριθμο, που επρόκειτο για ένα πρόγραμμα, το οποίο δεν είχε Gap και επίσης είχε πολύ μικρό υπολογιστικό χρόνο, τον αλγόριθμο clustering και (TSP), ο οποίος επίσης είχε πολύ μικρό υπολογιστικό χρόνο και την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.

6 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίστηκε στην προσέγγιση λύσης του προβλήματος της διανομής καυσίμων από ένα διυλιστήριο σε έναν αριθμό από πρατήρια υγρών καυσίμων. Το πρόβλημα αυτό εντάσσεται στα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (VRP).

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε η περιγραφή του προβλήματος και δόθηκε ένα ρεαλιστικό παράδειγμα, το οποίο βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση του προβλήματος αλλά και στην ανάπτυξη μοντέλων που θα βελτιστοποιήσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα. Επίσης, παρουσιάστηκαν τρία λογισμικά προγράμματα, τα οποία έχουν την δυνατότητα να επιλύσουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων.

Στη συνέχεια, έλαβε χώρα η ανασκόπηση τριών επιστημονικών δημοσιεύσεων, που σχετίζονται με το πρόβλημα της διανομής καυσίμων. Παρουσιάστηκαν οι διαφορές αλλά και οι ομοιότητες που έχει η κάθε δημοσίευση με το πρόβλημα που εξετάζεται στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι τα μοντέλα που βασίζονται σε μικτό ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό (MILP), που έχουν δημιουργηθεί από της επιστημονικές δημοσιεύσεις, δεν είναι δυνατό να παρουσιάσουν λύση σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Γι' αυτό τον λόγο, η κάθε δημοσίευση περιελάμβανε ευρετικούς τρόπους και μεθόδους, μέσα από τα οποία είχε τη δυνατότητα να λύσει το πρόβλημα της διανομής καυσίμων.

Έπειτα, παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν έξι μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι τα οποία δημιουργήθηκαν για την επίλυση του προβλήματος της διανομής καυσίμων. Αυτά τα μοντέλα και οι ευρετικές μέθοδοι χωρίζονται σε δύο ομάδες, αυτά που χρησιμοποιούν παραδοχή στις ζητήσεις των πρατηρίων και στις χωρητικότητες και αυτά που όχι. Στην ομάδα των μοντέλων και ευρετικών μεθόδων που χρησιμοποιούν την παραδοχή αυτή, παρουσιάστηκε το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP), στο οποίο τροποποιήθηκε η αντικειμενική συνάρτηση ώστε να εκφράζει το κόστος για τη διανομή των καυσίμων και έγινε η ανάπτυξη δύο ισχυουσών ανισοτήτων. Επίσης, στην συγκεκριμένη ομάδα, αναπτύχθηκε η ευρετική μέθοδος αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή, η οποία είναι συνδυασμός τριών μοντέλων. Όσον αφορά την ομάδα στην οποία δεν λαμβάνεται υπ' όψιν η παραδοχή, αυτή περιλαμβάνει ένα μοντέλο και τρεις ευρετικές μεθόδους. Το μοντέλο αυτό ανήκει στα προβλήματα μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) και οι ευρετικές μέθοδοι περιέχουν το συγκεκριμένο μοντέλο. Αυτό λοιπόν το μοντέλο είναι το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή

καυσίμων. Οι ευρετικές μέθοδοι αποτελούνται από τους αλγόριθμους clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή, όπου ο αλγόριθμος έχει την ίδια λογική με τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή. Οι δύο τελευταίες ευρετικές μέθοδοι που ανήκουν στην ομάδα που δεν χρησιμοποιεί την παραδοχή είναι ο μυωπικός αλγόριθμος και η χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων.

Κατά το ερευνητικό μέρος της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η υλοποίηση των παραπάνω μοντέλων για την επίλυση του προβλήματος της διανομής καυσίμων, χρησιμοποιώντας το παράδειγμα που έχει παρουσιαστεί. Η υλοποίηση έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού C++ ενώ για την επίλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό CPLEX. Το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την επίλυση προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Επίσης, είναι εύχρηστο σε συνδυασμό με τη διαδικασία του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού καθώς εισάγεται σαν βιβλιοθήκη στον κώδικα.

Στην συνέχεια, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα όλων των μοντέλων και των ευρετικών μεθόδων με και χωρίς παραδοχή. Επίσης, έγινε σύγκριση ανάμεσα στους συνδυασμούς που μπορούν να υπάρξουν σε κάποιο μοντέλο ή σε κάποια ευρετική μέθοδο. Η σύγκριση αυτή περιελάμβανε σύγκριση στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και στην υπολογιστικό χρόνο επίλυσης. Συγκεκριμένα, στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP), έγινε σύγκριση μεταξύ των συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων που μπορούν να τοποθετηθούν σε αυτό. Σύμφωνα με αυτή τη σύγκριση ο πιο αποδοτικός συνδυασμός είναι αυτός με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VI1a). Όσον αφορά τα μοντέλα και τις ευρετικές μεθόδους χωρίς την χρήση παραδοχής, το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων δεν κατάφερε να παρουσιάσει λύση. Αντίθετα, τα υπόλοιπα μοντέλα και ευρετικές μέθοδοι είχαν τη δυνατότητα να λύσουν το πρόβλημα της διανομής καυσίμων.

Τέλος, έγινε σύγκριση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα έγιναν δύο συγκρίσεις, μια που αφορούσε τα μοντέλα και τις ευρετικές μεθόδους που χρησιμοποίησαν παραδοχή και μία για αυτά που δεν την έλαβαν υπ' όψιν τους. Η κάθε σύγκριση περιελάμβανε σύγκριση ως προς το ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από τη βέλτιστη (Gap) και ως προς τον υπολογιστικό χρόνο (CPU time) του κάθε μοντέλου και της κάθε ευρετικής μεθόδου. Όσον αφορά τα μοντέλα και τις ευρετικές μεθόδους που χρησιμοποιούν παραδοχή, έγινε σύγκριση μεταξύ των συνδυασμών των ισχυουσών ανισοτήτων που έχουν την δυνατότητα να τοποθετηθούν σε ένα κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) και του αλγόριθμου clustering με παραδοχή. Η σύγκριση που έγινε έχοντας χρησιμοποιήσει συγκεκριμένο Gap, έδειξε ότι καλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση αλλά και στο χρόνο επίλυσης είχε ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή (ACM). Η σύγκριση που έγινε έχοντας χρησιμοποιήσει συγκεκριμένο χρόνο επίλυσης, είχε ξανά τα ίδια αποτελέσματα. Η σύγκριση των μοντέλων και των

ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχή, έγινε ανάμεσα στους αλγόριθμο clustering και (TSP) και μυωπικό και την χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων. Γι' αυτές τις ευρετικές μεθόδους έγινε σύγκριση ως προς την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά και ως προς τον χρόνο επίλυσης. Τα αποτελέσματα αυτής έδειξαν ότι την καλύτερη τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση την είχε ο αλγόριθμος clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή, αλλά τον καλύτερο χρόνο τον είχε ο μυωπικός αλγόριθμος.

Ως συνέχεια αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα μπορούσε να βελτιωθεί το λογισμικό που έχει δημιουργηθεί για την εισαγωγή των δεδομένων με ένα λογισμικό, το οποίο, εκτός από την εισαγωγή των δεδομένων, θα λύνει το πρόβλημα της διανομής καυσίμων. Το λογισμικό πρόγραμμα αυτό, θα βασίζεται στις μοντελοποιήσεις και στις ευρετικές μεθόδους που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η αναγκαιότητα ύπαρξης ενός τέτοιου λογισμικού είναι ότι θα είναι πιο φιλικό προς τον χρήστη και δεν θα χρειάζονται ειδικές γνώσεις για την επίλυση του προβλήματος της διανομής καυσίμων. Ακόμα, το πρόβλημα της διανομής καυσίμων θα είχε τη δυνατότητα να λυθεί με τη χρήση άλλων ευρετικών μεθόδων, όπως η χρήση ενός μοντέλου clustering που χωρίζει το χώρο των πρατηρίων σε δύο ομάδες, μια με τα πρατήρια που θα εξυπηρετηθούν από τα βυτιοφόρα της εταιρίας και μία με τα πρατήρια που θα εξυπηρετηθούν από τους ιδιώτες και στη συνέχεια να εκτελεστεί ένα μοντέλο (VRP) για κάθε ομάδα.

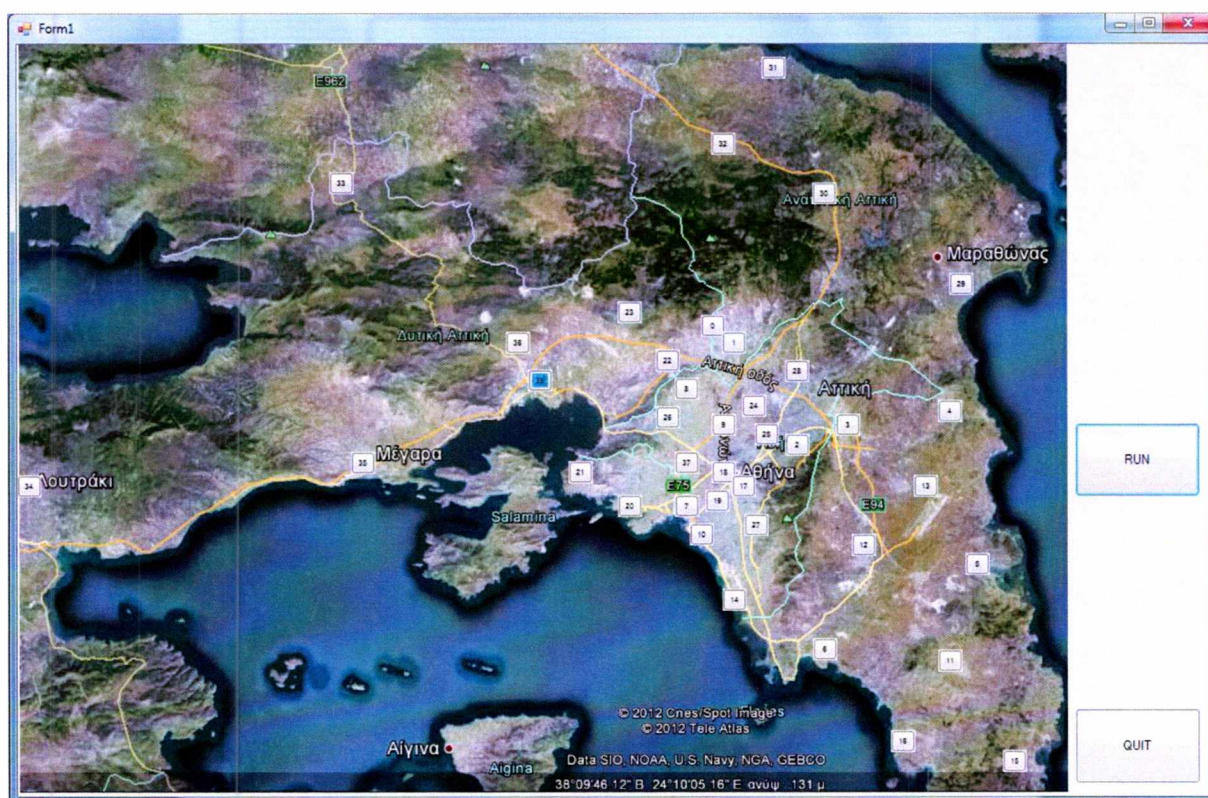
Το κεφάλαιο που ακολουθεί είναι το ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, στο οποίο θα παρουσιαστεί η λειτουργία του λογισμικού που αναπτύχθηκε και η λύση του κάθε μοντέλου. Το κάθε μοντέλο και ευρετική μέθοδος είχε ως στόχο την απεικόνιση της διαδρομής που θα ακολουθήσει κάθε βυτιοφόρο, δηλαδή, ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει κάθε βυτιοφόρο, αλλά και με ποια σειρά, για τα βυτιοφόρα της εταιρίας, όπως επίσης και ποια πρατήρια θα εξυπηρετήσει το κάθε βυτιοφόρο των ιδιωτών.

7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7.1 Παρουσίαση λογισμικού

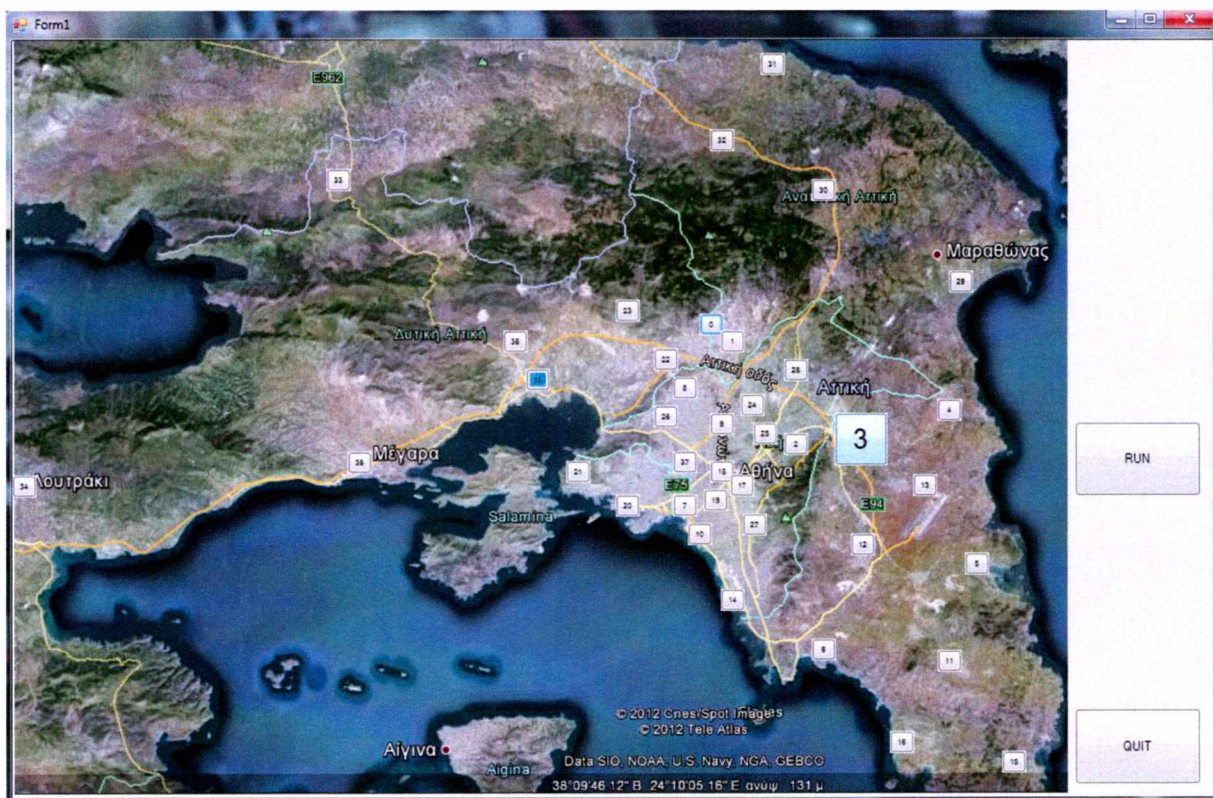
Για την εισαγωγή ορισμένων δεδομένων από το χρήστη αναπτύχθηκε ένα λογισμικό σε προγραμματιστικό περιβάλλον της γλώσσας VISUAL BASIC, με τη χρήση του Microsoft Visual Studio 2010.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η κύρια φόρμα του λογισμικού. Στην εικόνα παρουσιάζεται ο χάρτης της αττικής και τα πρατήρια εμφανίζονται με άσπρο χρώμα. Το σημείο που εμφανίζεται με μπλε χρώμα πάνω στο χάρτη είναι τα διυλιστήρια. Επίσης στην δεξιά πλευρά της φόρμας εμφανίζονται δύο κουμπιά, το κουμπί RUN και το κουμπί QUIT, τα οποία δημιουργούν ένα αρχείο .txt με τα δεδομένα που θα εισαχθούν από το χρήστη και τερματίζουν το λογισμικό αντίστοιχα.



Εικόνα 7-1: κύρια φόρμα λογισμικού

Για την πιο εύχρηστη λειτουργία του προγράμματος, όταν το ποντίκι διέρχεται πάνω από ένα πρατήριο τότε εμφανίζεται ένα πλαίσιο το οποίο αναγράφει τον αριθμό του πρατηρίου ώστε αυτό να γίνεται πιο ευανάγνωστο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα για το πρατήριο 3.



Εικόνα 7-2: Αλλαγή μεγέθους πρατηρίου

Κάνοντας κλικ πάνω στο εκάστοτε πρατήριο ανοίγει μία νέα φόρμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 7-3. Στη φόρμα αυτή παρουσιάζεται το κάθε είδος καυσίμου (αριστερά) και δίπλα του υπάρχει ένα πεδίο όπου συμπληρώνεται η ζήτηση για το συγκεκριμένο είδος από το εκάστοτε πρατήριο, στο οποίο αντιστοιχεί η φόρμα. Όλα τα πεδία αρχικά έχουν την τιμή μηδέν. Επίσης υπάρχει και το κουμπί OK το οποίο όταν πατηθεί αποθηκεύει τα δεδομένα στο πρόγραμμα και κλείνει τη φόρμα.

ΑΜΟΛΥΒΔΗ	0
ΣΟΥΠΕΡ ΑΜΟΛΥΒΔΗ	0
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΚΙΝΗΣΗΣ	0
ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	0
LRP	0
ΦΩΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟ	0

Εικόνα 7-3: Φόρμα εισαγωγής δεδομένων ζήτησης

Όταν εισαχθούν όλες οι ζητήσεις για όλα τα πρατήρια απαιτείται το πάτημα του πλήκτρου RUN ώστε να δημιουργηθεί το αρχείο. Το αρχείο που δημιουργήθηκε είναι σε μορφή αναγνωρίσιμη από το λογισμικό IBM CPLEX Optimization Studio Academic Research Edition 12.5 ώστε τα δεδομένα να είναι άμεσα διαθέσιμα για την εκτέλεση των μαθηματικών μοντέλων και ευρετικών τρόπων επίλυσης που παρουσιάστηκαν. σημείων. Το σημείο 38 παριστάνει το διυλιστήριο και τα υπόλοιπα σημεία τα πρατήρια.

7.2 Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων. Το σημείο 38 παριστάνει το διυλιστήριο και τα υπόλοιπα σημεία τα πρατήρια.

[illegible]

Πίνακας 7-1: Χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ όλων των σημείων

7.2.1 Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων με χρήση παραδοχής

7.2.1.1 Συνδυασμοί ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι λύσεις που προέκυψαν από τον κάθε συνδυασμό ισχυουσών ανισοτήτων σε συγκεκριμένο ποσοστό που απέχει μία εφικτή λύση από την βέλτιστη (Gap), το οποίο είναι ίσο με 8.94%.

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-1-0-38	11	38-11-38
1	38-23-22-8-38	12	38-29-38
2	38-25-2-18-38	13	38-13-38
3	38-19-9-24-38	14	38-33-38
4	38-20-21-38	15	38-15-38
5	38-14-36-38	16	38-3-38
6	38-7-26-38	17	38-35-5-38
7	38-12-38	18	38-37-38
8	38-16-38	19	38-34-38
9	38-31-30-27-38	20	38-17-32-6-38
10	38-4-38	21	38-28-10-38

Πίνακας 7-2: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-27-38	11	38-11-38
1	38-1-0-38	12	38-31-35-38
2	38-18-17-2-38	13	38-3-38
3	38-20-21-38	14	38-32-25-28-38
4	38-24-9-19-38	15	38-22-8-38
5	38-4-12-38	16	38-13-38
6	38-36-23-38	17	38-33-38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

7	38-7-38	18	38-15-38
8	38-6-38	19	38-34-38
9	38-26-38	20	38-10-30-38
10	38-14-38	21	38-16-29-5-38

Πίνακας 7-3: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VI1a) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-17-38	11	38-6-38
1	38-28-24-9-38	12	38-21-32-38
2	38-8-23-22-38	13	38-13-38
3	38-1-0-38	14	38-34-38
4	38-20-7-38	15	38-29-25-38
5	38-19-18-26-38	16	38-3-38
6	38-36-14-38	17	38-31-12-38
7	38-2-38	18	38-15-38
8	38-5-38	19	38-33-38
9	38-11-38	20	38-30-10-38
10	38-4-38	21	38-16-35-27-38

Πίνακας 7-4: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VI1b) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-1-0-38	11	38-11-38
1	38-23-22-8-38	12	38-29-38
2	38-25-2-18-38	13	38-13-38
3	38-19-9-24-38	14	38-33-38
4	38-20-21-38	15	38-15-38
5	38-14-36-38	16	38-3-38
6	38-7-26-38	17	38-35-5-38
7	38-12-38	18	38-37-38

8	38-16-38	19	38-34-38
9	38-31-30-27-38	20	38-17-32-6-38
10	38-4-38	21	38-28-10-38

Πίνακας 7-5: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 2^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-27-38	11	38-11-38
1	38-1-0-38	12	38-31-35-38
2	38-18-17-2-38	13	38-3-38
3	38-20-21-38	14	38-32-25-28-38
4	38-24-9-19-38	15	38-22-8-38
5	38-4-12-38	16	38-13-38
6	38-36-23-38	17	38-33-38
7	38-7-38	18	38-15-38
8	38-6-38	19	38-34-38
9	38-26-38	20	38-10-30-38
10	38-14-38	21	38-16-29-5-38

Πίνακας 7-6: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-17-38	11	38-6-38
1	38-28-24-9-38	12	38-21-32-38
2	38-8-23-22-38	13	38-13-38
3	38-1-0-38	14	38-34-38
4	38-20-7-38	15	38-29-25-38
5	38-19-18-26-38	16	38-3-38
6	38-36-14-38	17	38-31-12-38
7	38-2-38	18	38-15-38
8	38-5-38	19	38-33-38

9	38-11-38	20	38-30-10-38
10	38-4-38	21	38-16-35-27-38

Πίνακας 7-7: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb) με παραδοχή σε συγκεκριμένο ποσοστό Gap (8.94%)

7.2.1.2 Συνδυασμοί ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι λύσεις που προέκυψαν από τον κάθε συνδυασμό ισχυουσών ανισοτήτων σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο, ο οποίος είναι ίσος με 396.14 δευτερόλεπτα.

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-1-0-38	11	38-11-38
1	38-22-8-23-38	12	38-29-38
2	38-25-2-18-38	13	38-13-38
3	38-19-9-24-38	14	38-33-31-38
4	38-20-21-38	15	38-15-38
5	38-14-36-38	16	38-3-38
6	38-7-26-30-38	17	38-35-5-38
7	38-4-38	18	38-37-38
8	38-16-38	19	38-34-38
9	38-27-38	20	38-17-32-6-38
10	38-12-38	21	38-28-10-38

Πίνακας 7-8: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) χωρίς ισχύουσες ανισότητες (NVI) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-18-38	11	38-4-38
1	38-17-9-22-38	12	38-19-29-38
2	38-1-0-38	13	38-13-38

3	38-36-23-38	14	38-3-38
4	38-26-7-32-38	15	38-6-38
5	38-25-2-24-38	16	38-31-35-11-38
6	38-20-21-38	17	38-33-38
7	38-5-38	18	38-28-8-38
8	38-27-38	19	38-34-38
9	38-16-30-38	20	38-14-15-38
10	38-12-38	21	38-10-38

Πίνακας 7-9: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 (VIIa) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-17-38	11	38-6-38
1	38-28-24-9-31-38	12	38-12-38
2	38-8-23-22-38	13	38-3-38
3	38-1-0-38	14	38-34-38
4	38-20-7-38	15	38-29-25-38
5	38-19-18-26-38	16	38-13-38
6	38-36-14-38	17	38-33-38
7	38-2-38	18	38-15-38
8	38-4-38	19	38-5-32-38
9	38-11-38	20	38-30-10-38
10	38-21-38	21	38-16-35-27-38

Πίνακας 7-10: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 1^η ισχύουσα ανισότητα (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 (VIIb) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-1-0-38	11	38-11-38
1	38-22-23-8-38	12	38-29-38
2	38-25-2-18-38	13	38-13-38
3	38-19-9-24-38	14	38-33-38
4	38-20-21-38	15	38-15-38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

5	38-14-36-38	16	38-3-38
6	38-7-26-30-31-38	17	38-35-5-38
7	38-4-38	18	38-37-38
8	38-16-38	19	38-34-38
9	38-27-38	20	38-17-32-6-38
10	38-12-38	21	38-28-10-38

Πίνακας 7-11: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με την 2^η ισχύουσα ανισότητα (3.11) (VI2) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-18-38	11	38-4-38
1	38-17-9-22-38	12	38-19-29-38
2	38-1-0-38	13	38-13-38
3	38-36-23-38	14	38-33-30-38
4	38-7-26-38	15	38-6-38
5	38-25-2-24-38	16	38-31-35-11-38
6	38-20-21-38	17	38-3-38
7	38-5-38	18	38-28-8-38
8	38-27-38	19	38-34-38
9	38-16-32-38	20	38-14-15-38
10	38-12-38	21	38-10-38

Πίνακας 7-12: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 5 και (3.11) (AVIa) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει	Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-37-17-38	11	38-6-38
1	38-28-24-9-31-38	12	38-12-38
2	38-8-23-22-38	13	38-3-38
3	38-1-0-38	14	38-34-38
4	38-20-7-38	15	38-29-25-38
5	38-19-18-26-38	16	38-13-38

6	38-36-14-38	17	38-33-38
7	38-2-38	18	38-15-38
8	38-4-38	19	38-5-32-38
9	38-11-38	20	38-30-10-38
10	38-21-38	21	38-16-35-27-38

Πίνακας 7-13: Λύση κλασικού μαθηματικού μοντέλου (VRP) με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) με άνω όριο ίσο με 6 και (3.11) (AVIb) με παραδοχή σε συγκεκριμένο υπολογιστικό χρόνο επίλυσης (396.14 δευτερόλεπτα)

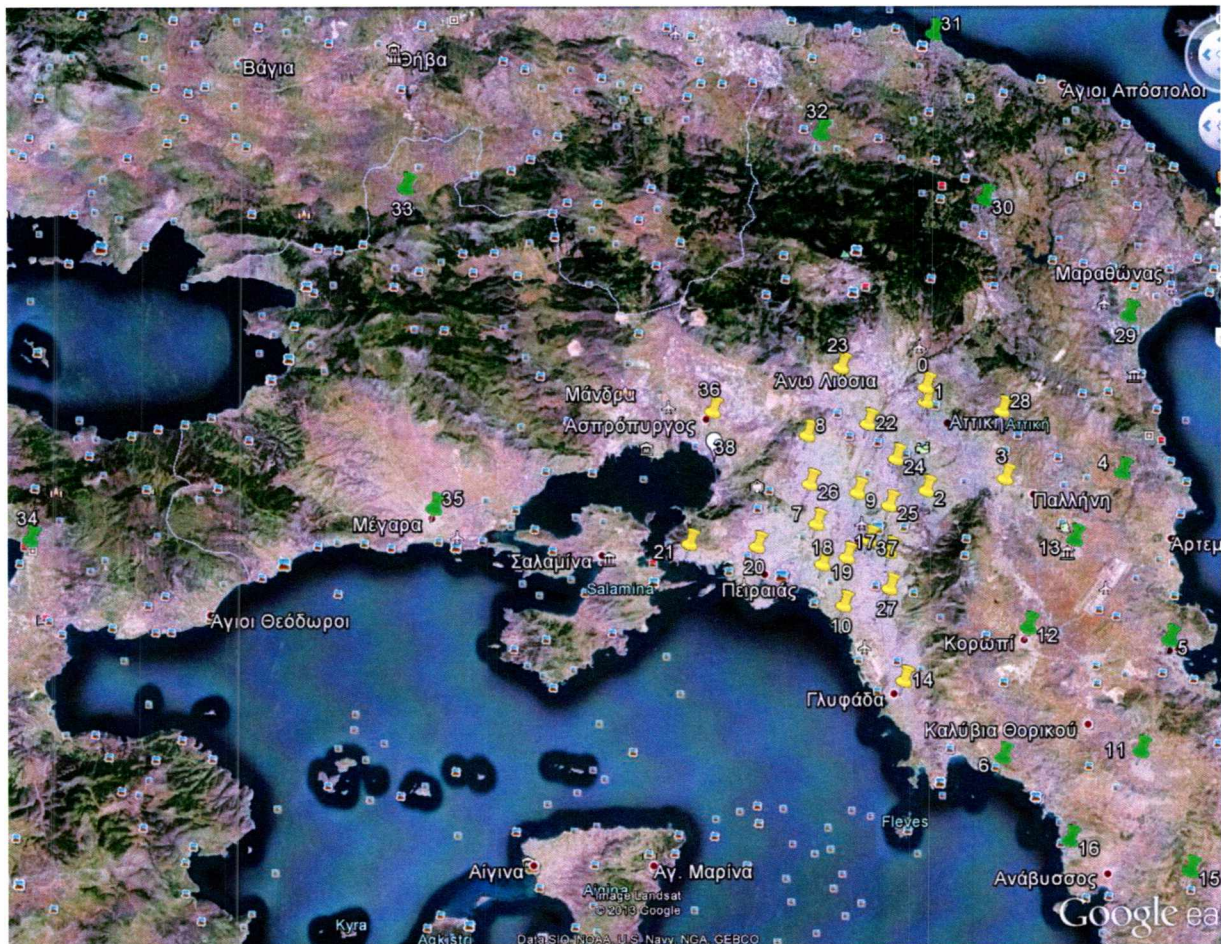
7.2.1.3 Αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή

Αρχικά, σύμφωνα με αυτά που έχουν ειπωθεί στην υποενότητα 4.3.1.2, ο αλγόριθμος clustering και (TSP) με παραδοχή αποτελείται από τα μοντέλα: Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI), Χώρισμα 1^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa), Χώρισμα 2^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIb), Clustering II για την ομάδα a1 (MCIa1), Clustering II για την ομάδα a2 (MCIa2), Clustering II για την ομάδα a3 (MCIa3), Clustering II για την ομάδα b1 (MCIb1), Clustering II για την ομάδα b2 (MCIb2), Clustering II για την ομάδα b3 (MCIb3) και (TSP) για το βυτιοφόρο 5 (TSP-B5). Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζεται η λύση του μοντέλου MCI.

Πρατήρια 1 ^{ης} ομάδας	Πρατήρια 2 ^{ης} ομάδας
0,1,2,3,7,8,9,10,14,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26, 27,28,36,37	4,5,6,11,12,13,15,16,29,30,31,32,33,34,35

Πίνακας 7-14: Λύση μοντέλου χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η λύση του Πίνακα 7-14. Όπου με κίτρινο χρώμα είναι τα πρατήρια που ανήκουν στην πρώτη ομάδα και με πράσινο, αυτά που ανήκουν στην δεύτερη ομάδα πρατηρίων.



Εικόνα 7-4: Λύση μοντέλου χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι έξι υποομάδες, όπως προέκυψαν από την λύση των μοντέλων: Χώρισμα 1^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa) και Χώρισμα 2^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIb). Σε κάθε υποομάδα προστίθεται και το διυλιστήριο ως τελευταίο πρατήριο, δηλαδή το σημείο 38, με ζήτηση ίση με το μηδέν.

Πρατήρια 1 ^{ης} ομάδας			Πρατήρια 2 ^{ης} ομάδας		
1 ^η υποομάδα	2 ^η υποομάδα	3 ^η υποομάδα	4 ^η υποομάδα	5 ^η υποομάδα	6 ^η υποομάδα
0,1,2,3,23,24, 28,38	7,8,20,21,22, 26,36,38	9,10,14,17,18, 19,25,27,37,38	5,6,11,12,13, 15,16,38	4,29,30,31,32, 38	33,34,35,38

Πίνακας 7-15: Λύση μοντέλων χώρισμα 1ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa) και χώρισμα 2ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIb) χωρίς παραδοχή

Όλα τα παραπάνω απεικονίζονται στην Εικόνα 7-5, όπου τα σημεία με το κίτρινο χρώμα αντιστοιχούν στην 1^η υποομάδα, με το μπλε στην 2^η, με το ροζ στην 3^η, με το πράσινο στην 4^η, με το κόκκινο στην 5^ο και τέλος με το άσπρο στην 6^η.



Εικόνα 7-5: Λύση μοντέλων χώρισμα 1ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1a) και χώρισμα 2ης ομάδας σε 3 υποομάδες (MC1b) χωρίς παραδοχή

Οι επόμενοι πίνακες παρουσιάζουν την λύση του κάθε μοντέλου Clustering II της κάθε υποομάδας.

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
0	3,24
1	0,1
7	2
8	23
13	28

Πίνακας 7-16: Λύση του Clustering II για την ομάδα α1 (MCIIa1)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
2	7,20
3	26,36
9	22
10	21
14	8

Πίνακας 7-17: Λύση του Clustering II για την ομάδα a2 (MCIIa2)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
4	10
5	9,18,19
6	27,37
11	14
12	17,25

Πίνακας 7-18: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
15	4,30,31
16	29,32

Πίνακας 7-19: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
7 (εφεδρικό)	16
17	11
18	15
19	5
20	6,12
21	13

Πίνακας 7-20: Λύση του Clustering II για την ομάδα b1 (MCIIb1)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
0 (εφεδρικό)	34,35
13 (εφεδρικό)	33

Πίνακας 7-21: Λύση του Clustering II για την ομάδα b2 (MCIIb2)

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε βυτιοφόρο. Η διαδρομή που ακολουθεί το βυτιοφόρο 5 είναι το αποτέλεσμα του μοντέλου (TSP-B5).

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-3-24-38
0 (εφεδρικό)	38-34-35-38
1	38-0-1-38
2	38-7-20-38
3	38-26-36-38
4	38-10-38
5	38-9-18-19-38
6	38-27-37-38
7	38-28-38
7 (εφεδρικό)	38-16-38
8	38-23-38
9	38-22-38
10	38-21-38
11	38-14-38
12	38-17-25-38
13	38-2-38
13 (εφεδρικό)	38-33-38
14	38-8-38
15	38-4-30-31-38
16	38-29-32-38
17	38-11-38
18	38-15-38
19	38-5-38
20	38-6-12-38
21	38-13-38

Πίνακας 7-22: Λύση αλγορίθμου clustering και (TSP) με παραδοχή

7.2.2 Λύσεις μοντέλων και ευρετικών μεθόδων χωρίς χρήση παραδοχής

7.2.2.1 Αλγόριθμος clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

Σύμφωνα με αυτά που έχουν ειπωθεί στην υποενότητα 4.3.2.2, ο αλγόριθμος clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή αποτελείται από τα μοντέλα: Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI), Χώρισμα 1^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa), Χώρισμα 2^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIb), Clustering II για την ομάδα a1 (MCIIa1), Clustering II για την ομάδα a2 (MCIIa2), Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3), Clustering II για την ομάδα b1 (MCIIb1), Clustering II για την ομάδα b2 (MCIIb2), Clustering II για την ομάδα b3 (MCIIb3) και (TSP) για το βυτιοφόρο 4 (TSP-B4). Η λύση των μοντέλων (MCI), (MCIa) και (MCIIb), είναι η ίδια που παρουσιάστηκε στην υποενότητα 7.2.1.3 και συγκεκριμένα στους Πίνακες 7-14 και Πίνακες 7-15 και στις Εικόνα 7-4 και Εικόνα 7-5. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η λύση του κάθε μοντέλου Clustering II της κάθε υποομάδας.

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
0	0,1
1	2,23
7	24
8	28
13	3

Πίνακας 7-23: Λύση του Clustering II για την ομάδα a1 (MCIIa1)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
2	20,26
3	21,36
9	8
10	7
14	22

Πίνακας 7-24: Λύση του Clustering II για την ομάδα a2 (MCIIa2)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
4	9,18,19
5	10
6	17,37

12	27
15	14
17	25

Πίνακας 7-25: Λύση του Clustering II για την ομάδα a3 (MCIIa3)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
16	32
20	4,29,30,31

Πίνακας 7-26: Λύση του Clustering II για την ομάδα b1 (MCIIb1)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
0 (εφεδρικό)	6,12
11	11
18	15
19	13
21	5,16

Πίνακας 7-27: Λύση του Clustering II για την ομάδα b2 (MCIIb2)

Βυτιοφόρο	Πρατήρια που θα εξυπηρετήσει
1 (εφεδρικό)	34,35
13 (εφεδρικό)	33

Πίνακας 7-28: Λύση του Clustering II για την ομάδα b3 (MCIIb3)

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διαδρομή που θα ακολουθήσει το κάθε βυτιοφόρο. Η διαδρομή που ακολουθεί το βυτιοφόρο 4 είναι το αποτέλεσμα του μοντέλου (TSP-B4).

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-0-1-38
0 (εφεδρικό)	38-6-12-38
1	38-2-23-38
1 (εφεδρικό)	38-34-35-38
2	38-20-26-38
3	38-21-36-38

4	38-9-18-19-38
5	38-10-38
6	38-17-37-38
7	38-24-38
8	38-28-38
9	38-8-38
10	38-7-38
11	38-11-38
12	38-27-38
13	38-3-38
13 (εφεδρικό)	38-33-38
14	38-22-38
15	38-14-38
16	38-32-38
17	38-25-38
18	38-15-38
19	38-13-38
20	38-4-29-30-31-38
21	38-5-16-38

Πίνακας 7-29: Λύση αλγορίθμου clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

7.2.2.2 Μυωπικός αλγόριθμος

Στον Πίνακα 7-30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μυωπικού αλγορίθμου. Τα βυτιοφόρα που εμφανίζονται ως εφεδρικά έχουν την ίδια χωρητικότητα και τα ίδια χωρίσματα με τα αντίστοιχα που δεν είναι εφεδρικά.

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-21-36-38
0 (εφεδρικό)	38-3-38
1	38-26-7-30-38

1 (εφεδρικό)	38-34-38
2	38-23-22-25-38
2 (εφεδρικό)	38-15-38
3	38-20-19-38
4	38-8-9-31-38
5	38-1-24-28-38
6	38-0-17-38
7	38-18-38
8	38-35-38
9	38-14-38
10	38-27-38
11	38-5-38
12	38-12-38
13	38-2-38
14	38-4-38
15	38-13-38
16	38-33-38
17	38-29-32-38
18	38-11-16-38
19	38-6-38
20	38-37-38
21	38-10-38

Πίνακας 7-30: Λύση μυωπικού αλγορίθμου

7.2.2.3 Χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Η ευρετική αυτή μέθοδος όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.3.4 αποτελείται από δύο μοντέλα οι λύσεις των οποίων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Για την επίλυση του δεύτερου μοντέλου η λύση προκύπτει για M ίσον με το μηδέν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
0	38-3-24-38
1	38-0-1-38
2	38-7-20-38
3	38-26-36-38
4	38-10-38
5	38-9-18-19-38
6	38-27-37-38

Πίνακας 7-31: Λύση χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα βυτιοφόρα της εταιρίας

Βυτιοφόρο	Διαδρομή που θα ακολουθήσει
7	38-6-38
8	38-31-32-38
9	38-11-38
10	38-12-38
11	38-4-38
12	38-7-38
13	38-30-33-38
14	38-29-5-38
15	38-14-35-38
16	38-34-38
17	38-13-38
18	38-16-28-38
19	38-3-38
20	38-15-27-38
21	38-10-38

Πίνακας 7-32: Λύση χαλάρωση του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων για τα μισθωμένα βυτιοφόρα

7.3 Μέγεθος προβλήματος

Με τον όρο μέγεθος προβλήματος εννοείται ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης και των περιορισμών που χρησιμοποιούνται για να επιλυθεί το συγκεκριμένο πρόβλημα. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι το μέγεθος του προβλήματος διαφέρει ανάλογα με το μοντέλο ή την ευρετική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να λυθεί. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται το μέγεθος του προβλήματος για κάθε μοντέλο και ευρετική μέθοδο που έχει παρουσιαστεί στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
<i>NS</i>	αριθμός πρατηρίων,	39
<i>NTT</i>	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων.	22

Πίνακας 7-33: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής

Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης	$NS(NTT * NS + 1)$	33501
Συνολικός αριθμός περιορισμών	$2(NS - 1) + NTT[NS + 3 + (NS - 1)^2]$	32768

Πίνακας 7-34: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής

Συνδυασμοί ισχυουσών ανισοτήτων στο κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP)	Συνολικός αριθμός περιορισμών	
Χωρίς ισχύουσες ανισότητες	$2(NS - 1) + NTT[NS + 3 + (NS - 1)^2]$	32768
Με την 1 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.10)	$2(NS - 1) + NTT[NS + 4 + (NS - 1)^2]$	32790
Με την 2 ^η ισχύουσα ανισότητα (3.11)	$2(NS - 1) + NTT[2NS + 3 + (NS - 1)^2]$	33626

Με τις δύο ισχύουσες ανισότητες (3.10) και (3.11)	$2(NS - 1) + NTT[2NS + 4 + (NS - 1)^2]$	33714
--	---	-------

Πίνακας 7-35: Συνολικός αριθμός περιορισμών για τους συνδυασμούς ισχυουσών ανισοτήτων για το κλασικό μαθηματικό μοντέλο (VRP) με χρήση παραδοχής

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
<i>NS</i>	αριθμός πρατηρίων,	39
<i>NC1</i>	αριθμός ομάδων πρατηρίων (clusters),	2
<i>NSa</i>	αριθμός πρατηρίων 1 ^{ης} ομάδας,	22
<i>NSb</i>	αριθμός πρατηρίων 2 ^{ης} ομάδας,	16
<i>NC2</i>	αριθμός υποομάδων σε κάθε ομάδα,	3
<i>NSa1</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 1 ^η υποομάδα,	8
<i>NSa2</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 2 ^η υποομάδα,	8
<i>NSa3</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 3 ^η υποομάδα,	10
<i>NSb1</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 4 ^η υποομάδα,	6
<i>NSb2</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 5 ^η υποομάδα,	8
<i>NSb3</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 6 ^η υποομάδα,	4
<i>NTTa1</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 1 ^η υποομάδα,	5
<i>NTTa2</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 2 ^η υποομάδα,	5
<i>NTTa3</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 3 ^η υποομάδα,	8
<i>NTTb1</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 4 ^η υποομάδα,	4
<i>NTTb2</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 5 ^η υποομάδα,	6

<i>NTTb3</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 6 ^η υποομάδα.	3
<i>NS(TSP)</i>	αριθμός πρατηρίων στο μοντέλο (TSP-B5)	4

Πίνακας 7-36: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή

Μοντέλο	Αριθμός μεταβλητών απόφασης		Αριθμός περιορισμών	
Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)	$NS * NC1$	78	$NS - 1 + NC$	40
Χώρισμα 1 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIa)	$NSa * NC2$	66	$NSa - 1 + NC2$	24
Χώρισμα 2 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIIb)	$NSb * NC2$	48	$NSb - 1 + NC2$	18
Clustering II ομάδα a1 (MCIIa1)	$NSa1(NSa1 * NTTa1 + 1)$	328	$(NSa1 - 1) + NTTa1 + [(NSa1 - 1)^2 * NTTa1]$	257
Clustering II ομάδα a2 (MCIIa2)	$NSa2(NSa2 * NTTa2 + 1)$	328	$(NSa2 - 1) + NTTa2 + [(NSa2 - 1)^2 * NTTa2]$	257
Clustering II ομάδα a3 (MCIIa3)	$NSa3(NSa3 * NTTa3 + 1)$	810	$(NSa3 - 1) + NTTa3 + [(NSa3 - 1)^2 * NTTa3]$	665
Clustering II ομάδα b1 (MCIIb1)	$NSb1(NSb1 * NTTb1 + 1)$	150	$(NSb1 - 1) + NTTb1 + [(NSb1 - 1)^2 * NTTb1]$	109
Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2)	$NSb2(NSb2 * NTTb2 + 1)$	392	$(NSb2 - 1) + NTTb2 + [(NSb2 - 1)^2 * NTTb2]$	307
Clustering II ομάδα b3 (MCIIb3)	$NSb3(NSb3 * NTTb3 + 1)$	52	$(NSb3 - 1) + NTTb3 + [(NSb3 - 1)^2 * NTTb3]$	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

(TSP) βυτιοφόρο 5 (TSP-B5)	$NS(TSP)$ $* NS(TSP)$ $+ NS(TSP)$	20	$2 * NS(TSP)$ $+ NS(TSP)^2$	24
Συνολικά		2272		1734

Πίνακας 7-37: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) με παραδοχή

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
<i>NS</i>	αριθμός πρατηρίων,	39
<i>NTT</i>	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,	22
<i>NAT</i>	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),	10
<i>NTF</i>	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια),	6

Πίνακας 7-38: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων

Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης	$NS(NS * NTT + 1) + NTF * NAT * NTT(NS + 1)$	86301
Συνολικός αριθμός περιορισμών	$NS(2 + NTF) - 2 + NTT[2NS + 3 + (NS - 1)^2 + 2NAT(NTF + 1)]$	36940

Πίνακας 7-39: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για το μαθηματικό μοντέλο (VRP) για διανομή καυσίμων

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
<i>NS</i>	αριθμός πρατηρίων,	39
<i>NC1</i>	αριθμός ομάδων πρατηρίων (clusters),	2

<i>NSa</i>	αριθμός πρατηρίων 1 ^{ης} ομάδας,	22
<i>NSb</i>	αριθμός πρατηρίων 2 ^{ης} ομάδας,	16
<i>NC2</i>	αριθμός υποομάδων σε κάθε ομάδα,	3
<i>NAT</i>	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),	10
<i>NTF</i>	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια),	6
<i>NSa1</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 1 ^η υποομάδα,	8
<i>NSa2</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 2 ^η υποομάδα,	8
<i>NSa3</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 3 ^η υποομάδα,	10
<i>NSb1</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 4 ^η υποομάδα,	6
<i>NSb2</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 5 ^η υποομάδα,	8
<i>NSb3</i>	αριθμός πρατηρίων για τον 6 ^η υποομάδα,	4
<i>NTTa1</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 1 ^η υποομάδα,	5
<i>NTTa2</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 2 ^η υποομάδα,	5
<i>NTTa3</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 3 ^η υποομάδα,	9
<i>NTTb1</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 4 ^η υποομάδα,	2
<i>NTTb2</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 5 ^η υποομάδα,	5
<i>NTTb3</i>	αριθμός βυτιοφόρων για τον 6 ^η υποομάδα.	3
<i>NS(TSP)</i>	αριθμός πρατηρίων στο μοντέλο (TSP-B5)	4

Πίνακας 7-40: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Μοντέλο	Αριθμός μεταβλητών απόφασης		Αριθμός περιορισμών	
Χώρισμα χώρου σε 2 ομάδες (MCI)	$NS * NC1$	78	$NS - 1 + NC$	40
Χώρισμα 1 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIa)	$NSa * NC2$	66	$NSa - 1 + NC2$	24
Χώρισμα 2 ^{ης} ομάδας σε 3 υποομάδες (MCIb)	$NSb * NC2$	48	$NSb - 1 + NC2$	18
Clustering II ομάδα a1 (MCIa1)	$NSa1^2(1 + NTTa1) + NTF * NAT * NTTa1 * (1 + NSa1)$	3084	$(NAT * NTTa1) * (NTF + 1) + (NSa1 - 1) * [1 + 2(NSa1 - 1) * NTTa1] + NSa1(NTTa1 + NTF)$	935
Clustering II ομάδα a2 (MCIa2)	$NSa2^2(1 + NTTa2) + NTF * NAT * NTTa2 * (1 + NSa2)$	3084	$(NAT * NTTa2) * (NTF + 1) + (NSa2 - 1) * [1 + 2(NSa2 - 1) * NTTa2] + NSa2(NTTa2 + NTF)$	935
Clustering II ομάδα a3 (MCIa3)	$NSa3^2(1 + NTTa3) + NTF * NAT * NTTa3 * (1 + NSa3)$	6940	$(NAT * NTTa3) * (NTF + 1) + (NSa3 - 1) * [1 + 2(NSa3 - 1) * NTTa3] + NSa3(NTTa3 + NTF)$	2247

Clustering II ομάδα b1 (MCIIb1)	$NSb1^2(1 + NTTb1)$ $+ NTF * NAT$ $* NTTb1 * (1 + NSb1)$	948	$(NAT * NTTb1)$ $* (NTF + 1)$ $+ (NSb1 - 1) * [1$ $+ 2(NSb1 - 1)$ $* NTTb1]$ $+ NSb1(NTTb1$ $+ NTF)$	293
Clustering II ομάδα b2 (MCIIb2)	$NSb2^2(1 + NTTb2)$ $+ NTF * NAT$ $* NTTb2 * (1 + NSb2)$	3084	$(NAT * NTTb2)$ $* (NTF + 1)$ $+ (NSb2 - 1) * [1$ $+ 2(NSb2 - 1)$ $* NTTb2]$ $+ NSb2(NTTb2$ $+ NTF)$	935
Clustering II ομάδα b3 (MCIIb3)	$NSb3^2(1 + NTTb3)$ $+ NTF * NAT$ $* NTTb3 * (1 + NSb3)$	964	$(NAT * NTTb3)$ $* (NTF + 1)$ $+ (NSb3 - 1) * [1$ $+ 2(NSb3 - 1)$ $* NTTb3]$ $+ NSb3(NTTb3$ $+ NTF)$	303
(TSP) βυτιοφόρο 5 (TSP-B5)	$NS(TSP) * NS(TSP)$ $+ NS(TSP)$	20	$2 * NS(TSP)$ $+ NS(TSP)^2$	24
Συνολικά		18316		5754

Πίνακας 7-41: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για τον αλγόριθμο clustering και (TSP) χωρίς παραδοχή

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
<i>NS</i>	αριθμός πρατηρίων,	39
<i>NTT</i>	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,	22

Πίνακας 7-42: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για τον μυωπικό αλγόριθμο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης	$NS * NS * NTT$	33462
---------------------------------------	-----------------	-------

Πίνακας 7-43: Συνολικός αριθμός μεταβλητών απόφασης για τον μυωπικό αλγόριθμο

Δείκτες	Σημασιολογία δεικτών	Τιμές δεικτών για το παράδειγμα
NS	αριθμός πρατηρίων,	39
NSi	αριθμός πρατηρίων που εξυπηρετούν οι ιδιώτες	22
NTT	συνολικός αριθμός βυτιοφόρων,	22
NOT	αριθμός βυτιοφόρων της εταιρίας,	7
NAT	αριθμός διαμερισμάτων των βυτιοφόρων (ίδιος για όλα τα βυτιοφόρα),	10
NTF	αριθμός των διαφόρων ειδών υγρού καυσίμου που ζητούνται από τα πρατήρια (ίδιος για όλα τα πρατήρια),	6

Πίνακας 7-44: Ονοματολογία δεικτών και τιμές που λαμβάνουν για την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

Μοντέλο	Αριθμός μεταβλητών απόφασης		Αριθμός περιορισμών	
Χαλάρωση για ιδιότητα βυτιοφόρα	$NS(NS * NOT + 1) + NTF * NAT * NOT(NS + 1)$	27486	$NS(2 + NTF) - 2 + NOT[2NS + 3 + (NS - 1)^2 + 2NAT(NTF + 1)]$	11965
Αποτελέσματα για ιδιώτες	$NSi(NSi * (NTT - NOT) + 1) + NTF * NAT * (NTT - NOT) * (NSi + 1)$	27982	$NSi(2 + NTF) - 2 + (NTT - NOT) * [2NSi + 3 + (NSi - 1)^2 + 2NAT(NTF + 1)]$	9594

Συνολικά		55468		21559
----------	--	-------	--	-------

Πίνακας 7-45: Αριθμός μεταβλητών απόφασης και περιορισμών για την ευρετική μέθοδο της χαλάρωσης του μοντέλου (VRP) για διανομή καυσίμων

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CRM: [http://el.wikiversity.org/wiki/Customer_Relationship_Management_Systems_\(CRM\)](http://el.wikiversity.org/wiki/Customer_Relationship_Management_Systems_(CRM))

Dantzig, D., & Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80-91.

evolutionary algorithm: http://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_algorithm

Furkan Uzar, M., & Çatay, B. (2012). Distribution planning of bulk lubricants at BP Turkey. *Omega*, 40, 870-881.

hybrid algorithm: [http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_algorithm_\(constraint_satisfaction\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid_algorithm_(constraint_satisfaction))

Kulkarni, R., & Bhave, P. (1985). Integer programming formulations of vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 20, 58-67.

local search algorithm: [http://en.wikipedia.org/wiki/Local_search_\(optimization\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Local_search_(optimization))

LRP: http://robotpig.net/__automotive/fuel-e.php?page=2

metaheuristic: <http://en.wikipedia.org/wiki/Metaheuristic>

Miller, C., Tucker, A., & Zemlin, R. (1960). Integer programming formulation of travelling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*, 7, 326-329.

Mladenovic, N., & Hansen, P. (1997). Variable neighborhood search. *Computers and Operations Research*, 24(11), 1097-1100.

Popović, D., Vidović, M., & Radivojević, G. (2012). Variable Neighborhood Search heuristic for the Inventory Routing. *Expert Systems with Applications*, 39, 13390-13398.

POS: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-pos-system.htm>

Redmer, A., Żak, J., Sawicki, P., & Maciejewski, M. (2012). Heuristic approach to fleet composition problem. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 414-427.

Saharidis, G., Minoux, M., & Dallery, Y. (2009). Scheduling of loading and unloading of crude oil in a refinery using event-based discrete time formulation. *Computers and Chemical Engineering*, 33, 1413-1426.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

VRP: http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_routing_problem#cite_note-1

TSP: http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000121516