



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ
(ΠΜΣ-Ο.ΔΙ.Μ.)

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΟΣΟΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: Δαής Νικόλαος
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Καθ. Βιδάλης Μιχαήλ

ΧΙΟΣ, 28 ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2017

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βιδάλη Μιχαήλ, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα στα πλαίσια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας. Η καθοδήγηση του για την συγγραφή της εργασίας ήταν πολύτιμη και η συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια του εξαμήνου ήταν εξαιρετική.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μαμάση Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές του σχετικά με το σχεδιασμό γραφικών στο MatLab.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο μου Βόσσο Αλέξανδρο για την υποστήριξη του σε τεχνικά θέματα στην τελευταία έκδοση του λογισμικού MatLab.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους καθηγητές του Τμήματος Οικονομίας και Διοίκησης για την μεταλαμπάδευση των γνώσεων και των συμβουλών τους, εφόδια πολύτιμα για να ανταποκριθούμε ως επαγγελματίες στο σύγχρονο και ανταγωνιστικό εργασιακό περιβάλλον.

Στην οικογένεια μου

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract	3
1. Εισαγωγή στην Διοικητική Επιστήμη	5
1.1. Αντικείμενο μελέτης.....	5
1.2. Εφοδιαστική αλυσίδα	5
1.3. Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.....	7
1.4. Δυσκολίες στην ολοκλήρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας	8
1.5. Στάδια αποφάσεων σε μια εφοδιαστική αλυσίδα.	10
1.6. Βασικοί παράγοντες επιτυχίας ενός δικτύου εφοδιασμού	11
1.7. Διοικητική επιστήμη και ποσοτικές μέθοδοι λήψης αποφάσεων.....	13
1.8. Κατηγοριοποίηση προβλημάτων	16
1.9. Μαθηματικός προγραμματισμός.....	18
2. Προγραμματισμός παραγωγής και αποθεμάτων	21
2.1. Εισαγωγή.....	21
2.2. Προγραμματισμός παραγωγής και πωλήσεων με εκπτώσεις	22
2.3. Λήψη απόφασης για κατασκευή ή υπεργολαβία προϊόντων (Make or buy decision)	24
2.4. Διαχείριση παραγωγής και αποθεμάτων (Production and inventory management)	27
2.5. Προγραμματισμός εργατικού δυναμικού (crew scheduling)	31
3. Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας - Διανομές	35
3.1. Εισαγωγή.....	35
3.2. Μοντέλο επιλογής θέσης εγκατάστασης και κατανομής δυναμικότητας δικτύου εφοδιασμού (Facility Location and Capacity Allocation)	35
3.3. Προγραμματισμός δρομολογίων οχημάτων (vehicle routing problem).....	43
3.4. Προγραμματισμός διανομής προϊόντων (TSP problem).....	46
4. Αξιολόγηση αποδοτικότητας – Χρηματοοικονομική Διαχείριση.....	51
4.1. Εισαγωγή.....	51
4.2. Αξιολόγηση αποδοτικότητας (Data Envelopment Analysis – DEA).....	51
4.3. Επιλογή επενδύσεων (Capital Budgeting).....	56
4.4. Επιλογή χαρτοφυλακίου επενδύσεων (Portfolio and Asset Allocation).....	59
4.5. Προγραμματισμός Χρηματοδοτήσεων (Financial Planning).....	65
4.6. Διαχείριση εσόδων (Revenue management).....	70

5. Προγραμματισμός MatLab.....	77
5.1. Εισαγωγή.....	77
5.2. MatLab.....	77
5.3. Αλγόριθμος OPTSCM.....	78
5.4. Αλγόριθμος VRP.....	82
5.5. Αλγόριθμος TSP.....	86
Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις.....	89
Βιβλιογραφία.....	91

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1.1 Τυπική μορφή αλυσίδας εφοδιασμού.....	6
Εικόνα 1.2 Η μεθοδολογία της Διοικητικής Επιστήμης.....	13
Εικόνα 2.1 Οριακά κέρδη για κάθε προϊόν.....	22
Εικόνα 2.2 Επίλυση προβλήματος παραγωγής και πωλήσεων.....	24
Εικόνα 2.3 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος παραγωγής και πωλήσεων.....	24
Εικόνα 2.4 Επίλυση προβλήματος υπεργολαβίας.....	26
Εικόνα 2.5 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος υπεργολαβίας.....	27
Εικόνα 2.6 Επίλυση προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.....	30
Εικόνα 2.7 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.....	30
Εικόνα 2.8 Επίλυση προβλήματος προγραμματισμός προσωπικού.....	33
Εικόνα 3.1 Δίκτυο εφοδιασμού 4 επιπέδων.....	37
Εικόνα 3.2 Γραφική απεικόνιση επίλυσης δικτύου εφοδιασμού.....	42
Εικόνα 3.3 Πιθανές μετακινήσεις οχήματος 2 ημερών σε ένα δίκτυο με 3 κόμβους.....	44
Εικόνα 3.4 Βέλτιστη δρομολόγηση οχημάτων.....	46
Εικόνα 3.5 Κυκλική διαδρομή 6 κόμβων.....	47
Εικόνα 3.6 Απεικόνιση πιθανών «υποκύκλων».....	48
Εικόνα 3.7 Προβολή βέλτιστης λύσης μέσα από το περιβάλλον του MatLab.....	50
Εικόνα 4.1 Όριο αποδοτικότητας 4 μονάδων.....	52
Εικόνα 4.2 Εφαρμογή μεθόδου DEA για το εστιατόριο Β.....	54
Εικόνα 4.3 Ακτινικό διάγραμμα πόρων εισροής - εκροής.....	56
Εικόνα 4.4 Επίλυση προβλήματος επιλογής επενδύσεων μέσω του Excel Solver.....	59
Εικόνα 4.5 Αποτελέσματα «συντηρητικού» μοντέλου.....	62
Εικόνα 4.6 Επίλυση «ριψοκίνδυνου» μοντέλου.....	64
Εικόνα 4.7 Ανάλυση ευαισθησίας αναμενόμενης απόδοσης επενδύσεων.....	65
Εικόνα 4.8 Επίλυση προγράμματος χρηματοδότησης από το Excel Solver.....	69
Εικόνα 4.9 Ανάλυση ευαισθησίας προγράμματος χρηματοδότησης.....	69
Εικόνα 4.10 Απεικόνιση των διαθέσιμων πτήσεων.....	72
Εικόνα 4.11 Επίλυση προβλήματος βέλτιστης κατανομής θέσεων.....	75
Εικόνα 4.12 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος κατανομής θέσεων.....	76
Εικόνα 5.1 Σχεδιασμός κόμβων και δρομολόγια φορτωμένων οχημάτων.....	86

Λίστα πινάκων

Πίνακας 1.1 Εφαρμογές της Διοικητικής Επιστήμης.....	18
Πίνακας 1.2 Ενδεικτικό λογισμικό Η/Υ στη λήψη διοικητικών αποφάσεων.	18
Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στον προγραμματισμό παραγωγής και αποθεμάτων..	21
Πίνακας 2.2 Κόστος παραγωγής και αγοράς εξαρτημάτων.....	25
Πίνακας 2.3 Χρόνος κατασκευής εξαρτημάτων - διαθέσιμη παραγωγική δυναμικότητα.	25
Πίνακας 2.4 Αριθμητικά δεδομένα προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.	28
Πίνακας 2.5 Απαιτήσεις υπαλλήλων στη διάρκεια της ημέρας.	31
Πίνακας 2.6 Κατανομή υπαλλήλων στη διάρκεια της ημέρας.	32
Πίνακας 3.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στον σχεδιασμό εφοδιαστικής αλυσίδας.....	35
Πίνακας 3.2 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τους προμηθευτές στα εργοστάσια (x1000€).....	41
Πίνακας 3.3 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τα εργοστάσια στις αποθήκες (x1000€).....	41
Πίνακας 3.4 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τις αποθήκες στις αγορές (x1000€). ...	41
Πίνακας 3.5 Δυναμικότητα προμηθευτών (x1000).....	41
Πίνακας 3.6 Σταθερό κόστος (x1000€) - παραγωγική δυναμικότητα εργοστασίων (x1000). 41	
Πίνακας 3.7 Σταθερό κόστος (x1000€) και αποθηκευτική ικανότητα (x1000) αποθηκών.....	41
Πίνακας 3.8 Ζήτηση καταναλωτών (x1000).	42
Πίνακας 3.9 Απαιτούμενες μεταφορές στους κόμβους του δικτύου.	45
Πίνακας 3.10 Χιλιομετρικές αποστάσεις πόλεων.	49
Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στην χρηματοοικονομική διαχείριση και στην αξιολόγηση αποδοτικότητας.	51
Πίνακας 4.2 Πόροι εισροών για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας.....	53
Πίνακας 4.3 Εκροές για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας.....	53
Πίνακας 4.4 Σχετική αποδοτικότητα εστιατορίων και πόροι 'ιδεατών' εστιατορίων.	55
Πίνακας 4.5 Απαιτήσεις κεφαλαίου, καθαρή παρούσα αξία (NPV) προγραμμάτων και διαθέσιμα κεφάλαια.	58
Πίνακας 4.6 Πιθανές αποδόσεις (%) 7 επενδυτικών προγραμμάτων.	60
Πίνακας 4.7 Επίλυση προβλημάτων για εύρος ελάχιστης απόδοσης από -4% έως 4%.....	64
Πίνακας 4.8 Απαιτούμενες πληρωμές για κάθε έτος (X1000€).	66
Πίνακας 4.9 Αξία αγοράς, απόδοση και χρόνος αποπληρωμής τριών ομολόγων.	67
Πίνακας 4.10 Κόστος πτήσεων για χαμηλή και υψηλή κατηγορία ναύλων.	72
Πίνακας 4.11 Τιμές ναύλων και πρόβλεψη ζήτησης για όλες τις συνδυαζόμενες πτήσεις. ..	73
Πίνακας 5.1 Πίνακας δεδομένων 'Cost1' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.2 Πίνακας δεδομένων 'Cost2' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.3 Πίνακας δεδομένων 'Cost3' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.4 Πίνακας δεδομένων 'Cost4' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.5 Πίνακας δεδομένων 'Cost5' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.6 Πίνακας δεδομένων 'Cost6' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.7 Πίνακας δεδομένων 'Cost7' για τον αλγόριθμο OPTSCM.	80
Πίνακας 5.8 Πίνακας δεδομένων 'Plan' για τον αλγόριθμο VRP.....	84
Πίνακας 5.9 Χιλιομετρικές αποστάσεις πίνακα 'Dist' για τον αλγόριθμο TSP.....	88
Πίνακας 5.10 Διάνυσμα 'Names' για τον αλγόριθμο TSP.....	88

Περίληψη

Σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από αυξανόμενη πολυπλοκότητα, τεχνολογική έκρηξη και διαρκείς αλλαγές στο επιχειρηματικό τοπίο, η Διοικητική Επιστήμη εφοδιάζει το σημερινό μάνατζερ με μεθοδολογίες, μοντέλα και εργαλεία ώστε να μπορεί να παίρνει αποφάσεις και να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τον κίνδυνο και την αβεβαιότητα σε ένα μεγάλο φάσμα επιχειρησιακών προβλημάτων. Η Διοικητική Επιστήμη (Management Science) αποτελεί μια δομημένη προσέγγιση που εστιάζει στη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων, βασίζεται σε συγκεκριμένες επιστημονικές μεθόδους και χρησιμοποιεί την ποσοτική ανάλυση. Η Διοικητική Επιστήμη είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στο επιχειρησιακό περιβάλλον και συγκεντρώνει κάποια χαρακτηριστικά τα οποία την καταστούν ιδιαίτερα δημοφιλή. Τοποθετείται στο επίκεντρο του μάνατζμεντ, έχει τεράστιο εύρος εφαρμογών, συμβαδίζει με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της πληροφορικής, δημιουργεί αξία και γνώση από τα δεδομένα και επιτρέπει την διαχείριση του ρίσκου και της αβεβαιότητας.

Η χρήση των ποσοτικών μεθόδων στη λήψη αποφάσεων έχει τις ρίζες της στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου για την επίλυση στρατηγικών προβλημάτων που αντιμετώπιζε ο στρατός. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών προσέφερε υπολογιστική ισχύ και επέτρεψε στους Managers να αξιοποιήσουν τις ποσοτικές μεθόδους για την επίλυση σημαντικών και μεγάλων προβλημάτων. Η Διοικητική Επιστήμη μπορεί να συνεισφέρει σε όλους τους κλάδους και τομείς μίας επιχείρησης, στις λειτουργίες διοίκησης και λήψης αποφάσεων σε όλα τα οργανωτικά επίπεδα.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εντάσσεται στο πεδίο της Διοικητικής Επιστήμης (Management Science) και της Επιχειρησιακής Έρευνας (Operations Research) και περιγράφει τη χρήση ποσοτικών μεθόδων ανάλυσης για την λήψη αποφάσεων μακροπρόθεσμων (Strategic), μεσοπρόθεσμων (Tactical) και βραχυπρόθεσμων (Operational) στα πλαίσια της διοίκησης δικτύων εφοδιασμού (Supply Chain Management). Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην χρήση του γραμμικού προγραμματισμού ως εργαλείου ανάλυσης μοντελοποίησης και επίλυσης των αντίστοιχων προβλημάτων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει αντιληπτός ο ρόλος της Διοικητικής Επιστήμης στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Αρχικά αναλύεται η εφοδιαστική αλυσίδα, παρουσιάζονται τα εμπόδια ολοκλήρωσης και οι παράγοντες επιτυχίας της, προτείνονται μέθοδοι για τον βέλτιστο σχεδιασμό της και παρουσιάζονται συγκεκριμένα προβλήματα που ανακύπτουν στη διοίκηση των εφοδιαστικών δικτύων. Στη συνέχεια περιγράφονται οι ποσοτικές μέθοδοι και οι τεχνικές στην λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων ενώ παράλληλα παρουσιάζεται ο ρόλος της Διοικητικής Επιστήμης στην σύγχρονη επιχείρηση.

Τα προβλήματα που επιλύονται καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα σε όλες τις λειτουργίες μίας επιχείρησης, εφοδιάζοντας το σημερινό Manager με ποσοτικά εργαλεία ώστε να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τον κίνδυνο και την ρευστότητα σε ένα άκρως ανταγωνιστικό και πολύπλοκο επιχειρηματικό τοπίο. Ενδεικτικά τα πεδία εφαρμογής της Διοικητικής Επιστήμης που θίγονται στην παρούσα εργασία αφορούν την παραγωγή, τις πωλήσεις, τη διαχείριση αποθεμάτων, το σχεδιασμό του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη χρηματοοικονομική διαχείριση. Η παρουσίαση των προβλημάτων, η μοντελοποίηση και η

μεθοδολογία επίλυσης γίνεται μέσω μελετών περίπτωσης 'case studies' που εντοπίστηκαν μέσα από την βιβλιογραφία. Για όλα προβλήματα γίνεται λεπτομερής αριθμητική επίλυση μέσω του Excel Solver ή του πακέτου MatLab, πραγματοποιούνται αναλύσεις ευαισθησίας και αξιολογούνται εναλλακτικά σενάρια λήψης αποφάσεων.

Στο 2^ο κεφάλαιο επιχειρείται μία περιγραφή προβλημάτων από το τμήμα παραγωγής και πωλήσεων μίας επιχείρησης, όπως ο προγραμματισμός παραγωγής και πωλήσεων με εκπτώσεις, η διαχείριση αποθεμάτων (Inventory management) και ο προγραμματισμός εργατικού δυναμικού (Crew scheduling). Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τρία πολύ βασικά προβλήματα του σχεδιασμού εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιο συγκεκριμένα επιλύεται το πρόβλημα της επιλογής θέσεων εγκατάστασης και κατανομής δυναμικότητας δικτύου (Facility Location and Capacity Allocation), το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problem) καθώς και το πρόβλημα του προγραμματισμού διανομής προϊόντων (Travelling Salesman Problem - TSP Problem). Για τα προβλήματα αυτής της κατηγορίας συντάχθηκαν παραμετρικοί αλγόριθμοι σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab για την δυναμική επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος ο χρήστης επιθυμεί.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή 'Data Envelopment Analysis' για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας των μονάδων που ανήκουν σε ένα δίκτυο π.χ. τραπεζικών καταστημάτων, βιομηχανιών, νοσοκομείων και επιχειρήσεων παροχής υπηρεσιών. Στη συνέχεια περιγράφονται προβλήματα που αφορούν τα χρηματοοικονομικά ζητήματα μίας επιχείρησης όπως η επιλογή επενδύσεων (Capital Budgeting), ο σχεδιασμός χαρτοφυλακίου (Portfolio and Asset Allocation) και ο προγραμματισμός χρηματοδοτήσεων (Financial Planning). Επίσης στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή Διοίκηση Εσοδείας ή Διαχείριση Εσόδων (Revenue Management) που βρίσκει εφαρμογή σε αεροπορικές εταιρίες, σε ξενοδοχειακές μονάδες και σε εταιρίες ενοικίασης αυτοκινήτων. Τέλος στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρεις αλγόριθμοι που συντάχθηκαν στο MatLab, παρουσιάζονται αποσπάσματα από τον κώδικα και εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα για την δυναμική επίλυση των προβλημάτων.

Abstract

In an environment characterized by increasing complexity, explosive technological advances and constant changes in the business field, management science equips today's managers with methodologies, models and tools to help them make decisions and effectively face risks and uncertainty within a broad spectrum of business problems. Management Science is a structured approach which focuses on business decision making, is based on specific scientific methods and uses quantitative analysis. Management science is particularly useful in the business environment combining certain characteristics which make it extremely popular. It lies at the core of management, has a wide range of applications, keeps up with technological and IT advancements, offers valuable insight through its data and enables uncertainty and risk management.

The origins of quantitative methods in decision making can be traced back to the beginning of the 20th century and their use was developed during World War II, in order to solve operational problems the army would face. Computers offered processing power and allowed managers to fully utilize quantitative methods, so as to solve major and important problems. Management science can contribute to all business branches and fields, as well as management and decision making functions at all organizational levels.

This thesis falls into the fields of Management Science and Operations Research and describes the use of quantitative analysis methods in Strategic decision making, Tactical decision making and Operational decision making, within the framework of Supply Chain Management. Particular emphasis is placed on the use of linear programming as a tool for modelling analysis and problem solving. The purpose of this thesis is to highlight the role of Management Science in the decision making process. First, the supply chain is analyzed, obstacles towards its integration and factors towards achieving it are demonstrated, methods for its optimum design are proposed and specific problems arising in supply network management are presented. Quantitative methods and business decision making techniques are later described, while, at the same time, the role of Management Science in modern businesses is presented.

Solved problems cover a wide range of all business functions, providing today's managers with quantitative tools in order to effectively manage risks and instability of an utterly competitive and complex business field. Indicatively, application areas of Management Science broached in this thesis, concern production, sales, stock management, supply chain network design and financial management. Problem presentation, modeling and solution methodology are carried out through case studies, identified in the bibliography. Every problem is numerically solved in detail utilizing the Excel Solver or the MatLab package, sensitivity analyses are performed and alternative decision making scenarios are assessed.

In chapter 2, problem description by the production and sales departments of a business is attempted, such as production planning and sales discounts, inventory management and crew scheduling. In chapter 3, three major problems in supply chain design are presented. More specifically, the problems of Facility Location and Capacity Allocation, Vehicle Routing as well as Travelling Salesman are solved. For problems under this category, parametric

algorithms have been designed in the MatLab programming environment, in order to dynamically solve any problem the users want.

In chapter 4, the 'Data Envelopment Analysis' application is introduced, which assesses the productivity of units falling under the same network of, e.g., bank branches, industries, hospitals and service companies. Subsequently, problems concerning financial issues of businesses are described, such as Capital Budgeting, Portfolio and Asset Allocation and Financial Planning. In addition, Revenue Management, which is applicable to airline companies, hotel establishments and car rental companies, is also presented in chapter 4. Finally, in chapter 5, the three algorithms designed in MatLab are described, code extracts are presented and data input is explained, in order to dynamically solve problems.

1. Εισαγωγή στην Διοικητική Επιστήμη

1.1. Αντικείμενο μελέτης

Η εκρηκτική ανάπτυξη της τεχνολογίας και της πληροφορικής, ο καταγισμός πληροφοριών, η διεθνοποίηση και ο πρωτοφανής ρυθμός αλλαγής, έχουν διαμορφώσει ένα νέο επιχειρηματικό περιβάλλον στο οποίο λειτουργούν οι επιχειρήσεις σήμερα. Μέσα σε αυτό το ρευστό περιβάλλον και τη συνεχόμενη αύξηση του ανταγωνισμού, ασκούνται στις επιχειρήσεις συνεχώς πιέσεις για μείωση του κόστους, βελτίωση της ποιότητας, ανάπτυξη νέων προϊόντων και νέων επιχειρηματικών διαδικασιών, βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών, διαχείριση και αξιοποίηση της οργανωσιακής γνώσης, δικτύωση της επιχείρησης κ.ά. Υπό αυτές τις συνθήκες οι οργανισμοί και τα άτομα μέσα σε αυτές πιέζονται για να προσαρμοστούν στα νέα «δεδομένα». Όσοι παίρνουν αποφάσεις λοιπόν, πρέπει να προσαρμόζονται στις νέες τεχνολογίες, να έχουν την ικανότητα να αποφασίζουν γρήγορα και τεκμηριωμένα και να αξιολογούν την επιλεγόμενη απόφαση σε σχέση με τα εναλλακτικά σενάρια.

Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα οι επιχειρήσεις είναι μεγάλες και τα προβλήματα που εμφανίζονται και που καλούνται να επιλύσουν καθημερινά σε όλο το φάσμα των επιχειρηματικών διαδικασιών είναι πολλά. Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή παίζει η Διοικητική Επιστήμη (Management Science) συνεπικουρούμενη από την πληροφορική και την τεχνολογία. Σκοπός της είναι η ανάλυση των προβλημάτων και η λήψη της βέλτιστης λύσης μέσω της χρήσης ποσοτικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά εμφανίζουν ποικιλία και εφοδιάζουν τον Manager με μεθοδολογίες και με τεχνικές ανάλυσης και επίλυσης προβλημάτων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι και οι τεχνικές επίλυσης είναι αρκετές, δίνοντας έτσι την δυνατότητα αντιμετώπισης ενός μεγάλου φάσματος προβλημάτων που εμφανίζονται καθημερινά σε μία επιχείρηση. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η μέθοδος του Γραμμικού προγραμματισμού και κατ' επέκταση η μέθοδος του Ακέραιου προγραμματισμού. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει στην επιχείρηση να βελτιώσει την οργάνωση της, την παραγωγικότητα της και γενικότερα την αύξηση της κερδοφορίας της. Η Διοικητική επιστήμη εφαρμόζεται σε όλους του κλάδους της επιχείρησης. Προτού παρουσιαστούν οι μέθοδοι λήψης επιχειρηματικών αποφάσεων καθώς και τα πεδία εφαρμογής τους, κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί η έννοια της επιχείρησης ενταγμένη στην εφοδιαστική αλυσίδα. Με αυτή την ανάλυση επιδιώκεται αφενός η ανάδειξη των προβλημάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, αφετέρου δίνεται η δυνατότητα να περιγραφούν οι παράγοντες επιτυχίας. Στα παρακάτω εδάφια γίνεται μια σύντομη αναφορά στην εφοδιαστική αλυσίδα, στις δυσκολίες διαχείρισης της και στους παράγοντες επιτυχίας.

1.2. Εφοδιαστική αλυσίδα

Οι εταιρείες όπως και οι ζωντανοί οργανισμοί γεννιούνται και δραστηριοποιούνται σε ένα ιδιαίτερα ανταγωνιστικό και ρευστό περιβάλλον. Επιβιώνουν και αναπτύσσονται οι καλύτερες, ενώ πολλές δεν αντέχουν τον ανταγωνισμό και εξαφανίζονται. Στην προσπάθεια να επιβιώσουν μέσα στον σκληρό ανταγωνισμό, εξελίσσονται, αποκτούν νέα

χαρακτηριστικά και αντιδρούν με νέους τρόπους στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον με τους ανταγωνιστές τους. Για να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα άλλες εταιρίες στοχεύουν στο κόστος (π.χ. Dia's, Lidl), άλλες στην ποιότητα (π.χ. Mercedes, BMW), άλλες στην διαφοροποίηση (Apple) και άλλες στην γρήγορη απόκριση και στην εξυπηρέτηση πελατών (Dell).

Οι επιχειρήσεις πλέον για να βγουν κερδισμένες μέσα από τον σκληρό ανταγωνισμό και για να αυξήσουν τη κερδοφορία τους, έχουν αλλάξει τη στρατηγική τους και τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν και αλληλεπιδρούν με άλλες επιχειρήσεις. Στη συνεχή προσπάθεια βελτίωσης τους, οι επιχειρήσεις αντιλήφθηκαν ότι για την αύξηση του μεριδίου τους στην αγορά απαιτείται η συνεχής βελτίωση όχι μόνο των ιδίων, αλλά και των συνεργαζόμενων με αυτές επιχειρήσεις. Δεν αρκεί λοιπόν μόνο η καλή λειτουργία ενός μέλους του συστήματος, αλλά η καλή λειτουργία του συνόλου. Όλοι αυτοί οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν μόνο με τον σωστό συντονισμό όλων των επιχειρήσεων που μεσολαβούν από την αρχή της παραγωγικής διαδικασίας μέχρι και την διανομή στον τελικό καταναλωτή.

Η σύγχρονη τάση των επιχειρήσεων πλέον εισέρχεται σε ένα νέο πλαίσιο αντιμετώπισης όπου προσπαθούν να βελτιώσουν όλους τους κόμβους του δικτύου που καλείται αλυσίδα εφοδιασμού. Σύμφωνα με το λεξικό APICS ως αλυσίδα εφοδιασμού ορίζονται οι διαδικασίες που συνδέουν τις επιχειρήσεις με σχέσεις προμηθευτή - χρήστη από τα αρχικά ακατέργαστα υλικά ως τα ολοκληρωμένα προϊόντα για τελική χρήση. Μια εφοδιαστική αλυσίδα αποτελείται από προμηθευτές, εργοστάσια παραγωγής, αποθήκες, σημεία διανομής και καταναλωτές. Η εφοδιαστική αλυσίδα καλείται και δίκτυο εφοδιασμού και αναπαριστάται ως ένα δίκτυο όπως εμφανίζεται στην εικόνα 1.1.



Εικόνα 1.1 Τυπική μορφή αλυσίδας εφοδιασμού.

Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο εφοδιασμού αναπαριστούν τις επιχειρήσεις, οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με τόξα (ακμές) που αναπαριστούν τη μεταφορά των φυσικών προϊόντων. Μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας πραγματοποιείται ροή προϊόντων, πληροφοριών και χρημάτων που εκτείνονται από την προμήθεια πρώτων υλών μέχρι τη διανομή των τελικών προϊόντων στον τελικό πελάτη/καταναλωτή. Οι ροές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατευθύνσεις: την κατωφερή διεύθυνση (downstream) από τους προμηθευτές προς την τελική κατανάλωση και την ανωφερή κατεύθυνση (upstream) από την κατανάλωση προς τους προμηθευτές.

1.3. Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ως αντικείμενο τη μεγιστοποίηση της καθαρής αξίας που δημιουργείται σε ολόκληρο το σύστημα. Η αξία ενός προϊόντος προκύπτει από την διαφορά της τιμής που πλήρωσε ο πελάτης, από το συνολικό κόστος που δαπάνησε η εφοδιαστική αλυσίδα για την παραγωγή και την διάθεση του. Η κατάλληλη διαχείριση όλου του κόστους αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Ως διοίκηση εφοδιαστικής αλυσίδας ορίζουμε ένα σύνολο μεθόδων και εργαλείων που χρησιμοποιούνται για να ολοκληρώσουν αποδοτικά και αρμονικά τους προμηθευτές, τους παραγωγούς, τις αποθήκες και το λιανεμπόριο προκειμένου να παραχθεί και να διανεμηθεί το εμπόρευμα στις κατάλληλες ποσότητες, στις κατάλληλες τοποθεσίες και στον κατάλληλο χρόνο υπό τη συνθήκη της ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους¹. Εκτός όμως από την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται και στην εξασφάλιση του επιθυμητού επιπέδου εξυπηρέτησης.

Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας λαμβάνει υπόψη της την κάθε εγκατάσταση που έχει οποιαδήποτε επίδραση στο κόστος και διαδραματίζει κάποιο ρόλο στην παραγωγή του προϊόντος. Πολλές φορές είναι αναγκαίο στην ανάλυση να λάβουμε υπόψη μας τους προμηθευτές των προμηθευτών και τους πελάτες των πελατών γιατί έχουν επίδραση στην απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αντικειμενικός στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η αποτελεσματικότητα και η δραστική μείωση του κόστους σε όλο το σύστημα. Οποιαδήποτε κόστη υπάρχουν κατά μήκος του δικτύου εφοδιασμού όπως κόστη μεταφορών, διανομών, κόστη αποθεμάτων, ακατέργαστων υλικών και ολοκληρωμένων προϊόντων πρέπει να μειωθούν. Επομένως η προσπάθεια δεν περιορίζεται στην ελαχιστοποίηση του κόστους ενός μέρους μόνο, αλλά υιοθετείται μια προσέγγιση ανάλυσης της αλυσίδας ως ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας στοχεύει στην αποτελεσματική διασύνδεση μεταξύ των προμηθευτών, παραγωγών, αποθηκών και σημείων πωλήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις δραστηριότητες κάθε επιχείρησης σε στρατηγικό, τακτικό και λειτουργικό επίπεδο

Τα τελευταία χρόνια η μείωση του κόστους σε πολλές επιχειρήσεις έχει φτάσει στα όρια της καθώς δεν υπάρχουν άλλες επιλογές για περαιτέρω μείωση του. Επομένως το επόμενο βήμα για την αύξηση της κερδοφορίας και του μεριδίου τους στην αγορά μπορεί να επιτευχθεί μόνο με την αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την βελτιστοποίηση των διαδικασιών της. Οι εταιρίες ξοδεύουν υπέρογκα ποσά σε δραστηριότητες σχετικά με τον εφοδιασμό συμπεριλαμβανομένου τα κόστη μετακινήσεων, αποθήκευσης και ελέγχου των προϊόντων. Πολλά από αυτά τα κόστη είναι κρυφά και «άχρηστα» και οφείλονται σε πλεονασματικά επίπεδα αποθηκών, αναποτελεσματικές στρατηγικές μεταφορών και άλλου είδους πρακτικές. Ειδικοί υποστηρίζουν ότι περίπου 30 δισεκατομμύρια δολάρια μπορούν να εξοικονομηθούν χρησιμοποιώντας αποτελεσματικές στρατηγικές. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα από τα πολυπλοκότερα προβλήματα του σύγχρονου Management καθώς υπάρχουν πολλές δυσκολίες και πολλές μεταβλητές που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

¹ Simchi-Levi, D., Kaiminsky, P., Simchi-Levi, E., 2000, Design and Managing the supply chain, McGraw-Hill.

1.4. Δυσκολίες στην ολοκλήρωση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Πολλές επιχειρήσεις κατάφεραν μέσω στρατηγικών συνεργασιών και συνεχών βελτιώσεων στο δίκτυο εφοδιασμού να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να αυξήσουν την κερδοφορία τους. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα καθώς στο δίκτυο συμμετέχουν πολλοί κύριοι «παίκτες» και οι μεταβλητές απόφασης είναι πάρα πολλές. Επομένως η λήψη στρατηγικών αποφάσεων είναι ιδιαίτερα δύσκολη γιατί υπάρχει μια σειρά εμποδίων που οι Managers θα πρέπει να λάβουν σοβαρά υπόψη. Τα εμπόδια αυτά συνοψίζονται ως εξής:

- Δυσκολία συντονισμού: Ο συντονισμός της εφοδιαστικής αλυσίδας αποτελεί ένα μεγάλο εμπόδιο για την λήψη αποφάσεων. Εάν οι αποφάσεις παραγωγής λαμβάνονται χωρίς ακριβή και επαρκή πληροφορία για την ζήτηση, εγκυμονεί μεγάλος κίνδυνος για απώλεια κεφαλαίων εφόσον η παραγωγή δεν ταιριάζει με την ζήτηση. Το ρίσκο που λαμβάνεται είναι πολύ μεγάλο επομένως οι Managers πρέπει να καταβάλλουν μεγάλη προσπάθεια και να δημιουργήσουν ένα σύνδεσμο μεταξύ προσφοράς και ζήτησης που θα διασφαλίζει ότι οι διαδικασίες παραγωγής θα εκτελούνται αποδοτικά και αποτελεσματικά.
- Πολυπλοκότητα δικτύου: Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί ένα περίπλοκο δίκτυο από εγκαταστάσεις και οργανισμούς με διαφορετικούς αλληλοσυγκρουόμενους στόχους. Έτσι λοιπόν η διαμόρφωση μιας βέλτιστης στρατηγικής για την εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί πρόκληση για την Διοικητική Επιστήμη. Για παράδειγμα οι προμηθευτές προτιμούν να δέχονται μεγάλες ποσότητες παραγγελιών από τους παραγωγούς, ενώ αντίθετα οι παραγωγοί επιθυμούν να κάνουν μικρότερες παραγγελίες ώστε να διατηρούν όσο το δυνατόν μικρότερα επίπεδα αποθεμάτων και κατά συνέπεια μικρότερους χώρους αποθήκευσης.
- Μεταβολές στο χρόνο: Οι μεταβολές του συστήματος στη διάρκεια του χρόνου αποτελούν μια σημαντική παράμετρο που πρέπει να επίσης να λαμβάνεται υπόψη. Στη διάρκεια του χρόνου εμφανίζονται πολλές αλλαγές τόσο σε επίπεδο ζήτησης όσο και στις δυνατότητες των προμηθευτών. Πολλές μεταβολές επίσης παρατηρούνται στις σχέσεις μεταξύ των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς υπάρχουν πιέσεις προς τους παραγωγούς και τους προμηθευτές όσο η δύναμη των καταναλωτών αυξάνεται. Αυτές οι αποκλίσεις αφορούν τη ζήτηση ή το κόστος συναρτήσει του χρόνου και καθιστούν δύσκολη την εφαρμογή μιας ενιαίας στρατηγικής που να ελαχιστοποιεί τα συνολικά έξοδα του δικτύου και να ικανοποιεί τις ανάγκες των καταναλωτών ταυτόχρονα.
- Ποικιλία προϊόντων: Ο αριθμός των διατιθέμενων προϊόντων αυξάνεται συνεχώς με ραγδαίους ρυθμούς. Η αύξηση της ποικιλίας των προϊόντων που προσφέρεται από τις επιχειρήσεις είναι πολύ μεγάλη ενώ παράλληλα αυξάνεται και η ζήτηση από τη μεριά των καταναλωτών σύμφωνα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις τους. Επιπλέον η μετάβαση από την μαζική παραγωγή (mass production) στην παραμετρική εξατομίκευση (customization) στις ανάγκες και στις προσωπικές προτιμήσεις του κάθε καταναλωτή καθιστούν τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας ακόμα δυσκολότερη. Η αύξηση της γκάμας των αγαθών οδηγεί σε αύξηση της αβεβαιότητας και κατά συνέπεια σε διόγκωση του κόστους και σε μείωση της ανταποκρισιμότητας.

- Τεχνολογική επανάσταση: Εξίσου σημαντικά προβλήματα στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού εμφανίζονται εξαιτίας της τεχνολογικής επανάστασης, όπου ο κύκλος ζωής πολλών προϊόντων γίνεται ολοένα και μικρότερος. Πολλά μοντέλα υπολογιστών και άλλα προϊόντα υψηλής τεχνολογίας έχουν κύκλο ζωής μόνο μερικών μηνών, επομένως οι κατασκευαστές έχουν μόνο μία ευκαιρία παραγωγής. Επειδή αυτά τα προϊόντα βρίσκονται στη φάση γένεσης δεν υπάρχουν αρκετά ιστορικά στοιχεία για την πρόβλεψη ζήτησης. Σε συνδυασμό με την εξάπλωση πολλών ομοειδών προϊόντων η πρόβλεψη ζήτησης καθίσταται ακόμα δυσκολότερη και το μερίδιο κέρδους αυτών συνεχώς μειώνεται. Η μείωση του κύκλου ζωής των προϊόντων αυξάνει την αβεβαιότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα και μειώνει το χρονικό ορίζοντα μέσα στο οποίο πρέπει να επιτευχθεί το στρατηγικό ταίριασμα.
- Ιδιοκτησιακό καθεστώς: Στη σημερινή εποχή οι επιχειρήσεις είναι λιγότερο καθετοποιημένες και περισσότερο εκτεταμένες από ότι στο παρελθόν. Η πρόσβαση πλέον στις αγορές και στους προμηθευτές είναι πιο εύκολη, γεγονός που δυσκολεύει τη διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτή η κατάσταση οδηγεί τον κάθε οργανισμό - επιχείρηση να δρα μεμονωμένα βάσει των δικών του συμφερόντων, πλήττοντας τη συνολική στρατηγική και κερδοφορία.
- Παγκοσμιοποίηση: Τις τελευταίες δεκαετίες μειώνονται όλο και περισσότερο οι περιορισμοί που αφορούν το εμπόριο (π.χ. κεφάλαιο εργασίας) με αποτέλεσμα την αλματώδη αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου. Η αύξηση της παγκοσμιοποίησης έχει σημαντικές επιδράσεις στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το άνοιγμα των αγορών ενώ εμφανίζει πλεονεκτήματα, δημιουργεί παράλληλα εντάσεις γιατί οι μονάδες είναι πιο απομακρυσμένες, καθιστώντας τη συνεργασία και τον συντονισμό τους δυσκολότερο. Η παγκοσμιοποίηση αυξάνει τον ανταγωνισμό σε απομονωμένες ή προστατευόμενες αγορές και αυτός ο αυξανόμενος ανταγωνισμός προσθέτει ένταση στη διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας που προσπαθεί σε νέες συνθήκες να διατηρήσει ή να αυξήσει τα μερίδια της στην αγορά.
- Δυσκολία εφαρμογής νέων στρατηγικών: Η δημιουργία μια επιτυχούς στρατηγικής σε μία εφοδιαστική αλυσίδα ακόμα και όταν διαμορφωθεί είναι αρκετά δύσκολο να εφαρμοστεί. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι πολλοί ανταγωνιστές προσπαθούν να μιμηθούν και να αντιγράψουν άλλες επιχειρήσεις χωρίς όμως επιτυχία.

Όσα αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν παράγοντες που εμποδίζουν το στρατηγικό ταίριασμα σε μια εφοδιαστική αλυσίδα και υποδηλώνουν ότι κρίσιμος παράγοντας επιτυχίας για τις επιχειρήσεις είναι η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στη σημερινή εποχή ο ανταγωνισμός πλέον δεν διεξάγεται μεταξύ επιχειρήσεων αλλά μεταξύ εφοδιαστικών δικτύων σε επίπεδο κόστους και επίπεδο εξυπηρέτησης και όλοι οι παραπάνω παράγοντες αποτελούν σπουδαίες ευκαιρίες για βελτίωση.

1.5. Στάδια αποφάσεων σε μια εφοδιαστική αλυσίδα.

Η επιτυχής διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί πληθώρα αποφάσεων κατά μήκος του δικτύου εφοδιασμού. Οι αποφάσεις είναι αρκετά σύνθετες και χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την συχνότητα λήψης κάθε απόφασης καθώς και του χρονικού διαστήματος στο οποίο επιδρά η λήψη μίας απόφασης². Οι αποφάσεις ταξινομούνται σε στρατηγικές, τακτικές και λειτουργικές.

Στρατηγικές αποφάσεις ή σχεδιασμός μια αλυσίδας εφοδιασμού (Supply chain strategy or design).

Πρόκειται για αποφάσεις η επίδραση των οποίων εκτείνεται σε ορίζοντα 1 έως 10 χρόνων. Σε τέτοιου είδους αποφάσεις καθορίζεται πως θα δομηθεί η εφοδιαστική αλυσίδα και ποιές λειτουργίες θα εκτελούνται σε κάθε επίπεδο. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η διαμόρφωση της αλυσίδας εφοδιασμού υποστηρίζει την στρατηγική και τους στόχους της εκάστοτε εταιρείας. Οι αποφάσεις αυτές λαμβάνονται για μακροπρόθεσμο διάστημα και είναι πολύ δύσκολο να αλλάξουν στο άμεσο μέλλον. Για αυτό το λόγο πριν τη λήψη αποφάσεων πρέπει να έχουν μελετηθεί πολύ καλά οι διάφορες αβεβαιότητες στις συνθήκες της αγοράς για τα επόμενα έτη. Συνοπτικά παρουσιάζονται μερικές στρατηγικές αποφάσεις:

- Καθορισμός της θέσης των εγκαταστάσεων παραγωγής και αποθηκών.
- Καθορισμός δυναμικότητας κάθε παραγωγικής δύναμης καθώς και το είδος των προϊόντων που θα παραχθούν ή θα αποθηκευτούν σε μία εγκατάσταση.
- Η μορφή και το δίκτυο μεταφορών που θα υιοθετηθεί.
- Τα πληροφοριακά συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν για την διοίκηση και την λειτουργία των οργανισμών.

Τακτικές αποφάσεις ή προγραμματισμός αλυσίδας εφοδιασμού (Supply chain planning).

Μετά το στάδιο του στρατηγικού σχεδιασμού ακολουθεί ο προγραμματισμός σύμφωνα με τον οποίο καθορίζεται ένα σύνολο πολιτικών που κατευθύνουν τις λειτουργίες για χρονικό ορίζοντα ενός τριμήνου έως ενός έτους. Με δεδομένη τη διαμόρφωση της εφοδιαστικής αλυσίδας ξεκινάει ο προγραμματισμός που προβλέπει τη ζήτηση για την ερχόμενη περίοδο σε διαφορετικές αγορές. Ο προγραμματισμός καθιερώνει τις παραμέτρους μέσα στις οποίες θα λειτουργεί ένα δίκτυο εφοδιασμού έχοντας βέβαια συμπεριλάβει μέσα σε αυτόν, τις αβεβαιότητες ζήτησης, τις συναλλαγματικές ισοτιμίες και τον ανταγωνισμό. Λόγω του μικρού χρονικού ορίζοντα και των καλύτερων προβλέψεων, οι επιχειρήσεις μπορούν να διαμορφώσουν τη μορφή και τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου για την βελτίωση της απόδοσης. Μερικές από τις πιο σημαντικές τακτικές αποφάσεις αναγράφονται παρακάτω:

- Ποια κέντρα παραγωγής θα τροφοδοτούν συγκεκριμένες αγορές και αποθήκες (πρόβλημα μεταφοράς και διανομής).

² Chopra, S., Meindl, P., 2001, Supply Chain Management, Prentice Hall, New Jersey, p. 6.

- Ο προγραμματισμός της παραγωγής και το ύψος των αποθεμάτων που θα πρέπει να διατηρούνται.
- Αποφάσεις κατασκευής προϊόντων ή εξωτερική ανάθεση (υπεργολαβία).
- Πολιτικές αναπλήρωσης αποθεμάτων.
- Χρονικός προσδιορισμός και προώθησης προϊόντων.

Λειτουργικές αποφάσεις (Supply chain operations).

Οι λειτουργικές αποφάσεις έχουν χρονική ισχύ από μία ημέρα έως μία εβδομάδα. Κατά τη φάση αυτή οι επιχειρήσεις λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τις ανεξάρτητες πελατειακές ζητήσεις. Μέχρι αυτή τη στιγμή η ζήτηση έχει προσδιορισθεί αναλυτικά και είναι δύσκολο να γίνουν μεγάλες αλλαγές. Οι επιχειρηματικές διαδικασίες σε αυτό το στάδιο θεωρούνται μεμονωμένες δεδομένου των αποφάσεων που έχουν ληφθεί στις δύο προηγούμενες φάσεις. Στη φάση αυτή πρέπει να μειωθεί η αβεβαιότητα και να βελτιστοποιηθεί η απόδοση υπό τους περιορισμούς που έχουν τεθεί από τον αρχικό προγραμματισμό της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι λειτουργικές αποφάσεις στο στάδιο αυτό είναι:

- Ο προγραμματισμός παραγγελιών και ο τρόπος με τον οποίο αυτές θα καλυφθούν είτε μέσω παραγωγής είτε μέσω των αποθεμάτων.
- Χρονικός καθορισμός ημερομηνιών ολοκλήρωσης και αποστολής παραγγελιών.
- Καταμερισμός παραγγελιών και τρόποι αποστολής και μεταφοράς.
- Προγραμματισμός διανομών και δρομολόγησης ανά μέσο μεταφοράς.

Οι 3 φάσεις σχεδιασμού (design), προγραμματισμού (planning) και λειτουργίας (operations) είναι εξίσου σημαντικές και έχουν καθοριστική επίδραση στην επιτυχία και την βιωσιμότητα μιας αλυσίδας εφοδιασμού. Τα ηγετικά στελέχη στη βαθμίδα της διοικητικής λήψης αποφάσεων πρέπει να μελετήσουν πολύ σοβαρά υπόψη όλες τις παραπάνω μεταβλητές και να λαμβάνουν αποφάσεις με όσον το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια ώστε να αποκτήσει το δίκτυο εφοδιασμού ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και επιχειρηματική αριστεία.

1.6.Βασικοί παράγοντες επιτυχίας ενός δικτύου εφοδιασμού

Για την επιτυχία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας πρέπει να εναρμονιστεί η στρατηγική της με την ισορροπία ανάμεσα σε δύο στόχους, την ανταποκρισιμότητα (responsiveness) και την αποδοτικότητα (efficiency). Με τον όρο ανταποκρισιμότητα εννοούμε το πόσο γρήγορα αντιδρά το δίκτυο στη ζήτηση και την προσφορά, ενώ με τον όρο αποδοτικότητα εννοούμε το κόστος με το οποίο ικανοποιείται η ζήτηση. Αυτό το σημείο ισορροπίας που ικανοποιεί τις ανάγκες της στρατηγικής καθορίζει και την κερδοφορία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες και είναι οι εξής:

- Εγκαταστάσεις: Είναι οι κόμβοι του δικτύου εφοδιασμού και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις εγκαταστάσεις όπου γίνεται η παραγωγή, η επεξεργασία - συναρμολόγηση και στους σταθμούς όπου γίνεται η αποθήκευση. Σε όλες τις

εγκαταστάσεις οι αποφάσεις σχετικά με την χωροθέτηση τους στο δίκτυο καθώς και η κατανομή της δυναμικότητάς τους έχουν σημαντική επίδραση στην επιτυχία του. Ανάλογα με το είδος της λειτουργίας που εξυπηρετεί κάθε εγκατάσταση άλλες φορές επιλέγεται να είναι κοντά στους καταναλωτές ενώ άλλες φορές είναι αποδοτικότερο και πιο αποτελεσματικό να είναι πιο κοντά στους προμηθευτές, μειώνοντας βέβαια έτσι την ανταποκρισιμότητα λόγω της απόστασης από τους καταναλωτές.

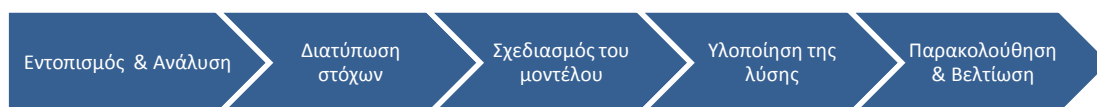
- Αποθέματα: Ως αποθέματα ορίζονται οι πρώτες ύλες, τα ημιτελή προϊόντα καθώς και τα ολοκληρωμένα προϊόντα που φυλάσσονται για να καλύψουν τυχόν ανομοιογενή ζήτηση. Τα αποθέματα παίζουν καθοριστικό ρόλο στο σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς αποτελούν κρυφά κόστη ενός δικτύου και η διαχείριση τους επηρεάζει άμεσα την ανταποκρισιμότητα και την αποτελεσματικότητα του δικτύου. Οι αποφάσεις σχετικά με το προγραμματισμό τους είναι αντικρουόμενες. Από τη μία είναι δαπανηρά γιατί δεσμεύουν σημαντικά κεφάλαια κίνησης και πολύτιμο χώρο στις εγκαταστάσεις, η αποθήκευσή τους αυξάνει το κόστος φύλαξης τους και εμπεριέχει το κίνδυνο αλλοίωσης, καταστροφής και απαξίωσης. Παρά το κόστος όμως, η συγκέντρωση υψηλών αποθεμάτων διευκολύνει την εξομάλυνση της προσφοράς και της ζήτησης. Το πρόβλημα των αποθεμάτων πρέπει να επιλύεται και να βελτιστοποιείται στο μέγιστο δυνατό βαθμό με σκοπό την μείωση του λειτουργικού κόστους και της αύξησης της ανταποκρισιμότητας και της αποτελεσματικότητας του δικτύου.
- Μεταφορές: Περιλαμβάνουν τη μετακίνηση προϊόντων από κάποιο κόμβο του δικτύου σε κάποιον άλλο. Οι μεταφορές απορροφούν συνήθως το 1/3 με 2/3 του συνολικού κόστους των logistics. Πρόκειται για ένα πολύ μεγάλο κόστος κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, η μείωση του οποίου αποτελεί αντικείμενο εντατικής μελέτης και ανάλυσης καθώς επηρεάζει άμεσα τη βιωσιμότητα ολόκληρου του δικτύου. Το κόστος των μεταφορών αυξάνει ακόμα περισσότερο στις περιπτώσεις όπου εμπλέκονται πολλά μέσα μεταφοράς και διαφορετικά πρόσωπα. Η επιλογή διαδρομής και ο τρόπος μεταφοράς αποτελούν σύνθετα μαθηματικά προβλήματα πολλών μεταβλητών. Σε αυτά τα προβλήματα πρέπει να προσδιορίζεται η βέλτιστη λύση ώστε οι μεταφορές να είναι γρήγορες, οικονομικές, αξιόπιστες σε θέματα φθορών και να προσφέρουν υψηλό επίπεδο εξυπηρέτησης. Μόνο με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται υψηλή ανταποκρισιμότητα και αποτελεσματικότητα στον τομέα των μεταφορών.
- Πληροφορίες: Οι πληροφορίες είναι ίσως από το πιο βασικό μέσο που επιδρά στην απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς σχετίζεται άμεσα με τον όγκο των μεταβλητών απόφασης των προηγούμενων παραγόντων (εγκαταστάσεις, αποθέματα, μεταφορές). Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι σήμερα όλες οι επιχειρηματικές λειτουργίες κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού δεν χαρακτηρίζονται ως εντάσεως εργασίας όπως παλιά, αλλά ως εντάσεως πληροφορίας. Η σωστή διαχείριση των πληροφοριών οδηγεί σε αποτελεσματικότερη διοίκηση και λειτουργία της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η

Διοικητική Επιστήμη συνδέεται άρρητα με τα πληροφοριακά συστήματα DSS (Decision Support Systems), MIS (Management Information Systems) και ESS (Executive Support Systems) με τα οποία λαμβάνονται οι αποφάσεις. Οι πληροφορίες ρέουν σε όλο το μήκος του δικτύου από τα σημεία λιανικής πώλησης έως τους προμηθευτές με σκοπό την άριστη λειτουργία του.

1.7. Διοικητική επιστήμη και ποσοτικές μέθοδοι λήψης αποφάσεων

Η Διοικητική Επιστήμη στη σύγχρονη εποχή αντιμετωπίζει μεγάλες προκλήσεις και σύνθετα προβλήματα. Μόνο με την εφαρμογή κατάλληλης μεθοδολογίας μπορούν να επιτευχθούν τα αναμενόμενα αποτελέσματα και να βρεθεί μία άριστη λύση που θα είναι αποτελεσματική, υλοποιήσιμη και βιώσιμη στο πέρασμα του χρόνου. Η βασική μεθοδολογία της Διοικητικής Επιστήμης ακολουθεί τα εξής 5 στάδια:

- ✓ Εντοπισμός και ανάλυση του προβλήματος.
- ✓ Διατύπωση των στόχων.
- ✓ Σχεδιασμός του μοντέλου.
- ✓ Υλοποίηση της λύσης.
- ✓ Παρακολούθηση και βελτίωση της λειτουργίας.



Εικόνα 1.2 Η μεθοδολογία της Διοικητικής Επιστήμης.

Αυτή η γενική μεθοδολογία ισχύει για μεγάλο φάσμα προβλημάτων μπορεί όμως και να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση όσον αφορά τη δυσκολία του κάθε σταδίου ανάλογα με τα δεδομένα και το διαθέσιμο χρόνο. Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων ποικίλουν ανάλογα με την φύση του προβλήματος, τα διαθέσιμα δεδομένα, το πλήθος των μεταβλητών και το είδος τη λύσης που πρέπει να προσδιορισθεί.

Η ποσοτική ανάλυση ενός προβλήματος ξεκινάει μόλις δομηθεί το πρόβλημα. Απαιτείται αρκετή εμπειρία και δουλειά για να μετατραπεί ένα αόριστο πρόβλημα σε ένα σαφώς καθορισμένο το οποίο να μπορεί να προσεγγιστεί μέσω της ποσοτικής ανάλυσης. Όσο με περισσότερη σαφήνεια διατυπώνεται ένα πρόβλημα, τόσο περισσότερο η ποσοτική ανάλυση συνεισφέρει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Για την επίλυση των προβλημάτων και τον προσδιορισμό της βέλτιστης λύσης απαιτείται η διαδικασία ανάπτυξης και επίλυσης μοντέλων. Τα μοντέλα είναι αναπαραστάσεις πραγματικών αντικειμένων ή καταστάσεων που μπορούν να παρουσιαστούν με διάφορες μορφές. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην ποσοτική ανάλυση ονομάζονται μαθηματικά μοντέλα και αποτελούν σημαντικό κομμάτι στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Τα μοντέλα αυτά παίρνουν διαφορετική μορφή ανάλογα με το στόχο που τίθεται στο πρόβλημα και ανάλογα από το είδος της βέλτιστης λύσης που αναζητείται. Τα πιο συνηθισμένα μοντέλα που αναπτύσσονται στην ποσοτική ανάλυση είναι τα μοντέλα κέρδους, κόστους και εσόδων.

Τα μοντέλα και οι τεχνικές επίλυσης της Διοικητικής Επιστήμης παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μαθηματικός προγραμματισμός: Γραμμικός, Ακέραιος, Μη γραμμικός. (Linear-Integer - Nonlinear programming)
- Δένδρα αποφάσεων (Decision trees)
- Μοντέλα δικτύων (Distribution and network models)
- Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων (Inventory models)
- Δυναμικός προγραμματισμός (Dynamic programming)
- Προγραμματισμός έργων CPM/PERT (Project scheduling)
- Πολυκριτήρια Ανάλυση (Multi criteria decisions)
- Προσομοίωση (Simulation)
- Γραμμές αναμονής (Waiting Line Simulation)
- Θεωρία πιθανοτήτων/Στοχαστικές μέθοδοι (Stochastic methods)
- Ευρετικοί αλγόριθμοι (Heuristic algorithms)

Μαθηματικός προγραμματισμός: Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί μία προσέγγιση επίλυσης προβλημάτων. Αναπτύχθηκε για περιπτώσεις που αφορούν την μεγιστοποίηση ή την ελαχιστοποίηση μίας γραμμικής εξίσωσης που υπόκειται σε γραμμικούς περιορισμούς, οι οποίοι θέτουν και τα όρια μέσα στα οποία πρέπει να προσδιοριστεί η βέλτιστη λύση. Αντίστοιχα ο ακέραιος και ο δυαδικός προγραμματισμός χρησιμοποιούνται σε προβλήματα όπου κάποιες μεταβλητές λαμβάνουν μόνο ακέραιες τιμές ή όταν κάποιες μεταβλητές αποτελούν μεταβλητές απόφασης (true/false) και λαμβάνουν μόνο τιμές 0 και 1. Τέλος ο μη γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται σε προβλήματα όπου η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί είναι μη γραμμικοί.

Δένδρα αποφάσεων: Η τεχνική των δέντρων αποφάσεων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου ο καθορισμός της βέλτιστης λύσης ή της στρατηγικής εμπεριέχει πλήθος εναλλακτικών αποφάσεων και συνθηκών αβεβαιότητας και κινδύνου.

Μοντέλα δικτύων: Τα μοντέλα δικτύων χρησιμοποιούνται σε προβλήματα που ακολουθούνται ειδικές διαδικασίες επίλυσης, επιτρέποντας να προσδιοριστεί ταχύτερα η βέλτιστη λύση σε τομείς όπως ο σχεδιασμός συστημάτων μεταφοράς και πληροφοριών καθώς και στον προγραμματισμό έργων.

Μοντέλα διαχείρισης αποθεμάτων: Τα μοντέλα αποθεμάτων χρησιμοποιούνται από τα διοικητικά στελέχη μιας εταιρείας όταν αντιμετωπίζουν προβλήματα στη διαχείριση όγκου αποθεμάτων και απαιτείται να γίνει σωστός προγραμματισμός για να καλύπτεται η ζήτηση και να ελαχιστοποιείται το κόστος αποθήκευσης και διατήρησής τους.

Δυναμικός προγραμματισμός: Ο δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται σε μεγάλα προβλήματα των οποίων η λύση παρουσιάζεται σαν ένα σύνολο από αλληλοεξαρτώμενες αποφάσεις, οι οποίες είναι συχνά χρονικά συνεχόμενες. Τα προβλήματα αυτά κατακερματίζονται σε μικρότερα στάδια σε κάθε ένα από τα οποία υπολογίζεται μία λύση. Η διαδικασία επίλυσης αρχίζει με την εύρεση της βέλτιστης λύσης για κάθε κατάσταση του τελευταίου σταδίου και στο τέλος προκύπτει η τελική λύση του συνολικού προβλήματος.

Προγραμματισμός έργων: Σε περιπτώσεις διοίκησης έργων που αποτελούνται από διαφορετικές εργασίες και πλήθος ανθρώπων και μηχανημάτων απαιτούνται εναλλακτικές τεχνικές. Η μέθοδος CPM (μέθοδος κρίσιμης διαδρομής) και PERT (μέθοδος αξιολόγησης και αναθεώρησης προγραμμάτων) διευκολύνουν τα διοικητικά στελέχη να επιτύχουν τον προγραμματισμό των έργων.

Πολυκριτήρια ανάλυση: Η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί τεχνική λήψης αποφάσεων σε προβλήματα όπου η αντικειμενική συνάρτηση λαμβάνει υπόψη περισσότερα από ένα κριτήρια και καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση υποκειμενικών παραγόντων σε ολόκληρη τη διαδικασία αξιολόγησης και λήψης αποφάσεων.

Προσομοίωση: Η προσομοίωση είναι μία τεχνική μοντελοποίησης της λειτουργίας ενός συστήματος. Η τεχνική αυτή απαιτεί χρήση Η/Υ και κατάλληλου λογισμικού για την ανάπτυξη του μοντέλου και τη διενέργεια των απαραίτητων υπολογισμών.

Γραμμές αναμονής: Οι γραμμές αναμονής χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μοντέλα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς συστημάτων υπό τυχαία ζήτηση. Τα προβλήματα που επιλύονται με τον τρόπο αυτό είναι κυρίως η περιγραφή μοντέλων ροής κυκλοφορίας (ανθρώπων, οχημάτων, αεροπλάνων, μεταφορά δεδομένων σε τηλεπικοινωνίες), η εξυπηρέτηση πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία) και ο σχεδιασμός υποδομών (τράπεζες, ψυχαγωγικά πάρκα, εστιατόρια). Συνήθως η ανάλυση τέτοιων μοντέλων ακολουθεί μια κατανομή ζήτησης (εκθετική, γραμμική, τυχαία) και η επίλυση μπορεί να γίνει με τη Μαρκοβιανή διαδικασία.

Θεωρία πιθανοτήτων/Στοχαστικές μέθοδοι: Οι στοχαστικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μοντέλα που λειτουργούν υπό συνθήκες αβεβαιότητας και ζητείται να προσδιοριστεί ο βαθμός αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας τους σε κάποια τυχαία χρονική στιγμή. Τα μοντέλα περιγράφονται με διαγράμματα καταστάσεων όπου κάθε κατάσταση αναπαριστά μία κατάσταση λειτουργίας ή βλάβης ή μία μετάβαση του συστήματος σε κατάσταση λειτουργίας. Η ανάπτυξη τέτοιων προβλημάτων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια Μαρκοβιανών αλυσίδων συνεχούς ή διακριτού χρόνου και υπολογίζεται η πιθανότητα μετάβασης από μία κατάσταση (λειτουργίας/βλάβης) σε μία άλλη μετά την επισκευή του συστήματος.

Ευρετικοί αλγόριθμοι: Οι ευρετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου τα προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν έχουν τεράστιο αριθμό δεδομένων και ο χρόνος επίλυσης τους είναι αρκετά μεγάλος. Οι αλγόριθμοι αυτοί εκμεταλλεύονται ευρετικούς μηχανισμούς και στρατηγικές που αξιολογούν προσεγγιστικά τις ενδιάμεσες καταστάσεις ως προς την εκτιμώμενη απόσταση από την τελική λύση και επεκτείνουν πρώτα αυτές με τη βέλτιστη ευρετική τιμή. Όλοι αυτοί οι αλγόριθμοι αναπτύσσονται και κατάγονται από τη μαθηματική θεωρία της βελτιστοποίησης.

Συχνότερα χρησιμοποιούμενες τεχνικές στην επίλυση προβλημάτων είναι ο μαθηματικός προγραμματισμός (γραμμικός και άκέραιος), τα μοντέλα δικτύων και η προσομοίωση. Οι υπόλοιπες μέθοδοι χρησιμοποιούνται περισσότερο ή λιγότερο συχνά, ανάλογα με τον τομέα στον οποίο εφαρμόζονται.

1.8. Κατηγοριοποίηση προβλημάτων

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η έννοια του μοντέλου είναι πολύ βασική στη Διοικητική Επιστήμη. Τα μοντέλα καθοδηγούν τον αναλυτή στη δόμηση του προβλήματος και στον προσδιορισμό της άριστης ή μίας αποδεκτής λύσης. Για διευκόλυνση, οι αποφάσεις χωρίζονται σε 2 κατηγορίες: στις βασικές αποφάσεις και στις αποφάσεις κλάδου εφαρμογής.

Οι βασικές αποφάσεις (generic decisions) αφορούν όλους τους κλάδους μιας επιχείρησης ανεξαρτήτως διεύθυνσης ή τμήματος. Για παράδειγμα η κατανομή επιχειρησιακών πόρων είναι μια βασική απόφαση ανεξαρτήτως διεύθυνσης μέσα στην επιχείρηση. Κατανομή επιχειρησιακών πόρων μπορεί να εφαρμοστεί τόσο στη διεύθυνση παραγωγής (κατανομή πόρων και υλικών) όσο και στο τμήμα Marketing (κατανομή οικονομικού προϋπολογισμού στην διαφημιστική εκστρατεία κάθε προϊόντος). Οι βασικές αποφάσεις ταξινομούνται σε 5 κατηγορίες:

- Κατανομή επιχειρησιακών πόρων.

Στην κατηγορία αυτή κατανέμονται οι διαθέσιμοι πόροι της επιχείρησης όπως στελεχιακό δυναμικό, κεφάλαια, πάγια έξοδα, εξοπλισμός κ.ά. με σκοπό την μεγιστοποίηση της απόδοσης, της παραγωγικότητας, της αποτελεσματικότητας και της κερδοφορίας. Ο μαθηματικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται συχνά σε τέτοιου είδους αποφάσεις.

- Επιλογή ή ιεράρχηση εναλλακτικών επιλογών με πολλαπλά κριτήρια.

Πολλές φορές η λήψη μιας απόφασης λαμβάνει υπόψη της περισσότερα από ένα κριτήρια. Η πολυκριτήρια ανάλυση περιλαμβάνει μια σειρά από μοντέλα, τα οποία βοηθούν τον Manager να διατυπώσει το πρόβλημα, να ιεραρχήσει τις επιλογές και να επιλέξει τη βέλτιστη απόφαση. Κύρια μέθοδος επίλυσης είναι η αναλυτική μέθοδος ιεράρχησης και η πολυκριτήρια ανάλυση.

- Χάραξη στρατηγικής υπό καθεστώς αβεβαιότητας.

Οι παραπάνω αποφάσεις θεωρούν σαν προϋπόθεση ότι οι παράμετροι του προβλήματος είναι γνωστές, η δε αβεβαιότητα αντιμετωπίζεται με την ανάλυση ευαισθησίας. Οι πιο σύνηθες τεχνικές για τέτοιου είδους αποφάσεων είναι τα Δένδρα Αποφάσεων και η Προσομοίωση.

- Διαχείριση επιχειρηματικού κινδύνου.

Σε αυτές τις αποφάσεις θεωρούμε ότι η εξέλιξη των μεταβλητών του προβλήματος δεν είναι δεδομένη και μπορεί να ισχύουν 3 σενάρια, το αρχικό σενάριο, ένα αισιόδοξο κι ένα απαισιόδοξο. Η καταλληλότερη τεχνική για αυτά τα προβλήματα είναι η Προσομοίωση.

- Ανάλυση και βελτίωση διαδικασιών.

Η ανάλυση και η αξιολόγηση των διαδικασιών επιτυγχάνει τον ανασχεδιασμό νέων διαδικασιών με σκοπό την καλύτερη οργάνωση τους και την απλούστευση τους. Στα προβλήματα αυτά χρησιμοποιείται η Προσομοίωση και οι Γραμμές αναμονής.

Οι αποφάσεις κλάδου εφαρμογής (decisions by functional area) έχουν άμεση σχέση με την περιοχή εφαρμογής καθώς εδώ συγκεκριμενοποιούνται οι βασικές αποφάσεις στη διεύθυνση ή το τμήμα της επιχείρησης που αφορούν. Οι αποφάσεις αυτές ταξινομούνται κυρίως σε 8 κατηγορίες:

- Πωλήσεις
- Marketing
- Παραγωγή
- Προμήθειες και αποθέματα
- Δίκτυα και μεταφορές
- Εφοδιαστική αλυσίδα
- Χρηματοοικονομικά
- Οργάνωση και σχεδιασμός διαδικασιών

Ιδιαίτερα επίκαιρα θέματα στη Διοικητική Επιστήμη αποτελούν η Διαχείριση Εσόδων (Revenue Management) και η Διοίκηση Εσοδείας (Yield Management). Η λειτουργία αυτή απαιτεί την ακριβή πρόβλεψη της ζήτησης και στη συνέχεια την προσαρμογή των τιμών του προσφερόμενου προϊόντος, ώστε με το πέρασμα του χρόνου να κατανεμηθεί κερδοφόρα μια διαθέσιμη δυναμικότητα. Η συγκεκριμένη λειτουργία βρίσκει εφαρμογή σε αεροπορικές εταιρίες, σε ξενοδοχεία, σε εταιρίες ενοικίασης αυτοκινήτων και πρόσφατα στη βιομηχανία. Άλλες πολύ χρήσιμες εφαρμογές της Διοικητικής Επιστήμης είναι η αξιολόγηση της παραγωγικότητας τραπεζών ή βιομηχανικών εργοστασίων με τη μέθοδο DEA (Data Envelopment Analysis) καθώς και η δυναμική τιμολόγηση νέων χρηματοοικονομικών προϊόντων. Τα πεδία εφαρμογής της Διοικητικής Επιστήμης και παραδείγματα ενδεικτικών αποφάσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.

Περιοχές εφαρμογής στην επιχείρηση	Ενδεικτικές αποφάσεις
<ul style="list-style-type: none"> • Πωλήσεις & Marketing 	<ul style="list-style-type: none"> • Διοίκηση πωλητών • Καθορισμός περιοχών ευθύνης • Προγραμματισμός στρατηγικής Marketing • Προγραμματισμός διαφημιστικής εκστρατείας
<ul style="list-style-type: none"> • Παραγωγή 	<ul style="list-style-type: none"> • Προγραμματισμός παραγωγής • Προγραμματισμός μείξης προϊόντων • Επιλογή δυναμικότητας • Προγραμματισμός Ανθρώπινου δυναμικού
<ul style="list-style-type: none"> • Προμήθειες & Αποθέματα 	<ul style="list-style-type: none"> • Προγραμματισμός παραγγελιών • Διαχείριση αποθεμάτων • Προγραμματισμός προμηθειών
<ul style="list-style-type: none"> • Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας 	<ul style="list-style-type: none"> • Επιλογή προμηθευτών • Σχέσεις μεταξύ προμηθευτών – αγορών • Επιλογή θέσης εγκατάστασης και δυναμικότητας εργοστασίων και αποθηκών
<ul style="list-style-type: none"> • Δρομολόγηση – Μεταφορές 	<ul style="list-style-type: none"> • Προγραμματισμός δρομολογίων –διανομών • Επιλογή μέσου μεταφοράς

<ul style="list-style-type: none"> • Χρηματοοικονομικά 	<ul style="list-style-type: none"> • Διαχείριση χαρτοφυλακίου • Επιλογή - Αξιολόγηση βέλτιστης επένδυσης • Εξαγορά επιχείρησης • Προγραμματισμός επενδύσεων
<ul style="list-style-type: none"> • Οργάνωση & Διαδικασίες 	<ul style="list-style-type: none"> • Revenue Management • Yield Management • Data envelopment Analysis (DEA)

Πίνακας 1.1 Εφαρμογές της Διοικητικής Επιστήμης.

Τα μοντέλα προϋποθέτουν και τη χρήση πακέτων Η/Υ τα οποία βοηθούν την καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων, την ανάλυση των δεδομένων, τη διενέργεια αναλύσεων ευαισθησίας καθώς και την παραγωγή αναφορών και γραφημάτων. Ενδεικτικά πακέτα Η/Υ φαίνονται στον πίνακα 1.2.

Ενδεικτικό λογισμικό	Πεδίο εφαρμογών	Μοντέλο ανάλυσης
Solver	Κατανομή επιχειρησιακών πόρων	Γραμμικός προγραμματισμός
Expert choice	Προβλήματα ιεράρχησης με πολλαπλά κριτήρια	Πολυκριτήρια ανάλυση
Precision Tree	Διαμόρφωση στρατηγικής υπό αβεβαιότητα	Δένδρα αποφάσεων
Extend	Οργανωτικός σχεδιασμός - Ανάλυση Διαδικασιών	Προσομοίωση
MapInfo	Προβλήματα Marketing & Logistics	Γεωπληροφοριακά μοντέλα GIS
@Risk	Ανάλυση / Διαχείριση Κινδύνου	Προσομοίωση
Lindo	Μεγιστοποίηση/Ελαχιστοποίηση Συναρτήσεων	Γραμμικός προγραμματισμός
Ms Excel Solver	Μεγιστοποίηση/Ελαχιστοποίηση Συναρτήσεων	Γραμμικός προγραμματισμός
MatLab	Μεγιστοποίηση/Ελαχιστοποίηση Συναρτήσεων	Γραμμικός προγραμματισμός

Πίνακας 1.2 Ενδεικτικό λογισμικό Η/Υ στη λήψη διοικητικών αποφάσεων.

1.9. Μαθηματικός προγραμματισμός

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστούν εφαρμογές που στηρίζονται στη μεθοδολογία του μαθηματικού προγραμματισμού (Γραμμικού και Ακέραιου). Ο μαθηματικός προγραμματισμός είναι μια πολύ ανεπτυγμένη και ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική λήψης αποφάσεων στην οικονομία και την διοίκηση επιχειρήσεων. Ένα μοντέλο μαθηματικού προγραμματισμού αποτελείται από μία “αντικειμενική” συνάρτηση η οποία εκφράζει το στόχο που θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε ή να ελαχιστοποιήσουμε υπό ένα σύνολο περιορισμών που εκφράζουν τη διαθέσιμη δυναμικότητα σε όρους κεφαλαίου,

διαθέσιμων πόρων, εξοπλισμού κ.ά. Στα μοντέλα αυτά η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί εκφράζονται σαν μαθηματικές συναρτήσεις με τη βοήθεια μεταβλητών. Μια πολύ σημαντική εκδοχή του μαθηματικού προγραμματισμού είναι ο γραμμικός προγραμματισμός όπου οι μεταβλητές – «στόχοι» μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε δεκαδική τιμή ενώ οι περιορισμοί αποτελούν γραμμικές συναρτήσεις. Η μαθηματική διατύπωση ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να είναι η παρακάτω:

$$\max(\min) z = c_1 \cdot x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n \leq, =, \geq \beta_1$$

$$a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n \leq, =, \geq \beta_2$$

⋮

$$a_{k1} \cdot x_1 + a_{k2} \cdot x_2 + \dots + a_{kn} \cdot x_n \leq, =, \geq \beta_k$$

Και $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$

Μία παραλλαγή του μαθηματικού προγραμματισμού είναι ο ακέραιος προγραμματισμός όπου οι μεταβλητές μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Ο ακέραιος προγραμματισμός εφαρμόζεται όταν οι μεταβλητές αναπαριστούν αποφάσεις “λογικής”. Συνηθισμένα παραδείγματα αποτελούν τα προβλήματα επενδύσεων όπου η μεταβλητή για μία επένδυση μπορεί να λάβει μόνο δύο τιμές: “1”, εάν αναληφθεί η επένδυση και “0”, εάν όχι. Τέλος ο μη γραμμικός προγραμματισμός εφαρμόζεται όταν οι αντικειμενικές συναρτήσεις ή κάποιοι περιορισμοί είναι μη γραμμικοί.

Η επίλυση των προβλημάτων μαθηματικού προγραμματισμού γίνεται με τη μέθοδο Simplex, η οποία αναπτύχθηκε από τον G.Dantzig το έτος 1947 καθώς και με γραφική επίλυση σε προβλήματα όπου περιλαμβάνουν μόνο δύο μεταβλητές. Στην αγορά κυκλοφορούν πολλά πακέτα Η/Υ που επιλύουν προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού. Κυριότερα από αυτά είναι το Ms Excel Solver, το Lindo και το MatLab. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η ανάλυση ευαισθησίας και η δυϊκότητα των προβλημάτων από τα οποία μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα. Συγκεκριμένα από την ανάλυση ευαισθησίας προσδιορίζεται πόσο μπορούν να αλλάξουν οι συντελεστές των μεταβλητών στην αντικειμενική συνάρτηση χωρίς να αλλάξει η άριστη λύση του προβλήματος καθώς και πόσο μπορούν να αλλάξουν οι δεξιές σταθερές των περιορισμών χωρίς να επηρεαστούν οι δυϊκές (σκιώδεις) τιμές. Οι δυϊκές (σκιώδεις) τιμές ενός περιορισμού εκφράζουν τη μεταβολή που θα επέλθει στην τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση αν μεταβληθεί κατά μία μονάδα η διαθέσιμη δυναμικότητα (δεξιά σταθερά) στον εκάστοτε περιορισμό.

2. Προγραμματισμός παραγωγής και αποθεμάτων

2.1. Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός παραγωγής και η διαχείριση προμηθειών και αποθεμάτων αποτελούν πολύ σημαντικά προβλήματα για την Διοικητική Επιστήμη στο σύγχρονο επιχειρησιακό περιβάλλον των βιομηχανιών και των επιχειρήσεων γενικότερα. Η δυσκολία προκύπτει καθώς μια επιχείρηση πρέπει να ικανοποιήσει δύο αντιφατικούς στόχους. Αφενός προσπαθεί να διατηρεί χαμηλά αποθέματα για να εξασφαλίζει μικρό κόστος αποθήκευσης και για να μειώνει το κίνδυνο απαξίωσης τους και αφετέρου προσπαθεί να διατηρεί υψηλά αποθέματα ώστε να μπορεί να ανταποκριθεί τάχιστα σε οποιαδήποτε αύξηση της ζήτησης. Τα εργαλεία της Διοικητικής Επιστήμης επιτυγχάνουν τον βέλτιστο προγραμματισμό παραγωγής και αποθεμάτων, βοηθώντας τις επιχειρήσεις να αυξήσουν τόσο την κερδοφορία τους όσο και το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών τους με το μικρότερο δυνατό κόστος. Οι επιχειρήσεις που καταφέρνουν να επιτύχουν αυτούς τους δύο στόχους, αποκτούν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και έχουν τη δυνατότητα να επιβιώσουν και να αναπτυχθούν περαιτέρω στο σκληρό ανταγωνιστικό περιβάλλον.

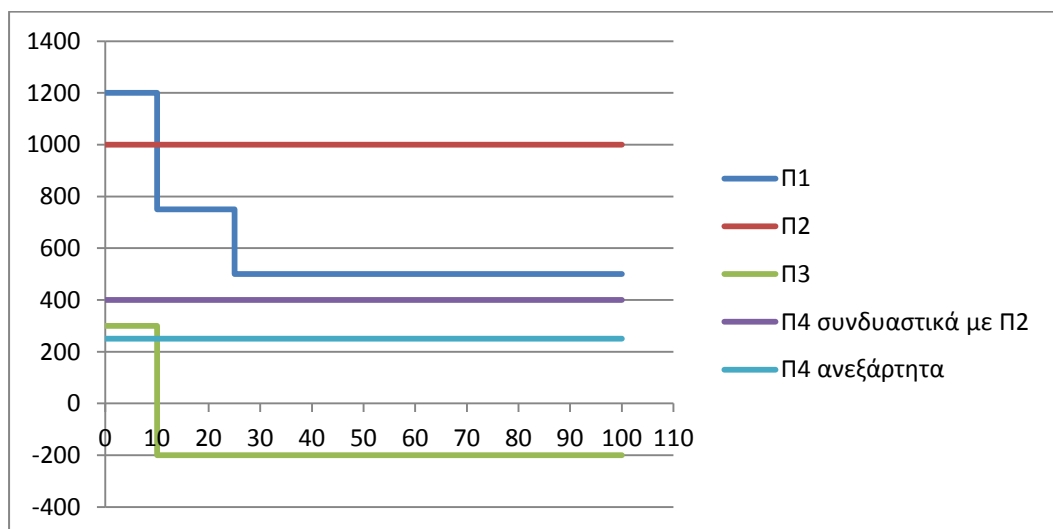
Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί για τα μοντέλα παραγωγής και αποθεμάτων ένα από τα βασικότερα εργαλεία επίλυσης. Ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού μπορεί εύκολα να μοντελοποιηθεί και να διατυπωθεί ακόμα και σε λογιστικό φύλο Excel χωρίς να απαιτείται κάποιο εξειδικευμένο πακέτο Η/Υ. Ο γραμμικός προγραμματισμός επιλύεται με τη βοήθεια του Solver ενώ παράλληλα μπορεί να πραγματοποιηθεί και ανάλυση ευαισθησίας από την οποία τα διοικητικά στελέχη έχουν την δυνατότητα να λάβουν αποφάσεις και να πραγματοποιούν αλλαγές στο προγραμματισμό τους. Στη σημερινή εποχή τα μοντέλα αυτά συνήθως αποτελούν προεκτάσεις ολοκληρωμένων πληροφοριακών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων όπως τα ERP, DSS, MIS και ESS. Μερικά από τα πιο συνηθισμένα παραδείγματα εφαρμογών στο πεδίο του προγραμματισμού της παραγωγής και των αποθεμάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Παραδείγματα προβλημάτων	Μέθοδοι επίλυσης
● Προγραμματισμός ύψους παραγωγής	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Ευρετικές μέθοδοι
● Προγραμματισμός ανθρώπινου δυναμικού	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός
● Προγραμματισμός μείξης προϊόντων	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός
● Επιλογή προϊόντων	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Πολυκριτήρια Ανάλυση
● Προγραμματισμός παραγωγής με αβεβαιότητα στη ζήτηση	● Προσομοίωση ● Δένδρα αποφάσεων
● Επιλογή τεχνολογικού εξοπλισμού	● Πολυκριτήρια Ανάλυση
● Προγραμματισμός προμηθειών	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Δυναμικός προγραμματισμός ● Προσομοίωση
● Διαχείριση αποθεμάτων	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Δυναμικός προγραμματισμός

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στον προγραμματισμό παραγωγής και αποθεμάτων.

2.2. Προγραμματισμός παραγωγής και πωλήσεων με εκπτώσεις

Τέτοιου είδους μοντέλα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου εμφανίζονται οικονομίες κλίμακας ή εκπτώσεις σε προϊόντα που παράγονται και πωλούνται σε μεγάλες ποσότητες. Το οριακό κόστος παραγωγής ή πώλησης δεν μεταβάλλεται γραμμικά ως συνήθως, αλλά βαθμιδωτά. Έστω μια επιχείρηση που πουλάει 4 προϊόντα Π1, Π2, Π3 και Π4. Το προϊόν Π1 αποφέρει κέρδος 1200€/τόνο για τους 10 πρώτους τόνους, 750€ μέχρι 25 τόνους και 500€ για παραγωγή μεγαλύτερη από 25 τόνους. Το προϊόν Π2 αντίστοιχα αποδίδει κέρδος 1000€/τόνο ανεξαρτήτου ποσότητας. Τα προϊόντα Π1 και Π2 μπορούν να πωληθούν σε απεριόριστες ποσότητες, ενώ το προϊόν Π3 είναι υποπροϊόν της παραγωγής του Π1 και μέχρι 10 τόνους μπορεί να πωληθεί με κέρδος 300€. Αντίθετα, μεγαλύτερη ποσότητα πρέπει να απομακρυνθεί με κόστος 200€/τόνο καθώς δεν υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης. Το προϊόν Π4 είναι υποπροϊόν της παραγωγής του Π2 μπορεί όμως και να παραχθεί ανεξάρτητα. Κάθε πελάτης που αγοράζει Χ τόνους του Π2 πρέπει να αγοράζει και Χ/2 τόνους Π4. Όταν το προϊόν Π4 αγοράζεται παράλληλα με το Π2 αποδίδει κέρδος 400€/τόνο, ενώ όταν αγοράζεται ανεξάρτητα αποδίδει κέρδος 250€/τόνο. Στην εικόνα 2.1 φαίνονται τα οριακά κέρδη για κάθε προϊόν και για κάθε ποσότητα που περιγράφηκε πιο πάνω.



Εικόνα 2.1 Οριακά κέρδη για κάθε προϊόν.

Η παραγωγή του Π1 χρειάζεται μία ώρα λειτουργίας της μηχανής Α και 2 ώρες της Β. Το Π2 χρειάζεται 2 ώρες τη μηχανή Α και 3 ώρες τη μηχανή Β αντίστοιχα, ενώ η παραγωγή ενός τόνου Π4 απαιτεί 3 ώρες λειτουργίας της μηχανής Γ ανεξάρτητα από την παραγωγή του Π2. Οι διαθέσιμες ώρες λειτουργίας κάθε μηχανής είναι 100, 150 και 280 αντίστοιχα. Κάθε παραγόμενος τόνος του Π1 αποδίδει αυτόματα 1,5 τόνο του Π3 και κάθε παραγόμενος τόνος Π2 αποδίδει 0,25 τόνο Π4 σαν υποπροϊόν. Με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού ζητείται το βέλτιστο πλάνο παραγωγής που να μεγιστοποιεί τα συνολικά έσοδα της επιχείρησης.

Για να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της βαθμιδωτής συνάρτησης του κέρδους πρέπει να οριστούν διαφορετικές μεταβλητές X_i για κάθε ποσότητα παραγωγής που έχουν διαφορετικό συντελεστή κόστους. Έτσι ορίζουμε τις παρακάτω μεταβλητές αποφάσεις:

X_{11} = η ποσότητα παραγωγής Π1 μέχρι 10 τόνους

X_{12} = η ποσότητα παραγωγής Π1 από 10 μέχρι 25 τόνους

X_{13} = η ποσότητα παραγωγής Π1 πάνω από 25 τόνους

X_2 = η ποσότητα παραγωγής Π2

X_{31} = η ποσότητα παραγωγής Π3 μέχρι 10 τόνους

X_{32} = η ποσότητα παραγωγής Π3 πάνω από 10 τόνους

X_{41} = η ποσότητα παραγωγής Π4 ως υποπροϊόν του Π2

X_{42} = η ποσότητα παραγωγής Π4 ανεξάρτητα του Π2

Y_{41} = οι πωλήσεις του Π4 μαζί με το Π2

Y_{42} = οι πωλήσεις του Π4 ανεξάρτητα του Π2

Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης των ολικών εσόδων διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Max}Z = 1200X_{11} + 750X_{12} + 500X_{13} + 1000X_2 + 300X_{31} - 200X_{32} + 400Y_{41} + 250Y_{42}$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$X_{11} \leq 10 \quad (1)$$

$$X_{12} \leq 15 \quad (2)$$

$$X_{31} \leq 10 \quad (3)$$

$$(X_{11} + X_{12} + X_{13}) * 1 + X_2 * 2 \leq 100 \quad (4)$$

$$(X_{11} + X_{12} + X_{13}) * 2 + X_2 * 3 \leq 150 \quad (5)$$

$$3 * X_{42} \leq 280 \quad (6)$$

$$(X_{11} + X_{12} + X_{13}) * 1,5 = X_{31} + X_{32} \quad (7)$$

$$X_{41} = 0,25X_2 \quad (8)$$

$$Y_{41} = 0,5X_2 \quad (9)$$

$$Y_{41} + Y_{42} = X_{41} + X_{42} \quad (10)$$

$$X_{11}, \dots, Y_{42} \geq 0 \quad (11)-(20)$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η επιχείρηση θα εισπράξει 95.750€. Από το προϊόν Π1 θα παραχθούν 10 τόνοι, από το Π2 43,33 τόνοι, από το Π3 15 τόνοι και από το Π4 θα παραχθούν 104,16 τόνοι (10,83 ως υποπροϊόν του Π2 και 93,33 τόνοι ανεξάρτητοι). Οι τιμές των μεταβλητών και των περιορισμών όπως προκύπτουν από το Excel Solver εμφανίζονται στην εικόνα 2.2.

Target Cell (Max)

Name	Final Value
maxZ	95750

Adjustable Cells

Name	Final Value
X11	10
X12	0
X13	0
X2	43.33
X31	10
X32	5
Ψ41	21.67
Ψ42	82.5
X41	10.83
X42	93.33

Constraints

Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
1st	10	≤ 10	Binding	0
2nd	0	≤ 15	Not Binding	15
3rd	10	≤ 10	Binding	0
4th	96.67	≤ 100	Not Binding	3.33
5th	150	≤ 150	Binding	0
6th	280	≤ 280	Binding	0
7th	10.83	$= 10.83$	Not Binding	0
8th	21.67	$= 21.67$	Not Binding	0
9th	104.16	$= 104.16$	Not Binding	0
10th	15	$= 15$	Not Binding	0

Εικόνα 2.2 Επίλυση προβλήματος παραγωγής και πωλήσεων.

Από την ανάλυση ευαισθησίας και συγκεκριμένα από τη δυϊκή τιμή του πρώτου περιορισμού προκύπτει ότι αν η επιχείρηση έχει τη δυνατότητα να πουλήσει έναν ακόμα τόνο σε τιμή 1200€ (με την υπάρχουσα πολιτική μπορεί μόνο μέχρι 10 τόνους με αυτή την τιμή) τότε θα κερδίζει για κάθε τόνο 216,67€ επιπλέον. Ομοίως η δυϊκή τιμή του 5^{ου} περιορισμού δηλώνει ότι για κάθε μία ώρα επιπλέον διαθέσιμη στη μηχανή Β το συνολικό κέρδος αυξάνεται κατά 341,67€. Η ανάλυση ευαισθησίας παρουσιάζεται στην εικόνα 2.3.

Adjustable Cells

Name	Reduced Gradient
X11	0
X12	-233.33
X13	-483.33
X2	0
X31	0
X32	0
Ψ41	0
Ψ42	0
X41	0
X42	0

Constraints

Name	Lagrange Multiplier
1st	216.67
2nd	0
3rd	500
4th	0
5th	341.67
6th	133.33
7th	400
8th	-150
9th	400
10th	200

Εικόνα 2.3 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος παραγωγής και πωλήσεων.

2.3. Λήψη απόφασης για κατασκευή ή υπεργολαβία προϊόντων (Make or buy decision)

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν πολλές φορές οι επιχειρήσεις και κυρίως οι βιομηχανίες είναι να αποφασίσουν εάν θα παράγουν οι ίδιες (in house manufacturing) τα εξαρτήματα προϊόντων που χρειάζονται ή θα τα αναθέσουν σε τρίτους

(outsourcing). Η ανάθεση σε τρίτους μπορεί να αποφασισθεί για πολλούς λόγους, όπως η έλλειψη εργατικού δυναμικού, η απουσία τεχνογνωσίας και η περίπτωση μη επαρκούς τεχνολογικού εξοπλισμού. Για αυτό το λόγο λοιπόν κρίνεται πολλές φορές σκόπιμο και συμφέρον να αναθέτουν σε τρίτους την κατασκευή εξαρτημάτων ώστε να εξοικονομούν χρήματα και χρόνο. Αυτή η περίπτωση γίνεται καλύτερα αντιληπτή μέσα από τη μελέτη περίπτωσης της εταιρείας Frandec Company που ακολουθεί.

Η Frandec Company κατασκευάζει και συναρμολογεί εξοπλισμό για αποθήκες και κέντρα διανομής. Ένα προϊόν που παράγει ονομάζεται 'Liftmaster' και αποτελείται από 4 βασικά εξαρτήματα: ένα πλαίσιο, έναν κινητήρα, δύο υποστηρικτικά εξαρτήματα και μια μεταλλική ντίζα. Ο προγραμματισμός παραγωγής για τον επόμενο μήνα είναι 5000 προϊόντα τύπου 'Liftmaster'. Ο κινητήρας είναι το μόνο εξάρτημα το οποίο αγοράζεται από προμηθευτή ενώ τα υπόλοιπα 3 εξαρτήματα μπορούν είτε να παρασκευάζονται από την ίδια την εταιρεία είτε να αγοράζονται από προμηθευτές. Τα κόστη αγοράς και κατασκευής των εξαρτημάτων φαίνονται στον πίνακα 2.2.

Εξάρτημα	Κόστος παραγωγής (€)	Κόστος αγοράς (€)
Πλαίσιο	38.00	51.00
Υποστηρικτικά	11.50	15.00
Ντίζα	6.50	7.50

Πίνακας 2.2 Κόστος παραγωγής και αγοράς εξαρτημάτων.

Για την κατασκευή των 3 εξαρτημάτων απαιτούνται διεργασίες κοψίματος, φινιρίσματος και τελικής διαμόρφωσης. Η παραγωγική ικανότητα είναι περιορισμένη εξαιτίας της δυναμικότητας του τεχνολογικού εξοπλισμού και του ανθρώπινου δυναμικού. Οι ανθρωποώρες που απαιτούνται για κάθε διαδικασία (σε λεπτά) καθώς και οι μέγιστες δυναμικότητες (σε ώρες) παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3.

Εξάρτημα	κόψιμο (m)	φινίρισμα (m)	Διαμόρφωση (m)
Πλαίσιο	3.5	2.2	3.1
Υποστηρικτικά	1.3	1.7	2.6
Ντίζα	0.8	0.0	1.7
Δυναμικότητα (h)	350	420	680

Πίνακας 2.3 Χρόνος κατασκευής εξαρτημάτων - διαθέσιμη παραγωγική δυναμικότητα.

Στόχος της εταιρείας είναι να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος κατασκευής και αγοράς των εξαρτημάτων. Για την διατύπωση του προβλήματος πρέπει πρώτα να οριστούν οι μεταβλητές απόφασης ως εξής:

FM = ο αριθμός των πλαισίων που κατασκευάζονται (Frames Manufactured)

FP = ο αριθμός των πλαισίων που αγοράζονται (Frames Purchased)

SM = ο αριθμός των υποστηρικτικών που κατασκευάζονται (Supports Manufactured)

SP = ο αριθμός των υποστηρικτικών που αγοράζονται (Supports Purchased)

StrM = ο αριθμός των ντιζών που κατασκευάζονται (Straps Manufactured)

StrP = ο αριθμός των ντιζών που αγοράζονται (Straps Purchased)

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους διατυπώνεται ως εξής:

$$MinZ = FM * 38,00 + FP * 51,00 + SM * 11,50 + SP * 15,00 + StrM * 6,5 + StrP * 7,5$$

Υπό τους περιορισμούς:

$FM + FP \geq 5000$	(1) Ικανοποίηση ζήτησης
$SM + SP \geq 5000$	(2) Ικανοποίηση ζήτησης
$StrM + StrP \geq 5000$	(3) Ικανοποίηση ζήτησης
$3,5*FM + 1,3*SM + 0,8*StrM \leq 350*60$	(4) Διαθέσιμος χρόνος «κοψίματος»
$2,2*FM + 1,7*SM \leq 420*60$	(5) Διαθέσιμος χρόνος «φινιρίσματος»
$3,1*FM + 2,6*SM + 1,7*StrM \leq 680*60$	(6) Διαθέσιμος χρόνος «διαμόρφωσης»
$FM, \dots, StrP \geq 0$	(7)-(12) Περιορισμοί πρόσημου

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι το ελάχιστο κόστος είναι 293.076,92€. Η βέλτιστη παραγωγή ορίζει ότι θα πρέπει να κατασκευαστούν 5000 πλαίσια και 2692 υποστηρικτικά εξαρτήματα ενώ πρέπει να αγοραστούν 2308 υποστηρικτικά εξαρτήματα και 5000 ντιζες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην εικόνα 2.4 με τη μορφή που εμφανίζονται στο Excel Solver.

Target Cell (Min)			Constraints				
Cell	Name	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$A\$18	MinZ	293076.9231	1st	5000	≥ 5000	Binding	0
			2nd	5000	≥ 5000	Binding	0
			3rd	5000	≥ 5000	Binding	0
			4th	21000	≤ 21000	Binding	0
			5th	15576.92	≤ 25200	Not Binding	9623.077
			6th	22500	≤ 40800	Not Binding	18300
Adjustable Cells							
Cell	Name	Final Value					
\$A\$15	FM	5000					
\$B\$15	FP	0					
\$C\$15	SM	2692.31					
\$D\$15	SP	2307.69					
\$E\$15	StrM	0					
\$F\$15	StrP	5000					

Εικόνα 2.4 Επίλυση προβλήματος υπεργολαβίας.

Από τις τιμές των περιορισμών βλέπουμε ότι καθοριστικός παράγοντας είναι η διαδικασία του κοψίματος καθώς εξαντλείται όλος ο διαθέσιμος χρόνος και η πλεονάζουσα μεταβλητή είναι μηδενική, ενώ υπάρχει ακόμα διαθέσιμος χρόνος για τις υπόλοιπες διεργασίες που η βιομηχανία μπορεί να εκμεταλλευτεί. Πολύ σημαντική σε αυτά τα προβλήματα αποτελεί η ανάλυση ευαισθησίας που εμφανίζεται στην εικόνα 2.5 καθώς προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Adjustable Cells			Constraints		
Name	Final Value	Reduced Gradient	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
FM	5000	0	1st	5000	47.42
FP	0	3.58	2nd	5000	15
SM	2692.31	0	3rd	5000	7.5
SP	2307.69	0	4th	21000	-2.69
StrM	0	1.15	5th	15576.92	0
StrP	5000	0	6th	22500	0

Εικόνα 2.5 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος υπεργολαβίας.

Από το μειωμένο κόστος (reduced gradient) των μη βασικών μεταβλητών (μηδενικές μεταβλητές) προκύπτει η απαιτούμενη μεταβολή στους συντελεστές των μεταβλητών ώστε να λάβουν μη μηδενική τιμή. Για να συμφέρι την εταιρία να αγοράσει πλαίσια από τους προμηθευτές πρέπει αυτά να πωλούνται σε τιμή $51,00 - 3,58 = 47,42\text{€}$, ενώ για να συμφέρι την επιχείρηση να κατασκευάζει η ίδια τις μεταλλικές ντίζες πρέπει να μειώσει το κόστος κατασκευής κατά $1,15\text{€}$. Επίσης από τις δυϊκές τιμές των περιορισμών προκύπτει ότι η επιχείρηση για κάθε πρόσθετο λεπτό που εξασφαλίζει στη διαδικασία του κοψίματος μειώνει το συνολικό κόστος παραγωγής κατά $2,69\text{€}$.

2.4. Διαχείριση παραγωγής και αποθεμάτων (Production and inventory management)

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές του γραμμικού προγραμματισμού είναι η διαχείριση των αποθεμάτων και ο προγραμματισμός της παραγωγής. Σκοπός των εφαρμογών αυτών είναι να προσδιορίζεται το βέλτιστο επίπεδο παραγωγής με το μικρότερο δυνατό κόστος, να ικανοποιείται η ζήτηση και να παράγεται κατάλληλη ποσότητα αποθεμάτων ώστε να καλύπτονται τυχόν μελλοντικές διακυμάνσεις στη ζήτηση. Η κατανομή της παραγωγικής δυναμικότητας περιορίζεται από τη διαθέσιμη δυναμικότητα του εργατικού δυναμικού, του τεχνολογικού εξοπλισμού και την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών. Στο συνολικό κόστος της παραγωγής συνυπολογίζεται το κόστος των πρώτων υλών, η αμοιβή του εργατικού δυναμικού, η αμοιβή των υπερωριών αν απαιτούνται, το κόστος διατήρησης των αποθεμάτων, το κόστος αλλαγής παραγωγικής δυναμικότητας (setup cost) κ.ά. Ένα τέτοιο μοντέλο διαχείρισης παραγωγής και αποθεμάτων γίνεται καλύτερα αντιληπτό από τη μελέτη περίπτωσης της εταιρείας Classic Boat Corporation.

Το πλάνο παραγωγής της εταιρείας είναι για 4 τρίμηνα και αφορά το προϊόν 'Classic21'. Η εταιρεία έχει ένα αρχικό απόθεμα 750 μοντέλων και η ζήτηση για τα επόμενα 4 τρίμηνα είναι 2000, 4000, 3000 και 1500 αντίστοιχα. Η παραγωγική ικανότητα της εταιρείας ανά τρίμηνο είναι 4000, 3000, 2000 και 4000. Το κόστος αποθήκευσης ανά μονάδα για τα 2 πρώτα τρίμηνα είναι 250€ ενώ για τα δύο τελευταία 300€ . Το κόστος παραγωγής για το πρώτο τρίμηνο είναι 10.000€ ανά μονάδα ενώ είναι αυξημένο κατά 10% τα επόμενα τρίμηνα λόγω της ανατίμησης των υλικών παραγωγής. Το κόστος αλλαγής (αύξησης ή μείωσης) της παραγωγικής δυναμικότητας (setup cost) είναι 500€ για τα δύο πρώτα τρίμηνα και 750€ για τα δύο τελευταία. Τέλος η εταιρεία επιθυμεί στο τέλος του 4^{ου}

τριμήνου να έχει απόθεμα 500 μοντέλα για την παραγωγή του επόμενου έτους και είναι γνωστό ότι το τελευταίο τρίμηνο του περασμένου έτους είχε παράγει 1200 μοντέλα. Όλα τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα εμφανίζονται στον πίνακα 2.4.

	1 ^ο τρίμηνο	2 ^ο τρίμηνο	3 ^ο τρίμηνο	4 ^ο τρίμηνο
Ζήτηση	2000	4000	3000	1500
Παραγωγική ικανότητα	4000	3000	2000	4000
Κόστος παραγωγής/ μονάδα (€)	10000	11000	11000	11000
Κόστος αποθήκευσης/ μονάδα (€)	250	250	300	300
Αρχικό απόθεμα	750	-	-	-
Απαιτούμενο απόθεμα	0	0	0	500
Αύξηση παραγωγικής δυναμικότητας/ μονάδα (€)	750	750	750	750
Μείωση παραγωγικής δυναμικότητας/ μονάδα (€)	500	500	500	500

Πίνακας 2.4 Αριθμητικά δεδομένα προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.

Η εταιρεία επιθυμεί να σχεδιάσει το πλάνο παραγωγής της με το μικρότερο κόστος και με στόχο να ικανοποιούνται όλοι οι περιορισμοί. Οι μεταβλητές απόφασης για το πρόβλημα είναι οι εξής:

X_i = η παραγωγή του i τριμήνου

S_i = το απόθεμα που διατηρεί η εταιρεία το i τρίμηνο

I_i = η αύξηση της παραγωγικής δυναμικότητας το i τρίμηνο

D_i = η μείωση της παραγωγικής δυναμικότητας το i τρίμηνο

Η ζήτηση κάθε τριμήνου πρέπει να καλύπτεται επομένως θα πρέπει να ικανοποιείται ο παρακάτω περιορισμός:

$$\begin{pmatrix} \text{απόθεμα} \\ \text{προηγούμενου} \\ \text{τριμήνου } S_{i-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{παραγωγή} \\ \text{τρέχον} \\ \text{τριμήνου } X_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \text{Επιθυμητό} \\ \text{απόθεμα τρέχον} \\ \text{τριμήνου } S_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Ζήτηση} \\ \text{τριμήνου } i \end{pmatrix}$$

Για να υπολογιστεί η αύξηση ή η μείωση της παραγωγικής ικανότητας δύο διαδοχικών τριμήνων ώστε να υπολογιστεί το κόστος αλλαγής παραγωγικότητας δύο διαδοχικών τριμήνων, πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω περιορισμοί:

$$(X_i) - (X_{i-1}) = I_i - D_i \text{ και } I_i * D_i = 0.$$

Οι μεταβλητές I, D είναι θετικές ή μηδέν. Αν υπάρχει αύξηση της παραγωγής, τότε οι ποσότητες $(X_i) - (X_{i-1})$ και $I_i - D_i$ είναι θετικές. Εφόσον όλες οι μεταβλητές του προβλήματος είναι θετικές, με τη βοήθεια του περιορισμού $I_i * D_i = 0$ εξασφαλίζεται ότι υπολογίζεται η αύξηση I_i καθώς η μεταβλητή D_i θα είναι μηδενική. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση όπου υπάρχει μείωση στην παραγωγή, όπου η ποσότητα $(X_i) - (X_{i-1})$ είναι αρνητική. Οποιαδήποτε παραλλαγή σε τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζεται με διατύπωση κατάλληλων περιορισμών με την ίδια λογική. Στη μελέτη περίπτωσης που αναλύουμε η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης διατυπώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \min Z = & 10.000 * X_1 + 11.000 * (X_2 + X_3 + X_4) + 250 * (S_1 + S_2) + 300 * (S_3 + S_4) \\ & + 750 * (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + 500 * (D_1 + D_2 + D_3 + D_4) \end{aligned}$$

Υπό τους περιορισμούς:

- | | |
|--|---|
| $750 + X_1 - S_1 = 2000$ | (1) ικανοποίηση ζήτησης 1 ^{ου} τριμήνου |
| $S_1 + X_2 - S_2 = 4000$ | (2) ικανοποίηση ζήτησης 2 ^{ου} τριμήνου |
| $S_2 + X_3 - S_3 = 3000$ | (3) ικανοποίηση ζήτησης 3 ^{ου} τριμήνου |
| $S_3 + X_4 - S_4 = 1500$ | (4) ικανοποίηση ζήτησης 4 ^{ου} τριμήνου |
| $X_1 \leq 4000$ | (5) περιορισμός παραγωγικής ικανότητας 1 ^{ου} τριμήνου |
| $X_2 \leq 3000$ | (6) περιορισμός παραγωγικής ικανότητας 2 ^{ου} τριμήνου |
| $X_3 \leq 2000$ | (7) περιορισμός παραγωγικής ικανότητας 3 ^{ου} τριμήνου |
| $X_4 \leq 4000$ | (8) περιορισμός παραγωγικής ικανότητας 4 ^{ου} τριμήνου |
| $1200 - X_1 = I_1 - D_1$ | (9) Μεταβολή παραγωγής στο 1 ^ο τρίμηνο |
| $I_1 * D_1 = 0$ | (10) |
| $X_2 - X_1 = I_2 - D_2$ | (11) Μεταβολή παραγωγής στο 2 ^ο τρίμηνο |
| $I_2 * D_2 = 0$ | (12) |
| $X_3 - X_2 = I_3 - D_3$ | (13) Μεταβολή παραγωγής στο 3 ^ο τρίμηνο |
| $I_3 * D_3 = 0$ | (14) |
| $X_4 - X_3 = I_4 - D_4$ | (15) Μεταβολή παραγωγής στο 4 ^ο τρίμηνο |
| $I_4 * D_4 = 0$ | (16) |
| $S_4 \geq 500$ | (17) Απαιτήση αποθέματος στο τέλος του 4 ^{ου} τριμήνου |
| $X_1, \dots, S_1, \dots, I_1, \dots, D_1 \geq 0$ | (18)⋯(33) |

Σύμφωνα με το βέλτιστο πρόγραμμα παραγωγής το συνολικό κόστος είναι 11.2562.500€. Το 1^ο τρίμηνο θα παραχθούν 3250 μονάδες, το 2^ο 3000 μονάδες και το 3^ο και

το 4^ο τρίμηνο 2000 μονάδες αντίστοιχα. Το 1^ο τρίμηνο θα αποθηκευθούν 2000 μονάδες, το 2^ο 1000 μονάδες και το 4^ο 500 μονάδες. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται και στην εικόνα 2.6.

Target Cell (Min)		Constraints				
Name	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
MinZ	112562500	1st	2000	=2000	Not Binding	0
Adjustable Cells		2nd	4000	=4000	Not Binding	0
Name	Final Value	3rd	3000	=3000	Not Binding	0
X1	3250	4th	1500	=1500	Not Binding	0
X2	3000	5th	3250	≤4000	Not Binding	750
X3	2000	6th	3000	≤3000	Binding	0
X4	2000	7th	2000	≤2000	Binding	0
S1	2000	8th	2000	≤4000	Not Binding	2000
S2	1000	9th	2050	=2050	Not Binding	0
S3	0	10th	0	=0	Not Binding	0
S4	500	11th	-250	=-250	Not Binding	0
I1	2050	12th	0	=0	Not Binding	0
I2	0	13th	-1000	=-1000	Not Binding	0
I3	0	14th	0	=0	Not Binding	0
I4	0	15th	0	=0	Not Binding	0
D1	0	16th	0	=0	Not Binding	0
D2	250	17th	500	≥500	Binding	0
D3	1000					
D4	0					

Εικόνα 2.6 Επίλυση προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.

Από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει ότι αν η ζήτηση το 1^ο τρίμηνο αυξηθεί κατά μία μονάδα τότε το κόστος παραγωγής θα αυξηθεί κατά 11250€. Ομοίως αν το τελικό απόθεμα του 4^{ου} τριμήνου αυξηθεί κατά μία μονάδα το τελικό κόστος θα αυξηθεί κατά 10800€. Η ανάλυση ευαισθησίας παρουσιάζεται στην εικόνα 2.7.

Adjustable Cells			Constraints		
Name	Final Value	Reduced Gradient	Name	Final Value	Lagrange Multiplier
X1	3250	0	1st	2000	11250
X2	3000	0	2nd	4000	11500
X3	2000	0	3rd	3000	11750
X4	2000	0	4th	1500	10500.06
S1	2000	0	5th	3250	0
S2	1000	0	6th	3000	-500
S3	0	1549.86	7th	2000	-750.07
S4	500	0	8th	2000	0
			17th	500	10800.07

Εικόνα 2.7 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος παραγωγής αποθεμάτων.

2.5. Προγραμματισμός εργατικού δυναμικού (crew scheduling)

Για κάθε είδους επιχείρηση είτε πρόκειται για βιομηχανία είτε για εταιρεία παροχής υπηρεσιών, ο προγραμματισμός και η βαρδιολόγηση του προσωπικού τους αποτελεί μία πολύ σημαντική λειτουργική απόφαση με διπλό ρόλο. Αφενός καθορίζει τις απαιτήσεις σε εργατικό δυναμικό με βάση τον προγραμματισμό της παραγωγής και του φόρτου εργασιών που πρέπει να υλοποιηθούν κατά τη διάρκεια μίας ημέρας, αφετέρου κατανέμει με τέτοιο τρόπο την εργασία του προσωπικού με σκοπό να ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος αμοιβών και υπερωριών. Ο προγραμματισμός μπορεί να είναι ημερήσιος, εβδομαδιαίος αλλά μπορεί να μεταβάλλεται ακόμα και μέσα στην διάρκεια της ημέρας. Ο προγραμματισμός εξαρτάται από το ωράριο λειτουργίας της επιχείρησης, τον αριθμό βαρδιών αλλά και το είδος της εργασίας του προσωπικού π.χ. πλήρης εργασία, ημιαπασχόληση, εποχικοί υπάλληλοι κ.ά. Επίσης εξαρτάται από τις αμοιβές του προσωπικού, το κόστος των υπερωριών και από τις αποζημιώσεις των αποχωρήσεων του εποχικού προσωπικού κ.ά. Ένα παράδειγμα προγραμματισμού εργατικού δυναμικού παρουσιάζεται στη μελέτη περίπτωσης της εταιρείας Western Family Steakhouse.

Η Western Family Steakhouse προσφέρει μεγάλη ποικιλία γευμάτων χαμηλού κόστους και γρήγορης εξυπηρέτησης. Κάθε Σάββατο η επιχείρηση παραμένει ανοιχτή από τις 11:00 πμ έως τις 10:00 μμ. Μέσα σε αυτό το ωράριο εργάζονται μόνο δύο άτομα πλήρους απασχόλησης (8 ώρες) ενώ όλοι οι υπόλοιποι εργάζονται με μειωμένο ωράριο (4 ώρες). Ο πρώτος υπάλληλος πλήρους απασχόλησης ξεκινάει τη βάρδια του στις 11:00 πμ, εργάζεται για 4 ώρες, έχει ένα διάλειμα μίας ώρας και στη συνέχεια δουλεύει άλλες 4 ώρες. Ο δεύτερος αναλαμβάνει καθήκοντα στις 13:00 και ακολουθεί το ίδιο πρόγραμμα με τον προηγούμενο. Το μέσο ωρομίσθιο των εργαζομένων είναι 7,60\$/ώρα. Ο διευθυντής της επιχείρησης επιθυμεί να κάνει τον πιο οικονομικό προγραμματισμό εργατικού δυναμικού. Οι απαιτήσεις σε προσωπικό (πλήρους και μερικής απασχόλησης) κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.5.

Ωράριο	Αριθμός υπαλλήλων
11:00 - 12:00	9
12:00 - 13:00	9
13:00 - 14:00	9
14:00 - 15:00	3
15:00 - 16:00	3
16:00 - 17:00	3
17:00 - 18:00	6
18:00 - 19:00	12
19:00 - 20:00	12
20:00 - 21:00	7
21:00 - 22:00	7

Πίνακας 2.5 Απαιτήσεις υπαλλήλων στη διάρκεια της ημέρας.

Οι μεταβλητές απόφασης για την επίλυση του προβλήματος είναι ακέραιες και αφορούν τον αριθμό των εργαζομένων που θα αναλαμβάνουν καθήκοντα κάθε ώρα. Έτσι ορίζεται ως X1 ο αριθμός των υπαλλήλων που ξεκινούν την εργασία τους στις 11:00, X2 ο αριθμός των υπαλλήλων που ξεκινούν στις 12 κ.ό.κ. Η κατανομή των εργαζομένων στο ωράριο λειτουργίας της επιχείρησης παρουσιάζεται στον πίνακα 2.6.

	8-ώρος	8-ώρος	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
11:00 - 12:00	1	-	X1	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	1	-	X1	X2	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	1	1	X1	X2	X3	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	1	1	X1	X2	X3	X4	-	-	-	-
15:00 - 16:00	-	1	-	X2	X3	X4	X5	-	-	-
16:00 - 17:00	1	1	-	-	X3	X4	X5	X6	-	-
17:00 - 18:00	1	-	-	-	-	X4	X5	X6	X7	-
18:00 - 19:00	1	1	-	-	-	-	X5	X6	X7	X8
19:00 - 20:00	1	1	-	-	-	-	-	X6	X7	X8
20:00 - 21:00	-	1	-	-	-	-	-	-	X7	X8
21:00 - 22:00	-	1	-	-	-	-	-	-	-	X8

Πίνακας 2.6 Κατανομή υπαλλήλων στη διάρκεια της ημέρας.

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος πρέπει να ελαχιστοποιεί τη συνολική αμοιβή των μερικώς απασχολούμενων εργαζομένων και διατυπώνεται ως εξής:

$$\min Z = (X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 + X8) * 4 * 7.60$$

Για κάθε ώρα εργασίας πρέπει να ικανοποιείται ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός εργαζομένων και οι περιορισμοί διατυπώνονται ως παρακάτω:

$$\begin{aligned} 1 &+ X1 && \geq 9 && (1) \\ 1 &+ X1 + X2 && \geq 9 && (2) \\ 1 + 1 &+ X1 + X2 + X3 && \geq 9 && (3) \\ 1 + 1 &+ X1 + X2 + X3 + X4 && \geq 3 && (4) \\ &1 &+ X2 + X3 + X4 + X5 && \geq 3 && (5) \\ 1 + 1 &&+ X3 + X4 + X5 + X6 && \geq 3 && (6) \\ 1 &&&+ X4 + X5 + X6 + X7 && \geq 6 && (7) \\ 1 + 1 &&&&+ X5 + X6 + X7 + X8 && \geq 12 && (8) \\ 1 + 1 &&&&&+ X6 + X7 + X8 && \geq 12 && (9) \\ &1 &&&&&+ X7 + X8 && \geq 7 && (10) \\ &1 &&&&&&+ X8 && \geq 7 && (11) \end{aligned}$$

Από την επίλυση του μοντέλου με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού προκύπτει ότι το ελάχιστο κόστος είναι 608\$. Η κατανομή των εργαζομένων καθώς και η ικανοποίηση των περιορισμών φαίνεται από το Excel Solver στην εικόνα 2.8.

Target Cell (Min)		Constraints				
Name	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
minZ	608	1st	9	≥ 9	Binding	0
		2nd	9	≥ 9	Binding	0
		3rd	11	≥ 9	Not Binding	2
		4th	11	≥ 3	Not Binding	8
		5th	3	≥ 3	Binding	0
		6th	6	≥ 3	Not Binding	3
		7th	6	≥ 6	Binding	0
		8th	13	≥ 12	Not Binding	1
		9th	12	≥ 12	Binding	0
		10th	9	≥ 7	Not Binding	2
		11th	7	≥ 7	Binding	0

Adjustable Cells	
Name	Final Value
X1	8
X2	0
X3	1
X4	0
X5	1
X6	2
X7	2
X8	6

Εικόνα 2.8 Επίλυση προβλήματος προγραμματισμός προσωπικού.

Από την επίλυση του μοντέλου παρατηρείται ότι σε πολλούς περιορισμούς η πλεονάζουσα μεταβλητή (slack variable) είναι μεγάλη γεγονός που δηλώνει ότι το προσωπικό πλεονάζει κάποιες ώρες. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις ο διευθυντής της επιχείρησης μπορεί να εξετάσει την εξοικονόμηση χρημάτων με την πρόσληψη 3-ώρων υπαλλήλων.

3. Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας - Διανομές

3.1. Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν εφαρμογές από τον ολοκληρωτικό σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, εφαρμογές από προβλήματα διανομών καθώς και εφαρμογές δρομολόγησης οχημάτων. Οι εφαρμογές αυτές αποτελούν ίσως τις σημαντικότερες προκλήσεις στην κοινωνία της πληροφορίας καθώς η σωστή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (Supply Chain Management, SCM) είναι μονόδρομος για την επιβίωση και την κερδοφορία των επιχειρήσεων. Η Διοικητική Επιστήμη παίζει σπουδαίο ρόλο στον σχεδιασμό και στην διοίκηση της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς έχει αναπτύξει πολλά αριθμητικά μοντέλα και εργαλεία επίλυσης για τα προβλήματα που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. Ενδεικτικά προβλήματα και εφαρμογές στον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και οι μέθοδοι επίλυσης τους εμφανίζονται στον πίνακα 3.1.

Παραδείγματα προβλημάτων	Μέθοδοι επίλυσης
● Σχεδιασμός εφοδιαστικής αλυσίδας	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός
● Επιλογή θέσης εγκατάστασης	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Πολυκριτήρια Ανάλυση
● Επιλογή μέσου μεταφοράς	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Πολυκριτήρια Ανάλυση
● Εξαγορά επιχείρησης (Καθετοποίηση)	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Πολυκριτήρια Ανάλυση
● Προσδιορισμός βέλτιστης διαδρομής	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Θεωρία δικτύων
● Σχεδιασμός δικτύου διανομής	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Θεωρία δικτύων
● Προγραμματισμός διανομής προϊόντων / Δρομολόγηση οχημάτων	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Ευρετικές μέθοδοι ● Γεωπληροφοριακά Συστήματα (GIS)
● Προσδιορισμός σύνθεσης στόλου	● Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός ● Ευρετικές μέθοδοι

Πίνακας 3.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στον σχεδιασμό εφοδιαστικής αλυσίδας.

3.2. Μοντέλο επιλογής θέσης εγκατάστασης και κατανομής δυναμικότητας δικτύου εφοδιασμού (Facility Location and Capacity Allocation)

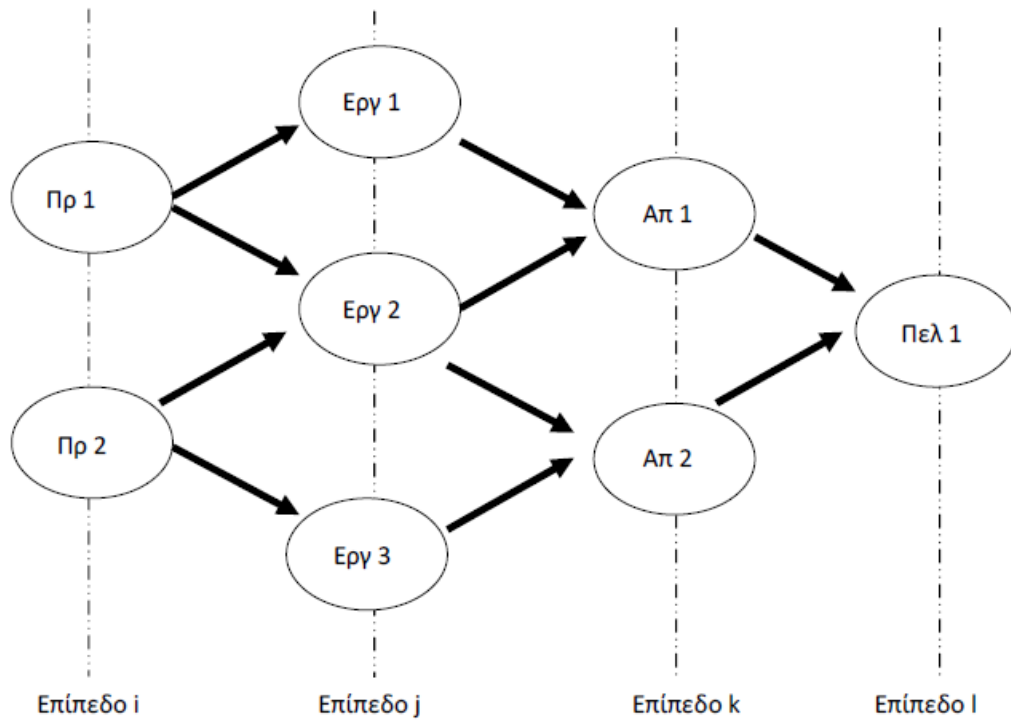
Η εφοδιαστική αλυσίδα μιας επιχείρησης αποτελείται από γεωγραφικά κατανεμημένες μονάδες προμηθευτών, εργοστασίων, κέντρων διανομής (αποθηκών) και τελικών καταναλωτών που συνδέονται μεταξύ τους με μεταφορικές συνδέσεις. Όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο η βιωσιμότητα των επιχειρήσεων εξαρτάται άμεσα από το δίκτυο εφοδιασμού. Για να είναι ένα δίκτυο ευέλικτο, αποτελεσματικό και κερδοφόρο πρέπει να μειώνεται συνεχώς τόσο το σταθερό κόστος λειτουργίας των εργοστασίων και των αποθηκών, όσο και το συνολικό κόστος μεταφοράς από τον ένα κόμβο του δικτύου στους υπολοίπους με τον ελάχιστο χρόνο απόκρισης. Οι παράγοντες που πρέπει να

ληφθούν υπόψη για να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός δικτύου με απώτερο στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους λειτουργίας του δικτύου είναι οι παρακάτω:

- Πιθανές θέσεις εγκατάστασης προμηθευτών, εργοστασίων και αποθηκών.
- Πρόβλεψη ζήτησης κάθε αγοράς.
- Μέγιστη δυναμικότητα προμηθευτών και εργοστασίων.
- Μέγιστη χωρητικότητα αποθηκών και κόστος αποθεμάτων.
- Κόστος μεταφοράς πρώτων υλών - έτοιμων προϊόντων σε κάθε δίαυλο μεταφοράς.
- Λειτουργικά κόστη εργοστασίων, αποθηκών και προμηθευτών.
- Κόστη παραγωγής προϊόντων.

Αρχικά, πριν επιλυθεί το μοντέλο του δικτύου εφοδιασμού με την μέθοδο του μαθηματικού προγραμματισμού σύμφωνα με την θεωρία των δικτύων, πρέπει να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν οι πιθανές θέσεις των κόμβων του. Εκτός όμως από την επιλογή της περιοχής εγκατάστασης τα διοικητικά στελέχη πρέπει να καθορίσουν την κατανομή της δυναμικότητας των εργοστασίων και των αποθηκών ανάλογα με την μεταβολή της ζήτησης και ανάλογα με τον ρυθμό που αυξομειώνονται τα διάφορα κόστη. Τα μαθηματικά μοντέλα που αντιπροσωπεύουν τα δίκτυα εφοδιασμού μπορεί να είναι από πολύ απλά έως και πολύ σύνθετα, ανάλογα με τη μορφή του δικτύου και τον αριθμό των περιορισμών του προβλήματος. Το μοντέλο που θα περιγραφεί παρακάτω αποτελεί δίκτυο τεσσάρων επιπέδων όπου περιλαμβάνει προμηθευτές, εργοστάσια παραγωγής, αποθήκες και τελικούς λιανοπωλητές. Η γενικότερη μορφή αυτού του δικτύου εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου μία επιχείρηση σχεδιάζει εξ' αρχής ολόκληρο το δίκτυο εφοδιασμού.

Κατά την επίλυση του δικτύου απαιτείται να υπολογιστεί το συνολικό κόστος λειτουργίας στο οποίο συνυπολογίζονται τόσο τα σταθερά όσο και τα μεταβλητά κόστη. Σταθερό κόστος ορίζεται το κόστος που είναι ανεξάρτητο από την ποσότητα των παραγόμενων ή μεταφερόμενων προϊόντων και συνήθως αφορά το κόστος λειτουργίας μίας μονάδας, ενώ αντίθετα το μεταβλητό κόστος συνδέεται άμεσα με την μεταφερόμενη ποσότητα των προϊόντων. Το μεταβλητό κόστος παρουσιάζει συνήθως οικονομίες κλίμακας και καθώς αυξάνεται η ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων μειώνεται αντίστοιχα και το οριακό κόστος. Στην περίπτωση που εξετάζεται θεωρείται ότι όλα τα μεταβλητά κόστη μεταβάλλονται γραμμικά συναρτήσει της παραγόμενης ή μεταφερόμενης ποσότητας προϊόντων. Το μοντέλο που ακολουθεί μπορεί να εφαρμοστεί για κάθε είδους δίκτυο με οποιονδήποτε αριθμό κόμβων σε κάθε ένα επίπεδο. Αρχικά τα εργοστάσια εφοδιάζονται με τις απαιτούμενες πρώτες ύλες από τους προμηθευτές και στην συνέχεια τροφοδοτούν τα κέντρα διανομής. Τέλος τα κέντρα διανομής εξυπηρετούν τους τελικούς καταναλωτές και ορίζονται οι βέλτιστες ποσότητες που μεταφέρονται σε κάθε δίαυλο μεταφοράς. Η μορφή του δικτύου που θα περιγραφεί περιλαμβάνει 4 επίπεδα και παρουσιάζεται σχηματικά στη εικόνα 3.1.



Εικόνα 3.1 Δίκτυο εφοδιασμού 4 επιπέδων.

Κατά τον σχεδιασμό του δικτύου εφοδιασμού πρέπει να προσδιορισθούν οι θέσεις των εργοστασίων και των αποθηκών, να οριστούν οι δυναμικότητες τους και να υπολογισθούν οι ποσότητες που μεταφέρονται μεταξύ των διάφορων κόμβων ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό σταθερό και μεταβλητό κόστος του δικτύου. Έστω ένα δίκτυο όπου n_1 είναι ο αριθμός των προμηθευτών, n_2 ο μέγιστος αριθμός εργοστασίων που μπορούν να τεθούν σε λειτουργία, n_3 ο μέγιστος αριθμός των αποθηκών που θα λειτουργούν και n_4 ο αριθμός των τελικών λιανοπωλητών. Χωρίζοντας το δίκτυο σε 4 επίπεδα για καλύτερη διακριτοποίηση έχουμε στο επίπεδο i τους προμηθευτές, στο επίπεδο j τα εργοστάσια, στο επίπεδο k τις αποθήκες και στο επίπεδο l τους τελικούς καταναλωτές. Έτσι λοιπόν ορίζονται οι παρακάτω σταθερές:

S_i = Μέγιστη ετήσια παροχή πρώτων υλών του προμηθευτή i

K_j = Μέγιστη ετήσια παραγωγική ικανότητα του εργοστασίου i

W_k = Μέγιστη ετήσια χωρητικότητα της αποθήκης i

D_l = Ετήσια ζήτηση της αγοράς i

f_{ji} = Ετήσιο σταθερό κόστος εργοστασίου στη θέση i

f_{ki} = Ετήσιο σταθερό κόστος αποθήκης στη θέση i

C_{ij} = Κόστος μεταφοράς μιας μονάδας από τον προμηθευτή i στο εργοστάσιο j

C_{jk} = Κόστος μεταφοράς μιας μονάδας από το εργοστάσιο j στην αποθήκη k

C_{kl} = Κόστος μεταφοράς μιας μονάδας από την αποθήκη k στον τελικό καταναλωτή l

Επειδή πρέπει να αποφασιστούν ποιά εργοστάσια και ποιές αποθήκες θα παραμείνουν σε λειτουργία και ποιές θα κλείσουν ορίζονται οι παρακάτω μεταβλητές απόφασης:

$Y_j = 1$, αν το εργοστάσιο στη θέση j λειτουργεί και 0 αν όχι

$Y_k = 1$, αν η αποθήκη στη θέση k λειτουργεί και 0 αν όχι

X_{kl} = η ποσότητα που μεταφέρεται ετησίως από την αποθήκη k στην αγορά l .

X_{jk} = η ποσότητα που μεταφέρεται ετησίως από το εργοστάσιο j στην αποθήκη k .

X_{ij} = η ποσότητα που μεταφέρεται ετησίως από τον προμηθευτή i στο εργοστάσιο j .

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποίησης του συνολικού σταθερού και μεταβλητού κόστους όλου του δικτύου διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^{n2} f_{ji} \cdot Y_j + \sum_{i=1}^{n3} f_{ki} \cdot Y_k + \sum_{i=1}^{n1} \sum_{j=1}^{n2} C_{ij} \cdot X_{ij} + \sum_{j=1}^{n2} \sum_{k=1}^{n3} C_{jk} \cdot X_{jk} + \sum_{k=1}^{n3} \sum_{l=1}^{n4} C_{kl} \cdot X_{kl} \right)$$

Οι περιορισμοί σχηματίζονται για να εξασφαλίζεται πρώτον ότι σε κάθε κόμβο οι ποσότητες που εξέρχονται θα είναι μικρότερες από τη δυναμικότητα κάθε κόμβου (παραγωγική - αποθηκευτική ικανότητα) και δεύτερον για να εξασφαλίζεται το ισοζύγιο μεταξύ εξερχόμενων και εισερχόμενων προϊόντων. Έτσι λοιπόν οι περιορισμοί διατυπώνονται ως εξής:

$$1) \sum_{j=1}^{n2} X_{ij} \leq S_i \text{ για κάθε προμηθευτή } i$$

$$2) \sum_{i=1}^{n1} X_{ij} - \sum_{k=1}^{n3} X_{jk} \geq 0 \text{ για κάθε εργοστάσιο } j$$

$$3) \sum_{k=1}^{n3} X_{jk} \leq K_j \cdot Y_j \text{ για κάθε εργοστάσιο } j$$

$$4) \sum_{j=1}^{n2} X_{jk} - \sum_{l=1}^{n4} X_{kl} \geq 0 \text{ για κάθε αποθήκη } k$$

$$5) \sum_{j=1}^{n2} X_{jk} \leq W_k \cdot Y_k \text{ για κάθε αποθήκη } k$$

$$6) \sum_{k=1}^{n3} X_{kl} = D_l \text{ για κάθε καταναωτή } l$$

$$7) Y_j, Y_k \in \{0,1\}$$

$$8) X_{ij} \geq 0$$

Η πρώτη ομάδα περιορισμών εξασφαλίζει ότι η συνολική ποσότητα που θα που θα μεταφερθεί από κάθε προμηθευτή δεν θα ξεπεράσει τη μέγιστη δυναμικότητα τους. Η 2^η ομάδα ορίζει το συνολικό ισοζύγιο μεταξύ πρώτων υλών και παραγόμενων προϊόντων από τα εργοστάσια και η 3^η ομάδα εξασφαλίζει ότι η συνολική παραγωγή των εργοστασίων δεν θα υπερβαίνει τη διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα τους. Η 4^η ομάδα περιορισμών αντίστοιχα εξασφαλίζει το ισοζύγιο των αποθηκών μεταξύ των εισερχομένων προς αυτές από τα εργοστάσια προϊόντων και των αποστελλόμενων προϊόντων προς του τελικούς καταναλωτές. Η 5^η ομάδα περιορισμών εξασφαλίζει ότι τα εισερχόμενα προς αποθήκευση προϊόντα στις αποθήκες δεν θα ξεπεράσουν την συνολική διαθέσιμη χωρητικότητα τους, ενώ η 6^η ομάδα περιορισμών εξασφαλίζει ότι θα καλύπτεται η συνολική ζήτηση κάθε αγοράς. Τέλος η 7^η και η 8^η ομάδα δηλώνουν ότι οι μεταβλητές απόφασης Y_i λαμβάνουν μόνο τιμές 0 και 1, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές του προβλήματος πρέπει να είναι θετικές για να έχουν φυσικό νόημα.

Για να έχει εφικτή λύση (feasible solution) το πρόβλημα, πρέπει η συνολική ζήτηση των αγορών να μπορεί να καλυφθεί από την παραγωγική ικανότητα των εργοστασίων και κατ'επέκταση από την δυνατότητα παροχής πρώτων υλών από τους προμηθευτές. Όταν ικανοποιείται η ζήτηση τότε το δίκτυο έχει εφικτή λύση και οι μεταβλητές λαμβάνουν πάντα ακέραιες τιμές. Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση όπου η παραγωγική ικανότητα των εργοστασίων είναι μεγαλύτερη από τη ζήτηση των αγορών. Σε αντίθετη περίπτωση όπου η ζήτηση είναι μεγαλύτερη, για να υπάρχει λύση πρέπει να ορισθούν στο δίκτυο «πλασματικοί» κόμβοι με παραγωγική ικανότητα ίση με τη διαφορά της πλεονάζουσας ζήτησης. Οι μεταφορές των προϊόντων μέσα από τους πλασματικούς κόμβους γίνεται μόνο λογιστικά για την επίλυση του προβλήματος, επομένως τα κόστη μεταφορών μέσω αυτών των κόμβων ορίζονται μηδενικά ώστε το συνολικό κόστος της αντικειμενικής συνάρτησης να μην επηρεάζεται από αυτές τις μεταφορές.

Οι αποφάσεις που λαμβάνονται στο σχεδιασμό ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας είναι στρατηγικής σημασίας και έχουν ισχύ πολλών ετών. Η ζήτηση όμως των προϊόντων, τα σταθερά και μεταβλητά κόστη καθώς και άλλα στοιχεία του δικτύου μεταβάλλονται στο χρόνο. Οι εταιρείες πρέπει να σχεδιάσουν το δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας συνυπολογίζοντας την αβεβαιότητα των διάφορων οικονομικών μεταβλητών. Οι συνθήκες που μελετώνται πρέπει να βασίζονται σε ένα πλήθος μελλοντικών σεναρίων που δημιουργούν αυτήν την αβεβαιότητα και να υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισής τους. Ιδιαίτερα οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται σε παγκόσμιο δίκτυο υπόκεινται σε επιδράσεις περισσότερων παραγόντων όπως οι τιμές συναλλάγματος κ.ά. Συχνά λοιπόν, για να ξεπερασθεί αυτή η αβεβαιότητα χρησιμοποιείται συνδυαστικά με τον γραμμικό προγραμματισμό και η μέθοδος της προσομοίωσης. Η μέθοδος της προσομοίωσης χρησιμοποιεί πολλά αποτελέσματα που προέρχονται από πολλές αριθμητικές επιλύσεις διάφορων σεναρίων για να καταλήξει σε μια κατανομή αποτελεσμάτων τα οποία θα αξιολογηθούν με τη βοήθεια της στατιστικής επιστήμης για να ληφθεί η βέλτιστη απόφαση.

Από τις επιλύσεις των διάφορων σεναρίων μία επιχείρηση μπορεί να σχεδιάσει ένα πιο ευέλικτο δίκτυο με μεγάλη προσαρμοστικότητα σε κάθε είδους μεταβολή. Αν η παραγωγική δυναμικότητα έχει αυξημένη προσαρμοστικότητα, τότε οποιαδήποτε αλλαγή στη ζήτηση μπορεί να κατανεμηθεί στο δίκτυο και η επιχείρηση να καταφέρει να αυξήσει την

κερδοφορία της καθώς και να επιβιώσει στο συνεχώς μεταβαλλόμενο οικονομικό περιβάλλον.

Για την επίλυση του προβλήματος της μεταφοράς συντάχθηκε αλγόριθμος σε περιβάλλον MatLab που επιλύει παραμετρικά οποιοδήποτε είδος δικτύου με τη μέθοδο του ακέραιου προγραμματισμού σύμφωνα με την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς που περιγράφηκαν παραπάνω. Μόνη προϋπόθεση για την επίλυση του προβλήματος και την εύρεση εφικτής λύσης, είναι να ικανοποιείται η ζήτηση από την παραγωγική δυναμικότητα των εργοστασίων και των προμηθευτών αντίστοιχα. Βέβαια το συγκεκριμένο εμπόδιο μπορεί εύκολα να ξεπεραστεί αν στον αλγόριθμο τοποθετηθεί ένας πλασματικός κόμβος με μηδενικό λογιστικό κόστος που θα συνεισφέρει όση ποσότητα προϊόντων υπολείπεται για την κάλυψη της ζήτησης.

Ο χρήστης καλείται στον συγκεκριμένο αλγόριθμο να δώσει μια σειρά από παραμέτρους για να ορίσει τη μορφή του δικτύου, τα κόστη μεταφοράς προϊόντων σε κάθε δίαυλο μεταφοράς καθώς και τις δυναμικότητες των προμηθευτών, των εργοστασίων, των αποθηκών και την ζήτηση των καταναλωτών αντίστοιχα. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα δεδομένα είτε απευθείας μέσω του αλγορίθμου από το «παράθυρο» των μεταβλητών 'workspace' είτε μέσω λογιστικού φύλλου Excel. Ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται τα δεδομένα περιγράφεται και αναλύεται στο κεφάλαιο 5 όπου παρουσιάζονται και αναλύονται οι αλγόριθμοι που συντάχθηκαν σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab.

Αριθμητική εφαρμογή:

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα επιλυθεί ένα πρόβλημα εφοδιαστικής αλυσίδας τεσσάρων επιπέδων. Συγκεκριμένα θα μελετηθεί το δίκτυο εφοδιασμού δύο εταιρειών κατασκευής ελαστικών, της Dunlop και της Michelin. Η Dunlop έχει τρία εργοστάσια στις περιοχές Le Mans (Εργ1), Nancy (Εργ2) και Poitier (Εργ3) ενώ η Michelin δύο εργοστάσια στις περιοχές Lyon (Εργ4) και Nant (Εργ5). Τα εργοστάσια της Dunlop τροφοδοτούν δύο αποθήκες (Απ1 – Απ2) που λειτουργούν ως κέντρα διανομής και αποστέλλουν τα ελαστικά σε τρεις τελικούς καταναλωτές/αγορές στις περιοχές Paris (Αγ1), Marseille (Αγ2) και Rouen (Αγ3). Η Michelin αντίστοιχα τροφοδοτεί αρχικά τρεις αποθήκες (Απ3 – Απ4 – Απ5) οι οποίες στη συνέχεια εξυπηρετούν τρεις αγορές στις περιοχές Rennes (Αγ4), Limoges (Αγ5) και Nimes (Αγ6). Και οι δύο εταιρείες προμηθεύονται τις πρώτες ύλες για την κατασκευή των ελαστικών από τρεις κοινούς προμηθευτές (Πρ1 – Πρ2 – Πρ3).

Οι δύο εταιρείες αποφασίζουν να συγχωνευτούν με αποτέλεσμα κάθε εργοστάσιο να δύναται να τροφοδοτήσει οποιαδήποτε από τις πέντε αποθήκες και κατ' επέκταση οποιαδήποτε αγορά. Λόγω της δυναμικότητας των πέντε εργοστασίων και των πέντε αποθηκών, εξετάζεται η περίπτωση να κλείσουν κάποια εργοστάσια ή/και αποθήκες ώστε να μειωθεί το λειτουργικό κόστος ολόκληρου του δικτύου με την προϋπόθεση βέβαια ότι θα καλύπτεται η ζήτηση όλων των καταναλωτών. Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να είναι γνωστά όλα τα μεταβλητά κόστη μεταφοράς μεταξύ όλων των κόμβων του δικτύου (Προμηθευτές→Εργοστάσια→Αποθήκες→Αγορές), τα σταθερά κόστη λειτουργίας, οι δυναμικότητες των εργοστασίων και των προμηθευτών, η αποθηκευτική ικανότητα των αποθηκών καθώς και η ζήτηση των αγορών αντίστοιχα. Στους παρακάτω πίνακες φαίνονται

όλα τα σταθερά και μεταβλητά κόστη των μεταφερόμενων προϊόντων μεταξύ κάθε κόμβου του δικτύου καθώς και οι αντίστοιχες δυναμικότητες.

Από/Προς	LeMans (Εργ1)	Nancy (Εργ2)	Poitier (Εργ3)	Lyon (Εργ4)	Nant (Εργ5)
Π1	40	80	80	150	80
Π2	30	70	80	200	110
Π3	50	60	50	120	50

Πίνακας 3.2 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τους προμηθευτές στα εργοστάσια (x1000€).

Από/Προς	Απ1	Απ2	Απ3	Απ4	Απ5
Εργ1	780	630	1140	720	940
Εργ2	640	710	1240	1310	970
Εργ3	720	970	1900	1150	940
Εργ4	2050	2140	1840	1420	1560
Εργ5	1130	950	1080	1280	780

Πίνακας 3.3 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τα εργοστάσια στις αποθήκες (x1000€).

Από/Προς	Paris (Αγ1)	Marseille (Αγ2)	Rouen (Αγ3)	Rennes (Αγ4)	Limoges (Αγ5)	Nimes (Αγ6)
Απ1	1675	400	685	1630	1160	2800
Απ2	380	1355	543	1045	665	2321
Απ3	922	1646	700	508	311	1797
Απ4	1460	1940	970	100	495	1200
Απ5	1925	2400	1425	500	950	800

Πίνακας 3.4 Κόστος μεταφοράς 1000 μονάδων από τις αποθήκες στις αγορές (x1000€).

Π1	Π2	Π3
18	26	22

Πίνακας 3.5 Δυναμικότητα προμηθευτών (x1000).

Εργ1	Εργ2	Εργ3	Εργ4	Εργ5
7800	4250	2350	3650	5150
16	20	30	22	25

Πίνακας 3.6 Σταθερό κόστος (x1000€) - παραγωγική δυναμικότητα εργοστασίων (x1000).

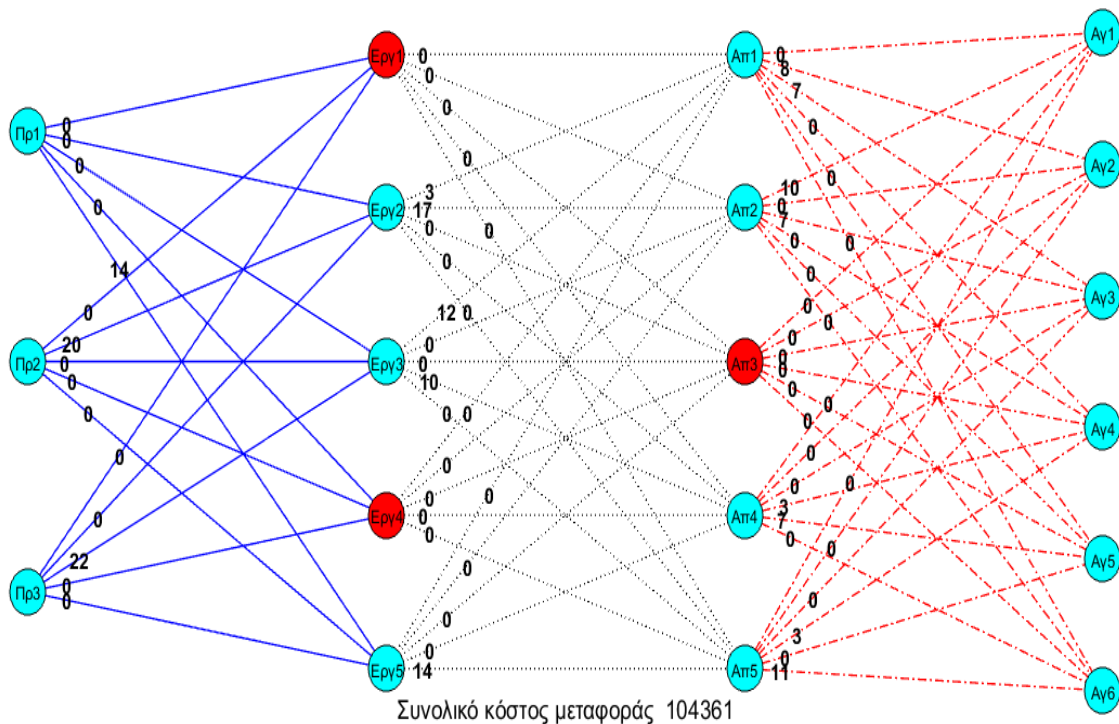
Απ1	Απ2	Απ3	Απ4	Απ5
5250	4250	8350	4300	4100
15	17	10	10	14

Πίνακας 3.7 Σταθερό κόστος (x1000€) και αποθηκευτική ικανότητα (x1000) αποθηκών.

Αγ1	Αγ2	Αγ3	Αγ4	Αγ5	Αγ6
10	8	14	6	7	11

Πίνακας 3.8 Ζήτηση καταναλωτών (x1000).

Κατά την επίλυση του προβλήματος ζητείται να καθοριστούν οι μεταφερόμενες ποσότητες σε κάθε δίαυλο μεταφοράς καθώς και ποιά εργοστάσια και ποιές αποθήκες θα παραμείνουν σε λειτουργία. Από την εκτέλεση του αλγορίθμου προκύπτει η βέλτιστη λύση του δικτύου καθώς και οι μεταφερόμενες ποσότητες απο κόμβο σε κόμβο. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται γραφικά στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2 Γραφική απεικόνιση επίλυσης δικτύου εφοδιασμού.

Το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου εφοδιασμού είναι ίσο με 10.4361.000€ (=104361x1000). Όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.2 από την συγχώνευση των δύο εταιρειών κρίνεται βέλτιστο να διακοπεί η λειτουργία των εργοστασίων Le Mans (Εργ1) και Lyon (Εργ4) και η λειτουργία της 3^{ης} αποθήκης. Η εικόνα 3.2 προκύπτει αυτόματα κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου και παρουσιάζονται αναλυτικά οι μεταφερόμενες ποσότητες σε κάθε δίαυλο του δικτύου. Εκτός από το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου αποτυπώνονται και οι κόμβοι όπου θα παραμείνουν σε λειτουργία με γαλάζιο χρώμα και οι κόμβοι που θα σταματήσουν να λειτουργούν με κόκκινο χρώμα. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον αλγόριθμο παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5.

3.3. Προγραμματισμός δρομολογίων οχημάτων (vehicle routing problem)

Μετά την επίλυση του προβλήματος της μεταφοράς και τον καθορισμό των μεταφερόμενων ποσοτήτων (προϊόντων / πρώτων υλών) από ένα σημείο του δικτύου εφοδιασμού στα υπόλοιπα, μία επιχείρηση πρέπει να σχεδιάσει και να προγραμματίσει τη δρομολόγηση των οχημάτων με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος. Για τη μεταφορά των προϊόντων κάθε επιχείρηση χρησιμοποιεί φορτηγά είτε από τον ιδιόκτητο στόλο της, είτε μισθώνει φορτηγά για όσο διάστημα τα χρειάζεται. Η βέλτιστη δρομολόγηση επιτυγχάνεται όταν ικανοποιούνται όλες οι ανάγκες μεταφοράς και όταν πραγματοποιούνται όλα τα απαιτούμενα δρομολόγια με το ελάχιστο κόστος μεταφοράς και τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων.

Τέτοιου είδους προβλήματα μπορούν να αναπαρασταθούν σε δύο διαστάσεις σαν ένα δίκτυο, όπου οι κόμβοι (σημεία μεταφοράς) βρίσκονται στον κάθετο άξονα και οι ημέρες που απαιτούνται για να ολοκληρωθούν οι μεταφορές στον οριζόντιο. Στο πρόβλημα που θα επιλυθεί παρακάτω θεωρείται ότι η μεταφορά μεταξύ δύο κόμβων συμπεριλαμβανομένης της φόρτωσης και της εκφόρτωσης διαρκεί για χάριν ευκολίας μία ημέρα. Η παραδοχή αυτή θεωρείται ρεαλιστική, μπορεί όμως εύκολα και να αλλάξει μέσα στο πρόβλημα.

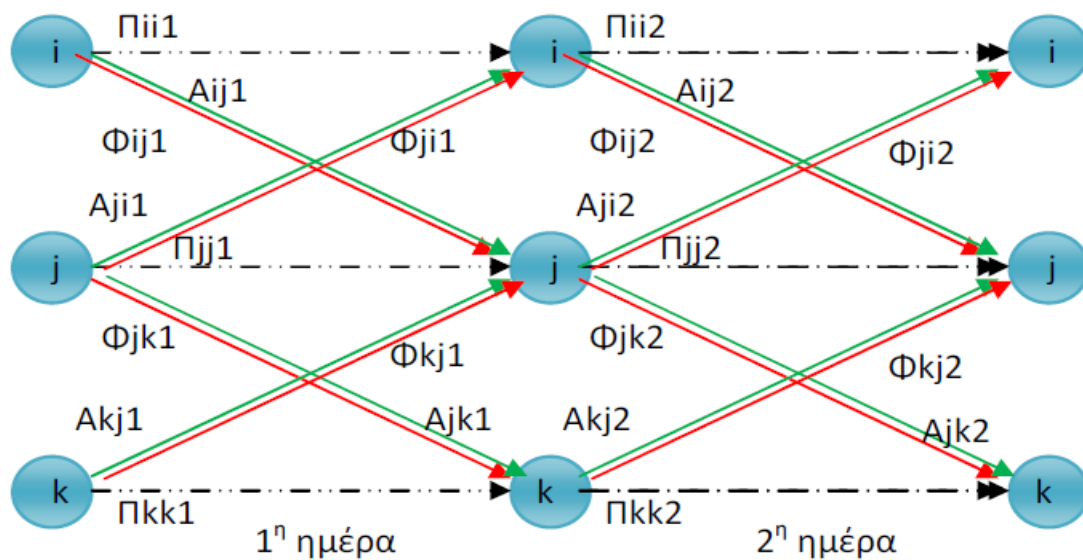
Στην αρχή κάθε εβδομάδας καταγράφονται οι απαιτούμενες μεταφορές από κόμβο σε κόμβο καθώς και ο αριθμός των οχημάτων που απαιτούνται για να ικανοποιηθούν το σύνολο των μεταφορών. Για να ικανοποιηθεί το κριτήριο του ελάχιστου κόστους γίνονται δεκτές περιπτώσεις λύσεων, πέραν των φορτωμένων οχημάτων, και περιπτώσεις όπου ένα φορτηγό αναχωρεί άδαιο για έναν κόμβο/πόλη του δικτύου ή παραμένει αδρανές (παρκαρισμένο) σε κάποιον κόμβο. Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους πρέπει να είναι γνωστό πόσο κοστίζει ένα δρομολόγιο όταν το όχημα είναι φορτωμένο, πόσο κοστίζει όταν κινείται άδαιο και πόσο όταν παραμένει αδρανές. Τα κόστη μεταφοράς μεταξύ όλων των πόλεων θεωρούνται ίσα ενώ στο τέλος κάθε προγράμματος πρέπει όλα τα οχήματα να επιστρέφουν στις αρχικές τους θέσεις.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω το πρόβλημα επιλύεται με τη μέθοδο των δικτύων και για την πλήρη αναπαράσταση του προβλήματος πρέπει να συμπεριληφθούν όλες οι πιθανές διαδρομές. Όταν ένα φορτηγό βρίσκεται σε μία πόλη έχει τρεις πιθανές εκδοχές για την επόμενη μέρα, να αναχωρήσει φορτωμένο ή άδαιο για μία άλλη πόλη ή να παραμείνει αδρανές (παρκαρισμένο) στον ίδιο κόμβο για μία ημέρα. Επομένως πρέπει σε κάθε κόμβο του δικτύου να εμφανίζονται τρεις σύνδεσμοι «επικοινωνίας» με κάθε άλλο κόμβο που αναπαριστούν το είδος της διαδρομής που θα πραγματοποιήσει κάθε φορτηγό.

Τα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων μπορούν πολύ εύκολα να γίνουν πολύ μεγάλα και σύνθετα εξαιτίας του πλήθους των μεταβλητών και των περιορισμών του προβλήματος. Οι μεταβλητές του προβλήματος αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των ακμών του δικτύου ενώ οι περιορισμοί εκφράζουν όλες τις απαιτήσεις μεταφορών. Σε ένα δίκτυο που αποτελείται από N πόλεις και ζητείται να σχεδιασθεί το πρόγραμμα μεταφορών διάρκειας ημερών $Ndays$, ο αριθμός των μεταβλητών είναι ίσος με $(2*N-1)*N*Ndays$ και αριθμός των περιορισμών ίσος με $N*Ndays$. Έτσι λοιπόν ένα «ρεαλιστικό» πρόβλημα με 50 κόμβους και πρόγραμμα δρομολόγησης διάρκειας 10 ημερών έχει συνολικά 63200

μεταβλητές και 400 περιορισμούς. Εξαιτίας των πολλών μεταβλητών πολλές φορές η επίλυση τέτοιων προβλημάτων μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ευρετικών αλγορίθμων.

Πολύ σημαντικός παράγοντας για την εύκολη επίλυση και διαχείριση του προβλήματος είναι η συμβολική απεικόνιση των μεταβλητών. Έτσι λοιπόν για κάθε διαδρομή από τον κόμβο i στον κόμβο j την ημέρα n , ορίζονται οι μεταβλητές Φ_{ijn} , A_{ijn} και Π_{iin} . Η πρώτη κατηγορία μεταβλητών καταγράφεται για κάθε κόμβο i, j με $i \neq j$ για κάθε ημέρα n της διάρκειας των μεταφορών και συμβολίζει το πλήθος των φορτωμένων οχημάτων που εκτελούν τη διαδρομή $i \rightarrow j$ την ημέρα n . Ομοίως οι μεταβλητές A_{ijn} συμβολίζουν το πλήθος των δρομολογίων των άδειων οχημάτων που εκτελούν τη διαδρομή $i \rightarrow j$ την ημέρα n και τέλος η τρίτη κατηγορία μεταβλητών Π_{iin} συμβολίζει τον αριθμό των οχημάτων που παραμένουν αδρανή (για μία ημέρα) στον κόμβο i την ημέρα n . Ένα παράδειγμα ενός δικτύου με 3 κόμβους φαίνεται στην εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3 Πιθανές μετακινήσεις οχήματος 2 ημερών σε ένα δίκτυο με 3 κόμβους.

Με κόκκινη γραμμή φαίνονται τα πιθανά δρομολόγια των φορτωμένων οχημάτων, με πράσινη γραμμή των άδειων και με διακεκομμένη γραμμή φαίνονται τα αδρανή οχήματα. Για την διατύπωση των περιορισμών πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε κάθε κόμβο τα φορτηγά που εισέρχονται κάθε ημέρα συν τα φορτηγά που παρέμειναν αδρανή την προηγούμενη μέρα, να είναι ίσα με τα φορτηγά που θα εξέλθουν συν αυτά που θα μείνουν αδρανή την συγκεκριμένη ημέρα (Εισροές = Εκροές). Για την καλύτερη κατανόηση των περιορισμών θα καταγραφεί ως παράδειγμα ο περιορισμός του κόμβου j για την δεύτερη ημέρα και διατυπώνεται ως εξής:

$$\Phi_{ji2} + A_{ji2} + \Phi_{jk2} + A_{jk2} + \Pi_{jj2} - \Phi_{ij1} - A_{ij1} - \Phi_{kj1} - A_{kj1} - \Pi_{jj1} = 0$$

Σε κάθε κόμβο και σε κάθε ημέρα του προγράμματος αντιστοιχεί και ένας περιορισμός. Για την διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης πρέπει να είναι γνωστό το κόστος μετακίνησης των φορτωμένων οχημάτων $K\phi$, το κόστος μετακίνησης των άδειων οχημάτων $K\alpha$ και το κόστος αδρανούς (παρκαρισμένου) οχήματος $K\pi$. Έτσι λοιπόν η αντικειμενική συνάρτηση μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\min Z = K_{\phi} * \sum_{i \neq j}^N \Phi_{ij} + K_A * \sum_{i \neq j}^N A_{ij} + K_{\Pi} * \sum_i^N \Pi_{ii}$$

υπό τους περιορισμούς:

$$\Phi_{ij,n-1} + \Phi_{kj,n-1} + A_{ij,n-1} + A_{kj,n-1} + \Pi_{jj,n-1} - \Phi_{jk,n} - \Phi_{ji,n} - A_{ji,n} - A_{jk,n} - \Pi_{jj,n} = 0,$$

$$\Phi_{ij,n}, A_{ij,n}, \Pi_{ij,n} \geq 0 \text{ (θετικές και ακέραιες μεταβλητές)}$$

για κάθε i, j και για κάθε ημέρα n του προγράμματος.

Για τη δρομολόγηση των οχημάτων και τον προγραμματισμό των μεταφορών συντάχθηκε αλγόριθμος σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab όπου εκτελείται παραμετρικά και δυναμικά για οποιοδήποτε πρόβλημα θέλει να επιλύσει ο χρήστης. Η εισαγωγή των δεδομένων στον αλγόριθμο είναι πολύ απλή και ο χρήστης μπορεί να εισάγει το δικό του δίκτυο με οποιονδήποτε αριθμό κόμβων (πόλεων), να καθορίσει τις ανάγκες και τις απαιτήσεις μεταφοράς κάθε ημέρας, να ορίσει τα κόστη μεταφορών και να ορίσει την διάρκεια του προγράμματος. Ο αλγόριθμος με τη βοήθεια του γραμμικού και του ακέραιου προγραμματισμού υπολογίζει τη βέλτιστη λύση και εμφανίζει το βέλτιστο πρόγραμμα δρομολόγησης με τη μορφή πινάκων και με γραφική απεικόνιση. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται και αναπαριστάται με τη βοήθεια της θεωρίας δικτύων και υπολογίζει τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων με το μικρότερο δυνατό κόστος. Για την καλύτερη κατανόηση του προβλήματος επιλύεται το παρακάτω αριθμητικό παράδειγμα.

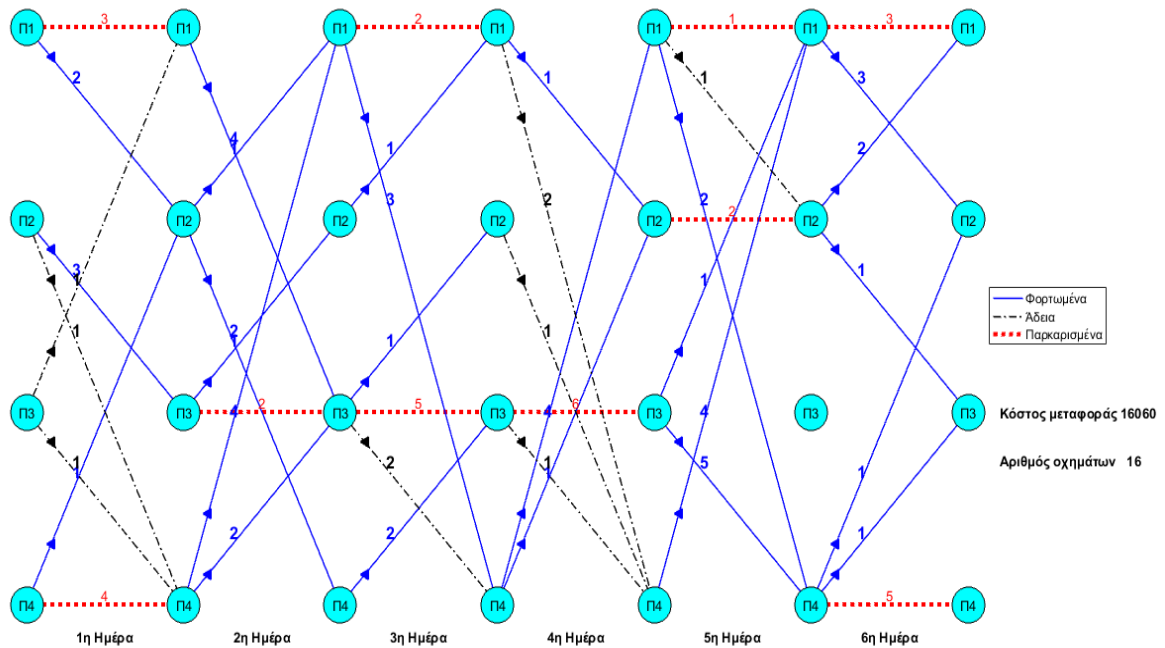
Έστω ένα δίκτυο με 4 κόμβους (πόλεις) όπου ζητείται να προσδιοριστεί το βέλτιστο πρόγραμμα δρομολόγησης διάρκειας 6 ημερών (Δευτέρα έως Σάββατο) και να υπολογισθεί ο συνολικός αριθμός οχημάτων και το συνολικό κόστος μεταφοράς. Το κόστος ενός φορτωμένου οχήματος για μία ημέρα ανέρχεται σε 200€, ενός άδειου οχήματος σε 150€, ενώ το κόστος ενός οχήματος που παραμένει αδρανές για μια ημέρα ανέρχεται σε 120€. Το πρόγραμμα των απαιτούμενων οχημάτων κάθε ημέρας του δικτύου φαίνεται στον πίνακα 3.9.

Ημέρα αναχώρησης	Από/Προς											
	Π1-Π2	Π1-Π3	Π1-Π4	Π2-Π1	Π2-Π3	Π2-Π4	Π3-Π1	Π3-Π2	Π3-Π4	Π4-Π1	Π4-Π2	Π4-Π3
1η	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	1	-
2η	-	4	-	1	-	2	-	1	-	4	-	2
3η	-	-	3	1	-	-	-	1	-	-	-	2
4η	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-
5η	-	-	2	-	-	-	1	-	5	4	-	-
6η	3	-	-	2	1	-	-	-	-	-	1	1

Πίνακας 3.9 Απαιτούμενες μεταφορές στους κόμβους του δικτύου.

Από την εκτέλεση του αλγορίθμου προκύπτει ότι απαιτούνται 16 οχήματα και το συνολικό κόστος μεταφοράς ανέρχεται σε 16060€. Το πρόγραμμα των μεταφορών κάθε ημέρας από κόμβο σε κόμβο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.4 και σχεδιάζεται αυτόματα από τον αλγόριθμο. Με μπλε διάνυσμα συμβολίζονται τα δρομολόγια των φορτωμένων

οχημάτων, με μαύρο διακεκομμένο διάνυσμα τα δρομολόγια των άδειων οχημάτων και με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή τα παρκαρισμένα οχήματα.



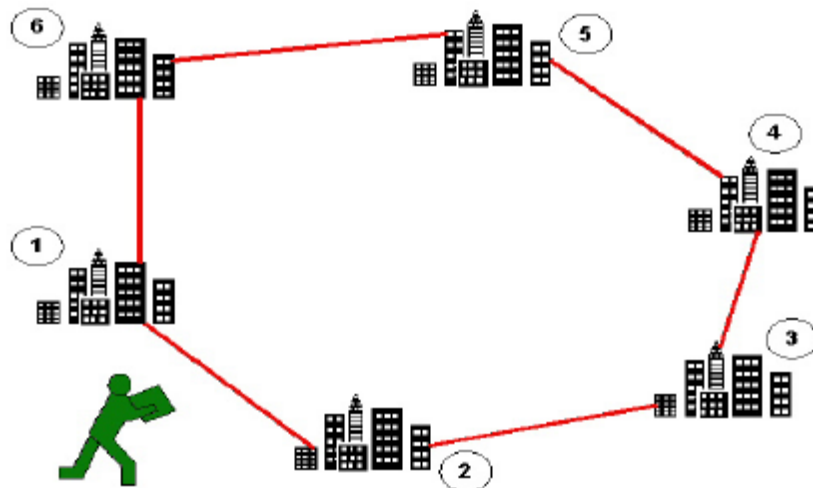
Εικόνα 3.4 Βέλτιστη δρομολόγηση οχημάτων.

3.4. Προγραμματισμός διανομής προϊόντων (TSP problem)

Ένα άλλο πολύ σημαντικό πρόβλημα μεταφορών αποτελούν οι διανομές των προϊόντων με στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικής διανυόμενης απόστασης μεταξύ των σημείων που πραγματοποιούνται οι διανομές. Στο πρόβλημα αυτό κάποιο όχημα ξεκινάει από μια αφετηρία (κόμβο) και θέλει να επισκεφτεί μια σειρά από άλλους κόμβους επιστρέφοντας πάλι στο αρχικό σημείο έχοντας διανύσει την ελάχιστη δυνατή απόσταση. Το πρόβλημα αυτό είναι γνωστό και ως «Πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή - Π.Π.Π» (Travelling Salesman Problem, T.S.P) και απαιτεί τον καθορισμό ενός κύκλου ελαχίστου κόστους που περνά από κάθε κόμβο ενός συσχετιζόμενου γράφου μία μόνο φορά όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.5. Εάν το κόστος του ταξιδιού μεταξύ δύο τοποθεσιών δεν εξαρτάται από την κατεύθυνση του γράφου τότε το Π.Π.Π είναι συμμετρικό αλλιώς ονομάζεται ασύμμετρο ή προσανατολισμένο Π.Π.Π. Για κάθε πρόβλημα αυτής της κατηγορίας πρέπει να είναι γνωστές όλες οι χιλιομετρικές αποστάσεις μεταξύ όλων των κόμβων του δικτύου.

Το «Πρόβλημα του Περιοδεύοντος Πωλητή-Π.Π.Π» αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της επιχειρησιακής έρευνας, παρουσιάζει διάφορες μορφές και βρίσκει εφαρμογές σε πολλά πεδία όπως στην επιλογή δρομολογίων για την παράδοση ή παραλαβή εμπορευμάτων, στην επιλογή δρομολογίων σχολικών λεωφορείων για τη συλλογή μαθητών, στην εκτέλεση περιοδείας από ελεγκτές εργασίας κ.ά. Για την επίλυση του προβλήματος έχουν προταθεί πολλοί ακριβείς αλλά και ευρετικοί αλγόριθμοι. Οι ακριβείς αλγόριθμοι στηρίζονται κυρίως σε μεθόδους διακλάδωσης και οριοθέτησης και

είναι ικανοί να δώσουν τη βέλτιστη λύση ακόμα και σε προβλήματα μεγάλης τάξης όσον αφορά τον αριθμό των μεταβλητών. Βασικό μειονέκτημα όμως των αλγορίθμων αυτών είναι ο μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την εύρεση της άριστης λύσης. Αντίθετα, οι ευρετικές μέθοδοι έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικές τόσο ως προς τον χρόνο επίλυσης όσο και ως προς την ποιότητα της λύσης. Το Π.Π.Π μπορεί επίσης να επιλυθεί και με τη χρήση της τεχνολογίας των γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων GIS.



Εικόνα 3.5 Κυκλική διαδρομή 6 κόμβων.

Για τον προσδιορισμό της άριστης (βέλτιστης) λύσης χρησιμοποιείται ο ακέραιος προγραμματισμός και η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος για n αριθμό πόλεων προς επίσκεψη αναλύεται ως παρακάτω:

Έστω c_{ij} η απόσταση μεταξύ των πόλεων i, j και

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{έαν το όχημα απο την πόλη } i \text{ επισκευτεί αμέσως την πόλη } j \\ 0, & \text{σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση} \end{cases}$$

Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει να βρεθεί η κυκλική διαδρομή μεταξύ των n πόλεων που θα ελαχιστοποιεί τη συνολική διαδρομή (κόστος). Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος επομένως διατυπώνεται ως εξής:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} * x_{ij}$$

Κατά τη διαδρομή του πωλητή (οχήματος) θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί με τις εξής λογικές συνθήκες:

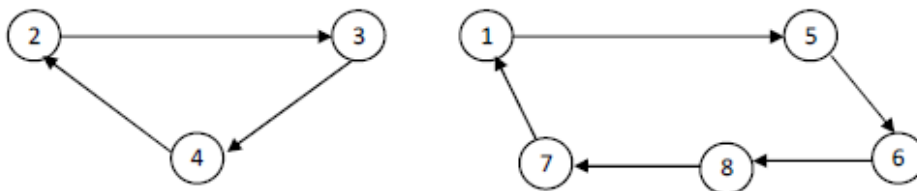
- α) Μετά από κάθε πόλη, ο πωλητής (όχημα) θα πρέπει να επισκέπτεται μία και μόνο μία επόμενη πόλη και
- β) Επισκεπτόμενος κάθε πόλη, θα πρέπει να προέρχεται από μία και μόνο μία πόλη.

Οι συνθήκες αυτές ικανοποιούνται με τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^v x_{ij} = 1 \text{ για κάθε } i = 1, \dots, v$$

$$\sum_{i=1}^v x_{ij} = 1 \text{ για κάθε } j = 1, \dots, v$$

Ο πρώτος περιορισμός ικανοποιεί τη συνθήκη α) και οι δύο περιορισμοί μαζί ικανοποιούν τη συνθήκη β). Οι περιορισμοί αυτοί όμως δεν είναι επαρκείς διότι η τελική λύση είναι δυνατό να περιλαμβάνει «υποκύκλους» διαδρομών, μη συνδεδεμένων μεταξύ τους, όπως φαίνονται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Απεικόνιση πιθανών «υποκύκλων».

Μία λύση με «υποκύκλους» μπορεί να ικανοποιεί τους δύο παραπάνω περιορισμούς δεν είναι όμως αποδεκτή και για να αποκλειστεί αυτή η περίπτωση πρέπει να ληφθούν πρόσθετοι περιορισμοί. Για να διατυπωθούν οι πρόσθετοι περιορισμοί ορίζονται οι μεταβλητές u_i που συμβολίζουν των αύξων αριθμό κατά την επίσκεψη της πόλης i στη εκάστοτε διαδρομή. Ο περιορισμός που πρέπει να διατυπωθεί για κάθε ενδιάμεση πόλη πλην της αφετηρίας είναι ο εξής:

$$u_i - u_j + v * x_{ij} \leq v - 1$$

Έστω η ύπαρξη ενός «υποκύκλου» που αποτελείται από 3 πόλεις (2,3,4) στο σύνολο των 8 πόλεων του δικτύου ($v=8$). Γράφοντας τον παραπάνω περιορισμό για τις 3 αυτές πόλεις ισχύει:

$$u_2 - u_3 + 8 * x_{23} \leq 7$$

$$u_3 - u_4 + 8 * x_{34} \leq 7$$

$$u_4 - u_2 + 8 * x_{42} \leq 7$$

Εφόσον έχει προκύψει μία τέτοια λύση, οι μεταβλητές x_{23}, x_{34}, x_{42} θα είναι ίσες με την μονάδα. Προσθέτοντας κατα μέλη τις 3 παραπάνω εξισώσεις και απαλείφοντας τις μεταβλητές u_i προκύπτει ότι $24 \leq 21$, κάτι που είναι άτοπο. Επομένως οι 3 παραπάνω περιορισμοί δεν ικανοποιούνται και αν εφαρμοστούν για όλους τους συνδυασμούς διαδρομών εξασφαλίζεται ότι θα αποκλείονται λύσεις που θα περιλαμβάνουν

«υποκύκλους». Το πρόβλημα λοιπόν του Περιοδευόντος Πωλητή μπορεί να διατυπωθεί συνολικά ως εξής:

$$\min Z = \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^v c_{ij} * x_{ij}$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^v x_{ij} \geq 1 \text{ για κάθε } i = 1, \dots, v \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^v x_{ij} \geq 1 \text{ για κάθε } j = 1, \dots, v \quad (2)$$

$$u_i - u_j + v * x_{ij} \leq v - 1 \quad (3)$$

όπου $x_{ij} \in [0,1]$ και u_i ακέραιες θετικές μεταβλητές.

Ένα τέτοιο πρόβλημα μπορεί να αποκτήσει μεγάλες διαστάσεις. Συγκεκριμένα ένα πρόβλημα με v αριθμό πόλεων θα έχει $(v-1)*v$ μεταβλητές τύπου x_{ij} και v μεταβλητές τύπου u_i . Αντίστοιχα θα έχει v περιορισμούς τύπου 1, v περιορισμούς τύπου 2 και $(v-1)^2$ περιορισμούς τύπου 3. Για ένα δίκτυο με 20 πόλεις λοιπόν θα υπάρχουν συνολικά 400 μεταβλητές και 401 περιορισμοί. Πολλές φορές λοιπόν μπορεί να εφαρμοστούν ευρετικοί αλγόριθμοι για την εύρεση μίας λύσης. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα συντάχθηκε επίσης αλγόριθμος σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab όπου επιλύει παραμετρικά οποιοδήποτε πρόβλημα περιοδευόντος πωλητή. Ο χρήστης αρκεί να ορίσει τον αριθμό των πόλεων του δικτύου και έναν πίνακα με τις χιλιομετρικές αποστάσεις και η λύση υπολογίζεται αυτόματα από τον αλγόριθμο. Στη συνέχεια επιλύεται ένα αριθμητικό παράδειγμα, ενώ εκτενέστερη αναφορά στον συγκεκριμένο αλγόριθμο γίνεται στο κεφάλαιο 5.

Έστω ένα δίκτυο με 6 πόλεις από τις οποίες πρέπει να περάσει ένα όχημα για να διανείμει τα εμπορεύματα του. Οι πόλεις που περιλαμβάνονται στο δίκτυο είναι η Θεσσαλονίκη, Αλεξανδρούπολη, Δράμα, Καβάλα, Ξάνθη και Σέρρες. Οι χιλιομετρικές αποστάσεις όλων των διαδρομών είναι συμμετρικές και φαίνονται στον πίνακα 3.10.

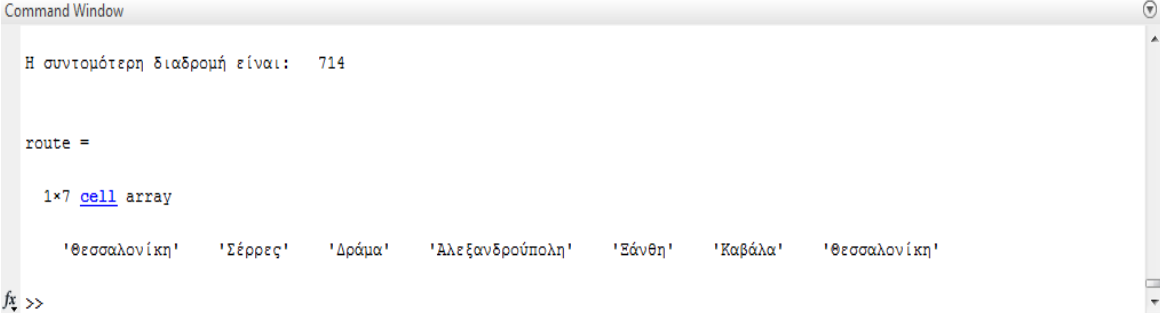
Από/Προς	Θεσ/κη	Αλεξ/πολη	Δράμα	Καβάλα	Ξάνθη	Σέρρες
Θεσ/κη		346	154	169	224	86
Αλεξ/πολη	346		212	177	122	271
Δράμα	154	212		38	90	70
Καβάλα	169	177	38		55	94
Ξάνθη	224	122	90	55		149
Σέρρες	86	271	70	94	149	

Πίνακας 3.10 Χιλιομετρικές αποστάσεις πόλεων.

Από την εκτέλεση του αλγορίθμου και την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η ελάχιστη διανυόμενη απόσταση είναι 714 χιλιόμετρα και η συντομότερη διαδρομή είναι:

Θεσσαλονίκη → Σέρρες → Δράμα → Αλεξανδρούπολη → Ξάνθη → Καβάλα → Θεσσαλονίκη

Στην εικόνα 3.7 φαίνεται η λύση του προβλήματος όπως αυτή εμφανίζεται στο Command Window του προγράμματος MatLab.



```
Command Window

Η συντομότερη διαδρομή είναι: 714

route =

1x7 cell array

'Θεσσαλονίκη' 'Σέρρες' 'Δράμα' 'Αλεξανδρούπολη' 'Ξάνθη' 'Καβάλα' 'Θεσσαλονίκη'
```

Εικόνα 3.7 Προβολή βέλτιστης λύσης μέσα από το περιβάλλον του MatLab.

4. Αξιολόγηση αποδοτικότητας – Χρηματοοικονομική Διαχείριση

4.1. Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται και αναλύονται προβλήματα χρηματοοικονομικής διαχείρισης καθώς και η εφαρμογή Data Envelopment Analysis (DEA) για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός δικτύου επιχειρήσεων. Ο χρηματοοικονομικός προγραμματισμός στηρίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στα μοντέλα και τις τεχνικές της Διοικητικής Επιστήμης. Τα περισσότερα χρηματοοικονομικά προβλήματα επιλύονται με μεθόδους βελτιστοποίησης και ειδικότερα με τη βοήθεια του μαθηματικού προγραμματισμού. Ο μαθηματικός προγραμματισμός εμφανίζει πλεονεκτήματα καθώς προσφέρει εύκολη μοντελοποίηση για τέτοιου είδους προβλήματα και οποιαδήποτε αβεβαιότητα χρηματοοικονομικής φύσης αντιμετωπίζεται με την ανάλυση ευαισθησίας. Ομοίως ο γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται ευρέως και για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας ενός δικτύου με την μέθοδο DEA. Στον πίνακα 4.1 εμφανίζονται ενδεικτικές εφαρμογές από την χρηματοοικονομική διαχείριση και την αξιολόγηση αποδοτικότητας.

Παραδείγματα προβλημάτων	Μέθοδοι επίλυσης
• Επιλογή επενδύσεων (Capital Budgeting)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός • Δυναμικός προγραμματισμός
• Επιλογή χαρτοφυλακίου επενδύσεων (Portfolio and Asset Allocation)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός • Πολυκριτήρια Ανάλυση
• Προγραμματισμός χρηματοδοτήσεων (Financial Planning)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός • Πολυκριτήρια Ανάλυση
• Ταμειακός προγραμματισμός (Cash Flow Planning)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός • Δυναμικός προγραμματισμός
• Διαχείριση εσόδων (Revenue Management)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός
• Αξιολόγηση αποδοτικότητας (DEA)	• Γραμμικός/Ακέραιος προγραμματισμός

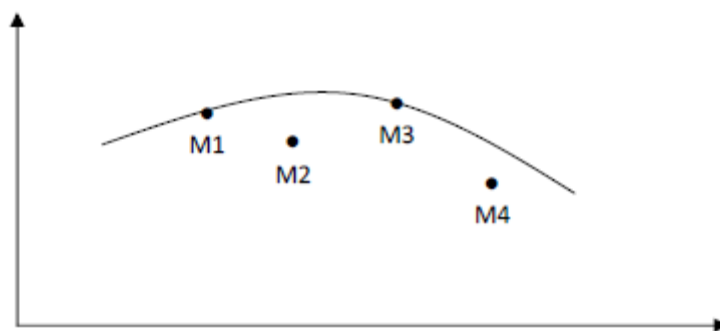
Πίνακας 4.1 Ενδεικτικές εφαρμογές στην χρηματοοικονομική διαχείριση και στην αξιολόγηση αποδοτικότητας.

4.2. Αξιολόγηση αποδοτικότητας (Data Envelopment Analysis – DEA)

Ένα συνηθισμένο πρόβλημα το οποίο εμφανίζεται συχνά στη διαχείριση ενός δικτύου π.χ. τραπεζικών καταστημάτων, νοσοκομείων, βιομηχανιών και επιχειρήσεων παροχής υπηρεσιών, είναι η αξιολόγηση της αποδοτικότητας των μονάδων που ανήκουν στο δίκτυο. Η αξιολόγηση γίνεται με τη μέθοδο DEA με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού. Η μέθοδος DEA είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη και πολύ ισχυρή καθώς μπορεί να υπολογίσει τη σχετική απόδοση μίας μονάδας ενός δικτύου συγκρίνοντας για κάθε μονάδα την κατανάλωση των πόρων (εισροές) με την παραγωγή έργου (εκροές). Από την ανάλυση των εισροών και των εκροών προσδιορίζεται το σύνορο αποδοτικότητας (efficient frontier) και μέσω αυτού προσδιορίζονται οι μονάδες με τη μέγιστη αποδοτικότητα. Μέγιστη αποδοτικότητα μίας επιχείρησης ορίζεται ως η σχετική αξιοποίηση 100% των πόρων της.

Στην εικόνα 4.1 εμφανίζεται ένα σύνορο αποδοτικότητας καθώς και οι σχετικές αποδοτικότητες 4 μονάδων. Οι μονάδες που βρίσκονται πάνω στο σύνορο έχουν δείκτη αποδοτικότητας ίσο με μονάδα, ενώ οι υπόλοιπες θεωρούνται μη αποδοτικές έχοντας δείκτη μικρότερο της μονάδας. Η μέθοδος παρέχει οδηγίες για τη βελτίωση των μη αποδοτικών μονάδων καθώς υποδεικνύει ποιό πόροι δεν αξιοποιούνται σωστά. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1 οι μονάδες M1 και M3 έχουν δείκτη αποδοτικότητας 1, ενώ η M2 και M4 θεωρούνται λιγότερο αποδοτικές. Μέσω της αξιολόγησης των πόρων των μονάδων γίνεται η σύνθεση ενός 'ιδεατού' (σύνθετου / ισοδύναμου) κόμβου σταθμισμένο με τις εισροές και τις εκροές τους με τον οποίο συγκρίνονται όλες οι μονάδες.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μέθοδος DEA υλοποιείται με τη βοήθεια του γραμμικού προγραμματισμού. Αρχικά ορίζονται οι μεταβλητές απόφασης που αντιπροσωπεύουν του σταθμισμένους συντελεστές βαρύτητας κάθε μονάδας, από τους οποίους συντίθεται ο ιδεατός κόμβος του δικτύου. Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας όπως είναι λογικό πρέπει να ισούται με τη μονάδα. Για κάθε πόρο εκροής του ισοδύναμου κόμβου θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι αυτός θα είναι μεγαλύτερος ή ίσος από τον πόρο εκροής της μονάδας που αξιολογείται. Στην συνέχεια υπολογίζεται ο βαθμός αποδοτικότητας 'E' της μονάδας που τίθεται υπό αξιολόγηση, με τον περιορισμό οι πόροι εισροής του σύνθετου κόμβου να είναι μικρότεροι ή ίσοι από τους πόρους της υπό αξιολόγησης μονάδας. Για την αξιολόγηση N μονάδων πρέπει να επιλυθούν n προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού.



Εικόνα 4.1 Όριο αποδοτικότητας 4 μονάδων.

Έστω ένα δίκτυο με n κόμβους όπου X_i, Y_i είναι οι πόροι εισροής και εκροής κάθε μονάδας i και k η μονάδα που θα αξιολογηθεί. Ορίζουμε ως μεταβλητές απόφασης :

w_i = τους σταθμισμένους συντελεστές βαρύτητας για κάθε μονάδα i ,

E_k = το βαθμό αποδοτικότητας της μονάδας k συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες.

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Min} E_k$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot X_i \leq X_{ik} \cdot E_k \text{ (για κάθε εισροή των μονάδων)}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot Y_i \geq Y_{ik} \text{ (για κάθε εκροή των μονάδων)}$$

$$E, w_i \geq 0$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτουν δύο ενδεχόμενα:

- $E_k < 1$. Ο συντελεστής αποδοτικότητας του κόμβου k είναι μικρότερος της μονάδας, γεγονός που σημαίνει ότι ο ιδεατός 'σύνθετος' κόμβος χρησιμοποιεί λιγότερους πόρους εισροής από την μονάδα k για να επιτύχει ίδια παραγωγικότητα με αυτήν. Επομένως κρίνεται ότι η μονάδα k είναι λιγότερο αποδοτική.
- $E_k = 1$. Ο συντελεστής αποδοτικότητας είναι ίσος με την μονάδα, γεγονός που σημαίνει ότι ο ιδεατός κόμβος χρησιμοποιεί ακριβώς τους ίδιους πόρους εισροής με την μονάδα k . Στην περίπτωση αυτή δεν μπορούμε να αποφανούμε αν η αξιολογούμενη μονάδα k είναι λιγότερο αποδοτική ή όχι.

Η κατανόηση της μεθόδου θα γίνει καλύτερα αντιληπτή από την επίλυση του παραδείγματος που ακολουθεί. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θα αξιολογηθούν 5 εστιατόρια και θα υπολογισθεί ο συντελεστής αποδοτικότητας τους. Ως πόροι εισροών θα αξιολογηθούν το ωράριο λειτουργίας, ο αριθμός εργαζομένων και το συνολικό ποσό των προμηθειών (πρώτων υλών) που καταναλώνει το κάθε εστιατόριο. Ως εκροές αντίστοιχα θα αξιολογηθούν το καθαρό κέρδος, το μερίδιο της αγοράς που καταλαμβάνει κάθε εστιατόριο καθώς και το ρυθμό ανάπτυξής τους. Οι πόροι εισροών και εκροών εμφανίζονται στους πίνακες 4.2 και 4.3 αντίστοιχα.

Εστιατόριο	A	B	C	D	E
Ωράριο λειτουργίας (h)	96	118	100	125	120
Εργαζόμενοι	16	23	18	25	24
Προμήθειες (€)	850	1500	1200	1500	1600

Πίνακας 4.2 Πόροι εισροών για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας.

Εστιατόριο	A	B	C	D	E
Κέρδος (€)	3800	4500	4400	6500	5200
Μερίδιο αγοράς (%)	0.25	0.32	0.35	0.3	0.28
Ρυθμός ανάπτυξης (%)	0.08	0.085	0.08	0.1	0.08

Πίνακας 4.3 Εκροές για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας.

Πρώτα θα υπολογιστεί ο συντελεστής σχετικής αποδοτικότητας του εστιατορίου Β από όπου θα προκύψει αν το συγκεκριμένο εστιατόριο κρίνεται λιγότερο αποδοτικό ή όχι συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Επίσης θα εμφανισθούν οι εισροές και εκροές του 'σύνθετου' ιδεατού εστιατορίου και θα εξετασθεί σε ποιούς πόρους υστερεί το συγκεκριμένο εστιατόριο. Για την επίλυση του προβλήματος θα οριστούν οι μεταβλητές W_A, W_B, W_C, W_D και W_E που είναι οι συντελεστές βαρύτητας των εστιατορίων και ο συντελεστής σχετικής αποδοτικότητας Ε. Έτσι λοιπόν η διατύπωση του μαθηματικού προβλήματος διατυπώνεται ως εξής:

Η αντικειμενική συνάρτηση:

$$\text{Min} E_B$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$W_A + W_B + W_C + W_D + W_E = 1 \quad (1)$$

$$96 \cdot W_A + 118 \cdot W_B + 100 \cdot W_C + 125 \cdot W_D + 120 \cdot W_E \leq 118 \cdot E_B \quad (2)$$

$$16 \cdot W_A + 23 \cdot W_B + 18 \cdot W_C + 25 \cdot W_D + 24 \cdot W_E \leq 23 \cdot E_B \quad (3)$$

$$850 \cdot W_A + 1500 \cdot W_B + 1200 \cdot W_C + 1500 \cdot W_D + 1600 \cdot W_E \leq 1500 \cdot E_B \quad (4)$$

$$3800 \cdot W_A + 4500 \cdot W_B + 4400 \cdot W_C + 6500 \cdot W_D + 5200 \cdot W_E \geq 4500 \quad (5)$$

$$0,25 \cdot W_A + 0,32 \cdot W_B + 0,35 \cdot W_C + 0,30 \cdot W_D + 0,28 \cdot W_E \geq 0,32 \quad (6)$$

$$0,08 \cdot W_A + 0,085 \cdot W_B + 0,08 \cdot W_C + 0,10 \cdot W_D + 0,08 \cdot W_E \geq 0,085 \quad (7)$$

$$E_B, W_A, W_B, W_C, W_D \geq 0 \quad (8)-(12)$$

Από την επίλυση του γραμμικού προγραμματισμού προκύπτει ότι ο συντελεστής σχετικής αποδοτικότητας του εστιατορίου Β είναι 0,894, γεγονός που σημαίνει ότι το 'σύνθετο' εστιατόριο χρησιμοποιεί 89,44% λιγότερους πόρους εισροής από το εστιατόριο Β το οποίο κατ' επέκταση κρίνεται λιγότερο αποδοτικό. Η επίλυση του προβλήματος από το Excel Solver εμφανίζεται στην εικόνα 4.2.

Target Cell (Min)			Constraints				
Name	Original Value	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
minE	1	0.894491547	1st	1	=1	Not Binding	0
			2nd	105.550	≤Xk*E	Binding	0
			3rd	19.400	≤Xk*E	Not Binding	1.173305
			4th	1213.750	≤Xk*E	Not Binding	127.9873
			5th	4820.000	≥Yk	Not Binding	320.0002
			6th	0.320	≥Yk	Binding	0
			7th	0.085	≥Yk	Binding	0
Adjustable Cells							
Name	Original Value	Final Value					
E	1	0.894491547					
Wa	1	0.174999953					
Wb	0	0					
Wc	0	0.574999953					
Wd	0	0.250000093					
We	0	0					

Εικόνα 4.2 Εφαρμογή μεθόδου DEA για το εστιατόριο Β.

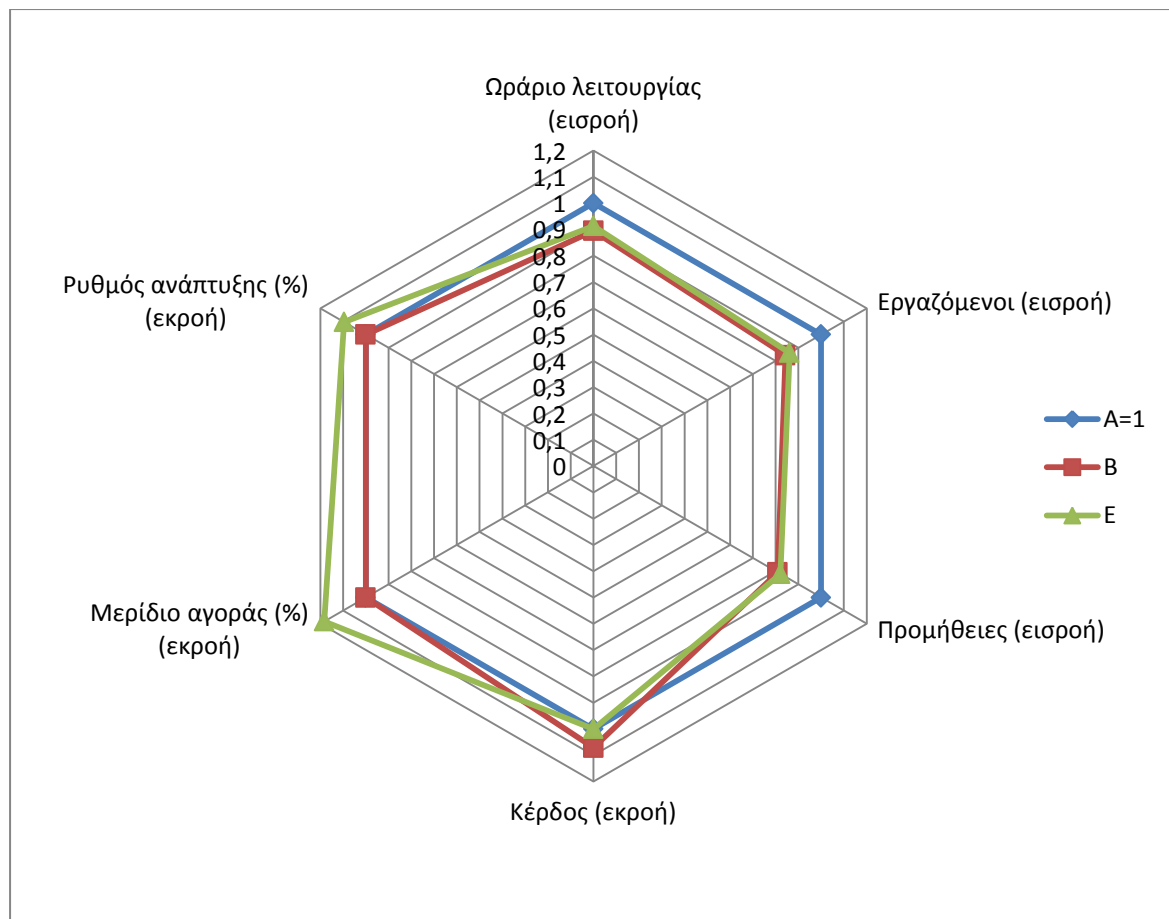
Οι συντελεστές στάθμισης δηλώνουν το ποσοστό από το κάθε εστιατόριο που συνθέτουν το 'ιδεατό' εστιατόριο. Κατά την αξιολόγηση του εστιατορίου Β, το 'σύνθετο' εστιατόριο συντίθεται 17,5% από το Α, 57,5% από το C και 25,5% από το D. Από την τιμή που λαμβάνουν οι περιορισμοί προκύπτουν οι καταναλισκόμενοι και οι εξαγόμενοι πόροι του 'σύνθετου' εστιατορίου. Συγκεκριμένα το 'σύνθετο' εστιατόριο που προκύπτει κατά την αξιολόγηση του εστιατορίου Β λειτουργεί 105,55 ώρες, απασχολεί 19,4 εργαζόμενους και χρησιμοποιεί προμήθειες ύψους 1213,75€. Αντίστοιχα εμφανίζει κέρδη 4820€, λαμβάνει το 32% του μεριδίου της αγοράς και επιτυγχάνει ρυθμό ανάπτυξης 8,5%. Οι τιμές του 'σύνθετου' εστιατορίου μπορούν να συγκριθούν με τις αντίστοιχες του εστιατορίου Β και να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα. Το 'σύνθετο' εστιατόριο λειτουργεί 105,50 ώρες έναντι 118 που λειτουργεί το Β. Η μηδενική χαλαρή μεταβλητή στον 2^ο περιορισμό δηλώνει ότι το 'σύνθετο' εστιατόριο χρησιμοποιεί 89,49% ($105,50/118=0,8944$) λιγότερους πόρους από το Β, όσο ακριβώς είναι και η σχετική αποδοτικότητα του. Ομοίως χρησιμοποιεί 84,34% ($19,4/23=0,8434$) λιγότερους εργαζομένους και 80,91% ($1213,75/1500=0,8091$) λιγότερες προμήθειες υλικών. Το 'σύνθετο' εστιατόριο επίσης παράγει περισσότερες εκροές συγκριτικά με το Β. Συγκεκριμένα εμφανίζει 320€ (μεταβλητή πλεονασμού) κέρδη περισσότερο ή 107% κέρδη παραπάνω ($4820/4500=1,07$). Οι μηδενικές τιμές των μεταβλητών πλεονασμού των περιορισμών δηλώνουν ότι το μερίδιο αγοράς και ο ρυθμός ανάπτυξης είναι ίδιοι και στο εστιατόριο Β.

Για την αξιολόγηση και των υπολοίπων εστιατορίων πρέπει να επιλυθούν 4 ακόμα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού. Όλοι οι συντελεστές σχετικής αποδοτικότητας καθώς και οι πόροι των 'σύνθετων' εστιατορίων εμφανίζονται στον πίνακα 4.4.

Εστιατόριο	A	B	C	D	E
Σχετική αποδοτικότητα (%)	100	89.49	100	100	91.2
'Σύνθετο'	96	105.55	100	125	109.52
	16	19.4	18	25	20.67
	850	1213.75	1200	1500	1314.29
	3800	4820	4400	6500	5200
	0.25	0.32	0.35	0.3	0.33
	0.08	0.085	0.08	0.1	0.088

Πίνακας 4.4 Σχετική αποδοτικότητα εστιατορίων και πόροι 'ιδεατών' εστιατορίων.

Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να γίνουν καλύτερα αντιληπτά αν απεικονισθούν σε ένα ακτινικό διάγραμμα. Όταν στην περιοχή των εισροών το διάγραμμα παίρνει τιμή μικρότερη της μονάδας, τότε κάθε εξεταζόμενη μονάδα χρησιμοποιεί περισσότερες εισροές από την 'σύνθετη' ή διαφορετικά η 'σύνθετη' μονάδα καταναλώνει λιγότερους πόρους. Στην περιοχή των εκροών ισχύει το αντίθετο. Όταν το διάγραμμα παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας τότε η 'σύνθετη' μονάδα παράγει περισσότερες εκροές. Από το διάγραμμα μπορούν να εντοπισθούν οι αδυναμίες κάθε μονάδας και τα σημεία όπου κρίνεται λιγότερο αποδοτική με σκοπό την βελτίωση και τον ανασχεδιασμό των επιχειρηματικών διαδικασιών. Ένα ακτινικό διάγραμμα εμφανίζεται στην εικόνα 4.3.



Εικόνα 4.3 Ακτινικό διάγραμμα πόρων εισροής - εκροής.

4.3. Επιλογή επενδύσεων (Capital Budgeting)

Ένα από τα σημαντικότερα πεδία εφαρμογής της Χρηματοοικονομικής ανάλυσης αποτελεί η επιλογή και η αξιολόγηση μακροπρόθεσμων και βραχυπρόθεσμων επενδύσεων, καθώς βασική διαδικασία για τη λήψη αποφάσεων από την διεύθυνση Χρηματοοικονομικών λειτουργιών μίας επιχείρησης αποτελεί η αξιολόγηση των υποψήφιων επενδυτικών προγραμμάτων. Τα επενδυτικά προγράμματα που εξετάζονται στην Χρηματοοικονομική Διοίκηση είναι μακροπρόθεσμης διάρκειας (Πάγιο ενεργητικό) και πρέπει να ικανοποιούν το χρηματοοικονομικό στόχο που είναι η μεγιστοποίηση της τρέχουσας αξίας κάθε επιχείρησης.

Οι πιθανές επενδύσεις μίας επιχείρησης αφορούν τη δημιουργία νέων εγκαταστάσεων ή την επέκταση υπάρχουσών κτιρίων, την αγορά νέου εξοπλισμού, την αντικατάσταση παλαιών μηχανημάτων υψηλότερης τεχνολογίας, τη δημιουργία νέων προϊόντων, την αύξηση του δικτύου πωλήσεων καθώς και την πραγματοποίηση εξαγορών ή συγχωνεύσεων με άλλες επιχειρήσεις. Οποιαδήποτε πιθανή επένδυση απαιτεί μία αρχική ταμειακή εκροή που αποτελεί το αρχικό κόστος της επένδυσης με απώτερο στόχο να αποδώσει στο μέλλον μία μεγαλύτερη ταμειακή εισροή. Όποια επένδυση επιλεγεί θα δημιουργήσει μία σειρά μελλοντικών ταμειακών εισροών που θα αυξήσουν τα έσοδα και κατ' επέκταση το κέρδος μίας επιχείρησης μέσω των Καθαρών Ταμειακών Ροών (ΚΤΡ). Οι ταμειακές εισροές μια

επένδυσης δημιουργούνται στο μέλλον επομένως πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η χρονική αξία του χρήματος.

Η τεχνική αξιολόγησης επενδύσεων (Capital Budgeting) αναφέρεται στην αξιολόγηση επενδυτικών προγραμμάτων και στην ιεράρχηση τους με βαθμό προτεραιότητας, με στόχο την επιλογή ή την απόρριψη τους. Για την αξιολόγηση πρέπει να εκτιμηθεί με ακρίβεια το κόστος της επένδυσης, ο προγραμματισμός των αναμενόμενων μελλοντικών ταμειακών εισροών καθώς και το ύψος του προεξοφλητικού επιτοκίου των ταμειακών εκροών (κόστος κεφαλαίου). Για την επιλογή ή την απόρριψη μίας επενδυτικής πρότασης πρέπει να γίνει αξιολόγηση και σύγκριση της αρχικής ταμειακής εκροής με τις αναμενόμενες μελλοντικές εισροές και να βελτιστοποιηθεί η κατανομή των διαθέσιμων επενδυτικών κεφαλαίων.

Οι ποσοτικές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση και την επιλογή επενδυτικών προγραμμάτων είναι πολλές και υιοθετείται εκείνη που ταιριάζει καλύτερα κάθε φορά στην εκάστοτε περίπτωση. Τα κριτήρια που εξετάζονται είναι ο χρόνος επανείσπραξης (Payback Period), ο δείκτης ROI (Return On Investment), η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value, NPV) και ο δείκτης εσωτερικής αποδοτικότητας IRR (Internal Rate of Return). Αντίστοιχα οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί σύμφωνα με τα παραπάνω είναι η μέθοδος του χρόνου επανείσπραξης (Payback Method), η μέθοδος ετήσιας αποδοτικότητας, η μέθοδος καθαρής παρούσας αξίας και η μέθοδος υπολογισμού του εσωτερικού δείκτη αποδοτικότητας. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν πρέπει να αξιολογηθούν αμοιβαία αποκλειόμενα επενδυτικά προγράμματα. Αντίθετα, όταν υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν μία ή περισσότερες επενδυτικές προτάσεις ανάλογα με το διαθέσιμο αρχικό κεφάλαιο που κατέχει μία επιχείρηση, ο γραμμικός προγραμματισμός και συγκεκριμένα ο ακέραιος προγραμματισμός αποτελούν πολύτιμο εργαλείο για την επιλογή των κατάλληλων επενδυτικών σεναρίων που θα μεγιστοποιούν τη καθαρή παρούσα αξία των επενδύσεων. Σε περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να γίνει ακριβής εκτίμηση των αναμενόμενων ταμειακών εισροών, μπορεί να εφαρμοστεί ο γραμμικός προγραμματισμός επαναλαμβανόμενες φορές με διαφορετικά εναλλακτικά σενάρια ως προς τις εισροές των επενδύσεων. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της προσομοίωσης και μίας πολυκριτήριας ανάλυσης προσδιορίζεται μία σειρά εναλλακτικών λύσεων από όπου επιλέγεται εκείνη που συγκεντρώνει τις περισσότερες πιθανότητες να συμβεί.

Στο αριθμητικό παράδειγμα που ακολουθεί επιλύεται ένα πρόβλημα επιλογής επενδύσεων ανάμεσα σε 6 εναλλακτικές προτάσεις. Πιο συγκεκριμένα η εταιρεία Spencer Enterprises πρέπει να επιλέξει ανάμεσα από 6 εναλλακτικές επενδυτικές προτάσεις, σε πλάνο τριετίας, εκείνες που μεγιστοποιούν την καθαρή παρούσα αξία των εκτιμώμενων μελλοντικών ταμειακών εισροών. Οι επενδυτικές προτάσεις αφορούν την μερική ή την ολική επέκταση των αποθηκών, την έρευνα αγοράς για νέο προϊόν, τον σχεδιασμό διαφημιστικής εκστρατείας, την χρηματοδότηση έρευνας και ανάπτυξης καθώς και την αγορά νέου εξοπλισμού. Για όλα τα επενδυτικά σενάρια σε βάθος τριετίας είναι γνωστές οι απαιτήσεις κεφαλαίου, οι καθαρές παρούσες αξίες καθώς και τα διαθέσιμα κεφάλαια που κατέχει η επιχείρηση κάθε χρόνο. Τα παραπάνω στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5.

Επενδυτικά προγράμματα	Απαιτήσεις κεφαλαίου (\$)			NPV
	1ο Έτος	2ο Έτος	3ο Έτος	
Μερική επέκταση αποθηκών	3000	1000	4000	4000
Ολική επέκταση αποθηκών	2500	3500	3500	6000
Έρευνα αγοράς νέου προϊόντος	6000	4000	5000	10500
Διαφημιστική εκστρατεία	2000	1500	1800	4000
Έρευνα και Ανάπτυξη	5000	1000	4000	8000
Αγορά νέου εξοπλισμού	1000	500	900	3000
Διαθέσιμα κεφάλαια	10500	7000	8750	

Πίνακας 4.5 Απαιτήσεις κεφαλαίου, καθαρή παρούσα αξία (NPV) προγραμμάτων και διαθέσιμα κεφάλαια.

Για την επιλογή των εναλλακτικών επενδυτικών προγραμμάτων πρέπει να διατυπωθεί η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος που θα μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία (NPV) των επενδύσεων. Ορίζουμε ως μεταβλητές:

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{αν η επένδυση } i \text{ επιλεγεί} \\ 0, & \text{αν η επένδυση } i \text{ δεν επιλεγεί} \end{cases}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να μεγιστοποιεί την καθαρή παρούσα αξία και διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Max}Z = 4000 * X_1 + 6000 * X_2 + 10500 * X_3 + 4000 * X_4 + 8000 * X_5 + 3000 * X_6$$

Οι περιορισμοί αφορούν στην επιλογή εκείνων των επενδυτικών σεναρίων που μεγιστοποιούν τη καθαρή παρούσα αξία αλλά ταυτόχρονα δεν εξαντλούν τα διαθέσιμα κεφάλαια κάθε έτους. Έτσι λοιπόν οι περιορισμοί για κάθε έτος γράφονται:

$$3000 * X_1 + 2500 * X_2 + 6000 * X_3 + 2000 * X_4 + 5000 * X_5 + 1000 * X_6 \leq 10500$$

$$1000 * X_1 + 3500 * X_2 + 4000 * X_3 + 1500 * X_4 + 1000 * X_5 + 500 * X_6 \leq 7000$$

$$4000 * X_1 + 3500 * X_2 + 5000 * X_3 + 1800 * X_4 + 4000 * X_5 + 900 * X_6 \leq 8750$$

Εφόσον τα δύο πρώτα σεναρία που αφορούν τη μερική ή την ολική επέκταση των αποθηκών κρίνονται ως αμοιβαία αποκλειόμενα, θα πρέπει να διατυπωθεί ένας περιορισμός που θα επιτρέπει την επιλογή είτε της πρώτης εναλλακτικής επένδυσης είτε της δεύτερης, είτε την απόρριψη και των δύο. Αφού κάθε μεταβλητή απόφασης παίρνει μόνο τιμές 0 και 1, για να εξασφαλιστεί ότι θα επιλεγεί είτε μόνο μία εκ των δύο προτάσεων είτε καμία, ορίζουμε τον εξής περιορισμό:

$$X_1 + X_2 \leq 1$$

Συγκεντρωτικά το πρόβλημα επιλογής επενδύσεων διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Max}Z = 4000 * X_1 + 6000 * X_2 + 10500 * X_3 + 4000 * X_4 + 8000 * X_5 + 3000 * X_6$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$3000 * X1 + 2500 * X2 + 6000 * X3 + 2000 * X4 + 5000 * X5 + 1000 * X6 \leq 10500 \quad (1)$$

$$1000 * X1 + 3500 * X2 + 4000 * X3 + 1500 * X4 + 1000 * X5 + 500 * X6 \leq 7000 \quad (2)$$

$$4000 * X1 + 3500 * X2 + 5000 * X3 + 1800 * X4 + 4000 * X5 + 900 * X6 \leq 8750 \quad (3)$$

$$X1 + X2 \leq 1 \quad (4)$$

$$X1, \dots, X6 \geq 0 \quad (5)$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η καθαρή παρούσα αξία είναι 17500\$ και τα επενδυτικά προγράμματα που επιλέγονται είναι η έρευνα αγοράς νέου προϊόντος ($X3=1$), η χάραξη διαφημιστικής εκστρατείας ($X4=1$) και η αγορά νέου εξοπλισμού ($X6=1$). Τα αποτελέσματα του παραπάνω προβλήματος παρουσιάζονται στην εικόνα 4.4 όπως αυτά προκύπτουν από το Excel Solver.

Target Cell (Max)

Name	Original Value	Final Value
MaxZ	0	17500

Adjustable Cells

Name	Original Value	Final Value
Μερική επέκταση αποθηκών X1	0	0
Ολική επέκταση αποθηκών X2	0	0
Έρευνα αγοράς νέου προϊόντος X3	0	1
Διαφημιστική εκστρατεία X4	0	1
Έρευνα και Ανάπτυξη X5	0	0
Αγορά νέου εξοπλισμού X6	0	1

Constraints

Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
Διαθέσιμο κεφάλαιο 1ου έτους	9000	≤ 10500	Not Binding	1500
Διαθέσιμο κεφάλαιο 2ου έτους	6000	≤ 7000	Not Binding	1000
Διαθέσιμο κεφάλαιο 3ου έτους	7700	≤ 8750	Not Binding	1050
Αμοιβαία αποκλειόμενα σενάρια	0	≤ 1	Not Binding	1
X1	0	binary	Binding	0
X2	0	binary	Binding	0
X3	1	binary	Binding	0
X4	1	binary	Binding	0
X5	0	binary	Binding	0
X6	1	binary	Binding	0

Εικόνα 4.4 Επίλυση προβλήματος επιλογής επενδύσεων μέσω του Excel Solver.

4.4. Επιλογή χαρτοφυλακίου επενδύσεων (Portfolio and Asset Allocation)

Ένα αρκετό σύνθετο και πολύπλοκο πρόβλημα στην Χρηματοοικονομική Διοίκηση αποτελεί η κατανομή του ενεργητικού κεφαλαίου σε μία ποικιλία περιουσιακών στοιχείων όπως μετοχές, ομόλογα, αμοιβαία κεφάλαια, ακίνητα και μετρητά. Τα μοντέλα σχεδιασμού χαρτοφυλακίων χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ποσοστού του κεφαλαίου που

θα πρέπει να επενδυθεί σε κάθε κατηγορία περιουσιακού στοιχείου, με στόχο τη δημιουργία ενός χαρτοφυλακίου που θα προσφέρει την καλύτερη ισορροπία μεταξύ κινδύνου και απόδοσης. Ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση πολύτιμο εργαλείο για την αξιολόγηση και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το σχεδιασμό του βέλτιστου χαρτοφυλακίου. Τέτοιου είδους μοντέλα προτάθηκαν από τον Harry Markowitz και βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές περιπτώσεις. Στον παρόν εδάφιο θα περιγραφούν δύο μοντέλα επιλογής χαρτοφυλακίου, το «συντηρητικό» και το «ριψοκίνδυνο». Το πρώτο μοντέλο έχει σχεδιαστεί για «συντηρητικούς» επενδυτές (conservative portfolio) οι οποίοι δεν έχουν καμία ανοχή σε οποιοδήποτε ποσοστό ρίσκου. Αντίθετα το δεύτερο μοντέλο έχει σχεδιαστεί για περισσότερο «ριψοκίνδυνους» επενδυτές (moderate risk portfolio) οι οποίοι για να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση είναι διατεθειμένοι να αναλάβουν το ρίσκο μίας πιθανής ζημίας. Το πρόβλημα επιλογής χαρτοφυλακίου εμφανίζει πολλές παραλλαγές ανάλογα με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα σε κάθε πρόβλημα.

«Συντηρητικό Μοντέλο» (Conservative Portfolio)

Έστω ότι υπάρχει πλήθος N εναλλακτικών αμοιβαίων κεφαλαίων με καταγεγραμμένες τις τιμές των αποδόσεων τους που έχουν εμφανιστεί για πέντε έτη (εναλλακτικά πιθανά σενάρια), οι οποίες μπορεί να είναι θετικές ή αρνητικές. Στόχος του μοντέλου είναι να προσδιοριστεί το ποσοστό του κεφαλαίου που πρέπει να επενδυθεί σε κάθε επενδυτικό πρόγραμμα με στόχο να μεγιστοποιηθεί η απόδοση και να αποτραπεί οποιαδήποτε ζημία. Στο μοντέλο αυτό ο κίνδυνος ελαχιστοποιείται μέσω της διαφοροποίησης των εναλλακτικών σεναρίων. Έστω οι πιθανές αποδόσεις 7 εναλλακτικών επενδυτικών προγραμμάτων καταγεγραμμένες για 5 έτη που εμφανίζονται στον πίνακα 4.6.

Επενδυτικά προγράμματα	Έτος 1	Έτος 2	Έτος 3	Έτος 4	Έτος 5
1. Μετοχές υψηλής κεφαλαιοποίησης	35.3	20	28.3	10.4	-9.3
2. Μετοχές μεσαίας κεφαλαιοποίησης	32.3	23.2	-0.9	49.3	-22.8
3. Μετοχές χαμηλής κεφαλαιοποίησης	20.8	22.5	-6	10.5	6.5
4. Επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας	25.3	33.9	-20.5	20.9	-2.5
5. Επενδύσεις στον τομέα της υγείας	49.1	5.5	-29.7	52.4	24.9
6. Επενδύσεις στον τομέα της τεχνολογίας.	46.2	21.7	45.7	62.4	-20.1
7. Επενδύσεις στον τομέα των ακινήτων	20.5	44	-21.1	2.6	5.1

Πίνακας 4.6 Πιθανές αποδόσεις (%) 7 επενδυτικών προγραμμάτων.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.6, οι πιθανές αποδόσεις μπορεί να πάρουν θετικές ή αρνητικές τιμές. Μία πιθανή απόδοση για τις μετοχές μεσαίας κεφαλαιοποίησης μπορεί να έχει μέγιστη θετική τιμή +49,3% αλλά και μέγιστη αρνητική τιμή -22,8%. Αν όλο το διαθέσιμο κεφάλαιο λοιπόν επενδυθεί σε μετοχές μεσαίας κεφαλαιοποίησης, μπορεί να

υπάρξουν απώλειες ίσες με 22,8%. Ομοίως κάποιος υποψήφιος επενδυτής διατρέχει τον κίνδυνο να έχει απώλειες ίσες με 9,3% αν όλο το διαθέσιμο κεφάλαιο επενδυθεί στο 1^ο επενδυτικό πρόγραμμα, 22,8% στο 2^ο, 6% στο 3^ο, 20,5% στο 4^ο, 29,7% στο 5^ο, 20,1% στο 6^ο και 21,1% στο 7^ο. Για την διαμόρφωση ενός διαφοροποιημένου χαρτοφυλακίου που θα ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος πρέπει να καθοριστεί το ποσοστό που θα επενδυθεί σε κάθε επενδυτικό πρόγραμμα. Η τελική απόδοση της επένδυσης εξαρτάται από το ποιό εναλλακτικό σενάριο αποδόσεων (1^ο, 2^ο, 3^ο, 4^ο ή 5^ο έτος) θα επικρατήσει και θεωρείται χάριν απλότητας ότι όλα τα σενάρια απόδοσης έχουν την ίδια πιθανότητα να εμφανιστούν. Για την επίλυση του προβλήματος ορίζονται οι παρακάτω μεταβλητές απόφασης:

Έστω X_i το ποσοστό που θα επενδυθεί στο εναλλακτικό επενδυτικό πρόγραμμα i .

Ολόκληρο το διαθέσιμο κεφάλαιο πρέπει να επενδυθεί στα επενδυτικά προγράμματα οπότε:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1$$

Επίσης ορίζεται η μεταβλητή R που αντιπροσωπεύει την ελάχιστη απόδοση της επένδυσης στο συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο και θα καθοριστεί από το σενάριο που προβλέπει την «χειρότερη» - μικρότερη απόδοση από τις πιθανές αποδόσεις των πέντε σεναρίων. Επειδή όμως δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων πιο από τα καταγεγραμμένα σενάρια αποδόσεων θα επικρατήσει, θα πρέπει να προστεθούν οι περιορισμοί όπου η απόδοση κάθε ενός σεναρίου θα είναι μεγαλύτερη ή ίση από την απόδοση R του χαρτοφυλακίου. Έτσι λοιπόν οι περιορισμοί για τα πέντε πιθανά σενάρια αποδόσεων γράφονται ως εξής:

$$35,3 \cdot X_1 + 32,3 \cdot X_2 + 20,8 \cdot X_3 + 25,3 \cdot X_4 + 49,1 \cdot X_5 + 46,2 \cdot X_6 + 20,5 \cdot X_7 \geq R \quad (1)$$

$$20,0 \cdot X_1 + 23,2 \cdot X_2 + 22,5 \cdot X_3 + 33,9 \cdot X_4 + 5,50 \cdot X_5 + 21,7 \cdot X_6 + 44,0 \cdot X_7 \geq R \quad (2)$$

$$28,3 \cdot X_1 - 0,90 \cdot X_2 - 6,0 \cdot X_3 - 20,5 \cdot X_4 - 29,7 \cdot X_5 + 45,7 \cdot X_6 - 21,1 \cdot X_7 \geq R \quad (3)$$

$$10,4 \cdot X_1 + 49,3 \cdot X_2 + 10,5 \cdot X_3 + 20,9 \cdot X_4 + 52,4 \cdot X_5 + 62,4 \cdot X_6 + 2,6 \cdot X_7 \geq R \quad (4)$$

$$-9,30 \cdot X_1 - 22,8 \cdot X_2 + 6,5 \cdot X_3 - 2,5 \cdot X_4 + 24,9 \cdot X_5 - 20,1 \cdot X_6 + 5,1 \cdot X_7 \geq R \quad (5)$$

Για να σχεδιαστεί ένα χαρτοφυλάκιο που θα παρέχει τη μέγιστη απόδοση χωρίς κίνδυνο, πρέπει να μεγιστοποιείται η ελάχιστη δυνατή απόδοση όλων των πιθανών σεναρίων. Επομένως η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να μεγιστοποιεί την ελάχιστη πιθανή απόδοση και διατυπώνεται ως εξής:

$$MaxZ = R$$

Με πέντε περιορισμούς ελάχιστης απόδοσης, η βέλτιστη τιμή R θα είναι ίση με την αξία της ελάχιστης απόδοσης όλων των περιορισμών. Επειδή το γραμμικό μοντέλο σχεδιάστηκε για να μεγιστοποιήσει την ελάχιστη απόδοση όλων των σεναρίων αναφέρεται και ως μοντέλο $MaxiMin$. Η μεθοδολογία αυτή κατανέμει ένα διαθέσιμο κεφάλαιο σε επενδυτικά προγράμματα και δίνει μία ελάχιστη και συντηρητική εκτίμηση της απόδοσης. Συνολικά λοιπόν το πρόγραμμα «συντηρητικού» επενδυτή διατυπώνεται ως εξής:

$$MaxZ = R$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$35,3 \cdot X1 + 32,3 \cdot X2 + 20,8 \cdot X3 + 25,3 \cdot X4 + 49,1 \cdot X5 + 46,2 \cdot X6 + 20,5 \cdot X7 \geq R \quad (1)$$

$$20,0 \cdot X1 + 23,2 \cdot X2 + 22,5 \cdot X3 + 33,9 \cdot X4 + 5,50 \cdot X5 + 21,7 \cdot X6 + 44,0 \cdot X7 \geq R \quad (2)$$

$$28,3 \cdot X1 - 0,90 \cdot X2 - 6,0 \cdot X3 - 20,5 \cdot X4 - 29,7 \cdot X5 + 45,7 \cdot X6 - 21,1 \cdot X7 \geq R \quad (3)$$

$$10,4 \cdot X1 + 49,3 \cdot X2 + 10,5 \cdot X3 + 20,9 \cdot X4 + 52,4 \cdot X5 + 62,4 \cdot X6 + 2,6 \cdot X7 \geq R \quad (4)$$

$$-9,30 \cdot X1 - 22,8 \cdot X2 + 6,5 \cdot X3 - 2,5 \cdot X4 - 24,9 \cdot X5 - 20,1 \cdot X6 + 5,1 \cdot X7 \geq R \quad (5)$$

$$X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + X6 + X7 = 1 \quad (6)$$

$$R, X1, \dots, X7 \geq 0 \quad (7)-(14)$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η ελάχιστη απόδοση της επένδυσης θα είναι 4,65% όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.5 όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα από το Excel Solver. Σύμφωνα με το σχεδιασμό του χαρτοφυλακίου το διαθέσιμο κεφάλαιο θα πρέπει να κατανεμηθεί κατά 59% σε μετοχές υψηλής κεφαλαιοποίησης ενώ το υπόλοιπο 41% σε επενδύσεις στον τομέα της υγείας. Από την επίλυση του προβλήματος δεν είναι γνωστό άμεσα ποιο από τα πέντε σενάρια θα επικρατήσει. Η πληροφορία αυτή δίνεται από τις πλεονάζουσες μεταβλητές των περιορισμών. Συγκεκριμένα οι πλεονάζουσες μεταβλητές των περιορισμών 3 και 5 είναι μηδενικές, γεγονός που δηλώνει ότι όποιο από αυτά τα δύο σενάρια επικρατήσει η ελάχιστη απόδοση που θα επιστραφεί θα είναι 4,65%. Η πλεονάζουσα μεταβλητή του πρώτου περιορισμού, που αντιστοιχεί στο πρώτο σενάριο, είναι 36,28 γεγονός που δηλώνει ότι αν επικρατήσει το σενάριο αυτό θα επιστραφεί απόδοση $4,65+36,28 = 40,93\%$. Ομοίως αν επικρατήσει το δεύτερο σενάριο η απόδοση της επένδυσης θα είναι $4,65+9,44 = 14,09\%$, ενώ αν επικρατήσει το τέταρτο θα είναι $4,65+22,88 = 27,53\%$ αντίστοιχα.

Target Cell (Max)		Constraints				
Name	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
MaxZ	4.65	1ος	40.93	$\geq R$	Not Binding	36.28
		2ος	14.09	$\geq R$	Not Binding	9.44
		3ος	4.65	$\geq R$	Binding	0.00
		4ος	27.53	$\geq R$	Not Binding	22.88
		5ος	4.65	$\geq R$	Binding	0.00
		6ος	1.00	$=1$	Not Binding	0.00
Adjustable Cells						
Name	Final Value					
X1	0.59					
X2	0.00					
X3	0.00					
X4	0.00					
X5	0.41					
X6	0.00					
X7	0.00					
R	4.65					

Εικόνα 4.5 Αποτελέσματα «συντηρητικού» μοντέλου.

«Ριψοκίνδυνο» μοντέλο (Moderate Risk Portfolio)

Στο ριψοκίνδυνο μοντέλο σχεδιασμού χαρτοφυλακίου, ο υποψήφιος επενδυτής είναι διατεθειμένος να αναλάβει κάποιο ρίσκο με σκοπό να κερδίσει υψηλότερη απόδοση από ότι θα κέρδιζε αν επέλεγε το συντηρητικό μοντέλο. Παρόλο όμως το ρίσκο που λαμβάνουν οι επενδυτές, απαιτούν μία ελάχιστη εγγυημένη απόδοση ανάλογα με το πιθανό σενάριο αποδόσεων που θα επικρατήσει. Έστω λοιπόν τα ίδια επενδυτικά προγράμματα του πίνακα 4.6 που περιγράφηκαν στο συντηρητικό μοντέλο και έστω 2% η ελάχιστη «εγγυημένη» απόδοση που ο επενδυτής θέλει να κερδίσει κατ' ελάχιστο. Οι πιθανότητες να επικρατήσει κάθε ένα από τα πέντε σενάρια είναι 0.05, 0.25, 0.05, 0.15 και 0.50 αντίστοιχα. Έστω R_1, \dots, R_5 οι αποδόσεις όλων των πιθανών σεναρίων, τότε η αναμενόμενη τιμή της απόδοσης ορίζεται ως:

$$R = 0,05 * R_1 + 0.25 * R_2 + 0.05 * R_3 + 0.15 * R_4 + 0.50 * R_5$$

Στόχος του «ριψοκίνδυνου» μοντέλου είναι να μεγιστοποιήσει την αναμενόμενη τιμή της απόδοσης με τον περιορισμό κάθε ένα από τα πέντε πιθανά σενάρια να αποδίδει απόδοση μεγαλύτερη ή ίση από την ελάχιστη «εγγυημένη» απόδοση 2% που απαιτεί ο υποψήφιος επενδυτής. Το πρόβλημα μεγιστοποίησης της αναμενόμενης απόδοσης επιλύεται με τη μέθοδο του γραμμικού προγραμματισμού και διατυπώνεται ως εξής:

$$MaxZ = 0,05 * R_1 + 0.25 * R_2 + 0.05 * R_3 + 0.15 * R_4 + 0.50 * R_5$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$35,3 \cdot X_1 + 32,3 \cdot X_2 + 20,8 \cdot X_3 + 25,3 \cdot X_4 + 49,1 \cdot X_5 + 46,2 \cdot X_6 + 20,5 \cdot X_7 = R_1 \geq 2 \quad (1)$$

$$20,0 \cdot X_1 + 23,2 \cdot X_2 + 22,5 \cdot X_3 + 33,9 \cdot X_4 + 5,50 \cdot X_5 + 21,7 \cdot X_6 + 44,0 \cdot X_7 = R_2 \geq 2 \quad (2)$$

$$28,3 \cdot X_1 - 0,90 \cdot X_2 - 6,0 \cdot X_3 - 20,5 \cdot X_4 - 29,7 \cdot X_5 + 45,7 \cdot X_6 - 21,1 \cdot X_7 = R_3 \geq 2 \quad (3)$$

$$10,4 \cdot X_1 + 49,3 \cdot X_2 + 10,5 \cdot X_3 + 20,9 \cdot X_4 + 52,4 \cdot X_5 + 62,4 \cdot X_6 + 2,6 \cdot X_7 = R_4 \geq 2 \quad (4)$$

$$-9,30 \cdot X_1 - 22,8 \cdot X_2 + 6,5 \cdot X_3 - 2,5 \cdot X_4 + 24,9 \cdot X_5 - 20,1 \cdot X_6 + 5,1 \cdot X_7 = R_5 \geq 2 \quad (5)$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 = 1 \quad (6)$$

$$X_1, \dots, X_7 \geq 0 \quad (7)-(14)$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η μέγιστη αναμενόμενη απόδοση είναι ίση με 17,05% και το διαθέσιμο κεφάλαιο θα κατανεμηθεί κατά 57,95% σε επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας και κατά 42,05% στον τομέα της υγείας. Η επίλυση του προβλήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 4.6 μέσα από το Excel Solver. Η μέση αναμενόμενη απόδοση είναι 17,05% μπορεί όμως υπό προϋποθέσεις να «αγγίξει» και το 56,60% όπως φαίνεται και από τις τιμές των περιορισμών που αντιπροσωπεύουν τα πέντε πιθανά σενάρια των αποδόσεων. Κανένας από τους πέντε πρώτους περιορισμούς δεν εμφανίζει απόδοση μικρότερη της ελάχιστης εγγυημένης (2%), η οποία και θα προκύψει στην περίπτωση που επικρατήσει το τρίτο πιθανό σενάριο όπως φαίνεται από τη μηδενική

τιμή πλεονασμού του τρίτου περιορισμού. Το «συντηρητικό» μοντέλο χαρτοφυλακίου που εξετάστηκε πιο πάνω αποδίδει ελάχιστη απόδοση 4,67%, ενώ το «ριψοκίνδυνο» μοντέλο εξασφαλίζει ελάχιστη εγγυημένη απόδοση 2% δίνοντας όμως την ευκαιρία η απόδοση να γίνει πολύ μεγαλύτερη αν επικρατήσει κάποιο ευνοϊκότερο σενάριο. Σε αυτό το παράδειγμα το ρίσκο που λαμβάνει ο επενδυτής δεν είναι μεγάλο, υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου το ρίσκο μπορεί να είναι αρκετά υψηλό.

Target Cell (Max)		Constraints				
Name	Final Value	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
MaxZ	17.05	1ος	47.88	≥2	Not Binding	45.88
		2ος	12.31	≥2	Not Binding	10.31
		3ος	2.00	≥2	Binding	0.00
		4ος	56.60	≥2	Not Binding	54.60
		5ος	5.98	≥2	Not Binding	3.98
		6ος	1	=1	Not Binding	0.00
Adjustable Cells						
Name	Final Value					
X1	0.00					
X2	0.00					
X3	0.00					
X4	0.00					
X5	0.58					
X6	0.42					
X7	0.00					

Εικόνα 4.6 Επίλυση «ριψοκίνδυνου» μοντέλου.

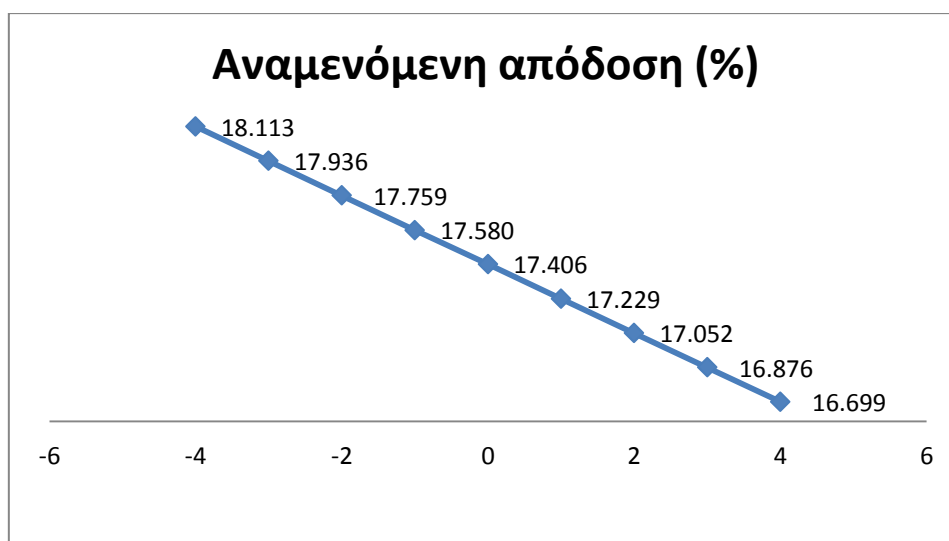
Μεγάλη σημασία για τον σχεδιασμό του χαρτοφυλακίου αποτελεί η ανάλυση ευαισθησίας του μοντέλου, όπου παρουσιάζεται στον επενδυτή ένα πλήθος εναλλακτικών σεναρίων με μεταβαλλόμενη την ελάχιστη «εγγυημένη» απόδοση. Σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να διατυπωθούν μοντέλα ακόμα και με πιθανή αρνητική απόδοση (υψηλό ρίσκο) με σκοπό να επιτευχθεί μία υψηλή απόδοση. Στον πίνακα 4.7 και στην εικόνα 4.7 φαίνονται τα αποτελέσματα του χαρτοφυλακίου του προηγούμενου παραδείγματος που έχει επιλυθεί για εύρος ελάχιστων αποδόσεων από -4% έως +4%.

X1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
X5	0.659	0.646	0.633	0.619	0.606	0.593	0.579	0.566	0.553
X6	0.341	0.354	0.367	0.386	0.393	0.407	0.420	0.434	0.447
X7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ελάχιστη απόδοση (%)	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
Αναμενόμενη απόδοση (%)	18.113	17.936	17.759	17.580	17.406	17.229	17.052	16.876	16.699

Πίνακας 4.7 Επίλυση προβλημάτων για εύρος ελάχιστης απόδοσης από -4% έως 4%.

Στην εικόνα 4.7 παρουσιάζεται η αναμενόμενη απόδοση για κάθε τιμή της ελάχιστης «εγγυημένης» απόδοσης. Όπως γίνεται αντιληπτό, όσο μικρότερη είναι η ελάχιστη «εγγυημένη» απόδοση, τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της αναμενόμενης απόδοσης που μπορεί να επιτευχθεί. Ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου κάποιος επενδυτής είναι διατεθειμένος να αναλάβει και ρίσκο ζημίας, τότε συγκεντρώνει πιθανότητες να κερδίσει

μία πολύ υψηλή απόδοση. Αντίθετα όσο προσπαθεί να εξασφαλίσει μία μεγαλύτερη «εγγυημένη» απόδοση, τόσο μικραίνει η τιμή της αναμενόμενης απόδοσης.



Εικόνα 4.7 Ανάλυση ευαισθησίας αναμενόμενης απόδοσης επενδύσεων.

4.5. Προγραμματισμός Χρηματοδοτήσεων (Financial Planning)

Οι επιχειρήσεις έρχονται συχνά αντιμέτωπες με το πρόβλημα της χρηματοδότησης των βραχυχρόνιων ή μακροπρόθεσμων χρηματικών δεσμεύσεων τους. Οι δεσμεύσεις αυτές μπορεί να είναι βραχυπρόθεσμες υποχρεώσεις σε προμηθευτές, υποχρεώσεις σε φόρους και τέλη, υποχρεώσεις για μερίσματα καθώς και υποχρεώσεις διατήρησης καταθέσεων όψεως για την πληρωμή ληξιπρόθεσμων οφειλών. Όπως γίνεται αντιληπτό, στη σύγχρονη οικονομία απαιτούνται τεχνικές και χρήση εξελιγμένων οικονομικών μοντέλων για την εύρεση βέλτιστων λύσεων. Εκτός από την αξιοποίηση και το σχεδιασμό του χαρτοφυλακίου τους, οι επιχειρήσεις πρέπει να προγραμματίζουν τις καθαρές ταμειακές ροές που πρέπει να είναι διαθέσιμες κάθε περίοδο για την πληρωμή των οφειλών τους. Επίσης πρέπει να είναι σε θέση να καθορίζουν το κεφάλαιο που πρέπει να επενδυθεί σε διάφορα χρεόγραφα ή ομόλογα με σκοπό την αύξηση των εσόδων τους. Όπως είναι φυσικό καθίσταται αναγκαία η χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης ώστε να επιτυγχάνονται οι οικονομικοί στόχοι, να ικανοποιούνται οι διάφοροι περιορισμοί και να αυξάνονται τα καθαρά έσοδα της επιχείρησης. Και στον προγραμματισμό των χρηματοδοτήσεων, ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία επίλυσης και βελτιστοποίησης των χρηματοδοτήσεων.

Τα προβλήματα χρηματοδοτήσεων και επενδύσεων παρουσιάζουν αρκετές παραλλαγές με τις πιο κύριες να είναι εκείνες όπου ζητείται να υπολογιστεί το μέγιστο πλεόνασμα στις καταθέσεις μίας επιχείρησης αφού έχει ανταποκριθεί σε όλες τις υποχρεώσεις της. Ομοίως, σε άλλες περιπτώσεις ζητείται να υπολογιστεί το ελάχιστο αρχικό κεφάλαιο που πρέπει να επενδυθεί ώστε να καλύψει σε βάθος χρόνου όλες τις οφειλές της. Έτσι λοιπόν ο προγραμματισμός χρηματοδοτήσεων άλλες φορές διατυπώνεται ως πρόβλημα μεγιστοποίησης ενώ άλλες φορές ως πρόβλημα ελαχιστοποίησης. Ο γραμμικός προγραμματισμός είναι πολύτιμος καθώς τα προβλήματα χρηματοδοτήσεων

μπορούν να μοντελοποιηθούν εύκολα και να προσδιοριστεί γρήγορα μία βέλτιστη λύση. Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί επίσης να προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα καθώς δίνει την δυνατότητα να μελετηθούν εναλλακτικά σενάρια, βοηθώντας τις επιχειρήσεις να προβούν σε αλλαγές στον προγραμματισμό και στην στρατηγική τους. Οι υποχρεώσεις των επιχειρήσεων μπορεί να είναι αβέβαιες και να παριστάνονται με τυχαίες μεταβλητές, μπορεί όμως να είναι και γνωστές, όπως οι πιστώσεις σε προμηθευτές ή διάφορες άλλες χρηματοροές που απαιτούνται κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή για μελλοντικές εξαγορές ή επενδύσεις.

Ένα μοντέλο προγραμματισμού χρηματοδοτήσεων αντιστοιχίζει τις χρηματοροές με τις υποχρεώσεις (πληρωμές). Η πιο απλή μορφή ενός τέτοιου μοντέλου αγνοεί την ύπαρξη δανεισμού ή επανεπενδύσεων των πλεονασμάτων, αγνοώντας κατ' επέκταση και τον κίνδυνο του επιτοκίου. Ωστόσο οι πιο ρεαλιστικές περιπτώσεις περιλαμβάνουν τόσο δανεισμούς όσο και επανεπενδύσεις. Σε άλλα μοντέλα επιτρέπονται και αρνητικές χρηματικές ροές που προκύπτουν από επενδύσεις που απαιτούν μία σειρά προκαταβολικών πληρωμών προτού αποδώσουν μία θετική ταμειακή ροή. Στο μοντέλο που θα περιγραφεί παρακάτω ζητείται να προσδιοριστεί το αρχικό διαθέσιμο κεφάλαιο που πρέπει να συγκεντρώσει μια επιχείρηση προκειμένου να ληφθούν οι μελλοντικές χρηματοροές και να ικανοποιηθούν οι υποχρεώσεις της. Η λύση αυτού του μοντέλου προκύπτει από την ελαχιστοποίηση του αρχικού κεφαλαίου σε επενδύσεις μηδενικού κινδύνου με στόχο την ικανοποίηση των απαιτούμενων μελλοντικών ροών. Οι πληρωμές και οι ταμειακές ροές μπορεί να έχουν χρονικό ορίζοντα μερικών μηνών ή χρόνων. Πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης χαρακτηρίζονται από αβέβαιες παραμέτρους και ένας τρόπος αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων είναι ο στοχαστικός προγραμματισμός ή μέθοδος της προσομοίωσης σε συνδυασμό πάντα με τον γραμμικό προγραμματισμό.

Έστω μια επιχείρηση όπου στα πλαίσια της εθελούσιας εξόδου του προσωπικού της, πρέπει να πληρώσει ως αποζημιώσεις σε βάθος 7-ετίας τα ποσά που αναγράφονται στον πίνακα 4.8.

Έτος	1 ^ο	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο	5 ^ο	6 ^ο	7 ^ο
Πληρωμές	190	215	240	285	315	460	610

Πίνακας 4.8 Απαιτούμενες πληρωμές για κάθε έτος (Χ1000€).

Η επιχείρηση πρέπει να προγραμματίσει το πλάνο χρηματοδοτήσεων και να υπολογίσει το ελάχιστο αρχικό κεφάλαιο που πρέπει να συγκεντρώσει ώστε να πραγματοποιεί κάθε έτος τις απαιτούμενες πληρωμές. Η επιχείρηση μπορεί να επενδύσει το αρχικό της κεφάλαιο σε ομόλογα 3 κατηγοριών σύμφωνα με τον πίνακα 4.9 ή να επενδύει μέρος των καταθέσεων της στην τράπεζα με ετήσιο επιτόκιο 4%. Ορίζουμε ότι οι αγορές ομολόγων, η επένδυση καταθέσεων στη τράπεζα και οι απαιτούμενες πληρωμές της επιχείρησης σε αποζημιώσεις πραγματοποιούνται στην αρχή κάθε έτους, ενώ τα επιτόκια και οι αποδόσεις πιστώνονται στην αρχή κάθε επόμενου έτους. Οι συγκεκριμένες παραδοχές μπορούν πολύ εύκολα να αλλάξουν στην διατύπωση των περιορισμών του προβλήματος χωρίς βλάβη της γενικότητας.

Ομόλογα	Αξία αγοράς (x1000€)	Απόδοση (%)	Περίοδος αποπληρωμής
B1	1.055	6.25	3 έτη
B2	1	5.9	4 έτη
B3	1.25	8.75	5 έτη

Πίνακας 4.9 Αξία αγοράς, απόδοση και χρόνος αποπληρωμής τριών ομολόγων.

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει το ελάχιστο αρχικό κεφάλαιο F που πρέπει να συγκεντρώσει η επιχείρηση καθώς και ο αριθμός των ομολόγων κάθε κατηγορίας που πρέπει να αγοράσει κάθε χρόνο. Επίσης καθορίζεται το ποσό των ταμειακών διαθέσιμων που πρέπει να αποταμιεύσει, είτε για να τα επενδύσει είτε για να τα διατηρήσει ως καταθέσεις στο ταμείο της. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούμε ότι οποιαδήποτε αποταμίευση επενδύεται εξ' ολοκλήρου στην τράπεζα με επιτόκιο 4%. Ο υπολογισμός του ελάχιστου αρχικού κεφαλαίου αποτελεί πρόβλημα ελαχιστοποίησης και για την διατύπωση του προβλήματος ορίζονται οι παρακάτω μεταβλητές:

F : Ελάχιστο απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο.

$B_{i,j}$: Αγορά ομολόγων τύπου i το έτος j .

S_i : Ποσό αποταμιεύσεων που επενδύονται στην αρχή του έτους i .

Η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος διατυπώνεται πολύ απλά ως:

$$\text{Min } z = F$$

Οι περιορισμοί του προβλήματος είναι όσα και τα έτη του προγράμματος χρηματοδότησης, καθώς για κάθε έτος πρέπει να ικανοποιούνται όλες οι πληρωμές. Για την διατύπωση των περιορισμών πρέπει να προστίθενται σε κάθε έτος όλα τα έσοδα από τόκους και αποδόσεις ομολόγων και να αφαιρούνται τα έξοδα αγορών των ομολόγων και τα ποσά των αποταμιεύσεων. Έτσι λοιπόν για κάθε έτος ισχύει:

$$\left(\begin{array}{c} \text{Έσοδα τόκων} \\ \text{και αποδόσεων} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Αγορές ομολόγων} \\ \text{και αποταμιεύσεις} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Απαιτούμενες πληρωμές} \end{array} \right)$$

Για το πρώτο έτος μόνο ως έσοδο λογίζεται και το αρχικό κεφάλαιο F που πρέπει να συγκεντρωθεί, το οποίο αποτελεί και την μεταβλητή της αντικειμενικής συνάρτησης. Τα ομόλογα τύπου 1 έχουν περίοδο αποπληρωμής 3 χρόνια οπότε μπορούν να αγοραστούν μέχρι και το 4^ο έτος. Ομοίως τα ομόλογα τύπου 2 μπορούν να αγοραστούν μέχρι το 3^ο έτος και τα ομόλογα τύπου 3 μέχρι και το 2^ο. Οι περιορισμοί για κάθε έτος γράφονται ως εξής:

$$F - 1.055B_{1,1} - 1B_{2,1} - 1.250B_{3,1} - S_1 = 190 \quad (1^\circ \text{ έτος})$$

$$0.0625B_{1,1} + 0.059B_{2,1} + 0.0875B_{3,1} + 1.04S_1 - 1.055B_{1,2} - 1B_{2,2} - 1.250B_{3,2} - S_2 = 215 \quad (2^\circ \text{ έτος})$$

$$0.0625(B_{1,1} + B_{1,2}) + 0.059(B_{2,1} + B_{2,2}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_2 - 1.055B_{1,3} - 1B_{2,3} - S_3 = 240 \quad (3^\circ \text{ έτος})$$

$$1.0625B_{1,1} + 0.0625(B_{1,2} + B_{1,3}) + 0.059(B_{2,1} + B_{2,2} + B_{2,3}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_3 - 1.055B_{1,4} - S_4 = 285 \quad (4^\circ \text{ \acute{e}τος})$$

$$1.0625B_{1,2} + 1.059B_{2,1} + 0.0625B_{1,3} + 0.059(B_{2,2} + B_{2,3}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_4 - S_5 = 315 \quad (5^\circ \text{ \acute{e}τος})$$

$$1.0625B_{1,3} + 1.059B_{2,2} + 1.0875B_{3,1} + 0.0625B_{1,4} + 0.059B_{2,3} + 0.0875B_{3,2} + 1.04S_5 - S_6 = 460 \quad (6^\circ \text{ \acute{e}τος})$$

$$1.0625B_{1,4} + 1.059B_{2,3} + 1.0875B_{3,2} + 1.04S_6 - S_7 = 640 \quad (7^\circ \text{ \acute{e}τος})$$

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα χρηματοδότησης δεν έχουμε περιορισμούς ως προς τις αποταμιεύσεις. Αυτό μπορεί να αλλάξει εύκολα αν για κάποιο έτος απαιτείται να αποταμιευθεί και να επενδυθεί κάποιο συγκεκριμένο χρηματικό πόσο διατυπώνοντας κατάλληλους περιορισμούς. Το συγκεκριμένο πρόβλημα διατυπώνεται συνολικά ως εξής:

$$\text{Min} z = F$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$F - 1.055B_{1,1} - 1B_{2,1} - 1.250B_{3,1} - S_1 = 190$$

$$0.0625B_{1,1} + 0.059B_{2,1} + 0.0875B_{3,1} + 1.04S_1 - 1.055B_{1,2} - 1B_{2,2} - 1.250B_{3,2} - S_2 = 215$$

$$0.0625(B_{1,1} + B_{1,2}) + 0.059(B_{2,1} + B_{2,2}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_2 - 1.055B_{1,3} - 1B_{2,3} - S_3 = 240$$

$$1.0625B_{1,1} + 0.0625(B_{1,2} + B_{1,3}) + 0.059(B_{2,1} + B_{2,2} + B_{2,3}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_3 - 1.055B_{1,4} - S_4 = 285$$

$$1.0625B_{1,2} + 1.059B_{2,1} + 0.0625B_{1,3} + 0.059(B_{2,2} + B_{2,3}) + 0.0875(B_{3,1} + B_{3,2}) + 1.04S_4 - S_5 = 315$$

$$1.0625B_{1,3} + 1.059B_{2,2} + 1.0875B_{3,1} + 0.0625B_{1,4} + 0.059B_{2,3} + 0.0875B_{3,2} + 1.04S_5 - S_6 = 460$$

$$1.0625B_{1,4} + 1.059B_{2,3} + 1.0875B_{3,2} + 1.04S_6 - S_7 = 640$$

$$F, B_{i,j}, S_i \geq 0$$

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η επιχείρηση πρέπει να συγκεντρώσει 1.825.991,5€ (1825,99X1000) για να καλύψει τις απαιτούμενες πληρωμές. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.8 η επίλυση του προβλήματος μέσα από το Excel Solver, η επιχείρηση πρέπει να αγοράσει 767 ομόλογα τύπου 1 την πρώτη χρονιά, 399 την τρίτη και 574 την τέταρτη. Ομοίως πρέπει να αγοράσει 240 ομόλογα τύπου 2 την πρώτη χρονιά και να επενδύσει στην τράπεζα τις αποταμιεύσεις της πρώτης χρονιάς (586.037,2€) και της δεύτερης αντίστοιχα (517.452,2€).

Adjustable Cells

Name	Original Value	Final Value
B1,1	0	767.72
B1,2	0	0.00
B1,3	0	399.17
B1,4	0	574.12
B2,1	0	240.01
B2,2	0	0.00
B2,3	0	0.00
B3,1	0	0.00
B3,2	0	0.00
F	0	1825.99
S1	0	586.04
S2	0	517.45
S3	0	0.00
S4	0	0.00
S5	0	0.00
S6	0	0.00
S7	0	0.00

Target Cell (Min)

Name	Original Value	Final Value
Minf	0	1825.99

Constraints

Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
1ο έτος	190	=190	Not Binding	0.00
2ο έτος	215	=215	Not Binding	0.00
3ο έτος	240	=240	Not Binding	0.00
4ο έτος	285	=285	Not Binding	0.00
5ο έτος	315	=315	Not Binding	0.00
6ο έτος	460	=460	Not Binding	0.00
7ο έτος	610	=610	Not Binding	0.00

Εικόνα 4.8 Επίλυση προγράμματος χρηματοδότησης από το Excel Solver.

Adjustable Cells

Name	Final Value	Reduced Gradient
B1,1	767.72	0
B1,2	0.00	0.001970536
B1,3	399.17	0
B1,4	574.12	0
B2,1	240.01	0
B2,2	0.00	0.001065015
B2,3	0.00	0.011173182
B3,1	0.00	0.167920821
B3,2	0.00	0.149127187
F	1825.99	0
S1	586.04	0
S2	517.45	0
S3	0.00	0.007282069
S4	0.00	0.060322762
S5	0.00	0.052993305
S6	0.00	0.058960225
S7	0.00	0.624775858

Constraints

Name	Final Value	Lagrange Multiplier
1ο έτος	190	1
2ο έτος	215	0.9615385
3ο έτος	240	0.9245563
4ο έτος	285	0.8819944
5ο έτος	315	0.7900687
6ο έτος	460	0.7087266
7ο έτος	610	0.6247753

Εικόνα 4.9 Ανάλυση ευαισθησίας προγράμματος χρηματοδότησης.

Από την ανάλυση ευαισθησίας που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.9 προκύπτει ότι για να είναι συμφέρον για την επιχείρηση να αγοράσει ομόλογα τύπου 3 το πρώτο έτος, αυτά θα πρέπει να κοστίζουν 1,082€ (= 1,250 - 0,167) ενώ για να τα αγοράσει το δεύτερο έτος αυτά θα πρέπει να κοστίζουν 1,10€ (=1,250 - 0,149). Από τη δυϊκή τιμή των περιορισμών προκύπτει ότι επιχείρηση θα πρέπει να συγκεντρώσει 961,53€ (0,96153x1000) πρόσθετο

αρχικό κεφάλαιο αν το δεύτερο έτος πρέπει να πληρώσει 1000€ (=1x1000) παραπάνω. Ομοίως αν πρέπει να πληρώσει 1000€ παραπάνω το τρίτο και τέταρτο έτος θα πρέπει να συγκεντρώσει πρόσθετο αρχικό κεφάλαιο κατά 924,55€ και 881,99€ αντίστοιχα. Όπως γίνεται αντιληπτό οι δυϊκές τιμές του προβλήματος μειώνονται από τα πρώτα έτη προς τα τελευταία, γεγονός που σημαίνει ότι αυξήσεις πληρωμών στα τελευταία έτη έχουν μικρότερη επίδραση στην αρχική συγκέντρωση του κεφαλαίου. Έτσι λοιπόν είναι πιο οικονομικό μια επιχείρηση να προγραμματίζει τις υψηλότερες πληρωμές στο τέλος ενός προγράμματος χρηματοδότησης.

4.6. Διαχείριση εσόδων (Revenue management)

Η διαχείριση εσόδων ή Revenue Management (RM) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες της Διοικητικής Επιστήμης και χαρακτηρίζεται ως η εφαρμογή αλγόριθμων βελτιστοποίησης και στρατηγικών τιμολόγησης ώστε να διατεθεί η κατάλληλη ποσότητα και ποιότητα προϊόντος στον κατάλληλο πελάτη, την κατάλληλη χρονική στιγμή, στην κατάλληλη τιμή³. Η διαχείριση εσόδων αποσκοπεί στον καθορισμό μιας ποικιλίας τιμών για το ίδιο προϊόν με βάση τις προβλέψεις της μελλοντικής ζήτησης και της συμπεριφοράς των καταναλωτών με σκοπό την μεγιστοποίηση των εσόδων. Πιο συγκεκριμένα πελάτες με ευαισθησία ως προς την τιμή μπορούν να αγοράσουν σε περιόδους με μικρή ζήτηση σε χαμηλή τιμή, ενώ πελάτες με μικρότερη ευαισθησία αγοράζουν σε περιόδους αιχμής σε υψηλότερη τιμή.

Η διαχείριση εσόδων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου:

- η δυναμικότητα είναι σταθερή
- η αγορά μπορεί να τμηματοποιηθεί με σχετική σαφήνεια
- τα αποθέματα χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό φθοράς
- η υπηρεσία δεν μπορεί να αποθηκευτεί με κανένα τρόπο
- οι υπηρεσίες πωλούνται εκ των προτέρων
- το οριακό κόστος παραγωγής μίας μονάδας είναι σχετικά μεγαλύτερο από το οριακό κόστος πώλησης
- υπάρχει σημαντική διακύμανση της ζήτησης

Η διαχείριση εσόδων εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς της οικονομίας όπου πληρούνται τα παραπάνω κριτήρια όπως σε αεροπορικές εταιρείες, σε ξενοδοχειακές μονάδες, σε μονάδες ενοικίασης οχημάτων, σε εταιρείες παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών κ.ά. Στα πεδία εφαρμογής που αναφέρθηκαν πληρούνται όλα τα παραπάνω κριτήρια οπότε η εφαρμογή της διαχείρισης εσόδων κρίνεται αναγκαία για την αύξηση των εσόδων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις η εφαρμογή μεθόδων Revenue Management στις αερομεταφορές επιτυγχάνει αύξηση εσόδων κατά περίπου 4% έως 5%, ποσοστό πολύ σημαντικό εάν συγκριθεί με την κερδοφορία που επιτυγχάνεται στη διάρκεια μιας οικονομικά καλής χρονιάς.

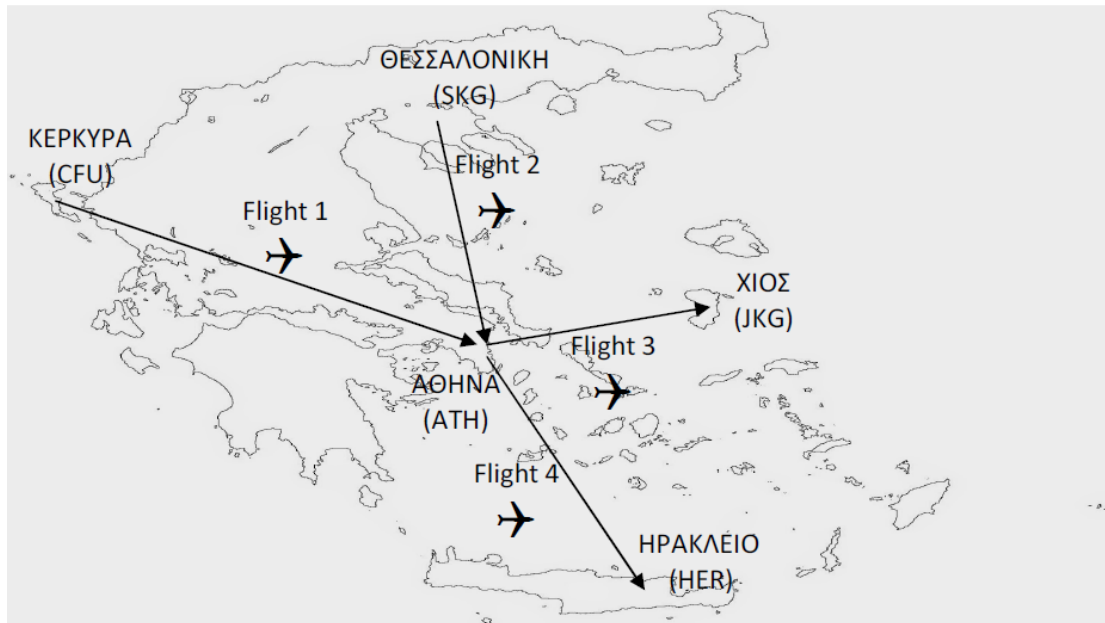
³ S.E. Kimes & J. Wirtz, 2015, Revenue Management: Advanced Strategies and Tools to Enhance Firm Profitability, Foundations and Trends in Marketing, Vol 8, No. 1 page 1-68.

Στην αρχική μορφή της διαχείρισης εσόδων συμπεριλαμβανόταν η πώληση προϊόντων ή υπηρεσιών σε ισάριθμους πελάτες στην τιμή που ικανοποιούσε τον κάθε πελάτη. Σε μετέπειτα χρόνο προστέθηκε στη μέθοδο και ο παράγοντας χρόνος με την προϋπόθεση ότι η πώληση γινόταν σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με δεδομένη τιμή, ενώ στη συνέχεια η μέθοδος εμπλουτίστηκε με τις πωλήσεις μέσω κατάλληλων καναλιών διανομής για να συμπεριληφθούν και οι εταιρείες οι οποίες δραστηριοποιούνται μέσω του διαδικτύου.

Στην αγορά οι πελάτες διαφοροποιούνται από το γεγονός ότι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν διαφορετική τιμή για το ίδιο προϊόν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εταιρείες να κατηγοριοποιούν σε ομάδες τους πελάτες με στόχο να αυξήσουν τις ευκαιρίες για μεγιστοποίηση των εσόδων. Οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν ένα δίλλημα, να πουλήσουν από νωρίς σε χαμηλό κόστος κάποιο προϊόν σε καταναλωτές που είναι αρκετά ευαίσθητοι σε μεταβολές των τιμών ή να περιμένουν να εμφανιστούν πελάτες οι οποίοι είναι λιγότερο ευαίσθητοι σε οποιαδήποτε διακύμανση της τιμής και προτίθενται να πληρώσουν περισσότερα χρήματα. Σε αυτή τη περίπτωση βέβαια υπάρχει και η πιθανότητα να μην εμφανιστούν ποτέ τέτοιου τύπου πελάτες και τα επιπλέον έσοδα να χαθούν. Η μέθοδος του Revenue Management δύναται να ορίσει το κόστος των μονάδων που θα πωληθούν σε διαφορετικές τιμές και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, ώστε να καλύψουν τις διαφορετικές δυνατότητες και τις διαφορετικές αγοραστικές ανάγκες των πελατών με τρόπο που θα αυξήσει τα συνολικά έσοδα της επιχείρησης.

Πολλές φορές οι επιχειρήσεις για να προσεγγίσουν νέους πελάτες εμπλουτίζουν το αρχικό τους προϊόν με την προσθήκη νέων υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα θέσεις σε αεροπορικές εταιρείες τύπου business class, σε ξενοδοχεία διανυκτέρευση σε σουίτες κ.ά. Η δυνατότητα πρόβλεψης της ζήτησης σε μία επιχείρηση όπου υπάρχουν διαφορετικά είδη καταναλωτών με αντίστοιχες διαφορετικές επιθυμίες, για όχι και τόσο ομοιογενή προϊόντα, είναι κρίσιμης σημασίας. Για αυτό το λόγο για να εφαρμοστεί η διαχείριση εσόδων πρέπει οι καταναλωτές να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες και να επιτευχθεί η τμηματοποίηση της αγοράς. Κάθε επιχείρηση λοιπόν θα πρέπει να γνωρίζει και να καταγράφει το καταναλωτικό προφίλ του πελατολογίου της, τις επιθυμίες τους, το ιστορικό τους καθώς και το χρονικό διάστημα που αποφασίζουν να πραγματοποιήσουν τις αγορές τους. Κρίσιμος παράγοντας για την τμηματοποίηση της αγοράς αποτελεί το χρονικό διάστημα κατά το οποίο θα πωληθεί μια υπηρεσία ή ένα προϊόν. Μελέτες έχουν δείξει ότι ευαίσθητοι ως προς την τιμή πελάτες αγοράζουν πολύ νωρίς, ενώ οι λιγότερο ευαίσθητοι αγοράζουν την τελευταία στιγμή. Για αυτές τις δύο διαφορετικές κατηγορίες πελατών οι επιχειρήσεις αναπτύσσουν διαφορετική στρατηγική τιμολόγησης και marketing.

Παρακάτω θα αναλυθεί ένα παράδειγμα διαχείρισης εσόδων που εφαρμόζεται στις αεροπορικές εταιρίες. Για την οικονομία του προβλήματος εξετάζεται η περίπτωση μόνο 5 προορισμών, της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης, της Χίου, του Ηρακλείου και της Κέρκυρας. Οι επιβάτες για να μεταβούν από έναν προορισμό σε έναν άλλο, μπορούν να διαλέξουν ή και να συνδυάσουν κάποιες από τις 4 διαθέσιμες πτήσεις που φαίνονται στην εικόνα 4.10.



Εικόνα 4.10 Απεικόνιση των διαθέσιμων πτήσεων.

Για κάθε ένα σκέλος πτήσης ορίζονται δύο τιμές ναύλων, μία χαμηλή (GoLight – Low fair) όπου η κράτηση πρέπει να γίνει τουλάχιστον 15 ημέρες πριν την πτήση και μία υψηλή (Flex – High fair). Για χάρην απλότητας θεωρούμε ότι η αξία του εισιτηρίου κάθε πτήσης αποτελεί και το καθαρό κέρδος της αεροπορικής εταιρίας. Οι τιμές των εισιτηρίων για τις δύο κατηγορίες ναύλων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.10 και λήφθηκαν από την ιστοσελίδα της Olympic Airways την ημερομηνία 31/01/2017 για πρωινές πτήσεις που θα πραγματοποιηθούν στις 15/03/2017.

Flight/Price (€)	GoLight	Flex
No 1	52.3	74.3
No 2	40.3	60.3
No 3	48.18	68.18
No 4	55.18	77.18

Πίνακας 4.10 Κόστος πτήσεων για χαμηλή και υψηλή κατηγορία ναύλων⁴.

Θεωρούμε ότι για τις 4 πτήσεις υπάρχουν μόνο δύο διαθέσιμα αεροπλάνα τύπου De Havilland DHC-800 400 (Dash 8 Q400) χωρητικότητας 78 ατόμων που είναι τοποθετημένα το ένα στη Θεσσαλονίκη και το άλλο στην Κέρκυρα. Κάθε πρωί τα δύο αεροπλάνα ξεκινούν τις πτήσεις τους κάνοντας αναγκαστική ενδιάμεση στάση για μετεπιβίβαση στην Αθήνα και ακολούθως συνεχίζουν το ταξίδι τους το ένα για τη Χίο και το άλλο για το Ηράκλειο. Με αφετηρία την Θεσσαλονίκη και την Κέρκυρα και με συνδυασμό των 4 βασικών πτήσεων προκύπτουν συνολικά 8 διαφορετικές πτήσεις. Λαμβάνοντας υπόψη τις δύο κατηγορίες ναύλων προκύπτουν συνολικά 16 εναλλακτικές κατηγορίες ναύλων (ODIF). Για χάρην ευκολίας το εισιτήριο για μια συνδυαζόμενη πτήση ισούται με το άθροισμα των δύο πτήσεων. Έτσι λοιπόν για παράδειγμα, για να μεταβεί κάποιος από τη Θεσσαλονίκη στη Χίο

⁴Διαθέσιμο από: [http://www.olympicair.com\[31/01/2017\]](http://www.olympicair.com[31/01/2017]).

με χαμηλό ναύλο (GoLight), θα συνδυάσει την πτήση No 2 Θεσσαλονίκη-Αθήνα (40.3€) και την πτήση No 3 Αθήνα-Χίος (48.18€) και θα πληρώσει συνολικά 88.48€ (=40.3 + 48.18). Οι 16 εναλλακτικές κατηγορίες ναύλων με τα ονόματα των πτήσεων και τις προβλέψεις ζήτησης παρουσιάζονται στον πίνακα 4.11.

ODIF	Πτήση	Κατηγορία ναύλου	Τιμή ναύλου (€)	Πρόβλεψη
F1	Cor-Ath	L	52.3	35
F2	Cor-Chi	L	100.48	12
F3	Cor-Her	L	107.48	16
F4	Cor-Ath	H	74.3	18
F5	Cor-Chi	H	142.48	5
F6	Cor-Her	H	151.48	7
F7	The-Ath	L	40.3	42
F8	The-Chi	L	88.48	20
F9	The-Her	L	95.48	25
F10	The-Ath	H	60.3	26
F11	The-Chi	H	128.48	6
F12	The-Her	H	137.48	8
F13	Ath-Chi	L	48.18	16
F14	Ath-Chi	H	68.18	7
F15	Ath-Her	L	55.18	23
F16	Ath-Her	H	77.18	12

Πίνακας 4.11 Τιμές ναύλων και πρόβλεψη ζήτησης για όλες τις συνδυαζόμενες πτήσεις.

Η εταιρία πρέπει να καθορίσει τη βέλτιστη κατανομή θέσεων ανάμεσα στις πτήσεις καθώς και να διαμορφώσει την τιμή των ναύλων που συμφέρει την εταιρεία να λαμβάνει το ρίσκο να πραγματοποιεί υπεράριθμες κρατήσεις. Ορίζουμε ως μεταβλητές απόφασης F1,F2,...F16 τον αριθμό θέσεων χαμηλού και υψηλού ναύλου για όλες τις πτήσεις που φαίνονται στον πίνακα 4.11. Για την επίλυση του προβλήματος πρέπει πρώτα να διαμορφωθεί η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποίησης του κέρδους της αεροπορικής εταιρείας σύμφωνα με τις τιμές των ναύλων των πτήσεων όπως παρακάτω:

$$\begin{aligned} MaxZ = & 52.3 \cdot F1 + 100.48 \cdot F2 + 107.48 \cdot F3 + 74.3 \cdot F4 + 142.48 \cdot F5 + 151.48 \cdot F6 \\ & + 40.3 \cdot F7 + 88.48 \cdot F8 + 95.48 \cdot F9 + 60.3 \cdot F10 + 128.48 \cdot F11 \\ & + 137.48 \cdot F12 + 48.48 \cdot F13 + 68.18 \cdot F14 + 55.18 \cdot F15 + 77.18 \cdot F16 \end{aligned}$$

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω η χωρητικότητα των αεροπλάνων είναι 78 άτομα, επομένως για κάθε σκέλος κάθε πτήσης οι επιβάτες δεν πρέπει να υπερβαίνουν τον αριθμό αυτό. Για το πρώτο σκέλος πτήσης όπου ξεκινάει από την Κέρκυρα με προορισμό την Αθήνα, πρέπει όλα τα συνδυαζόμενα με αυτό δρομολόγια (Κέρκυρα - Αθήνα, Κέρκυρα-Χίος, Κέρκυρα-Ηράκλειο) να μην ξεπερνούν τους 78 επιβάτες. Στην κατανομή των κρατήσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι δύο κατηγορίες ναύλων για κάθε πτήση. Ο πρώτος περιορισμός που αφορά το πρώτο σκέλος πτήσης (Κέρκυρα - Αθήνα) διαμορφώνεται ως εξής:

$$F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6 \leq 78 \quad 1^{ος} \text{ (Σκέλος Κέρκυρα - Αθήνα)}$$

Ομοίως διαμορφώνονται και οι περιορισμοί για τις υπόλοιπες πτήσεις:

$$F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 \leq 78 \quad 2^{\text{ος}} \text{ (Σκέλος Θεσσαλονίκη - Αθήνα)}$$

$$F2 + F5 + F8 + F11 + F13 + F14 \leq 78 \quad 3^{\text{ος}} \text{ (Σκέλος Αθήνα - Χίος)}$$

$$F3 + F6 + F9 + F12 + F15 + F16 \leq 78 \quad 4^{\text{ος}} \text{ (Σκέλος Αθήνα - Ηράκλειο)}$$

Επίσης ο αριθμός των επιβατών σε κάθε μία από τις 16 πτήσεις δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την πρόβλεψη ζήτησης, επομένως για την πρώτη πτήση πρέπει να ισχύει:

$$F1 \leq 35 \quad 5^{\text{ος}}$$

Συνολικά λοιπόν το πρόβλημα βέλτιστης κατανομής των κρατήσεων διατυπώνεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Max} Z = & 52.3 \cdot F1 + 100.48 \cdot F2 + 107.48 \cdot F3 + 74.3 \cdot F4 + 142.48 \cdot F5 + 151.48 \cdot F6 \\ & + 40.3 \cdot F7 + 88.48 \cdot F8 + 95.48 \cdot F9 + 60.3 \cdot F10 + 128.48 \cdot F11 \\ & + 137.48 \cdot F12 + 48.48 \cdot F13 + 68.18 \cdot F14 + 55.18 \cdot F15 + 77.18 \cdot F16 \end{aligned}$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6 \leq 78 \quad 1^{\text{ος}}$$

$$F7 + F8 + F9 + F10 + F11 + F12 \leq 78 \quad 2^{\text{ος}}$$

$$F2 + F5 + F8 + F11 + F13 + F14 \leq 78 \quad 3^{\text{ος}}$$

$$F3 + F6 + F9 + F12 + F15 + F16 \leq 78 \quad 4^{\text{ος}}$$

$$F1 \leq 35 \quad 5^{\text{ος}}$$

$$F2 \leq 12 \quad 6^{\text{ος}}$$

$$F3 \leq 16 \quad 7^{\text{ος}}$$

$$F4 \leq 18 \quad 8^{\text{ος}}$$

$$F5 \leq 5 \quad 9^{\text{ος}}$$

$$F6 \leq 7 \quad 10^{\text{ος}}$$

$$F7 \leq 42 \quad 11^{\text{ος}}$$

$$F8 \leq 20 \quad 12^{\text{ος}}$$

$$F9 \leq 25 \quad 13^{\text{ος}}$$

$$F10 \leq 26 \quad 14^{\text{ος}}$$

$$F11 \leq 6 \quad 15^{\text{ος}}$$

$$F12 \leq 8 \quad 16^{\text{ος}}$$

$$F13 \leq 16 \quad 17^{\text{ος}}$$

$$F14 \leq 7 \quad 18^{0c}$$

$$F15 \leq 23 \quad 19^{0c}$$

$$F16 \leq 12 \quad 20^{0c}$$

Από την επίλυση του προβλήματος μέσω του Excel Solver προκύπτει ότι το μέγιστο κέρδος της αεροπορικής εταιρίας είναι 17120,72€. Η βέλτιστη κατανομή των θέσεων σε όλες τις πτήσεις παρουσιάζεται στην εικόνα 4.11.

Target Cell (Max)			Constraints				
Name	Final Value		Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
MaxZ	17120.72		1ος	78	≤78	Binding	0
Adjustable Cells			2ος	78	≤78	Binding	0
Name	Flight	Final Value	3ος	66	≤78	Not Binding	12
F1	Cor-Ath (L)	20	4ος	78	≤78	Binding	0
F2	Cor-Chi (L)	12	5ος	20	≤35	Not Binding	15
F3	Cor-Her (L)	16	6ος	12	≤12	Binding	0
F4	Cor-Ath (H)	18	7ος	16	≤16	Binding	0
F5	Cor-Chi (H)	5	8ος	18	≤18	Binding	0
F6	Cor-Her (H)	7	9ος	5	≤5	Binding	0
F7	The-Ath (L)	0	10ος	7	≤7	Binding	0
F8	The-Chi (L)	20	11ος	0	≤42	Not Binding	42
F9	The-Her (L)	18	12ος	20	≤20	Binding	0
F10	The-Ath (H)	26	13ος	18	≤25	Not Binding	7
F11	The-Chi (H)	6	14ος	26	≤26	Binding	0
F12	The-Her (H)	8	15ος	6	≤6	Binding	0
F13	Ath-Chi (L)	16	16ος	8	≤8	Binding	0
F14	Ath-Chi (H)	7	17ος	16	≤16	Binding	0
F15	Ath-Her (L)	17	18ος	7	≤7	Binding	0
F16	Ath-Her (H)	12	19ος	17	≤23	Not Binding	6
			20ος	12	≤12	Binding	0

Εικόνα 4.11 Επίλυση προβλήματος βέλτιστης κατανομής θέσεων.

Σημαντικές πληροφορίες δίνει η ανάλυση ευαισθησίας του προβλήματος που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.12. Συγκεκριμένα αν κάποιος επιβάτης επιθυμεί να πραγματοποιήσει κάποια κράτηση για μία πτήση σε διάστημα μικρότερο των 15 ημερών από την ημέρα πτήσης, είναι υποχρεωμένος να κάνει κράτηση σε ναύλο υψηλής χρέωσης. Αν οι θέσεις για κάποιες πτήσεις έχουν εξαντληθεί τότε συμφέρει την εταιρεία να αποφασίσει να πραγματοποιήσει υπεράριθμες κρατήσεις σε πτήσεις όπου η δυϊκή τιμή είναι αρκετά μεγάλη. Παρατηρώντας τις δυϊκές τιμές των πτήσεων για υψηλή κατηγορία ναύλων (H) συμπεραίνουμε ότι μεγαλύτερη τιμή εμφανίζεται στην πτήση Κέρκυρα – Χίος με 90.18€. Αυτό συνεπάγεται ότι η εταιρία αν είχε μία ακόμα διαθέσιμη θέση για την συγκεκριμένη πτήση θα μεγιστοποιούσε το κέρδος της κατά 90.18€. Επομένως αν η εταιρία αποφάσιζε να πραγματοποιήσει υπεράριθμες κρατήσεις (overbooking) τότε θα προτιμούσε να τις πραγματοποιήσει στις πτήσεις Κέρκυρα-Χίος (90.18€) και Θεσσαλονίκη-Χίος (88.18€).

Adjustable Cells

Name	Flight	Final Value	Reduced Gradient
F1	Cor-Ath (L)	20	0
F2	Cor-Chi (L)	12	0
F3	Cor-Her (L)	16	0
F4	Cor-Ath (H)	18	0
F5	Cor-Chi (H)	5	0
F6	Cor-Her (H)	7	0
F7	The-Ath (L)	0	-4.8E-06
F8	The-Chi (L)	20	0
F9	The-Her (L)	18	0
F10	The-Ath (H)	26	0
F11	The-Chi (H)	6	0
F12	The-Her (H)	8	0
F13	Ath-Chi (L)	16	0
F14	Ath-Chi (H)	7	0
F15	Ath-Her (L)	17	0
F16	Ath-Her (H)	12	0

Constraints

Name	Flight	Final Value	Lagrange Multiplier
1ος	-	78	52.30
2ος	-	78	40.30
3ος	-	66	0.00
4ος	-	78	55.18
5ος	Cor-Ath (L)	20	0.00
6ος	Cor-Chi (L)	12	48.18
7ος	Cor-Her (L)	16	0.00
8ος	Cor-Ath (H)	18	22.00
9ος	Cor-Chi (H)	5	90.18
10ος	Cor-Her (H)	7	44.00
11ος	The-Ath (L)	0	0.00
12ος	The-Chi (L)	20	48.18
13ος	The-Her (L)	18	0.00
14ος	The-Ath (H)	26	20.00
15ος	The-Chi (H)	6	88.18
16ος	The-Her (H)	8	42.00
17ος	Ath-Chi (L)	16	48.18
18ος	Ath-Chi (H)	7	68.18
19ος	Ath-Her (L)	17	0.00
20ος	Ath-Her (H)	12	22.00

Εικόνα 4.12 Ανάλυση ευαισθησίας προβλήματος κατανομής θέσεων.

5. Προγραμματισμός MatLab

5.1. Εισαγωγή

Όλα τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλύθηκαν είτε με το Excel Solver είτε με το MatLab. Τα σύνθετα προβλήματα του 3^{ου} κεφαλαίου που αφορούν το σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, τον προγραμματισμό των διανομών καθώς και της δρομολόγησης των οχημάτων επιλύθηκαν με το MatLab. Τα προβλήματα αυτά είναι αρκετά πολύπλοκα και περιέχουν μεγάλο πλήθος μεταβλητών και περιορισμών. Τα προβλήματα αντιμετωπίστηκαν πλήρως δυναμικά και παραμετρικά και για την καλύτερη αντιμετώπιση των προβλημάτων κρίθηκε σκόπιμο να συνταχθούν αλγόριθμοι σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab. Ο χρήστης ορίζει ο ίδιος το πλήθος και τις τιμές των μεταβλητών με αποτέλεσμα να μπορεί να επιλύσει δυναμικά οποιαδήποτε αριθμητική εφαρμογή επιθυμεί. Στα επόμενα εδάφια θα παρουσιαστούν περιληπτικά οι τρεις βασικοί αλγόριθμοι που συντάχθηκαν, ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν καθώς και ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα δεδομένα για την επίλυση των προβλημάτων.

5.2. MatLab

Για την δημιουργία των δυναμικών προγραμμάτων επιλέχτηκε η MatLab ως η καταλληλότερη γλώσσα προγραμματισμού καθώς συγκεντρώνει πληθώρα πλεονεκτημάτων έναντι άλλων γλωσσών προγραμματισμού. Η MatLab είναι μια προγραμματιστική γλώσσα τέταρτης γενιάς υψηλού επιπέδου και θεωρείται από τις πλέον διαδεδομένες και μοντέρνες γλώσσες. Απέκτησε εμπορική χρήση το 1984 από τη Mathworks και σήμερα η λειτουργία της βασίζεται στην C++ και στην Java. Η MatLab είναι απλή και εύκολη στη διατύπωση της αποθηκεύει και εκτελεί πράξεις με βάση την μητρική άλγεβρα και θεωρείται ιδανική για Μηχανικούς. Η MatLab θεωρείται μία ολοκληρωμένη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση επιστημονικών υπολογισμών και την επίλυση σύνθετων μαθηματικών προβλημάτων όσο και για προγραμματισμό καθώς περιέχει εντολές όπως την while, την switch, και την if. Η MatLab περιέχει ενσωματωμένο περιβάλλον γραφικών, αριθμεί πάνω από χίλιες συναρτήσεις και περιλαμβάνει εκατό περίπου εργαλείοθκες. Η Mathworks ανακοίνωσε πως το 2004 περισσότεροι από ένα εκατομμύριο άνθρωποι σε όλο τον κόσμο από την ακαδημαϊκή κοινότητα και από τη βιομηχανία χρησιμοποιούν τη MatLab για τις ανάγκες τους⁵.

Το MatLab αποτελεί ένα εξελιγμένο υπολογιστικό εργαλείο το οποίο βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της επιστήμης όπως για παράδειγμα στη μηχανική, την ιατρική, τις θετικές επιστήμες, την οικονομία και γενικότερα στη βιομηχανική παραγωγή. Το φάσμα εφαρμογών συνεχώς αυξάνεται και σήμερα έχουν μοντελοποιηθεί στο συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού πολλές εξειδικευμένες εφαρμογές από διάφορες εταιρείες και οργανισμούς. Συγκεκριμένα το MatLab χρησιμοποιείται για συστήματα αυτόματου ελέγχου της NASA, για ψηφιακή επεξεργασία σημάτων τηλεπικοινωνίας (Samsung), για μετρήσεις και ανάλυση δεδομένων σε αγώνες αυτοκινήτων (Newman Hass Racing), για ανάλυση δεσμών DNA και αποκωδικοποίηση γενετικού υλικού καθώς και για μοντελοποίηση εξειδικευμένων οικονομικών εφαρμογών.

⁵ X.N. Στεφανάκος, 2011, Προγραμματίζοντας σε MatLab, Συμμετρία, Αθήνα, σελ 36.

Για την σύνταξη των αλγορίθμων σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab χρησιμοποιήθηκε η έκδοση R2016b του προγράμματος. Τα πλεονεκτήματα και οι δυνατότητες του MatLab εμφανίζονται συνοπτικά παρακάτω:

- Υψηλή απόδοση και ταχύτητα υπολογιστικών αναλύσεων.
- Δυνατότητα υλοποίησης αλγορίθμων.
- Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών συστημάτων.
- Υψηλής ποιότητας γραφικές απεικονίσεις και animations.
- Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με πληθώρα άλλων προγραμμάτων και εφαρμογών.
- Δυνατότητα σύνδεσης με διάφορες συσκευές καταγραφής.
- Φιλικό προς το χρήστη.
- Διαδραστικός χαρακτήρας.
- Ενσωματωμένο γραφικό περιβάλλον.

5.3. Αλγόριθμος OPTSCM

Ο αλγόριθμος OPTSCM (Optimization of Supply Chain Management) συντάχθηκε για την επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού της εφοδιαστικής αλυσίδας που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.2. Ο αλγόριθμος OPTSCM βελτιστοποιεί το σχεδιασμό μια αλυσίδας εφοδιασμού, ορίζει ποιά εργοστάσια και ποιές αποθήκες θα παραμείνουν σε λειτουργία και υπολογίζει τις βέλτιστες ποσότητες μεταφερόμενων προϊόντων από τον ένα κόμβο του δικτύου στους υπολοίπους με στόχο τη συνολική μείωση του σταθερού και μεταβλητού κόστους. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός προγραμματισμός σε συνδυασμό με τον ακέραιο προγραμματισμό. Το κύριο εργαλείο επίλυσης του αλγορίθμου αποτελεί η συνάρτηση 'intlinprog' από την βιβλιοθήκη επίλυσης 'optimization toolbox' που περιέχεται στο MatLab και επιλύει μεικτά προβλήματα γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού. Η συνάρτηση 'intlinprog' ορίζεται ως εξής:

$$[x, fval] = \text{intlinprog}(C, \text{intcon}, A, b, Aeq, beq, lb, ub)$$

όπου [x] το διάνυσμα με τις τιμές που λαμβάνουν οι μεταβλητές μετά την επίλυση του προβλήματος και fval η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Η συνάρτηση επιλύει το παρακάτω πρόβλημα ελαχιστοποίησης:

$$\min(fval) = C \cdot x$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$A \cdot x \leq b$$

$$Aeq \cdot x = beq$$

$$lb \leq x \leq ub$$

Η συνάρτηση λαμβάνει ως ορίσματα τα διανύσματα C, intcon, A, b, Aeq, beq, lb και ub. Το διάνυσμα C περιλαμβάνει τους συντελεστές των μεταβλητών της αντικειμενικής συνάρτησης, που αντιπροσωπεύουν τα μεταβλητά κόστη μεταφοράς από τον έναν κόμβο

του δικτύου στους υπολοίπους και τα σταθερά κόστη λειτουργίας των μονάδων. Το διάνυσμα `intcon` ορίζει ποιές μεταβλητές θα είναι ακέραιες και ποιές συνεχείς και διαμορφώνεται αυτόματα μέσα στον αλγόριθμο. Οι πίνακες `[A]` και `[Aeq]` περιέχουν τους συντελεστές των μεταβλητών των περιορισμών ισοτήτων και ανισοτήτων και τα διανύσματα `[b]` και `[beq]` περιλαμβάνουν αντίστοιχα τις σταθερές τιμές των δεξιών τμημάτων των περιορισμών που αφορούν τις δυναμικότητες των μονάδων. Τέλος τα διανύσματα `[lb]` και `[ub]` περιλαμβάνουν τα κάτω και άνω όρια των μεταβλητών απόφασης. Όλα τα παραπάνω διανύσματα μορφώνονται αυτόματα από τον αλγόριθμο με βάση τα δεδομένα που εισάγει ο χρήστης.

Τα δεδομένα και η μορφή που αυτά πρέπει να έχουν για να εισαχθούν στον αλγόριθμο για την επίλυση της αριθμητικής εφαρμογής των εταιρειών Dunlop και Michelin της παραγράφου 3.2 αναλύονται παρακάτω. Τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν είτε μέσω του Editor, είτε μέσω του Workspace στο MatLab. Για την εκτέλεση του αλγορίθμου OPTSCM αρχικά δίνεται ο αριθμός των κόμβων σε κάθε επίπεδο του δικτύου εφοδιασμού. Έτσι λοιπόν δίνονται με την σειρά οι εξής μεταβλητές:

$n1 = 3$ (αριθμός προμηθευτών)

$n2 = 5$ (αριθμός εργοστασίων)

$n3 = 5$ (αριθμός αποθηκών)

$n4 = 6$ (αριθμός αγορών)

Στη συνέχεια δίνονται τρεις πίνακες με τα μεταβλητά κόστη μεταφοράς σε κάθε επίπεδο του δικτύου εφοδιασμού. Πιο συγκεκριμένα δίνονται τα κόστη μεταφοράς από τους προμηθευτές προς τα εργοστάσια στον πίνακα `Cost1[n1,n2]`, από τα εργοστάσια προς τις αποθήκες στον πίνακα `Cost2[n2,n3]` και από τις αποθήκες προς στους τελικούς καταναλωτές στον πίνακα `Cost3[n3,n4]`. Ο χρήστης επίσης πρέπει να δώσει έναν μονοδιάστατο πίνακα με όνομα `Cost4[n1]` που θα περιέχει τις δυναμικότητες των προμηθευτών με τη σειρά που έχουν εισαχθεί στο δίκτυο. Ομοίως εισάγεται ένας δισδιάστατος πίνακας με την ονομασία `Cost5[2,n2]`, όπου στην πρώτη γραμμή περιλαμβάνονται τα σταθερά κόστη λειτουργίας των εργοστασίων και στη δεύτερη οι δυναμικότητες τους. Αντίστοιχα εισάγεται ο πίνακας `Cost6[2,n3]`, όπου στην πρώτη γραμμή εισάγονται τα σταθερά κόστη λειτουργίας των αποθηκών ενώ στη δεύτερη η αποθηκευτική ικανότητά τους. Τέλος ορίζεται το διάνυσμα `Cost7[n4]` που περιέχει τη ζήτηση κάθε καταναλωτή.

Σε περίπτωση όπου κάποιο δίκτυο έχει διαφορετική μορφή από αυτή που περιγράφηκε παραπάνω και δεν περιλαμβάνει κάποιο επίπεδο όπως π.χ. των προμηθευτών ή των αποθηκών, τότε πρέπει να δοθεί στα δεδομένα τουλάχιστον ένας πλασματικός κόμβος στο συγκεκριμένο επίπεδο με μηδενικό κόστος για να επιτευχθεί η επίλυση του αλγορίθμου. Ομοίως αν σε κάποιο άξονα δεν επιτρέπεται η μεταφορά προϊόντων ή έχει διακοπή προσωρινά για κάποιον λόγο τότε πρέπει στο αντίστοιχο κόστος να δοθεί μία πολύ μεγάλη τιμή ώστε να αποκλειστεί «λογιστικά» οποιαδήποτε μεταφορά μέσα από τον συγκεκριμένο άξονα. Τα δεδομένα όπως αυτά εισήχθησαν στον αλγόριθμο για το παράδειγμα της Dunlop και της Michelin φαίνονται παρακάτω:

40	80	80	150	80
30	70	80	200	110
50	60	50	120	50

Πίνακας 5.1 Πίνακας δεδομένων 'Cost1' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

780	630	1140	720	940
640	710	1240	1310	970
720	970	1900	1150	940
2050	2140	1840	1420	1560
1130	950	1080	1280	780

Πίνακας 5.2 Πίνακας δεδομένων 'Cost2' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

1675	400	685	1630	1160
380	1355	543	1045	665
922	1646	700	508	311
1460	1940	970	100	495
1925	2400	1425	500	950

Πίνακας 5.3 Πίνακας δεδομένων 'Cost3' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

18	26	22
----	----	----

Πίνακας 5.4 Πίνακας δεδομένων 'Cost4' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

7800	4250	2350	3650	5150
16	20	30	22	25

Πίνακας 5.5 Πίνακας δεδομένων 'Cost5' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

5250	4250	8350	4300	4100
15	17	10	10	14

Πίνακας 5.6 Πίνακας δεδομένων 'Cost6' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

10	8	14	6	7	11
----	---	----	---	---	----

Πίνακας 5.7 Πίνακας δεδομένων 'Cost7' για τον αλγόριθμο OPTSCM.

Ο αλγόριθμος δημιουργεί αυτόματα τα διανύσματα C, A, Aeq, b και beq ώστε να εκτελεστεί ο αλγόριθμος και να υπολογιστεί η βέλτιστη λύση. Ένα απόσπασμα από τον κώδικα φαίνεται παρακάτω:

```
%Δημιουργία διανύσματος C
C=zeros(1,Nvar);

for i=1:n1;
    for j=1,n2;
        C(1,j+(i-1)*n2)=Cost1(i,j);
    end

for i=1:n2;
    for j=1:n3;
        C(1,n1*n2+j+(i-1)*n3)=Cost2(i,j);
    end
end
```

```

for i=1:n3;
    for j=1:n4;
        C(1,n1*n2+n2*n3+j+(i-1)*n4)=Cost3(i,j);
    end
end

for i=1:n2;
    C(1,Nreal+i)=Cost5(1,i);
end

for i=1:n3
    C(Nreal+n2+i)=Cost6(1,i);
end

```

Παρακάτω εμφανίζεται τμήμα του κώδικα όπου γίνεται η διαμόρφωση του πίνακα [A] για τους τρεις πρώτους περιορισμούς:

```

A=zeros(Nconstr,Nvar);
b=zeros(1,Nconstr);

%περιορισμοί τύπου 1
for i=1:n1;
    b(1,i)=Cost4(1,i);
    for j=1:n2
        A(i,(i-1)*n2+j)=1;
    end
end

%περιορισμοί τύπου 2
for i=1:n2;
    for j=1:n1;
        A(n1+i,i+n2*(j-1))=-1;
    end
    for k=1:n3;
        A(n1+i,n1*n2+k+n3*(i-1))=1;
    end
    b(1,n1+i)=0;
end

%περιορισμοί τύπου 3
for i =1:n2;
    b(n1+n2+i)=0;
    for j=1:n3;
        A(n1+n2+i,n1*n2+j+n3*(i-1))=1;
    end
    A(n1+n2+i,Nreal+i)=-Cost5(2,i);
end

```

Στο τέλος του αλγορίθμου ορίζονται τα πάνω και κάτω όρια των μεταβλητών και καλείται η συνάρτηση `intlinprog`.

```

lb=zeros(Nvar,1);
ub=zeros(Nvar,1);
ub(1:Nreal)=inf;
ub(Nreal+1:Nvar)=1;

```

```

intcon=Nreal+1:Nvar;
options.LPMaxIterations = 6e6
[x,fval] = intlinprog(C,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub)

```

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου προκύπτει η δομή του δικτύου, το ελάχιστο συνολικό κόστος της εφοδιαστικής αλυσίδας καθώς και οι μεταφερόμενες ποσότητες σε κάθε άξονα μεταφοράς. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να παρουσιαστούν είτε με τη μορφή πινάκων είτε μέσω γραφικής απεικόνισης όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2 του κεφαλαίου 3.

5.4.Αλγόριθμος VRP

Ο αλγόριθμος VRP (Vehicle Routing Problem) επιλύει το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων για την μεταφορά των προϊόντων που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3 και υπολογίζει τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό οχημάτων και τις διαδρομές που πρέπει να πραγματοποιήσει κάθε ένα από αυτά. Ο αλγόριθμος συντάχθηκε σε προγραμματιστικό περιβάλλον MatLab και είναι πλήρως δυναμικός αφού ο χρήστης μπορεί να επιλύσει οποιοδήποτε πρόβλημα επιθυμεί με βάση τα δεδομένα που θα εισάγει. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός προγραμματισμός σε συνδυασμό με τον ακέραιο προγραμματισμό. Το κύριο εργαλείο επίλυσης αποτελεί όπως και στον αλγόριθμο OPTSCM η συνάρτηση 'intlinprog' από την βιβλιοθήκη επίλυσης 'optimization toolbox' του MatLab. Παρακάτω θα παρουσιαστεί συνοπτικά ο αλγόριθμός και ο τρόπος με τον οποίο ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα δεδομένα.

Όπως περιγράφηκε και στην παράγραφο 3.3 το πρόβλημα της δρομολόγησης αναπαριστάται σαν ένα πρόβλημα δύο διαστάσεων και επιλύεται με τη θεωρία των δικτύων. Η βασική συνθήκη για την επίλυση του προβλήματος είναι ότι κάθε μέρα σε κάθε κόμβο (πόλη) του δικτύου, ο αριθμός των εξερχόμενων οχημάτων θα είναι ίσος με τον αριθμό των εισερχομένων οχημάτων. Για την επίλυση του προβλήματος γίνονται δεκτές τριών ειδών λύσεων για τα οχήματα. Έτσι λοιπόν μπορεί να πραγματοποιηθούν δρομολόγια φορτωμένων οχημάτων, δρομολόγια άδειων οχημάτων μεταξύ δύο πόλεων ώστε να πραγματοποιήσουν κάποια μεταφορά την επόμενη μέρα και περιπτώσεις όπου κάποιο όχημα πρέπει να παραμείνει παρκαρισμένο σε κάποια πόλη για μία ολόκληρη μέρα. Ο αλγόριθμος επιλύει δυναμικά το πρόβλημα για οποιοδήποτε αριθμό πόλεων N και για οποιοδήποτε πρόγραμμα μεταφορών διάρκειας ημερών $Ndays$.

Στο συγκεκριμένο πρόβλημα υπάρχουν μόνο περιορισμοί ισότητας (αριθμός εισερχομένων οχημάτων = αριθμός εξερχομένων οχημάτων) επομένως το πρόβλημα ελαχιστοποίησης θα έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\min(fval) = C \cdot x$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$Aeq \cdot x = beq$$

$$lb \leq x \leq ub$$

Εφόσον δεν υπάρχουν περιορισμοί ανισότητας η συνάρτηση 'intlinprog' καλείται ως εξής:

```
[x, fval] = intlinprog(C, intcon, [], [], A, b, lb, ub)
```

όπου οι πίνακες [Aeq] και [beq] έχουν μετονομαστεί σε [A] και [b] αντίστοιχα.

Αρχικά ο χρήστης πρέπει να εισάγει τον αριθμό των κόμβων N και τη διάρκεια του προγράμματος μεταφορών Ndays ώστε να οριστούν οι διαστάσεις και η μορφή του προβλήματος. Στη συνέχεια εισάγονται τα κόστη δρομολογίων των φορτωμένων οχημάτων (Kf), των άδειων οχημάτων (Ka) και το κόστος των παρκαρισμένων (Kp) για μια ημέρα οχημάτων. Ο αλγόριθμος αρχικά υπολογίζει το διάνυσμα C της αντικειμενικής συνάρτησης όπως εμφανίζεται παρακάτω:

```
cost1=Kf
cost2=Ka
cost3=Kp
% N1=N*(N-1)*Ndays
% N2=Ndays*N
% Nvar = 2*N1 + 2*N2
N1=N*N*Ndays
Nvar = 2*N1
%αριθμός περιορισμών
Nconstr=N*Ndays;

C=zeros(1,Nvar);
A=zeros(Nconstr,Nvar);

%Κόστος φορτωμένων οχημάτων
for i =1:N1;
    C(i)=cost1;
end

%Κόστος άδειων οχημάτων
for i =N1+1:2*N1;
    C(1,i)=cost2;
end

%Κόστος μεταβλητών παρκαρισμένων οχημάτων
for i=1:Ndays;
for j =1:(N+1):N*N;
    C(1,(i-1)*N*N+j)=cost3;
end
end
```

Στη συνέχεια διαμορφώνεται στον αλγόριθμο αυτόματα ο πίνακας [A] των περιορισμών στον οποίο εισάγονται οι συντελεστές 1 και -1 και σχηματίζονται οι περιορισμοί ισότητας που περιγράφηκαν και στην παράγραφο 3.3:

$$\Phi_{ij,n-1} + \Phi_{kj,n-1} + A_{ij,n-1} + A_{ij,n-1} + \Pi_{jj,n-1} - \Phi_{jk,n} - \Phi_{ji,n} - A_{ji,n} - A_{jk,n} - \Pi_{jj,n} = 0$$

Ο σχηματισμός του πίνακα [A] για την πρώτη ημέρα μόνο φαίνεται αποσπασματικά παρακάτω:

```
%για την πρώτη μέρα
for i=1:1; %μέρα
    for j=1:N; %πόλη
        %εκροές πόλεων - γεμάτα οχήματα (N1)
        for k=1:N; %ροές προς υπόλοιπες πόλεις
```

```

        A((i-1)*N+j, (j-1)*N+k)=1;
    end
    %εκροές πόλεων - άδεια οχήματα(2N1+1:2N1+2N2)
    for k=1:N; %ροές προς υπόλοιπες πόλεις
        A((i-1)*N+j, (j-1)*N+N1+k)=1;
    end
    %εισροές πόλεων - γεμάτα οχήματα
    for k=1:N; %ροές προς υπόλοιπες πόλεις
        A((i-1)*N+j, (N1-N*N)+j+(k-1)*N)=-1;
    end
    %εισροές πόλεων - άδεια οχήματα
    for k=1:N; %ροές προς υπόλοιπες πόλεις
        A((i-1)*N+j, (2*N1-N*N)+j+(k-1)*N)=-1;
    end
end
end
end

```

Τέλος ο χρήστης πρέπει να εισάγει τον πίνακα Plan διαστάσεων $[Ndays, N*(N-1)]$ ο οποίος θα περιλαμβάνει τις μεταφορές που πρέπει να πραγματοποιηθούν από κόμβο σε κόμβο για όλες τις ημέρες του προγράμματος. Ο συγκεκριμένος πίνακας είναι δισδιάστατος και σε κάθε γραμμή περιέχονται οι μεταφορές κάθε ημέρας που θα πραγματοποιηθούν ανάμεσα στους κόμβους με αύξουσα σειρά, ξεκινώντας από τον πρώτο κόμβο προς τους υπόλοιπους κόμβους, από τον δεύτερο προς τους υπόλοιπους κ.ο.κ. Έστω ότι πρέπει να επιλυθεί το αριθμητικό παράδειγμα της παραγράφου 3.3 τότε ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει με την σειρά τα εξής δεδομένα:

N=4 (Αριθμός πόλεων)
 Ndays=6 (Πρόγραμμα 6 ημερών)
 Kf = 200 (Κόστος μετακίνησης φορτωμένου οχήματος)
 Ka = 150 (Κόστος μετακίνησης άδειου οχήματος)
 Kp = 120 (Κόστος παρκαρισμένου οχήματος)

2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0
0	4	0	1	0	2	0	1	0	4	0	2
0	0	3	1	0	0	0	1	0	0	0	2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0
0	0	2	0	0	0	1	0	5	4	0	0
3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	1

Πίνακας 5.8 Πίνακας δεδομένων 'Plan' για τον αλγόριθμο VRP.

Κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου προκύπτει ότι ο ελάχιστος αριθμός οχημάτων που απαιτούνται είναι 16 ενώ το συνολικό κόστος μεταφοράς ανέρχεται σε 16060€. Ο αλγόριθμος VRP επίσης δημιουργεί γράφημα όπου αποτυπώνονται τα δρομολόγια των οχημάτων από πόλη σε πόλη και έχει τη μορφή που φαίνεται στην εικόνα 3.4 της παραγράφου 3.4. Η εικόνα αυτή δημιουργείται πολύ εύκολα από απλές εντολές της βιβλιοθήκης του Matlab και παρακάτω θα περιγραφούν αποσπασματικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τον σχεδιασμό του γραφήματος.

Αρχικά σχεδιάζονται στο γράφημα οι κόμβοι του δικτύου και το υπόμνημα επεξήγησης. Ο αλγόριθμος ανάλογα με τον αριθμό των κόμβων ορίζει τις μέγιστες

διαστάσεις και 'ισομοιράζει' τις αποστάσεις κατά την κατακόρυφη και οριζόντια διεύθυνση, ώστε το δίκτυο να προβάλλεται καθαρά και να είναι ευπαρουσίαστο και εύκολο προς ανάγνωση. Επίσης κάθε κόμβος (πόλη) του δικτύου ονομάζεται αυτόματα από τον αλγόριθμο με αύξοντα αριθμό Π1, Π2 κ.τ.λ. Παρακάτω παρουσιάζεται τμήμα του κώδικα στον οποίο σχεδιάζονται οι κόμβοι και το υπόμνημα του γραφήματος:

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Σχεδιασμός γραφήματος
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

for i =1:Nvar;
x1(i,1)=x(i,1);
end

xCoords=zeros(1,N*Ndays+1);
yCoords=zeros(1,N*Ndays+1);
citiesAndValues=zeros(N,1);

%Υπόμνημα
hold on
axis off
Xc=[1 1.01];
Yc=[2 2];
plot(Xc,Yc,'-b','LineWidth',1);
plot(Xc,Yc,'-.k','LineWidth',1);
plot(Xc,Yc,':r','LineWidth',3);
legend('Φορτωμένα','Άδεια','Παρκαρισμένα','Location','eastoutside')

for i=1:N
    citiesAndValues(1,i)=i;
end
% Υπολογισμός συντεταγμένων για τον σχεδιασμό των κόμβων των πόλεων
Ymax=2+N*2;
for i = 1:Ndays+1;
    for j = 1:N;
xCoords(1,(i-1)*N+j) = i+(i-1)*2-1;
yCoords(1,(i-1)*N+j) = Ymax - ( j+(j-1)*2);
    end
end
end

```

Στη συνέχεια ο αλγόριθμος σχηματίζει στο γράφημα τα ευθύγραμμα τμήματα που αντιπροσωπεύουν τις διαδρομές των οχημάτων (φορτωμένων, άδειων και παρκαρισμένων) και αποτυπώνει πάνω σε αυτά τον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται για κάθε δρομολόγιο. Από την επίλυση του γραμμικού προγραμματισμού προκύπτει το διάνυσμα [x1] των τιμών των μεταβλητών όπου αναφέρονται στα δρομολόγια των οχημάτων. Όταν οι τιμές του διανύσματος του [x1] είναι μηδενικές σημαίνει ότι δεν πραγματοποιείται κάποιο δρομολόγιο στις συγκεκριμένες πόλεις ενώ όταν έχει τιμή διάφορη του μηδενός, τότε πρέπει να πραγματοποιηθεί κάποιο δρομολόγιο. Παρακάτω φαίνεται αποσπασματικά τμήμα του αλγορίθμου που σχεδιάζει τα δρομολόγια των φορτωμένων οχημάτων:

```

%Σχεδιασμός δρομολογίων φορτωμένων οχημάτων
for i=1:Ndays;
for j =1:(N+1):N*N;
    x1((i-1)*N*N+j,1)=0;
end
end

```

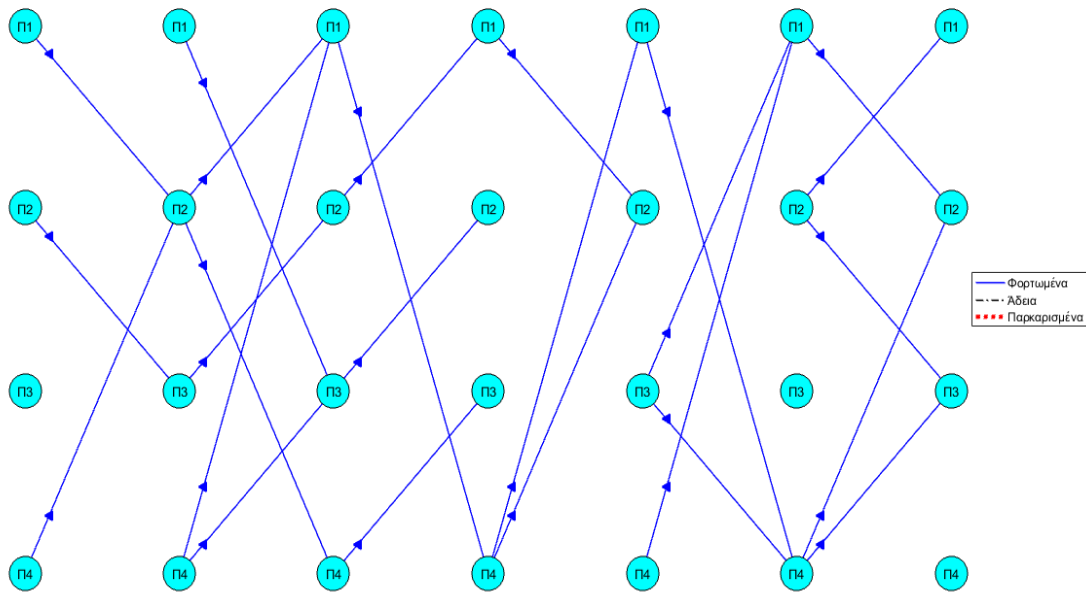
```

end
end

icount=0;
length=0.05*((xCoords(1,1)- xCoords(1,2*N))^2+(yCoords(1,1)-
yCoords(1,2*N))^2)^0.5;
for i=1:Ndays;
    for j =1 :N;
        for k=1:N;
            icount=icount+1;
            if(x1(icount,1)~=0);
                xC=[xCoords(1,(i-1)*N+j) xCoords(1,i*N+k)];
                yC=[yCoords(1,(i-1)*N+j) yCoords(1,i*N+k)];
                hold on
                axis off
                plot(xC,yC,'-b','LineWidth',1)
                ao=(yCoords(1,(i-1)*N+j)- yCoords(1,i*N+k))/(xCoords(1,(i-1)*N+j)-
xCoords(1,i*N+k));
                bo=(yCoords(1,(i-1)*N+j)-ao*xCoords(1,(i-1)*N+j));
                xarrow=(xCoords(1,(i-1)*N+j)+length);
                yarrow=(xCoords(1,(i-1)*N+j)+length)*ao+bo;

plot(xarrow,yarrow,'<b','MarkerFaceColor','b','LineWidth',1);
            end
        end
    end
end
end

```



Εικόνα 5.1 Σχεδιασμός κόμβων και δρομολόγια φορτωμένων οχημάτων.

5.5. Αλγόριθμος TSP

Το πρόβλημα της διανομής των προϊόντων μπορεί να έχει διαφορετική μορφή από αυτή της παραγράφου 5.4. Μία ακόμα παραλλαγή είναι αυτή του Περιοδεύοντος Πωλητή όπου ένα όχημα πρέπει να ξεκινήσει από μία αφετηρία, να επισκεφτεί έναν αριθμό πόλεων μία μόνο φορά την καθεμία και να επιστρέψει στην αφετηρία έχοντας διανύσει την ελάχιστη δυνατή απόσταση. Το συγκεκριμένο πρόβλημα βρίσκει εφαρμογή σε καθημερινά

προβλήματα διανομών των επιχειρήσεων και για αυτό το λόγο κρίθηκε σημαντικό να συνταχθεί κώδικας σε περιβάλλον MatLab με την ονομασία TSP που να επιλύει παραμετρικά το πρόβλημα του Περιοδευόντος Πωλητή όπως αυτό περιγράφηκε στην παράγραφο 3.4. Ο αλγόριθμος είναι δυναμικός και επιλύει το πρόβλημα για οποιοδήποτε αριθμό πόλεων και για οποιαδήποτε απόσταση μεταξύ τους. Η επίλυση βασίζεται στον ακέραιο προγραμματισμό και στην συνάρτηση 'intlinprog'. Η εκτέλεση του αλγορίθμου είναι πολύ εύχρηστη καθώς τα μόνα δεδομένα που απαιτούνται για την επίλυση του προβλήματος είναι ο αριθμός πόλεων μέσω μίας μεταβλητής με την ονομασία N, ένας δισδιάστατος πίνακας με τις αποστάσεις των πόλεων με την ονομασία Dist[N,N] και ένα διάνυσμα με τα ονόματα των πόλεων με ονομασία Names[N].

Ο αλγόριθμος επιλύει το πρόβλημα ελαχιστοποίησης:

$$\min(fval) = C \cdot x$$

Υπό τους περιορισμούς:

$$A \cdot x \leq b$$

$$lb \leq x \leq ub$$

Τα τρία είδη περιορισμών που περιγράφηκαν στην παράγραφο 3.4 σχηματίζονται αυτόματα από τον αλγόριθμο και διαμορφώνεται κατάλληλα ο πίνακας [A]. Επειδή οι δύο πρώτοι περιορισμοί είναι της μορφής $A \cdot x \geq b$, για να γίνει η επίλυση από την ρουτίνα 'intlinprog' πρέπει να είναι της μορφής $A \cdot x \leq b$, οπότε οι περιορισμοί είναι αναγκαίο να πολλαπλασιαστούν με -1. Παρακάτω παρουσιάζεται τμήμα του κώδικα όπου διαμορφώνεται ο πίνακας A1 (ο πίνακας A έχει μετονομαστεί σε A1):

```
%Πίνακας A1 : A1*x<=b1
A1=zeros(Nconstr,Nvar);
b1=zeros(1,Nconstr);
%Περιορισμοί τύπου 1 -x11-x12-x13....<= -1
for i=1:N;
    b1(1,i)=-1;
    for j=1:N;
        A1(i,(i-1)*N+j)=-1;
    end
end
%Περιορισμοί τύπου 2 -x11-x21-x31....<= -1
for i=1:N;
    b1(1,i+N)=-1;
    for j=1:N;
        A1(N+i,(j-1)*N+i)=-1;
    end
end
```

Έστω ότι πρέπει να επιλυθεί η αριθμητική εφαρμογή της παραγράφου 3.4 τότε ο χρήστης θα πρέπει να εισάγει τις αποστάσεις των πόλεων όπως αυτές φαίνονται στον πίνακα 3.10. Ο πίνακας Dist περιέχει μόνο τις χιλιομετρικές αποστάσεις και όχι τα ονόματα των πόλεων. Τα διαγώνια στοιχεία που βρίσκονται στην κύρια διαγώνιο του πίνακα δεν έχουν φυσικό νόημα, επομένως για να μην προκύπτουν λύσεις μετάβασης π.χ. από την

πόλη Δράμα στην πόλη Δράμα πρέπει οι τιμές της κύριας διαγωνίου να έχουν πολύ μεγάλη τιμή. Έτσι λοιπόν για το αριθμητικό παράδειγμα της παραγράφου 3.4 τα δεδομένα θα εισαχθούν ως εξής:

N=6 (αριθμός πόλεων)

1.00E+07	346	154	169	224	86
346	1.00E+07	212	177	122	271
154	212	1.00E+07	38	90	70
169	177	38	1.00E+07	55	94
224	122	90	55	1.00E+07	149
86	271	70	94	149	1.00E+07

Πίνακας 5.9 Χιλιομετρικές αποστάσεις πίνακα 'Dist' για τον αλγόριθμο TSP.

Θεσσαλονίκη	Αλεξανδρούπολη	Δράμα	Καβάλα	Ξάνθη	Σέρρες
-------------	----------------	-------	--------	-------	--------

Πίνακας 5.10 Διάνυσμα 'Names' για τον αλγόριθμο TSP.

Από την επίλυση του προβλήματος προκύπτει ότι η ελάχιστη διανυόμενη απόσταση είναι ίση με 714 χμ. και η διαδρομή που θα ακολουθήσει το όχημα με αφετηρία τη Θεσσαλονίκη είναι:

Θεσσαλονίκη → Σέρρες → Δράμα → Αλεξανδρούπολη → Ξάνθη → Καβάλα → Θεσσαλονίκη

Συμπεράσματα – Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Η Επιχειρησιακή Έρευνα και η Διοικητική Επιστήμη που αποτελεί την σύγχρονη και την διευρυμένη εκδοχή της, αποτελούν μία διαρκώς εξελισσόμενη επιστημονική περιοχή που συνεχώς αναπτύσσεται και εξελίσσεται. Τα εργαλεία και οι τεχνικές επίλυσης τους εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στους οργανισμούς και στις επιχειρήσεις για την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων και στην λήψη αποφάσεων. Όπως παρουσιάστηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η Διοικητική Επιστήμη παρέχει εργαλεία και μεθόδους για την μαθηματική μοντελοποίηση και την υπολογιστική επίλυση κάθε είδους προβλήματος που αντιμετωπίζουν καθημερινά οι οργανισμοί και οι επιχειρήσεις.

Η Διοικητική Επιστήμη προσεγγίζει οριζόντια όλες τις λειτουργίες μιας επιχείρησης και προσφέρει τεχνικές επίλυσης σε όλες τις εφαρμογές όπως στην λειτουργία παραγωγής, στην διαχείριση προμηθειών και αποθεμάτων, στον προγραμματισμό και την διαχείριση του ανθρώπινου δυναμικού, στον σχεδιασμό της εφοδιαστικής αλυσίδας, στον προγραμματισμό μεταφορών και δρομολόγησης οχημάτων, σε χρηματοοικονομικές εφαρμογές και στην ανάλυση και τον ανασχεδιασμό των διαδικασιών μιας επιχείρησης.

Οι μέθοδοι και οι τεχνικές λήψης αποφάσεων βοηθούν τα διοικητικά στελέχη να λαμβάνουν κρίσιμες αποφάσεις προσδίδοντας στις επιχειρήσεις ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και την δυνατότητα να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται περαιτέρω στο απαιτητικό και σκληρό ανταγωνιστικό περιβάλλον. Η Διοικητική Επιστήμη βοηθάει τους Managers να αποφασίζουν και να σχεδιάζουν τη στρατηγική τους πραγματοποιώντας αναλύσεις ευαισθησίας και διαμορφώνοντας εναλλακτικά σενάρια. Τα διευθυντικά στελέχη μπορούν με τη βοήθεια των ποσοτικών μοντέλων να επιτυγχάνουν βέλτιστη (άριστη) λήψη αποφάσεων βοηθώντας τους οργανισμούς να αποκτήσουν επιχειρηματική αριστεία, να βελτιώνουν διαρκώς την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών τους, να αυξάνουν την ανταποκρισιμότητα τους και να εξασφαλίζουν συνεχώς μεγαλύτερη κερδοφορία. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στις επιχειρήσεις να κάνουν προβλέψεις και να αποφασίζουν σχετικά με την δημιουργία νέων προϊόντων και υπηρεσιών, να βελτιώνουν τις σχέσεις τους με τους προμηθευτές και τους πελάτες και να εξελίσσουν το επιχειρηματικό τους μοντέλο.

Ο γραμμικός προγραμματισμός που αναλύθηκε στα πιο πάνω εδάφια παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Το πιο σημαντικό είναι η απλότητα της μεθόδου και η ευκολία στην μοντελοποίηση των μαθηματικών προβλημάτων για την επίλυση οποιαδήποτε κατηγορίας προβλημάτων. Ο προσδιορισμός της βέλτιστης (άριστης) λύσης, η ανάλυση ευαισθησίας και η δυϊκότητα των αποτελεσμάτων βοηθούν τα διοικητικά στελέχη να λαμβάνουν αποφάσεις και να μελετούν εναλλακτικά σενάρια. Παρόλο που κυκλοφορούν πολλά προγράμματα που δραστηριοποιούνται στην υποστήριξη των διοικητικών στελεχών για την λήψη αποφάσεων, ο γραμμικός προγραμματισμός παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να μοντελοποιηθεί εύκολα σε λογιστικό φύλλο Excel. Έτσι λοιπόν κάθε επιχείρηση μικρής ή μεγάλης κλίμακας μπορεί να χρησιμοποιήσει τον γραμμικό προγραμματισμό για να επιλύσει οποιοδήποτε πρόβλημα που περιγράφηκε πιο πάνω χωρίς να κατέχει κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό.

Τα προγράμματα που αναπτύχθηκαν στο MatLab (OPTSCM, VRP, TSP) επιλύουν οποιοδήποτε πρόβλημα δυναμικά, αποδεικνύοντας ότι τα διοικητικά στελέχη μίας επιχείρησης μπορούν να αντιμετωπίσουν οποιαδήποτε επιχειρηματική πρόκληση χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού MatLab. Η απλότητα και η διαδραστικότητα των προγραμμάτων, η φιλικότητα που προσφέρουν στο χρήστη καθώς και η δυνατότητα για την γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων καθιστούν τους αλγόριθμους ένα εργαλείο τόσο για εκπαιδευτική και ερευνητική χρήση όσο και για μελέτη πραγματικών επιχειρησιακών προβλημάτων.

Ως μελλοντικές κατευθύνσεις μπορούν να οριστούν διάφορες τροποποιήσεις στους αλγόριθμους που αναπτύχθηκαν στο MatLab. Συγκεκριμένα ο αλγόριθμος OPTSCM μπορεί να επεκταθεί και να ενσωματωθεί σε αυτόν η μέθοδος της προσομοίωσης με σκοπό την επίλυση διαδοχικών αποτελεσμάτων με διαφορετικά σενάρια, τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και την επιλογή της βέλτιστης απόφασης. Ομοίως στον αλγόριθμο VRP προτείνεται να δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει την χρονική διάρκεια κάθε μεταφοράς καθώς και τις χωρητικότητες των οχημάτων που μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του οχήματος που χρησιμοποιείται. Τέλος προτείνεται τα τρία προγράμματα να ενοποιηθούν σε ένα ενιαίο λογισμικό και μέσω απλών εντολών C++ να αποκτήσει εμπορική μορφή και διαδραστικό περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

- [1] Βιδάλης, Μ., 2009, *Εφοδιαστική – Logistics: Μία ποσοτική προσέγγιση*, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- [2] Ζεϊμπέκης, Β., 2016, *Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας*, Σημειώσεις μαθήματος που διανεμήθηκαν στην Διοίκηση Εφοδιαστικής Αλυσίδας στο Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, Χίος Φεβρουάριος 2016.
- [3] Πλατής, Α., 2016, *Μεθοδολογίες Επιχειρησιακής Έρευνας*, Σημειώσεις μαθήματος που διανεμήθηκαν στην Επιχειρησιακή Έρευνα στο Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, Χίος Φεβρουάριος 2016.
- [4] Πραστάκος, Γ., 2005, *Διοικητική Επιστήμη στην Πράξη*, Β Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- [5] Πραστάκος, Γ., 2006, *Διοικητική επιστήμη*, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.
- [6] Σίσκος, Ι., 1999, *Γραμμικός προγραμματισμός*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, Αθήνα.
- [7] Σταθούκος, Σ., *Αξιολόγηση Επενδύσεων*, Σημειώσεις μαθήματος που διανεμήθηκαν στην Διοικητική Λογιστική και Χρηματοοικονομική Διοίκηση στο Τμήμα Μηχανικών Οικονομίας και Διοίκησης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, Χίος Νοέμβριος 2015.
- [8] Στεφανάκος, Χ. Ν., 2001, *Προγραμματίζοντας σε MatLab*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Ξένη βιβλιογραφία

- [9] Albright, S., C., Winston, W., L., 2005, *Spreadsheet Modeling and Applications: Essentials of Practical Management Science*, Thomson Brooks/Cole.
- [10] Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., Martin, K., 2012, *An Introduction To Management Science*, 13th ed, South Western, U.S.A.
- [11] Ballou, R. H., 2004, *Business Logistics/Supply Chain Management*, 5th ed, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [12] Chopra, S., Meindl, P., 2001, *Supply Chain Management*, Prentice Hall, New Jersey.
- [13] Dantzig, G. B., Thapa, M. N., 2003, *Linear Programming – Theory and Extensions*, Springer, U.S.A.
- [14] Eiselt, H. A., Sandblom, C., L., *Linear Programming and its Applications*, 2007, Springer, New York.
- [15] Laudon, K. C., Laudon J. P., 2009, *Essentials of Management Information Systems*, 8th ed, Pearson Education, New Jersey.

- [16] Lawrence, J. A., Pasternack, B. A, 2002, *Applied Management Science*, 2nd ed, John Wiley & Sons, U.S.A.
- [17] Learn MatLab Basics, 2017, [Online]. Available from: <https://www.mathworks.com> [15 November 2017].
- [18] Marchand, P., Holland, T., 2003, *Graphics and GUIs with MatLab*, 3rd ed, Champan & Hall/CRC, New York.
- [19] Markowitz, H., 1959, *Portfolio Selection – Efficient Diversification of Investments*, John Wiley & Sons, New York.
- [20] Markowitz, H., 2006, *Harry Markowitz - Selected Works*, World Scientific, USA.
- [21] Simchi-Levi, D., Kaiminsky, P., Simchi-Levi, E., 2000, *Design and Managing the Supply Chain*, McGraw-Hill.
- [22] Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., 2010, *Operations Management*, 6th ed, Prentice Hall, England.