



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΚΡΕΑΤΟΣ
“CRETA FARMS”**

Μιχαήλ Κυριακάκης

ΑΜ: 2010010015

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΙΝΑΡΑΚΗΣ, ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εκπονήθηκε στο Τμήμα Παράγωγης και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές για την ευκαιρία που μου δόθηκε να εργαστώ στο αντικείμενο των σπουδών που περισσότερο με ενδιέφερε. Προσωπικά να ευχαριστήσω τον Γεώργιο Τσιναράκη για την βοήθεια και την άψογη συνεργασία μας καθ'όλη την διάρκεια της εργασίας.

Έπειτα την εταιρία Creta Farms S.A. και όλους εντός αυτής που είχα την χαρά να γνωρίσω και να συνεργαστούμε αποδοτικά μέχρι τέλους.



DISCLAIMER

Αποποίηση ευθυνών:

Οι πληροφορίες που αναφέρονται σε αυτό το έγγραφο είναι εμπιστευτικές, παραχωρήθηκαν μόνο για τις ανάγκες υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας και δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιηθούν, να δημοσιευτούν ή να αναδιανεμηθούν χωρίς την προηγούμενη γραπτή συγκατάθεση της εταιρίας Creta Farms S.A. .

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που εκφράζονται είναι καλόπιστα και παρόλο που έχει ληφθεί μέριμνα για την προετοιμασία αυτού του εγγράφου, ο Μιχαήλ Κυριακάκης δεν προβαίνει σε καμία δήλωση και δεν παρέχει καμία εγγύηση οποιασδήποτε φύσης όσον αφορά αυτό το έγγραφο, συμπεριλαμβανομένου αλλά όχι περιοριστικά, της ακρίβειας ή της πληρότητας οποιωνδήποτε πληροφοριών, γεγονότων και / ή απόψεων που περιέχονται σε αυτό.

Ο Μιχαήλ Κυριακάκης δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνος για τυχόν χρήση και αξιοποίηση των πληροφοριών, των εκτιμήσεων, των προβλέψεων και των ευρημάτων που αναφέρονται στο έγγραφο αυτό, κατά παράβαση της αποποίησης ευθυνών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται σε τρία βασικά στάδια, την προσομοίωση, την πρόβλεψη και την βελτιστοποίηση του προγραμματισμού παραγωγής σε μια γραμμή παραγωγής μονάδος κρέατος και αλλαντικών.

Κατανοώντας και σχεδιάζοντας την διαδικασία παραγωγής και με την βοήθεια της μεθοδολογίας μοντελοποίησης και προσομοίωσης με Δίκτυα Petri (Petri Nets) κατέστη εφικτό να αναπαρασταθεί την προς εξέταση γραμμή παραγωγής. Έπειτα υλοποιήθηκε μια σειρά προβλέψεων με την χρήση εναλλακτικών μαθηματικών μοντέλων και εργαλεία πρόβλεψης που χρησιμοποιούνται διεθνώς. Έτσι είχαμε την δυνατότητα πρόβλεψης μηνιαίας παραγωγής του έτους 2016.

Στο τρίτο κύριο μέρος χρησιμοποιήθηκε γραμμικός προγραμματισμός για την κατανομή της μηνιαίας παραγωγής προϊόντων της γραμμής, που ως αποτέλεσμα θα αποφέρει το μέγιστο κέρδος στην εταιρία. Η μοντελοποίηση και επίλυση του γραμμικού προβλήματος έγινε χρησιμοποιώντας το εξειδικευμένο λογισμικό Lingo.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας πραγματοποιείται ανακεφαλαίωση όλων των παραπάνω. Έπειτα ακολουθούν συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας και κατά συνέπεια του κέρδους της υπό μελέτη εταιρίας, όπως επίσης προδιαγράφονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής.

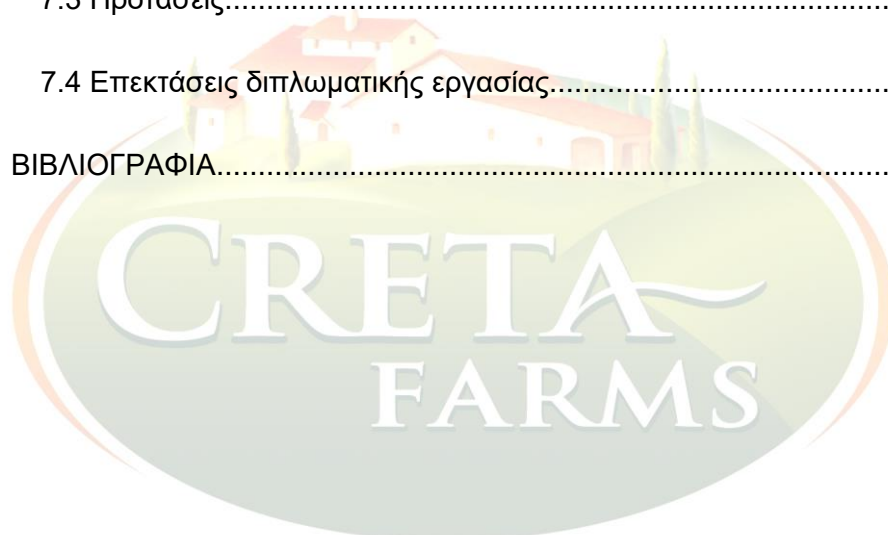
Περιεχόμενα

1 ^ο Κεφάλαιο	10
1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Κίνητρα	10
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	11
1.3 Μεθοδολογία Μελέτης	11
1.4 Συνεισφορά και στόχος διπλωματικής εργασίας	12
1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας	13
2 ^ο Κεφάλαιο	15
2.Παρουσίαση Θεμελιωδών Εννοιών (Σχετική Θεωρία)	15
2.1 Μοντελοποίηση	15
2.1.1 Η διαδικασία μοντελοποίησης	16
2.2 Δίκτυα Petri	17
2.2.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri.....	17
2.2.2 Συνήθη δίκτυα Petri	19
2.3 Επεκτάσεις δικτύων Petri	25
2.3.1 Χρονικά δίκτυα Petri.....	25
2.3.2 Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri	26
2.3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri	27
2.4 Προσομοίωση	30
2.5 Πρόβλεψη	31
2.5.1 Διαδικασία Πρόβλεψης.....	32

2.5.2 Μέθοδοι Πρόβλεψης	34
2.6 Γραμμικός Προγραμματισμός	36
2.6.1 Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος.....	37
2.6.2 Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού	38
2.6.3 Μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός.....	39
3 ^ο Κεφάλαιο	40
3. Υπό μελέτη εταιρία- Creta Farms	40
3.1 Ιστορία	40
3.2 Παραγωγή.....	42
3.3 Στάδια και Διαδικασία Παραγωγής Αλλαντικών	43
3.3.1 Α' Και Β' Ύλεις για την παραγωγή αλλαντικών.....	43
3.3.2 Μορφοποίηση των αλλαντικών	43
3.3.3 Θερμική επεξεργασία.....	44
3.3.4 Συσκευασία.....	44
3.4 Υποδομές & Εγκαταστάσεις	45
3.5 Διάγραμμα Ροής-Παραγωγική Διαδικασία	47
4 ^ο Κεφάλαιο.....	56
4. Μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας.....	56
4.1 Μοντέλο λειτουργίας γραμμής παραγωγής των Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Ζ' και Προϊόν 'Η'	58
4.1.1 Στάδιο Προετοιμασίας	68
4.1.2 Κυρίως Ψύξη Μετά Από Ψήσιμο-Κάπνισμα	69

4.1.3 Ψύξη Προετοιμασίας.....	70
4.1.4 Κοπή.....	72
4.1.5 Έλεγχος Προδιαγραφών	73
4.1.6 Συσκευασία.....	73
4.1.7 Ανίχνευση Μετάλλων	74
4.1.8 Ζύγιση.....	75
4.1.9 Ετικετοποίηση.....	75
4.1.10 Ομαδική Συσκευασία	75
5° Κεφάλαιο	76
5. Πρόβλεψη ζήτησης για το έτος 2016.....	76
5.1 Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της γραμμής παραγωγής... ..	76
5.1.1 Απλός κινητός μέσος (simple moving Average)	76
5.1.2 Διπλός κινητός μέσος (Double moving average)	81
5.1.3 Μέθοδος Brown	85
5.1.4 Μέθοδος Winters	90
5.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων.....	95
5.2.1 Μέσο σφάλμα (Mean error-ME)	95
5.2.2 Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean absolute deviation-MAD)	97
5.2.3 Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean squared error-MSE)	99
5.2.4 Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean percentage error-MPE)	101
5.3 Συμπεράσματα	104
6° Κεφάλαιο	106

6.	Μοντελοποίηση Γραμμικού Προβλήματος και Αριθμητικά Αποτελέσματα	106
6.1	Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος	106
6.2	Αποτελέσματα-Πρόγραμμα Παραγωγής.....	108
7 ^ο	Κεφάλαιο	112
7.	Συμπεράσματα και προτάσεις.....	112
7.1	Ανακεφαλαίωση	112
7.2	Συμπεράσματα.....	113
7.3	Προτάσεις.....	113
7.4	Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας.....	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	115



ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1. Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του	22
Εικόνα 2 Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού.....	24
Εικόνα 3 Εγκαταστάσεις Creta Farms	40
Εικόνα 4 Χώρος Αποθήκευσης αλλαντικών	42
Εικόνα 5 Υποδομές & Εγκαταστάσεις Creta Farms.....	45
Εικόνα 6 Υπερσύγχρονα μηχανήματα εργοστασίων	46
Εικόνα 7 Δίκτυο Petri Γενικό	58
Εικόνα 8 Petri Μεταβάσεις και θέσεις	67
Εικόνα 9 Petri Στάδιο Προετοιμασίας.....	68
Εικόνα 10 Petri Κυρίως Ψύξη Μετά Από Ψήσιμο-Κάπνισμα	69
Εικόνα 11 Petri Ψύξη Προετοιμασίας	70
Εικόνα 12 Petri Ενεργοποίηση θέσεων-μεταβάσεων.....	71
Εικόνα 13 Petri Κοπή.....	72
Εικόνα 14 Petri Έλεγχος Προδιαγραφών	73
Εικόνα 15 Συσκευασία	73
Εικόνα 16 Petri Ανίχνευση Μετάλλων.....	74
Εικόνα 17 Petri Ζύγιση	75
Εικόνα 18 Ετικετοποίηση	75
Εικόνα 19 Ομαδική Συσκευασία.....	75

Γραφήματα

Γράφημα 1 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Α'	77
Γράφημα 2 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Β'	78
Γράφημα 3 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Γ'	78
Γράφημα 4 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ'	79
Γράφημα 5 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Ε'	79
Γράφημα 6 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	80
Γράφημα 7 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Α'	82
Γράφημα 8 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Β'	82
Γράφημα 9 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Γ'	83
Γράφημα 10 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ'	83
Γράφημα 11 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Ε'	84
Γράφημα 12 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	84
Γράφημα 13 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Α'	86
Γράφημα 14 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Β'	87
Γράφημα 15 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Γ'	87
Γράφημα 16 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Δ'	88
Γράφημα 17 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Ε'	88
Γράφημα 18 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	89
Γράφημα 19 Μέθοδος Brown Προϊόν 'ΣΤ'	89
Γράφημα 20 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Α'	92
Γράφημα 24 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Β'	92
Γράφημα 21 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Γ'	93
Γράφημα 22 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Δ'	93

Γράφημα 25 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	94
Γράφημα 26 Μέθοδος Winters Προϊόν 'ΣΤ'	94
Γράφημα 27 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Α'	109
Γράφημα 28 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Β'	109
Γράφημα 29 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Γ'	110
Γράφημα 30 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Δ'	110

Πίνακες

Πίνακας 1 Δυναμικότητα συσκευαστικής	54
Πίνακας 2 Petri Μεταβάσεις	59
Πίνακας 3 Petri θέσεις	62
Πίνακας 4 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean error	96
Πίνακας 5 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean absolute deviation	98
Πίνακας 6 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean squared error	100
Πίνακας 7 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Root Mean squared error	100
Πίνακας 8 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean percentage error	102
Πίνακας 9 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean absolute percentage error	102
Πίνακας 10 Πρόβλεψη παραγωγής 2016(σε παλέτες)	105
Πίνακας 11 Προτεινόμενη Παραγωγή Ανά Μήνα (σε παλέτες)	108
Πίνακας 12 Προτεινόμενο Απόθεμα Ανά μήνα (σε παλέτες)	111

1^ο Κεφάλαιο

1. Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα

Στο σύγχρονο επιχειρηματικό περιβάλλον με τον έντονο ανταγωνισμό και τις διαρκώς εντεινόμενες πιέσεις για περιορισμό των χρόνων και του κόστους παραγωγής, η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση των πόρων και των παραγωγικών δυνατοτήτων, είναι από τους πλέον καθοριστικούς παράγοντες για την επιβίωση και την ανάπτυξη των μονάδων παραγωγής. Η μελέτη προβλημάτων σχετικά με τα βιομηχανικά συστήματα και τα συστήματα παραγωγής αποτελεί ιδιαίτερα δημοφιλές αντικείμενο στην επιστημονική κοινότητα, αφού ακόμα και μικρές αναβαθμίσεις και εξελίξεις μπορεί να οδηγήσουν σε τεράστια οφέλη. Σε αυτό συνεισφέρει το μεγάλο εύρος αντικειμένων που σχετίζονται με τα συστήματα παραγωγής καθώς και το γεγονός ότι πολλά προβλήματα δεν μπορούν να επιλυθούν αναλυτικά της λόγω ιδιαίτερα αυξημένης πολυπλοκότητας.

Στη σύγχρονη βιομηχανική πραγματικότητα όπου ο ανταγωνισμός σε όλα τα επίπεδα ολοένα γίνεται πιο ισχυρός, ο αποδοτικός προγραμματισμός της παραγωγικής διαδικασίας σε συνδυασμό με την κατάλληλη πρόβλεψη, κρίνεται κάτι παραπάνω από σημαντικός. Μία σωστή μελέτη αποφέρει σε μια βιομηχανία μεγαλύτερα κέρδη όσο και ένα πιο «υγιές» περιβάλλον λειτουργίας από την άποψη της σωστής αξιοποίησης των διαθέσιμων πόρων. Παρόλα αυτά ο παράγοντας της αβεβαιότητας που είναι παρόν τόσο στο επίπεδο της αγοράς και της οικονομίας όσο και της λειτουργίας μιας επιχείρησης, δεν δίδει αρκετά περιθώρια στη εκπόνηση μιας αποτελεσματικής και ρεαλιστικής μελέτης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης των προβλημάτων αυτών είναι η χρήση μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών πωλήσεων, όπου σε συνδυασμό με τα εργαλεία προσομοίωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό μιας λύσης που δεν είναι βέλτιστη. Για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων αποφασίστηκε να μοντελοποιηθεί ο προγραμματισμός παραγωγής σαν ένα γραμμικό πρόβλημα μεγιστοποίησης του ετήσιου κέρδους, η βέλτιστη λύση του οποίου μπορεί να υπολογιστεί. Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου έγινε στην περίπτωση μιας υπεрсύγχρονης μονάδας παραγωγής αλλαντικών.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μελέτη μιας οργανωμένης μονάδας παραγωγής κι επεξεργασίας κρέατος που εδράζεται στο νομό του Ρεθύμνου της Κρήτης. Σε πρώτο στάδιο καταγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας της μονάδας, τα στάδια κατεργασίας, η χρονική διάρκεια της κάθε εργασίας, οι τρόποι αλληλεπίδρασης καθώς και οι ροές των πρώτων υλών και των προϊόντων μέσα στην μονάδα. Στη συνέχεια γίνεται μοντελοποίηση της γραμμής παραγωγής και με τη βοήθεια προσομοιώσεων μπορούν να μελετώνται εναλλακτικά σενάρια παραγωγής.

Όλα τα παραπάνω πραγματοποιούνται λαμβάνοντας υπόψιν τους διάφορους περιορισμούς (φυσικούς, τεχνολογικούς και οικονομικούς) με αποτέλεσμα να προσεγγιστεί ο τρόπος λειτουργίας σαν ένας συνδυασμός πολλών παραμέτρων που λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές και με χαρακτηριστικά που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Με τη χρήση κατάλληλων μαθηματικών μοντέλων, πραγματοποιείται η πρόβλεψη του όγκου παραγωγής σε επίπεδο μήνα για κάθε προϊόν ξεχωριστά και σε συνεργασία με το βασικό στέλεχος της επιχείρησης. Στη συνέχεια επιλέγεται το πιο αποδοτικό και κατά συνέπεια το πιο έγκυρο μοντέλο, συγκρίνοντας τα. Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν, από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος, καταρτίζεται μηνιαίο πλάνο παραγωγής που μεγιστοποιεί το κέρδος, στηριζόμενο στις πωλήσεις των προηγούμενων ετών, από όπου αντλήθηκαν και τα δεδομένα. Συνεπώς, αντικείμενο της εργασίας είναι ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής της υπό μελέτη μονάδας σε επίπεδο μήνα.

1.3 Μεθοδολογία Μελέτης

Το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή για την ανάπτυξη του πλαισίου μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, είναι τα χρονικά δίκτυα Petri (ΔP) κι οι επεκτάσεις τόξων. Τα ΔP συνδυάζουν ένα απλό γραφικό περιβάλλον, που αυξάνει σημαντικά τη δυνατότητα κατανόησης κι εποπτικής παρακολούθησης της κατάστασης του υπό μελέτη συστήματος, με ένα πλήρες μαθηματικό πλαίσιο που διευκολύνει την χρήση των κατασκευαζόμενων μοντέλων για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των συστημάτων που αναπαριστούν. Επιπλέον, τα μοντέλα που κατασκευάζονται με ΔP είναι πιο συμπυκνωμένα σε σχέση με τα αντίστοιχα που προκύπτουν με χρήση άλλων εργαλείων

μοντελοποίησης όπως για παράδειγμα, τα αυτόματα. Σε αυτά πρέπει να προστεθεί το γεγονός πως διαθέτουν πλήρη συλλογή από εργαλεία ανάλυσης και μπορούν να συνδυαστούν με άλλα εργαλεία για την ικανοποίηση πιο εξειδικευμένων αναγκών.

Επιπλέον χρησιμοποιούνται ποσοτικά μοντέλα μαθηματικής πρόβλεψης για τα διαφορετικά είδη-προϊόντα αλλαντικών που παράγονται για το έτος 2016 αξιοποιώντας τα δεδομένα πωλήσεων των τελευταίων ετών. Βασισμένα στις ποσότητες που υπολογίζονται, δημιουργείται γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του αποθέματος με τους αντίστοιχους τεχνολογικούς και φυσικούς περιορισμούς. Από την επίλυση του υπολογίζονται οι μηνιαίες ποσότητες παραγωγής και αποθεματοποίησης τέτοιες που επιτυγχάνουν την μεγιστοποίηση του κέρδους. Έτσι πραγματοποιείται ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής σε ετήσιο και μηνιαίο επίπεδο.

1.4 Συνεισφορά και στόχος διπλωματικής εργασίας

Η ιδέα εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας ξεκίνησε από την ανάγκη για βελτίωση της παραγωγικής διαδικασίας στο συγκεκριμένο κλάδο όπου οι απαιτήσεις ολοένα και αυξάνονται. Σε συνεργασία με τα βασικά στελέχη της επιχείρησης και με τους ίδιους τους εργαζόμενους, δόθηκε η δυνατότητα για την άντληση όλων των στοιχείων που είναι απαραίτητα για την δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας για την παραγωγική διαδικασία. Πολλά από τα στοιχεία αυτά είναι ευαίσθητα-απόρρητα και αφορούν κατά κύριο λόγο τη σχέση με τους προμηθευτές, τις πρώτες ύλες, τα έσοδα, τα έξοδα, τη δυναμικότητα του συστήματος αλλά κυρίως τις επιμέρους αναλυτικές διαδικασίες που απαιτούνται για την παραγωγή.

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τη χωροθέτηση, τη διασύνδεση, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μηχανών και την δυναμικότητα των αποθηκών, σε συνδυασμό με τις παραγωγικές δυνατότητες θα δημιουργηθεί ένα μοντέλο λειτουργίας του εργοστασίου, το οποίο θα αποτελέσει αντικείμενο μελέτης μέσω προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της πρόβλεψης που θα γίνει για τις απαιτήσεις σε τελικά προϊόντα για το 2016, θα χρησιμοποιηθούν για τον τελικό προγραμματισμό παραγωγής σε ετήσια και μηνιαία βάση για το εργοστάσιο ώστε να βελτιστοποιούν τη συνάρτηση κόστους που υπολογίστηκε.

1.5 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, η μέθοδος επίλυσης που χρησιμοποιείται και οι αντικειμενικοί στόχοι που τέθηκαν καθώς και τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης γίνεται εισαγωγή στις κύριες έννοιες των δικτύων Petri, η διασαφήνιση των οποίων κρίνεται αναγκαία, αφού τα δίκτυα Petri χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση και προσομοίωση της υπό μελέτη γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση των όρων μοντελοποίηση, προσομοίωση, πρόβλεψη και γραμμικός προγραμματισμός που αποτελούν αντικείμενα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υπό μελέτη εταιρία-μονάδα παραγωγής. Αρχικά πραγματοποιείται μια σύντομη περιγραφή και ιστορική αναδρομή της εταιρίας από το ξεκίνημα της μέχρι σήμερα. Ακολούθως, γίνεται ανάλυση των παραγόμενων προϊόντων της γραμμής παραγωγής, όπως και των σταδίων και διαδικασίας παραγωγής. Στην συνέχεια γίνεται λόγος για τις υποδομές και τις επενδύσεις της εταιρίας καθώς και αναλυτική περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας της γραμμής που θα μελετηθεί για κάθε προϊόν, συμπεριλαμβάνοντας και τα αντίστοιχα διαγράμματα ροής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο υλοποιούνται τα μοντέλα για το κάθε προϊόν ξεχωριστά, με δίκτυα Petri. Στη συνέχεια αναλύεται βήμα-βήμα η διαδικασία δημιουργίας των μοντέλων, παρουσιάζοντας την σημασία του κάθε κόμβου αλλά και του τρόπου σύνδεσης του με τους υπόλοιπους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η πρόβλεψη της ζήτησης της βιομηχανίας για το έτος 2016, χρησιμοποιώντας δεδομένα των προηγούμενων ετών. Αναλύονται οι μέθοδοι πρόβλεψης, όπως επίσης και τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγησή τους. Τέλος επιλέγεται η μέθοδος πρόβλεψης που παρουσιάζει τα πιο ρεαλιστικά δεδομένα και παρουσιάζεται αναλυτικά η προβλεπόμενη ζήτηση ανά τύπο τελικού προϊόντος.

Στο έκτο κεφάλαιο το πρόβλημα προγραμματισμού της παραγωγής μοντελοποιείται σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης αποθέματος και κατά συνέπεια μεγιστοποίησης κέρδους. Αφού αναλύονται όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται, η αντικειμενική συνάρτηση και οι μεταβλητές απόφασης,

πραγματοποιείται η επίλυση του. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν συγκρίνονται και αναλύονται, επιλέγοντας ταυτόχρονα το βέλτιστο, ενώ προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα. Βάσει αυτών προτείνεται ο βέλτιστος προγραμματισμός παραγωγής για την κάλυψη της ζήτησης του έτους 2016.

Στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα προηγούμενα κεφάλαια, προτείνοντας παράλληλα λύσεις για την αύξηση της παραγωγής ή/και αύξηση του ετήσιου κέρδους.



2^ο Κεφάλαιο

2.Παρουσίαση Θεμελιωδών Εννοιών (Σχετική Θεωρία)

2.1 Μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος είναι η διαδικασία αναπαράστασης των πραγματικών δεδομένων του συστήματος αυτού που είναι διαθέσιμα, με σκοπό την αναπαραγωγή του φυσικού συστήματος (μαθηματικά, στο εργαστήριο ή μέσω προσομοίωσης με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών). Το μοντέλο ενός συστήματος είναι η απλοποιημένη αναπαράσταση του, που περιέχει λογικές ή / και μαθηματικές συσχετίσεις που περιγράφουν το σύστημα σε όρους κατάστασης, οντοτήτων (συστατικών μερών του) και των χαρακτηριστικών τους, συνόλων, γεγονότων, ενεργειών και καθυστερήσεων. Εναλλακτικά ένα μοντέλο ορίζεται ως ένας αλγόριθμος ή ως ένα σύνολο από εξισώσεις το οποίο συνδυάζεται με ένα σύνολο από τιμές δεδομένων (π.χ. αρχικές συνθήκες και τιμές) για να αναπαραστήσει τη σημαντική συμπεριφορά ενός συστήματος, μιας διαδικασίας ή ενός φαινομένου.

Η μοντελοποίηση ενός συστήματος αποτελεί το πρώτο βήμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς του κάτω από διαφορετικές συνθήκες (για διαφορετικές τιμές παραμέτρων ή διαφορετικές συναρτήσεις εισόδου). Το μοντέλο ενός συστήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί παραπέρα για τη σχεδίαση ή επανασχεδίαση του, για την ανάπτυξη ενός ελεγκτή που διασφαλίζει πως η συμπεριφορά του ικανοποιεί δεδομένους περιορισμούς κι απαιτήσεις, για την εξερεύνηση, επαλήθευση και βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του σύμφωνα με συγκεκριμένες αντικειμενικές συναρτήσεις και για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της συμπεριφοράς του.

Σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η κατασκευή ενός μοντέλου αποτελεί η δυνατότητα για μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς κι αποδοτικότητας του συστήματος κάτω από ακραίες συνθήκες λειτουργίας που για διάφορους λόγους δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (λόγω της ύπαρξης κινδύνων, μεγάλου κόστους ή ακόμα και της πρόκλησης αντιδράσεων) ή σε περιπτώσεις που το φυσικό σύστημα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο.

Όπως προκύπτει από τον ορισμό στην αρχή της παραγράφου, τα μοντέλα αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις των αντίστοιχων συστημάτων. Αυτό

συμβαίνει επειδή η αναπαράσταση του συνόλου των πλευρών, των χαρακτηριστικών, των διαδικασιών και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ενός συστήματος θα οδηγούσε σε μοντέλα αντίστοιχης πολυπλοκότητας με τα πραγματικά συστήματα. Στην περίπτωση αυτή, τα μοντέλα που θα προέκυπταν δε θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν παραπέρα για τη μελέτη και πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος, αφού τα υπάρχοντα εργαλεία ανάλυσης θα ήταν άχρηστα, ενώ για να προκύψουν κάποια αποτελέσματα θα απαιτούνταν μεγάλος χρόνος και υπολογιστική ισχύς. Η πραγματική πρόκληση της μοντελοποίησης είναι η εύρεση του αναγκαίου αριθμού αρχών, γεγονότων και διαδικασιών που συνθέτουν την παρατηρούμενη πολυπλοκότητα ενός συστήματος, τα οποία σε συνδυασμό με μια σειρά από σωστά ορισμένες παραδοχές περιγράφουν ικανοποιητικά τη συμπεριφορά του. Επιπλέον, οι ανάγκες μοντελοποίησης, ανάλυσης ή ελέγχου έχουν σημαντική επιρροή στο γεγονός αν ένα σύστημα πρέπει να θεωρηθεί υβριδικό ή όχι [1].

2.1.1 Η διαδικασία μοντελοποίησης

Ο σκελετός της διαδικασίας μοντελοποίησης αναπτύχθηκε από τους Bandler και Grinder και συνοψίζεται στα ακόλουθα 5 βήματα [2]:

1. Αναγνώρισε τα συστατικά μέρη του μοντέλου.
2. Συγκέντρωσε πληροφορίες για τις μεταξύ τους σχέσεις, προτεραιότητες, τρόπους σύνδεσης και λειτουργίας, χαρακτηριστικά, χρήση κοινών πόρων.
3. Κατασκεύασε το μοντέλο.
4. Δοκίμασε το μοντέλο χρησιμοποιώντας το (αν μπορείς να γίνει κατά αντιπαράσταση με το πραγματικό σύστημα, όποτε τα αποτελέσματα μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα).
5. Τροποποίησε το μοντέλο αν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο κι όρισε την αρχική του κατάσταση.

Τα πέντε βήματα δεν αποτελούν γραμμική διαδικασία, αφού κάθε ένα τροφοδοτεί τα επόμενα κι ανατροφοδοτεί τα προηγούμενα, οδηγώντας σε αρκετές επαναλήψεις τον αλγόριθμο μέχρι να μοντέλο να λάβει την οριστική του μορφή. Επιπλέον, η τελική μορφή αναθεωρείται οποτεδήποτε προκύψουν νέα δεδομένα, το μοντέλο αποδειχθεί ανεπαρκές για την περιγραφή καταστάσεων, επεκταθεί ή τροποποιηθεί η χρήση του συστήματος.

Η παραπάνω διαδικασία χωρίζεται στο στάδιο κατασκευής και το στάδιο προσομοίωσης του μοντέλου. Στο πρώτο, δημιουργούνται η βασική δομή κι οι

κανόνες του μοντέλου για να του δώσουν την μορφή που μπορεί να περιγράψει τις καταστάσεις που συναντιούνται στο σύστημα. Στη συνέχεια το μοντέλο πρέπει να αναλυθεί με χρήση κατάλληλων εργαλείων και να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του, ώστε να αποφευχθούν λάθη που δυσχεραίνουν τη χρήση του και μειώνουν την αποτελεσματικότητά του. Στο στάδιο του τρεξίματος, το μοντέλο διερευνάται κι εξετάζεται κατά πόσον η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σε αυτή του πραγματικού συστήματος. Κάποια επιμέρους χαρακτηριστικά του μπορούν να τροποποιηθούν, αλλά η βασική του δομή παραμένει αναλλοίωτη.

2.2 Δίκτυα Petri

2.2.1 Δυνατότητες και εφαρμογές των δικτύων Petri

Τα ΔΡ είναι ένα θεωρητικό μοντέλο ροής πληροφορίας. Οι έννοιες, ιδιότητες, χαρακτηριστικά, εργαλεία ανάλυσης και τεχνικές που σχετίζονται με αυτά αναπτύχθηκαν στην προσπάθεια για εύρεση απλών, φυσικών κι αποτελεσματικών μεθόδων για περιγραφή κι ανάλυση της ροής πληροφορίας και του ελέγχου συστημάτων [3].

Τα δίκτυα Petri συνδυάζουν γραφικά και μαθηματικά εργαλεία για τη μοντελοποίηση συστημάτων που χαρακτηρίζονται ως παράλληλα, κατανεμημένα, ασύγχρονα, μη αιτιοκρατικά ή στοχαστικά. Οι δυνατότητες γραφικής αναπαράστασης τους αποκτούν επιπλέον αξία από το γεγονός ότι τα μοντέλα που κατασκευάζονται συντίθενται από μικρό αριθμό τύπων στοιχείων, με αποτέλεσμα να αποτελούν μια γλώσσα μοντελοποίησης, η χρήση της οποίας μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή [4]. Ως γραφικό εργαλείο τα ΔΡ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο απεικόνισης κι επικοινωνίας παρόμοιο με τα διαγράμματα ροής, τα λογικά δέντρα και τα δομικά διαγράμματα. Σε σχέση με άλλες τεχνικές γραφικής αναπαράστασης είναι κατάλληλα για αναπαράσταση με φυσικό τρόπο λογικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών μερών ή των δραστηριοτήτων σε ένα σύστημα. Τα ΔΡ συνδυάζοντας την έννοια της κατανεμημένης κατάστασης με ένα κανόνα αλλαγής κατάστασης, υλοποιούν τα στατικά και τα δυναμικά χαρακτηριστικά πραγματικών συστημάτων. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπολογιστικών εργαλείων που επιτρέπουν την προσομοίωση τους, τα καθιστούν ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο ανάπτυξης πολύπλοκων συστημάτων. Ως μαθηματικό εργαλείο χρησιμοποιούνται για την κατάστρωση εξισώσεων κατάστασης, αλγεβρικών εξισώσεων κι άλλων μαθηματικών μοντέλων που καθορίζουν τη συμπεριφορά των συστημάτων [5].

Επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν από θεωρητικούς αλλά και από εφαρμοσμένους επιστήμονες, αποτελούν ισχυρό μέσο επικοινωνίας και συνεννόησης μεταξύ μελών των δύο αυτών ομάδων [6].

Κάποιες από τις πλέον κοινές καταστάσεις συστημάτων διακριτών γεγονότων για την αναπαράσταση των οποίων χρησιμοποιούνται δίκτυα Petri περιλαμβάνουν αμοιβαία αποκλειόμενα γεγονότα, κατανομή κοινών πόρων σε ένα σύστημα, περιορισμούς προαπαιτούμενων κι ακολουθίες γεγονότων. Τα βασικότερα αντικείμενα για τα οποία χρησιμοποιούνται τα ΔΡ είναι η μοντελοποίηση, ανάλυση συμπεριφοράς, αξιολόγηση αποδοτικότητας, επιβεβαίωση δομικών ιδιοτήτων, προσομοίωση, παρακολούθηση, χρονοπρογραμματισμός, εποπτικός έλεγχος κι έλεγχος σε πραγματικό χρόνο συστημάτων [6]. Τα ΔΡ μπορούν να εντοπίσουν παράγοντες που δρουν περιοριστικά στην απόδοση ενός συστήματος, προτείνοντας παράλληλα αλλαγές και βελτιώσεις που θα βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση της συμπεριφοράς του [7]. Επιπλέον, μπορούν να προσομοιώσουν τις δυναμικά εξελισσόμενες και παράλληλες δραστηριότητες των συστημάτων, επιτρέπουν την ιεραρχική μοντελοποίηση και τη μοντελοποίηση συστημάτων με διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας.

Οι επιστημονικοί τομείς στους οποίους έχουν μέχρι σήμερα χρησιμοποιηθεί τα δίκτυα Petri προέρχονται από χώρους με εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ένας από τους τομείς στον οποίο παρατηρείται μεγάλος αριθμός και ποικιλία εφαρμογών των ΔΡ είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές και τα συστήματα επεξεργασίας πληροφορίας. Προβλήματα σχετικά με ηλεκτρονικούς υπολογιστές στα οποία χρησιμοποιούνται ΔΡ αναφέρονται σε πρωτοκόλλα επικοινωνίας και κατανεμημένα συστήματα, συστήματα πολυμέσων, επεξεργασία δεδομένων, μεταγωγτιστές, τοπικά δίκτυα, ψηφιακά κυκλώματα, υπολογιστικά συστήματα ροής δεδομένων, πληροφοριακά συστήματα γραφείου, ηλεκτρονικές υπηρεσίες και κατανεμημένες ηλεκτρονικές επιχειρήσεις, μοντελοποίηση υλικού(hardware), ψηφιακά φίλτρα, συστήματα μνήμης πολλαπλών επεξεργασιών, αναζήτηση κι επαλήθευση γνώσης, συστήματα πολλαπλών πρακτόρων, τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και κέντρα, VLSI, αλγοριθμικά συστατικά, παράλληλα προγράμματα και βάσεις δεδομένων.

Τα ΔΡ έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλούς ακόμα τομείς, συμπεριλαμβανομένης της μοντελοποίησης κι αξιολόγησης αποδοτικότητας συστημάτων πολλών εξυπηρετητών - πολλαπλών ουρών, μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων παραγωγής, εφοδιαστικών αλυσίδων, χημικών εργοστασίων,

ενεργειακών συστημάτων, αυτοματοποίησης εργοστασίων, συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας (εναέριας ή επίγειας), προβλήματα χρονοπρογραμματισμού κι ελέγχου σιδηροδρομικών δικτύων, συστήματα στρατιωτικών εντολών κι ελέγχου, επιλογή συμπεριφοράς πλοήγησης, εφαρμογές ρομποτικού ελέγχου, προσομοίωση πολλαπλών μη επανδρωμένων αεροσκαφών και διαχείριση έργων.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται επέκταση στη χρήση των δικτύων Petri σε εφαρμογές που απέχουν σημαντικά από τις παραδοσιακές εφαρμογές μηχανικών. Τέτοια παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μελέτη συμπεριφοράς κι αντίδρασης ομάδων ή ατόμων κάτω από δεδομένες συνθήκες, μοντέλα αποφάσεων, διαδικασιών εξέλιξης και νευρωνικών δικτύων, εφαρμογές προερχόμενες από την εργονομία (π.χ. διάγνωση σφαλμάτων [8]), εφαρμογές στην ιατρική και τη βιοτεχνολογία [9], μοντελοποίηση βιολογικών διαδικασιών (μεταβολικών διαδικασιών) και βιοχημεία, μοντελοποίηση οικολογικών διαδικασιών και περιβαλλοντικών θεμάτων [10].

2.2.2 Συνήθη δίκτυα Petri

Τα συνήθη δίκτυα Petri (Ordinary Petri Nets - OPNs) αποτέλεσαν το βασικό μοντέλο για όλες τις παραλλαγές και επεκτάσεις που προέκυψαν στη συνέχεια. Το αρχικό μοντέλο δεν περιλαμβάνει σύνδεση με την έννοια του χρόνου, αλλά αναπαριστά ακολουθίες εκτέλεσης διακριτών γεγονότων καθώς και τις λογικές συνδέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μερών του υπό μελέτη συστήματος. Η ακολουθία εκτέλεσης των γεγονότων σε ένα σύστημα μοντελοποιημένο με ΔΡ είναι μια από τις επιτρεπόμενες από τη δομή του δικτύου, γεγονός που οδηγεί σε μη αιτιοκρατία στην εκτέλεση του.

2.2.2.1 Δομικά στοιχεία δικτύων Petri

Ένα ΔΡ είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που αποτελείται από δύο τύπους κόμβων τις θέσεις και τις μεταβάσεις, στο οποίο ένα σύνολο από αφηρημένες οντότητες που από εδώ και πέρα θα ονομάζονται τελείες (tokens) μετακινούνται, δημιουργούνται ή εξαφανίζονται. Γραφικά οι τελείες συμβολίζονται ως μαύρες τελείες (•) και δεν εμφανίζονται αυτόνομα στο δίκτυο, αλλά αλληλεπιδρούν με τους δύο τύπους κόμβων που το συνθέτουν.

Οι θέσεις περιγράφουν τις καταστάσεις (κάθε θέση μια μερική κατάσταση) και τους πόρους του συστήματος κι αντιπροσωπεύονται γραφικά από κύκλους (○). Οι θέσεις είναι τα παθητικά στοιχεία του δικτύου, που αναφέρονται και ως δίαυλοι κι είναι ικανά να αποθηκεύσουν υλικά (π.χ. κομμάτια σε μηχανές και αποθήκες) και μη (π.χ. πληροφορίες) συστατικά ενός συστήματος. Ο σκοπός των θέσεων είναι να αναπαραστήσουν την αποκεντρωμένη φύση του συστήματος και την κατανεμημένη κατάσταση της πληροφορίας σε ένα σύνθετο σύστημα [11].

Οι μεταβάσεις έχουν την έννοια των γεγονότων που συμβαίνουν στο σύστημα κι η πραγματοποίησή τους μεταβάλλει την κατάσταση του. Γραφικά αντιπροσωπεύονται από τετράγωνα ή μπάρες (□ ή —) κι αποτελούν τα ενεργά στοιχεία του συστήματος. Μια μετάβαση μπορεί να αντιπροσωπεύει μια ενέργεια, μια διαδικασία, μια επεξεργασία, μια δραστηριότητα, το υπολογιστικό βήμα ενός αλγορίθμου, μια λογική πρόταση ή ένα επεξεργαστή σήματος [12]. Οι μεταβάσεις αναφέρονται και ως υπηρεσίες κι είναι ικανές να παράγουν, να μεταφέρουν ή να μετατρέπουν τελείες. Οι θέσεις μαζί με τις μεταβάσεις αναπαριστούν τη στατική δομή ενός δικτύου Petri ενώ οι τελείες καθορίζουν τη δυναμική του κατάστασης.

Τα στοιχεία των δύο συνόλων κόμβων συνδέονται με χρήση προσανατολισμένων τόξων (τα τόξα συνδέουν θέσεις με μεταβάσεις ή το αντίστροφο, αλλά ένα τόξο δεν επιτρέπεται να συνδέσει στοιχεία του ίδιου συνόλου). Τα τόξα αναπαριστούν φυσική σύνδεση, δικαιώματα πρόσβασης, λογικές συνδέσεις μεταξύ θέσεων και μεταβάσεων, απαίτηση σε πόρους, την εξαγωγή συμπερασμάτων, ενώ καθορίζουν την προτεραιότητα στην εκτέλεση ανταγωνιζόμενων εργασιών ή τη σειρά με την οποία κάποιες εργασίες θα εκτελεστούν. Γενικά, κάθε τόξο συνοδεύεται από ένα θετικό ακέραιο που αντιπροσωπεύει το βάρος πολλαπλότητας του. Σε περίπτωση που για κάποιο τόξο δεν εμφανίζεται ο αριθμός αυτός, το βάρος του θεωρείται μοναδιαίο. Στα συνήθη ΔΡ, τα βάρη όλων των τόξων είναι ίσα με τη μονάδα.

Οι τελείες αποθηκεύονται μέσα στις θέσεις του δικτύου, ενώ ταξιδεύουν μέσω των τόξων κι η ροή τους στο δίκτυο ρυθμίζεται από τις μεταβάσεις που τίθενται σε ετοιμότητα από την παρουσία τους στις κατάλληλες θέσεις. Όταν μια θέση περιέχει μεγάλο αριθμό τελειών αναγράφεται μέσα σε αυτή ο αντίστοιχος αριθμός. Οι τελείες σε μια θέση αναπαριστούν τη διαθεσιμότητα ενός πόρου, την κατάσταση του πόρου (π.χ. αν μια μηχανή είναι διαθέσιμη ή όχι), υποθέσεις ή σήματα εισόδου κι εξόδου. Το βάρος πολλαπλότητας ενός τόξου αντιστοιχεί στον αριθμό από τελείες που

προστίθενται ή αφαιρούνται στη θέση εισόδου (ή στις θέσεις εισόδου) ή εξόδου αντίστοιχα της μετάβασης που λειτουργεί.

2.2.2.2 Μαθηματικός ορισμός συνήθων δικτύων Petri

Ένα σύνηθες δίκτυο Petri είναι ένα προσανατολισμένο γράφημα που ορίζεται από την πεντάδα στοιχείων: $\Delta P = \{P, T, I, O, m_0\}$, όπου

- $P = \{p_1, p_2 \dots p_{np}\}$ είναι ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από θέσεις.
- $T = \{t_1, t_2 \dots t_{nt}\}$ ένα πεπερασμένο και μη κενό σύνολο από μεταβάσεις.

Η τομή των συνόλων των θέσεων και των μεταβάσεων είναι το κενό σύνολο ($P \cap T = \emptyset$), ενώ η ένωση τους ορίζει το σύνολο V των κόμβων του δικτύου $P \cup T = V$.

- $I: (P \times T) \rightarrow N$ είναι ο πίνακας συμβάντων εισόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των τόξων με κατεύθυνση από θέσεις προς μεταβάσεις.
- $O: (P \times T) \rightarrow N$ είναι ο πίνακας συμβάντων εξόδου, που αντιστοιχεί στο σύνολο των κατευθυνόμενων τόξων από μεταβάσεις προς θέσεις αντίστοιχα.

Το σύνολο των τόξων ενός δικτύου Petri A , είναι $A = I \cup O$. Το αναπαριστά το σύνολο των μη αρνητικών ακεραίων αριθμών.

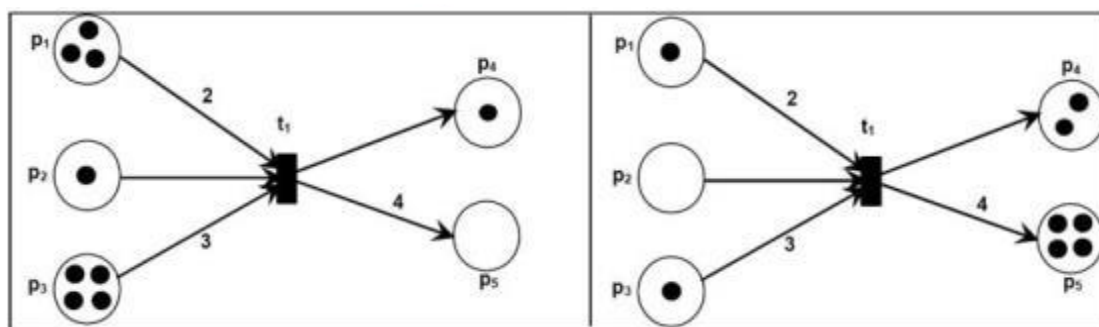
- m_0 συμβολίζεται η αρχική σήμανση του ΔP , δηλαδή η αρχική κατανομή των τελειών στις θέσεις του (οι αριθμοί τελειών που βρίσκονται σε κάθε θέση).

2.2.2.3 Ετοιμότητα και ενεργοποίηση μεταβάσεων

Για να ενεργοποιηθεί μια μετάβαση, πρέπει να είναι πρώτα σε ετοιμότητα. Στα συνήθη ΔP μια μετάβαση είναι σε ετοιμότητα (enabled) όταν όλες οι θέσεις εισόδου της περιέχουν τουλάχιστον μια τελεία. Δηλαδή, η $t \in T$ είναι σε ετοιμότητα αν $m(p_i) > 0$ για κάθε $p_i \in P$ για το οποίο ισχύει $I(p_i, t) = 1$. Οι θέσεις εισόδου μιας μετάβασης έχουν δηλαδή την έννοια των προϋποθέσεων για την ενεργοποίηση της. Γενικά, μια μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα όταν όλες οι θέσεις εισόδου περιέχουν αριθμό από τελείες μεγαλύτερο ή ίσο των βαρών των αντίστοιχων τόξων σύνδεσης της μετάβασης με τις θέσεις εισόδου. Μία μετάβαση ενεργοποιείται (fires) μέσω της απομάκρυνσης τελειών από τις θέσεις εισόδου της και της προσθήκης τελειών στις θέσεις εξόδου της, σύμφωνα με τα βάρη των αντιστοίχων τόξων. Ο αριθμός των

τελειών που αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου δεν είναι πάντα ίδιος με τον αριθμό τελειών που προστίθενται στις θέσεις εξόδου. Ο παραπάνω μηχανισμός ενεργοποίησης μεταβάσεων είναι γνωστός κι ως “token game”.

Υπάρχουν περιπτώσεις που μια μετάβαση σε ετοιμότητα δεν ενεργοποιείται, όπως για παράδειγμα όταν περισσότερες από μια μεταβάσεις έχουν μια κοινή θέση εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Στην πράξη, το φαινόμενο αυτό είναι σύνηθες σε προβλήματα κατανομής κοινών πόρων σε ένα σύστημα και σε προβλήματα αμοιβαία αποκλειόμενων γεγονότων. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η μεταβολή της κατανομής τελειών σε ένα απλό ΔΡ που προκαλείται από την ενεργοποίηση της μετάβασης του.



Εικόνα 1. Παράδειγμα δικτύου Petri α)πριν και β)μετά την ενεργοποίηση της μετάβασης του

Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εισόδου ονομάζεται μετάβαση πηγής (source transition) και τροφοδοτεί με τελείες το σύστημα χωρίς να καταναλώνει κάποιες από τις υπάρχουσες. Το φαινόμενο αυτό αντιστοιχεί στην εμφάνιση για παράδειγμα μη ελεγχόμενων γεγονότων, όπως οι βλάβες κι οι αφίξεις παραγγελιών σε ένα σύστημα. Μια μετάβαση χωρίς καμία θέση εξόδου ονομάζεται μετάβαση βύθισης (sink transition) και καταναλώνει τελείες χωρίς να παράγει νέες. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται για παράδειγμα σε ένα σύστημα όταν τα έτοιμα προϊόντα απομακρύνονται για να παραδοθούν στους πελάτες.

2.2.2.4 Σημάνσεις δικτύων Petri

Η κατάσταση ενός ΔΡ περιγράφεται κάθε στιγμή από τη σήμανσή του, η οποία προκύπτει από την αντιστοίχιση σε κάθε θέση ενός μη αρνητικού ακέραιου αριθμού που αναπαριστά τον αριθμό από τελείες που βρίσκονται σε αυτή την

τρέχουσα στιγμή. Η σήμανση ενός ΔΡ συμβολίζεται με το γράμμα m_k είναι ένα διάνυσμα μεγέθους ίσου με τον αριθμό θέσεων του. Η αρχική σήμανση ενός ΔΡ είναι υπεύθυνη για όλες τις σημάνσεις που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση των διαδοχικών ενεργοποιήσεων. Οι σημάνσεις αυτές συμβολίζονται ως m_i , όπου ο δείκτης i είναι θετικός ακέραιος αριθμός που δείχνει τον αύξοντα αριθμό της τρέχουσας ενεργοποίησης.

Όταν σε ένα ΔΡ η κατάσταση του οποίου περιγράφεται αρχικά από τη σήμανση m_i , ενεργοποιηθεί μια μετάβαση t_j σε ετοιμότητα, προκύπτει η νέα του σήμανση m_{i+1} που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$m_{i+1}(p_j) = m_i(p_j) + O(p_j, t_i) - I(p_j, t_i), \text{ για } j = 1, 2, \dots, n$$

όπου n ο αριθμός των θέσεων που συνθέτουν το δίκτυο. Η σήμανση m_{i+1} λέγεται προσεγγίσιμη από την αρχική σήμανση m_i . Η αλλαγή κατάστασης του ΔΡ από m_{i+1} σε m_{i+1}

λόγω της ενεργοποίησης της t_j συμβολίζεται ως:

$$m_i \xrightarrow{t_j} m_{i+1}$$

2.2.2.5 Βασικές δυναμικές καταστάσεις που μοντελοποιούνται με ΔΡ

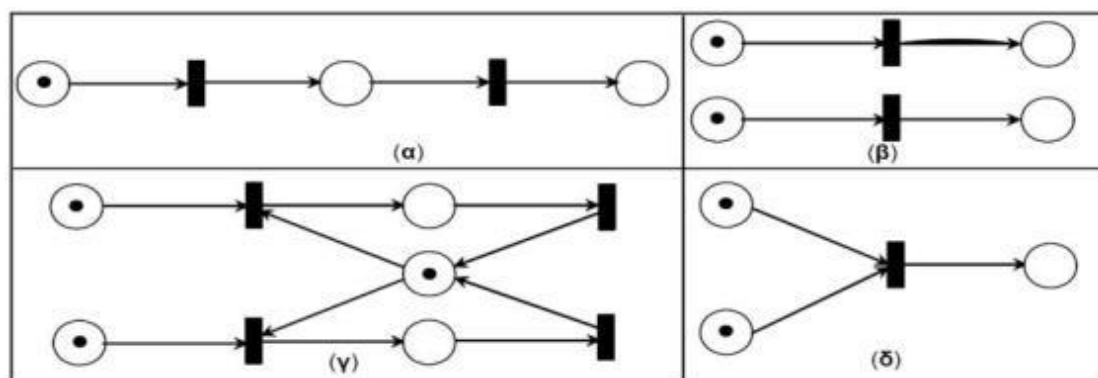
Οι πιο βασικές καταστάσεις που εμφανίζονται κατά τη μελέτη συστημάτων διακριτών γεγονότων είναι η ακολουθία γεγονότων, η παραλληλία, ο αμοιβαίος αποκλεισμός κι ο συγχρονισμός. Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο τα ΔΡ ανταποκρίνονται στις ανάγκες μοντελοποίησης τους. Δύο επιπλέον καταστάσεις συνήθεις για τα συστήματα διακριτών γεγονότων είναι το αδιέξοδο και η σύγκρουση.

Η ακολουθία ή ακολουθιακή συμπεριφορά αναφέρεται σε ένα δίκτυο αποτελούμενο από δύο μεταβάσεις, όπου η θέση εξόδου της πρώτης αποτελεί τη θέση εισόδου της δεύτερης. Στην περίπτωση αυτή η δεύτερη μετάβαση δε μπορεί να ενεργοποιηθεί αν δεν προηγηθεί ενεργοποίηση της πρώτης. Η παραλληλία ή ταυτοχρονισμός συμβαίνει όταν δύο μεταβάσεις είναι σε ετοιμότητα και δεν αλληλεπιδρούν μεταξύ τους (δεν έχουν κοινές εισόδους, ή οι θέσεις εξόδου της μιας δεν αποτελούν εισόδους στην άλλη), οπότε μπορούν να πραγματοποιηθούν

ταυτόχρονα. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός συνδέεται με την ύπαρξη κοινών πόρων σε ένα σύστημα. Σε αυτόν, δύο μεταβάσεις είναι παράλληλα σε ετοιμότητα σε κάποια σήμανση, όμως δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν κι οι δύο εξαιτίας της ύπαρξης κοινής θέσης εισόδου η οποία περιέχει μια μόνο τελεία. Η ενεργοποίηση της μιας μετάβασης αφαιρεί την ετοιμότητα της άλλης, η οποία έχει μια τουλάχιστον κενή θέση εισόδου. Ο αμοιβαίος αποκλεισμός αποτελεί περίπτωση σύγκρουσης. Σε περιπτώσεις συγκρούσεων, η επιλογή της μετάβασης που θα ενεργοποιηθεί, μπορεί να γίνει με διαφορετικά κριτήρια, όπως την ύπαρξη προτεραιοτήτων, τη συνολική κατάσταση του συστήματος, την απόδοση πιθανοτήτων, την ετοιμότητα των μεταβάσεων σε διαφορετικό χρόνο κτλ.

Ο συγχρονισμός παρατηρείται όταν μια μετάβαση έχει περισσότερες από μια θέσεις εισόδου. Στην περίπτωση αυτή, η μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα μέχρι να βρεθούν τελείες σε όλες της τις θέσεις εισόδου. Χαρακτηριστική περίπτωση κατεργασίας που είναι αναγκαίος ο συγχρονισμός αποτελούν οι συναρμολογήσεις στα συστήματα παραγωγής. Η αναπαράσταση με δίκτυα Petri των παραπάνω γεγονότων παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Αδιέξοδος εμφανίζεται σε ένα ΔΡ όταν φτάσει σε μια κατάσταση όπου καμία μετάβαση δεν μπορεί να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί και συνεπώς η εκτέλεση του δικτύου διακόπτεται. Με λίγες εξαιρέσεις (π.χ. όταν μελετάται η εξυπηρέτηση συγκεκριμένου αριθμού πελατών σε ένα σύστημα), πρόκειται για ανεπιθύμητη κατάσταση που οφείλεται σε λάθος σχεδιασμού, κι απαιτεί τον επανασχεδιασμό μέρους του συστήματος ή του μοντέλου του [13].



Εικόνα 2 Αναπαράσταση με ΔΡ α) ακολουθίας γεγονότων, β) παραλληλίας, γ) αμοιβαίου αποκλεισμού και δ) συγχρονισμού

2.3 Επεκτάσεις δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι επεκτάσεις ΔΡ που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη για τη μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής διαφόρων κατηγοριών. Συγκεκριμένα, ορίζονται και παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των χρονικών ΔΡ καθώς κι οι επεκτάσεις τόξων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με το αρχικό μοντέλο ή τις επεκτάσεις του. Υπάρχουν κι άλλοι τύποι επεκτάσεων που δεν παρουσιάζονται αφού δεν εντάσσονται στους σκοπούς της μελέτης αυτής.

2.3.1 Χρονικά δίκτυα Petri

Τα χρονικά ΔΡ χρησιμοποιούνται για την ποσοτική ανάλυση αποδοτικότητας και τον έλεγχο αξιοπιστίας συστημάτων στο πέρασμα του χρόνου. Στα χρονικά ΔΡ εισάγεται στη λειτουργία του δικτύου η έννοια του χρόνου, την οποία είχε εσκεμμένα παραλείψει ο Petri [14], αφού θεωρούσε ανεπιθύμητες κάποιες συνέπειες της. Η εισαγωγή της έννοιας του χρόνου γίνεται συνδέοντας χρονικές καθυστερήσεις με τους κόμβους του δικτύου. Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορούν να συνδέονται και με τους δύο τύπους κόμβων, όμως για λόγους ευκολίας ανάλυσης προτιμάται όλες οι καθυστερήσεις να συνδέονται είτε με θέσεις είτε με μεταβάσεις [15]. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται ΔΡ στα οποία οι χρόνοι έχουν συνδεθεί με τις μεταβάσεις, τα οποία ονομάζονται t-χρονικά δίκτυα Petri. Σε αυτά η χρονική καθυστέρηση μεσολαβεί από τη στιγμή που η μετάβαση τίθεται σε ετοιμότητα μέχρι να ενεργοποιηθεί.

Ένα χρονικό δίκτυο Petri ορίζεται αυστηρά από την εξάδα από στοιχεία:

$$TPN = \{P, T, I, O, m_0, D\}$$

Τα πέντε πρώτα στοιχεία είναι αυτά που περιγράφηκαν στον αντίστοιχο ορισμό των συνήθων δικτύων Petri και το D είναι ένα διάνυσμα m στοιχείων που αναπαριστά τις χρονικές καθυστερήσεις των μεταβάσεων κι είναι συνάρτηση από το σύνολο των μη-αρνητικών πραγματικών αριθμών $(0, \infty)$. Οι χρονικές καθυστερήσεις μπορεί να είναι σταθερές (αιτιοκρατικά ΔΡ), να είναι τυχαίες μεταβλητές (π.χ. να ακολουθούν εκθετικές, ομοιόμορφες κτλ. κατανομές οπότε πρόκειται για στοχαστικά ΔΡ) ή ακόμα και να είναι συναρτήσεις των σημάτων θέσεων του δικτύου.

Η δραστηριότητα που περιγράφει μια μετάβαση, ολοκληρώνεται με δύο διαδοχικά στοιχειώδη γεγονότα. Ο χρόνος μεταξύ των δύο γεγονότων μπορεί να είναι μηδενικός, οπότε πρόκειται για άμεση μετάβαση ή όχι οπότε η μετάβαση ενεργοποιείται με καθυστέρηση και ονομάζεται χρονική. Για λόγους καλύτερης διάκρισης των όσων ισχύουν, με μαύρο χρώμα (■) συμβολίζονται οι άμεσες μεταβάσεις και με λευκό (□) οι χρονικές μεταβάσεις. Οι τελείες αφαιρούνται από τις θέσεις εισόδου κατά την πραγματοποίηση του πρώτου στοιχειώδους γεγονότος και τοποθετούνται στις θέσεις εξόδου με την πραγματοποίηση του δεύτερου [16], [17]. Για παράδειγμα, η επιδιόρθωση μιας μηχανής ξεκινάει με το γεγονός «έναρξη επιδιόρθωσης» και τελειώνει με την «ολοκλήρωση επιδιόρθωσης».

Οι ιδιότητες και τα εργαλεία ανάλυσης των χρονικών δικτύων Petri είναι τα ίδια με αυτά που παρουσιάστηκαν για τα συνήθη δίκτυα Petri. Παρόλα αυτά, αν επιχειρηθεί η ανάλυση ενός χρονικού ΔΡ μέσω του αντίστοιχου συνήθους, θα οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα εξαιτίας του μη συνυπολογισμού του χρόνου.

2.3.2 Επεκτάσεις τόξων στα δίκτυα Petri

Συχνά, το σύνολο τόξων A ενός ΔΡ, χωρίζεται σε δύο υποσύνολα, το υποσύνολο των συνήθων τόξων και το υποσύνολο των άλλων τύπων τόξων (επεκτάσεων). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται οι δύο πλέον δημοφιλείς τύποι επεκτάσεων τόξων, τα τόξα ενεργοποίησης (activator arcs) και τα τόξα παρεμπόδισης (inhibitor arcs) [18] - [21]. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των κατηγοριών τόξων είναι πως έχουν κατεύθυνση μόνο από θέσεις προς μεταβάσεις κι όχι αντίστροφα, καθώς επίσης και το ότι δε συμβαίνει ροή τελειών μέσω αυτών, αλλά χρησιμοποιούνται για να θέσουν σε ετοιμότητα ή να εμποδίσουν την ενεργοποίηση μεταβάσεων με βάση την παρουσία τελειών σε συγκεκριμένες θέσεις.

- Ένα τόξο ενεργοποίησης βάρους W με κατεύθυνση από μια θέση p_i προς μια μετάβαση t_j , επιτρέπει στην t_j να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) \geq W$$

- Ένα τόξο παρεμπόδισης βάρους W με κατεύθυνση από θέση p_i προς μετάβαση t_j , επιτρέπει στην t_j να τεθεί σε ετοιμότητα και να ενεργοποιηθεί, μόνο αν ισχύει:

$$m(p_i) < W$$

Για λόγους διάκρισης, τα συνήθη τόξα αναπαρίστανται με απλά βέλη (\rightarrow), τα τόξα ενεργοποίησης έχουν διακεκομμένη γραμμή (\dashrightarrow) και τα τόξα παρεμπόδισης αναπαρίστανται ως βέλη με ένα μικρό κύκλο στο τέλος τους (\rightarrow).

Πρέπει να σημειωθεί πως στην περίπτωση που ένα ΔΡ είναι k-περιορισμένο, τα τόξα ενεργοποίησης και παρεμπόδισης μπορούν να αντικατασταθούν από ισοδύναμες δομές συνήθων ΔΡ [22]. Το κύριο χαρακτηριστικό στην περίπτωση αυτή είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα, αφού για την αντικατάσταση ενός τόξου απαιτείται ολόκληρη δομή συνήθους δικτύου Petri. Οι επεκτάσεις τόξων βοηθούν σημαντικά την απόδοση προτεραιοτήτων και την επίλυση συγκρούσεων μεταξύ μεταβάσεων.

2.3.3 Πλεονεκτήματα χρήσης δικτύων Petri

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των ΔΡ και τα πλεονεκτήματά τους σε σχέση με άλλες μεθόδους μοντελοποίησης και μελέτης συστημάτων, όπως αναφέρονται στη σχετική βιβλιογραφία [11], [23] - [25]. Τα στοιχεία αυτά οδήγησαν στην επιλογή του συγκεκριμένου εργαλείου ως εργαλείο υλοποίησης στην παρούσα μελέτη.

Τα ΔΡ αποτελούν ένα καλά ορισμένο γραφικό και μαθηματικό φορμαλισμό μοντελοποίησης, σε αντίθεση με άλλες αντίστοιχες τεχνικές, όπου η μια από τις δύο αυτές ιδιότητες είναι καλά ανεπτυγμένη ενώ η άλλη έχει προστεθεί με λιγότερο συστηματικό τρόπο. Να σημειωθεί πως και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά των ΔΡ είναι υψηλής σημασίας, αφού η διαδικασία ανάπτυξης απαιτεί τη χρήση γραφικών αλλά και αλγοριθμικών εργαλείων. Το γραφικό περιβάλλον βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση και το μαθηματικό υπόβαθρο στην κατάστρωση εξισώσεων και προσομοίωση των μοντέλων που προκύπτουν. Η προσομοίωση αποτελεί το βασικότερο εργαλείο ανάλυσης αποδοτικότητας των ΔΡ.

Στη μεγάλη απήχηση των ΔΡ στην επιστημονική κοινότητα συντελεί το γεγονός πως μπορούν να αναπαραστήσουν αποτελεσματικά όλα τα βασικά χαρακτηριστικά συστημάτων διακριτών γεγονότων με αλληλεπιδρώντα συστατικά μέρη, δηλαδή την ακολουθία γεγονότων, την παραλληλία, το συγχρονισμό, τον αμοιβαίο αποκλεισμό, την κατανομή κοινών πόρων, την ύπαρξη αλληλεξαρτήσεων διεργασιών, την τυχαιότητα, την εμφάνιση αδιεξόδων και τις συγκρούσεις. Ουσιαστικά, τα δομικά στοιχεία (θέσεις, μεταβάσεις και τρόποι σύνδεσης τους) των

ΔΡ περιγράφουν τη στατική δομή ενός συστήματος, ενώ οι τελείες αναπαριστούν κάθε στιγμή τη δυναμική του κατάσταση.

Έχει οριστεί μεγάλος αριθμός επεκτάσεων του αρχικού μοντέλου που βελτιώνουν σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες αναπαράστασης του. Οι επεκτάσεις αυτές επιτρέπουν μεταξύ άλλων την πληρέστερη ποσοτική ανάλυση συστημάτων (χρονικά ΔΡ), την αναπαράσταση συνεχών ή υβριδικών συστημάτων (συνεχή και υβριδικά ΔΡ), την πιο συμπυκνωμένη αναπαράσταση συστημάτων μέσω της σύνδεσης θέσεων με διαφορετικούς τύπους τελειών, όπου κάθε τύπος τελείας συνδέεται με διαφορετικές δομές δεδομένων (υψηλού επιπέδου ΔΡ όπως για παράδειγμα τα έγχρωμα ΔΡ), την αναπαράσταση μη βεβαίας γνώσης για την κατάσταση ενός συστήματος (ασαφή ΔΡ), τη δυνατότητα εξωτερικοί ελεγκτές να επηρεάσουν την εξέλιξη της κατάστασης των τελειών στο δίκτυο (ελεγχόμενα ΔΡ), την αναπαράσταση υποθετικού λόγου (ΔΡ με επεκτάσεις τόξων) και ΔΡ στα οποία ένα δίκτυο μπορεί να αποτελέσει τελεία ενός άλλου δικτύου (αντικειμενοστραφή ΔΡ). Επίσης τα ΔΡ είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για την ιεραρχική μοντελοποίηση συστημάτων, αφού μια θέση ή μια μετάβαση μπορεί να αντικατασταθεί από ένα υποδίκτυο για να παρέχει πιο λεπτομερή περιγραφή κάποιων συστατικών μερών (για τις ανάγκες αυτές έχει αναπτυχθεί κατηγορία ιεραρχικών επεκτάσεων ΔΡ).

Η μεταβολή της κατάστασης σε ένα ΔΡ ορίζεται από τη ροή των τελειών μέσα σε αυτό. Αυτό σημαίνει πως μια περιορισμένη σε μέγεθος δομή ΔΡ μπορεί να αναπαραστήσει μεγάλο πλήθος διαφορετικών καταστάσεων καθώς κι αλλαγές των αρχικών χαρακτηριστικών του μοντέλου (m_o), κάτι που δεν ισχύει για άλλες μεθόδους μοντελοποίησης όπως οι μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων και τα αυτόματα που αναπαριστούν ένα σταθερό σύνολο καταστάσεων (κάθε κατάσταση αναπαρίσταται από ένα κόμβο) και πρέπει να τροποποιηθούν συνολικά όταν μεταβάλλονται οι πληροφορίες των αρχικών καταστάσεων. Ακόμα, τα αυτόματα έχουν αποδειχθεί στην πράξη ανεπαρκή για την περιγραφή παράλληλων δραστηριοτήτων, ενώ οι τελείες στα ΔΡ μπορούν σαφώς να αναπαραστήσουν ταυτόχρονα την κατάσταση πολλαπλών συστατικών μερών του συστήματος. Αυτό προκύπτει από το ότι τα αυτόματα αναπαριστούν την κατάσταση του συνολικού συστήματος σε μια χρονική στιγμή, ενώ τα ΔΡ περιγράφουν τις καταστάσεις των συστατικών του μερών ανεξάρτητα. Τα ΔΡ είναι το πιο κατάλληλο εργαλείο μοντελοποίησης για την αναπαράσταση συστημάτων με επαναλαμβανόμενες δομές και ροές και μεγάλους χώρους προσεγγίσιμων καταστάσεων. Η χρήση λεκτικών περιγραφών ή μαθηματικών παραστάσεων στις μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων δυσκολεύει

την κατανόηση των μοντέλων από μη ειδικούς σε σχέση με την απλή γραφική αναπαράσταση των ΔΡ η οποία κάνει δυνατή την οπτικοποίηση της ροής καταστάσεων σε ένα σύστημα και τον εντοπισμό των εξαρτήσεων μεταξύ των μερών του. Επίσης, η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση συστημάτων που μπορεί να γίνει σε συστήματα μοντελοποιημένα με ΔΡ είναι πιο ολοκληρωμένη και μπορεί να δώσει πιο σημαντικά αποτελέσματα, ενώ η χρήση τους μπορεί να συνδυαστεί με πλήθος άλλων εργαλείων στα πλαίσια μεγάλης ποικιλίας εφαρμογών.

Τα ΔΡ εμφανίζουν σημαντικά πλεονεκτήματα κι έναντι των αλυσίδων Markov. Στα ΔΡ ο αριθμός θέσεων και μεταβάσεων του μοντέλου αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της πολυπλοκότητας του υπό μελέτη συστήματος, ενώ στην ίδια περίπτωση ο αριθμός καταστάσεων της αντίστοιχης αλυσίδας Markov αυξάνει εκθετικά. Επίσης, η δυνατότητα χρήσης θεμελιωδών υποσυστημάτων κατά τη σχεδίαση ενός ΔΡ επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση του κι επέκταση του όταν αυτό είναι αναγκαίο προσθέτοντας τις αναγκαίες θέσεις μεταβάσεις και τελείες. Στην περίπτωση των αλυσίδων Markov η παραμικρή τροποποίηση του συστήματος απαιτεί τον εκ νέου ορισμό όλων των καταστάσεων του μοντέλου. Να σημειωθεί πως η αλυσίδα Markov ενός ΔΡ μπορεί να δημιουργηθεί αυτόματα μέσω του γράφου προσεγγισιμότητας του και να χρησιμοποιηθεί για παραπέρα ανάλυση αποδοτικότητας του συστήματος.

Επιπλέον πλεονέκτημα των ΔΡ αποτελεί το γεγονός πως έχουν αναπτυχθεί πλήρεις τεχνικές για την ανάλυση ιδιοτήτων (γράφοι προσεγγισιμότητας και καλυψιμότητας, πίνακας συμβάντων και αναλλοίωτα) των μοντέλων που υλοποιούνται. Ακόμα έχει αναπτυχθεί μεγάλη ποικιλία προγραμμάτων σχεδιασμού, προσομοίωσης κι ανάλυσης μοντέλων υλοποιηθέντων με διάφορες κατηγορίες ΔΡ, αρκετά από τα οποία είναι ελεύθερα διαθέσιμα από το διαδίκτυο. Η χρήση ΔΡ σε συνδυασμό με προσεγγίσεις θεμελιωδών υποσυστημάτων, επιτρέπουν την εύκολη τροποποίηση, ανανέωση κι επέκταση κομματιών των μοντέλων που έχουν υλοποιηθεί, χωρίς να απαιτείται αλλαγή ολόκληρου του μοντέλου.

Τα δίκτυα Petri επιτρέπουν ακόμα την υλοποίηση στρατηγικών εποπτικού ελέγχου για την εξάλειψη επικινδύνων καταστάσεων από τη λειτουργία ενός συστήματος. Δύο κύριες προσεγγίσεις εποπτικού ελέγχου βασισμένου σε δίκτυα Petri, είναι ο εποπτικός έλεγχος χαρτογράφησης (mapping supervisor), όπου η πολιτική ελέγχου υπολογίζεται από ένα ελεγκτή πραγματικού χρόνου ως συνάρτηση ανατροφοδότησης της σήμανσης του ΔΡ και ο εποπτικός έλεγχος ενσωματωμένου ελεγκτή (compiled supervisor), όπου η πολιτική ελέγχου αναπαρίσταται στη δομή του δικτύου.

2.4 Προσομοίωση

Η έννοια της προσομοίωσης (simulation) εμφανίστηκε αρχικά στο χώρο της επιστημονικής έρευνας ως τεχνική μελέτης των αποτελεσμάτων μιας δράσης πάνω σε ένα φαινόμενο χωρίς να απαιτείται παρέμβαση στο ίδιο το φαινόμενο. Οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για τη μελέτη και την κατανόηση αρχών λειτουργίας πολλών φυσικών, βιολογικών και κοινωνικών διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα προσομοίωση είναι η μίμηση της λειτουργίας συστημάτων ή της εξέλιξης διαδικασιών μέσα στο χρόνο με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή [26]. Διαδικασία ή σύστημα ονομάζεται ένα σύνολο στοιχείων τα οποία εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν σύμφωνα με κάποιους κανόνες. Οι κανόνες αυτοί εκφράζονται με μαθηματικές ή λογικές σχέσεις και αποτελούν το μοντέλο του συστήματος. Αν οι σχέσεις που περιγράφουν την εξέλιξη του συστήματος είναι απλές, τότε είναι δυνατή η εύρεση λύσεων κλειστής μορφής, οπότε λέμε ότι το μοντέλο επιλύεται αναλυτικά. Ωστόσο σε συστήματα που περιγράφονται από πολύπλοκα μοντέλα και διάνυσμα κατάστασης μεγάλων διαστάσεων η αναλυτική επίλυση είναι αδύνατη. Για την μελέτη αυτών των συστημάτων εφαρμόζονται οι λεγόμενες αριθμητικές μέθοδοι. Τέτοιες είναι η αριθμητική ανάλυση και η προσομοίωση. Η προσομοίωση συνίσταται στην ανάπτυξη ενός μοντέλου του υπό εξέταση συστήματος με τη μορφή προγράμματος σε υπολογιστή και στην εκτέλεση ενός (ή περισσότερων) πειράματος το οποίο καταγράφει την κατάσταση του συστήματος σε διαδοχικές χρονικές στιγμές αποτυπώνοντας ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης του συστήματος στο χρόνο. Κατάσταση είναι το σύνολο των μεταβλητών οι οποίες δίνουν την απαραίτητη πληροφορία για την περιγραφή του συστήματος.

Η προσομοίωση ευρίσκει εφαρμογές:

- Στην ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων παραγωγής (βιομηχανία)
- Στον έλεγχο αποθεμάτων (βιομηχανία, εμπορικές επιχειρήσεις)
- Στη μελέτη κυκλοφοριακών συστημάτων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμια)
- Στη μελέτη συστημάτων εξυπηρέτησης πελατών (τράπεζες, νοσοκομεία, τηλεπικοινωνίες)
- Στην αξιολόγηση αποφάσεων υπό αβεβαιότητα (χρηματιστήριο, επενδύσεις, marketing).

Με την προσομοίωση μπορεί κανείς να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα ή απόδοση ενός συστήματος πριν αυτό κατασκευασθεί με σκοπό τη βέλτιστη σχεδίαση του και έχει στόχο την οικονομικότερη, ταχύτερη και λιγότερο επικίνδυνη απεικόνιση της πραγματικότητας σε υπολογιστικό περιβάλλον.

2.5 Πρόβλεψη

Η πρόβλεψη αποτελεί την διαδικασία υπολογισμού μιας τιμής του μέλλοντος με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν για το παρελθόν και το παρόν αλλά και την ανάλυση των τάσεων. Για την επίτευξη μιας όσο το δυνατόν ακριβέστερης πρόβλεψης, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση τα δεδομένα να είναι ενημερωμένα. Ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα είναι κεντρικής σημασίας για την πρόβλεψη, γι' αυτό το σκοπό δηλώνεται και ο βαθμός αβεβαιότητας.

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενες επιχειρηματικές συνθήκες ως αποτέλεσμα του παγκόσμιου ανταγωνισμού και των ραγδαίων τεχνολογικών αλλαγών ασκούν πιέσεις στις επιχειρήσεις για όσο το δυνατόν πιο ακριβείς προβλέψεις. Οι προβλέψεις είναι αναγκαίες προκειμένου να καθορίσει μια επιχείρηση τους πόρους που θα χρειαστεί και τις ανάγκες της σε προσωπικό, να προγραμματίσει την διαδικασία παραγωγής και τις δραστηριότητες της με σκοπό να ολοκληρώσει έγκαιρα όλες τις μελλοντικές ανάγκες της αγοράς. Οι ακριβείς προβλέψεις επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αξιοποιούν αποτελεσματικά τις δυνατότητες του εξοπλισμού, να διαχειρίζονται αποτελεσματικά το προσωπικό τους, να μειώνουν τους μέσους χρόνους και κατά συνέπεια τα μέσα κόστη παραγωγής καθώς και να εκμεταλλευτούν στο μέγιστο το απόθεμα πρώτων υλών και προϊόντων [27] – [30]. Πρέπει να σημειωθεί πως οποιαδήποτε μέθοδος πρόβλεψης και να χρησιμοποιηθεί, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν παρουσιάζουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα αφού πολλοί τυχαίοι παράγοντες συμβάλουν σε αυτό. Το ζητούμενο μιας αποτελεσματικής μεθόδου πρόβλεψης είναι οι αποκλίσεις αυτές να είναι οι μικρότερες δυνατές κι η επιλογή της μεθοδολογίας που θα χρησιμοποιηθεί τελικά πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι η πρόβλεψη, λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργούν σήμερα οι επιχειρήσεις, είναι αναγκαία και μια από τις πλέον σημαντικές λειτουργίες της διοικήσεως των επιχειρήσεων. Επιπλέον, η πρόβλεψη καλύπτει τις πληροφοριακές ανάγκες των διαφόρων λειτουργικών τμημάτων των επιχειρήσεων και δρα υποστηρικτικά των αποφάσεων που λαμβάνουν. Ωστόσο, μια πρόβλεψη όσο ακριβής και αν είναι δεν δύναται να εξαλείψει εντελώς το στοιχείο της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει το σημερινό περιβάλλον λειτουργίας των επιχειρήσεων. Αποτελεί όμως σημαντική πηγή πληροφόρησης για τη λήψη επιχειρηματικών αποφάσεων, καθώς περιορίζει, κατά το μέτρο του δυνατού, το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Οι μέθοδοι πρόβλεψης μπορούν να βασιστούν είτε σε μαθηματικά μοντέλα με τη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων ιστορικών στοιχείων, είτε σε ποιοτικές μεθόδους βασισμένες στην διοικητική εμπειρία των στελεχών της επιχείρησης, είτε σε συνδυασμό και των δύο. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες από τις πλέον δημοφιλείς μεθόδους πρόβλεψης, τα πλεονεκτήματα αλλά και οι περιορισμοί τους και τέλος θα πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για την ζήτηση διαφορετικών προϊόντων χρησιμοποιώντας δεδομένα που παραχωρήθηκαν από την υπό μελέτη βιομηχανία. Η πρόβλεψη που θα πραγματοποιηθεί στο σχετικό κεφάλαιο, αφορά την ζήτηση προϊόντων για το έτος 2016.

Η ζήτηση δεν θεωρείται σταθερή και ομαλά κατανομημένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Παρατηρείται έντονη εποχικότητα αλλά και αύξηση της ζήτησης κυρίως σε περιόδους όπου αυξάνεται ο τουρισμός στην Ελλάδα, δηλαδή την άνοιξη, το καλοκαίρι αλλά και το φθινόπωρο. Το φαινόμενο αυτό όμως δεν μπορεί να εντοπιστεί με ακρίβεια κατά τη διαδικασία πρόβλεψης καθώς εμφανίζεται σε τυχαίες περιόδους και εξαρτάται άμεσα από την τάση της αγοράς, από εγχώριες εξελίξεις που επηρεάζουν τον τουρισμό, από το κλίμα αλλά και από την πολιτική αγοράς και αποθεματοποίησης που ακολουθεί η εκάστοτε βιομηχανία.

2.5.1 Διαδικασία Πρόβλεψης

Η διαδικασία της πρόβλεψης αποτελείται από συνολικά πέντε διαδοχικά στάδια τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια:

- Καθορισμός προβλήματος (problem definition). Το συγκεκριμένο στάδιο αποτελεί τις περισσότερες φορές το δυσκολότερο μέρος της πρόβλεψης αλλά ταυτόχρονα και το πιο σημαντικό. Αυτό συμβαίνει γιατί θα πρέπει να καταστούν σαφή θέματα που σχετίζονται κυρίως με τον τρόπο χρήσης των προβλέψεων αλλά και από το ποιοι θα τις χρησιμοποιήσουν.
- Συγκέντρωση πληροφοριών (information gathering). Το συγκεκριμένο στάδιο χωρίζεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες. Τις πληροφορίες που αποτελούν στατιστικά, συνήθως αριθμητικά δεδομένα και εκείνες που σχετίζονται με την κρίση, την πείρα και την εμπειρία όσων ασχολούνται με το υπό μελέτη αντικείμενο. Οι πληροφορίες είναι απαραίτητο να συλλεχθούν πριν από την έναρξη της διαδικασίας της πρόβλεψης και παράλληλα να είναι σαφώς ορισμένες και κατατοπιστικές.

- Προκαταρκτική ανάλυση (exploratory analysis). Το συγκεκριμένο στάδιο σχετίζεται με το είδος της πληροφορίας που μπορεί να προκύψει από την ακατέργαστη πληροφορία που έχει ήδη συλλεχθεί. Αρχικά, γίνεται γραφική αναπαράσταση των δεδομένων και υπολογίζονται μια σειρά από στατιστικούς δείκτες όπως π.χ. η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, ελάχιστο, μέγιστο καθώς και η γραμμική τάση. Οι δείκτες αναδεικνύουν κάποια δευτερεύοντα χαρακτηριστικά της χρονοσειράς, έτσι ώστε να προκύψει μια ολοκληρωμένη εικόνα των δεδομένων, δίδοντας παράλληλα απαντήσεις σε ερωτήματα που σχετίζονται με την ύπαρξη λανθασμένων προτύπων, την ύπαρξη σημαντικής τάσης ή/και εποχικότητας όπως επίσης αν υπάρχουν ασυνήθιστες τιμές (outliers). Η ανάλυση αυτή οδηγεί στην οικογένεια μοντέλων που αναμένεται να δώσει ικανοποιητικές προβλέψεις.
- Επιλογή και προσαρμογή μοντέλων (choosing & fitting models). Στο συγκεκριμένο στάδιο πραγματοποιείται η αναγνώριση και ο καθορισμός των παραμέτρων διαφόρων ποσοτικών μοντέλων πρόβλεψης που έχουν επιλεγεί στο προηγούμενο στάδιο. Σχολιάζονται όλες οι πιθανές εκδοχές πρόβλεψης που έχουν κηρυχθεί κατάλληλες για εφαρμογή και σταδιακά αποκλείονται, καταλήγοντας σε μία.
- Εφαρμογή και αξιολόγηση μοντέλου (using & evaluating forecasting model). Στο συγκεκριμένο στάδιο το μοντέλο που έχει επιλεγεί, εφαρμόζεται και καταγράφονται τα αποτελέσματά του, θετικά ή αρνητικά. Αν κριθεί απαραίτητο και εφόσον ζητηθεί επαναλαμβάνονται κάποια βήματα της διαδικασίας για να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα.

Με την ολοκλήρωση της πρόβλεψης και της καταγραφής των αποτελεσμάτων, πραγματοποιείται μέτρηση σφάλματος για τον εντοπισμό της απόκλισης των αποτελεσμάτων από την πραγματικότητα. Όσο πιο μικρή είναι η απόκλιση αυτή, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται ότι είναι η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε, δεδομένου ότι είναι σε θέση να προσδιορίζει με σχετικά μεγαλύτερη ακρίβεια τις τιμές που εξετάζει. Αντίθετα, όσο περισσότερο απέχουν οι πραγματικές τιμές από τις προβλεπόμενες, τόσο λιγότερο αξιόλογη είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος πρόβλεψης. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων θα αναλυθούν στη συνέχεια του κεφαλαίου.

2.5.2 Μέθοδοι Πρόβλεψης

Οι μέθοδοι πρόβλεψης σε δύο κύριες κατηγορίες, τις ποιοτικές και τις ποσοτικές. Οι ποιοτικές μέθοδοι θεωρούνται υποκειμενικές, βασίζονται σε εκτιμήσεις-γνώμες ειδικών και περιλαμβάνουν σε μεγάλο βαθμό το στοιχείο της προκατάληψης. Σε αντίθεση όμως με τις ποιοτικές, οι ποσοτικές μέθοδοι βασίζονται στη μαθηματική μοντελοποίηση, είναι αντικειμενικές και επαναλήψιμες. Διακρίνονται με τη σειρά τους σε μεθόδους προεκβολής (ανάλυση χρονοσειρών), αιτιατικές μεθόδους και τη μέθοδο της προσομοίωσης. Η ανάλυση χρονοσειρών στηρίζεται στην ιδέα ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων και ασχολείται με την ανάλυση των ιστορικών δεδομένων σε παράγοντες όπως η τάση, η εποχικότητα, ο ανταγωνισμός, κ.λπ. Οι αιτιατικές μέθοδοι πρόβλεψης θεωρούν ότι η ζήτηση εξαρτάται από ορισμένους εξωτερικούς (μακροοικονομικούς) παράγοντες. Η δυσκολία της μεθόδου έγκειται στο γεγονός πως η μεταβλητή για την οποία γίνεται η πρόβλεψη εξαρτάται με κάποιο τρόπο από ένα ή περισσότερα εξωγενή στοιχεία όπου δυσκολεύουν την εύρεση της κατάλληλης μαθηματικής σχέσης. Κατά μία γενική εικόνα τα αιτιατικά μοντέλα είναι περίπλοκα καθώς λαμβάνουν υπόψη τους πολλές παραμέτρους. Τέλος η μέθοδος της προσομοίωσης παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής μιας σειράς υποθέσεων σχετικά με την πρόβλεψη και την δημιουργία κατάλληλου μοντέλου το οποίο κατά την εφαρμογή του μας δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα σε επίπεδο πρόβλεψης. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα οι δύο κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης.

2.5.2.1 Ποιοτικές μέθοδοι

Οι ποιοτικές μέθοδοι προβλέψεων ονομάζονται και «υποκειμενικές» μέθοδοι προβλέψεων, επειδή σε πολύ μεγάλο βαθμό στηρίζονται στην πείρα και στις υποκειμενικές εκτιμήσεις ανθρώπων μέσα αλλά και έξω από μια επιχείρηση. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως όταν δεν υπάρχουν επαρκή (ή και καθόλου) αριθμητικά δεδομένα, όταν ο διαθέσιμος χρόνος για τη διαμόρφωση προβλέψεων με αναλυτική τεχνική κρίνεται ανεπαρκής και για πολύ μακροχρόνιες προβλέψεις. Για παράδειγμα, η εισαγωγή ενός νέου προϊόντος ή μιας νέας υπηρεσίας αντιπροσωπεύουν επιχειρηματικές δραστηριότητες με πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη προηγούμενη πείρα. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις η χρήση μιας ποιοτικής μεθόδου πρόβλεψης είναι επιτακτική, καθώς δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία ώστε να επιλεγεί κάποια από τις ποσοτικές μεθόδους προβλέψεων που υπάρχουν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποιοτικές μεθόδους πρόβλεψης:

- Grass Roots. Η πρόβλεψη πραγματοποιείται από δεδομένα που προέρχονται από εκείνους που έρχονται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο της πρόβλεψης, όπως πωλητές στην περίπτωση πρόβλεψης πωλήσεων ενός προϊόντος.
- Έρευνα Αγοράς. Συλλογή δεδομένων από διάφορους τρόπους (συνεντεύξεις, ερωτηματολόγιο,...) με στόχο τον έλεγχο συνθηκών της αγοράς. Θεωρείται μακροπρόθεσμη μέθοδος πρόβλεψης κυρίως για νέα προϊόντα.
- Συμβούλιο τεχνικών. Ελεύθερη ανταλλαγή απόψεων σε συνελεύσεις. Οι συμμετέχοντες μπορεί να είναι στελέχη, πωλητές και πελάτες.
- Ιστορική αναλογία. Σύνδεση του αντικειμένου πρόβλεψης με ένα παρόμοιο μέγεθος. Χρήσιμη για το σχεδιασμό νέων προϊόντων όπου η πρόβλεψη πραγματοποιείται σύμφωνα με το ιστορικό ενός παρόμοιου προϊόντος.
- Μέθοδος Delphi. Μια ομάδα ειδικών απαντάει σε ένα ερωτηματολόγιο, το οποίο τροποποιείται σύμφωνα με τα αποτελέσματα και αποστέλλεται ξανά με στόχο να δημιουργηθεί μία διαδικασία μάθησης για τα μέλη της ομάδας χωρίς πίεση από προϊστάμενους.
- Μέθοδος Brainstorming. Ομαδική ή ατομική τεχνική κατά την οποία πραγματοποιείται προσπάθεια για την εξαγωγή συμπερασμάτων μέσα από την δημιουργία ενός καταλόγου από αυθόρμητες απόψεις που προσφέρονται από τα μέλη της επιχείρησης.

2.5.2.2 Ποσοτικές μέθοδοι

Η επόμενη κατηγορία περιλαμβάνει τις ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης οι οποίες στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα λειτουργίας. Ο τρόπος λειτουργίας των μεθόδων είναι συγκεκριμένος και αντικειμενικός με δυνατότητα εμφάνισης όμοιων αποτελεσμάτων κάτω από τις ίδιες συνθήκες χρήσης. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η χρήση στατιστικών αποτελεσμάτων βασισμένων σε παλιότερα κυρίως στοιχεία. Η οικογένεια αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εύρεση πιο άμεσων προβλέψεων, δεδομένα για επόμενες χρονικές περιόδους όπως εβδομάδα, μήνας, χρόνος κ.τ.λ. Για παράδειγμα, αν καταγράψουμε τις ημερήσιες τιμές κλεισίματος μια συγκεκριμένης μετοχής στο ελληνικό χρηματιστήριο για χρονικό διάστημα 5 ετών, τότε έχουμε στη διάθεσή μας ένα στατιστικό αποτέλεσμα για τις τιμές που λάμβανε η μετοχή το χρονικό διάστημα αυτό. Αναλύοντας τα δεδομένα γίνεται πρόβλεψη για την τιμή που ενδεχομένως να λάβει η μετοχή στο άμεσο ακόλουθο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές από τις πιο δημοφιλείς ποσοτικές μεθόδους πρόβλεψης και των τριών υποκατηγοριών (ανάλυση χρονοσειρών, αιτιατικές και προσομοίωσης):

- Μέθοδος προεκβολής. Θεωρεί ότι οι ιστορικές παρατηρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μελλοντικών παρατηρήσεων.

- Απλός κινητός μέσος (Simple moving average). Απλός μέσος όρος n παρατηρήσεων όπου κάθε σημείο έχει την ίδια βαρύτητα.
- Σταθμισμένος κινητός μέσος (Weighted moving average). Ορισμένα σημεία (συνήθως τα πιο πρόσφατα) έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον υπολογισμό του μέσου όρου.
- Διπλός κινητός μέσος (Double moving average). Υπολογίζεται ο απλός κινητός μέσος δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Brown. Η στάθμιση των δεδομένων μειώνεται εκθετικά σε σχέση με τον χρόνο δίνοντας μεγαλύτερη στάθμιση στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις. Γνωστή και ως απλή εκθετική εξομάλυνση (Simple exponential smoothing).
- Διπλή εκθετική εξομάλυνση (Double exponential smoothing). Η εξομάλυνση των παρατηρήσεων γίνεται δύο φορές. Χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς παρουσιάζουν κάποια γραμμική τάση.
- Μέθοδος Holt. Επέκταση της μεθόδου Brown (απλή εκθετική εξομάλυνση). Χρησιμοποιείται όταν υπάρχει τάση στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση.
- Μέθοδος Winters. Επέκταση της μεθόδου Holt (εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση). Χρησιμοποιείται όταν εντοπίζεται τάση και εποχικότητα στις παρατηρήσεις. Γνωστή και ως εκθετική εξομάλυνση με προσαρμογή στην τάση και την εποχικότητα.
- Παλινδρόμηση. Προσαρμογή γραμμικής σχέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων είναι η πιο συνηθισμένη τέτοια μέθοδος γραμμικής προσαρμογής.
- Box-Jenkins. Περίπλοκη και ακριβής στατιστική μέθοδος που σχετίζει στατιστικά μοντέλα με τα δεδομένα και προσαρμόζει το μοντέλο στην χρονοσειρά με την χρήση κατανομών Bezier.
- Χρονοσειρές Shinskin. Αποτελεσματική μέθοδος ανάλυσης χρονοσειρών σε εποχικότητα, τάση και τυχαιότητα. Απαιτεί δεδομένα τουλάχιστον τριών ετών και είναι πολύ αποτελεσματική στον εντοπισμό του σημείου αλλαγής.

2.6 Γραμμικός Προγραμματισμός

Ο γραμμικός προγραμματισμός (linear programming) αποτελεί το δημοφιλέστερο μοντέλο στο χώρο της επιχειρησιακής έρευνας αλλά και της διοικητικής επιστήμης (management science) γενικότερα. Κυριαρχεί σήμερα η αντίληψη ότι, τρείς στις τέσσερις εφαρμογές μοντέλων επιχειρησιακής έρευνα σε

πραγματικά προβλήματα διοίκησης παραπέμπουν στο γραμμικό προγραμματισμό (γ.π.) [31].

Ο γραμμικός προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την προσέγγιση προβλημάτων κατανομής περιορισμένων πόρων ή μέσων σε εναλλακτικές και ανταγωνιστικές μεταξύ τους δραστηριότητες κατά τον καλύτερο τρόπο. Προβλήματα απόφασης αυτής της μορφής είναι, για παράδειγμα, η κατανομή εργατικού δυναμικού, τεχνολογικού εξοπλισμού και πρώτων υλών σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες, η κατανομή κεφαλαίου σε διάφορα επενδυτικά προγράμματα, η ανάθεση σε περιορισμένο προσωπικό διαφόρων υπηρεσιών, η κατανομή καλλιεργήσιμης γης σε διάφορες αγροτικές δραστηριότητες, κ.λπ. Το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα αυτών των αποφάσεων (κριτήρια απόφασης) μπορεί να αφορά τη μεγιστοποίηση του συνολικού κέρδους από πωλήσεις, την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παραγωγής, τη μεγιστοποίηση της απασχόλησης, την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, κ.λπ.

Από μαθηματική πλευρά ο γραμμικός προγραμματισμός αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο στο οποίο επιχειρείται η βελτιστοποίηση (είτε μεγιστοποίηση είτε ελαχιστοποίηση) μιας ή περισσοτέρων γραμμικών συναρτήσεων (κριτήρια βελτιστοποίησης) αγνώστων πραγματικών μεταβλητών των οποίων το πεδίο τιμών οριοθετείται έμμεσα από γραμμικούς περιορισμούς (ανισοεξισώσεις) συναρτήσει των μεταβλητών αυτών. Η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, εξελίχθηκε ως μεθοδολογία βελτιστοποίησης ενός και μόνο κριτηρίου απόφασης με την ονομασία αντικειμενική συνάρτηση (objective function). Όμως, η πολυπλοκότητα των συστημάτων απόφασης καθώς και οι συνθήκες ανταγωνιστικότητας κάτω από τις οποίες παίρνονται οι αποφάσεις καθιστούν την προσέγγιση αυτή κάθε άλλο παρά ρεαλιστική.

2.6.1 Διαδικασία μοντελοποίησης γραμμικού προβλήματος

Η διαδικασία της μοντελοποίησης ενός γραμμικού προβλήματος μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα κύρια στάδια τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια [32].

1^ο Στάδιο: Αντικείμενο της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται ο καθορισμός των μεταβλητών απόφασης οι οποίες οφείλουν να αντανakλούν απόλυτα (μοντελοποιούν) το

ζητούμενο της απόφασης, μέσα από τις ανάγκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα παρθεί η απόφαση και σύμφωνα με τις αξίες της κοινωνίας.

Το αντικείμενο της απόφασης ολοκληρώνεται με τον προσδιορισμό του συνόλου των λύσεων μετά από τη διαμόρφωση των περιορισμών που είναι γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών απόφασης. Οι τεχνολογικοί περιορισμοί, οι φυσικοί περιορισμοί, οι διαθέσιμοι πόροι και οι προτιμήσεις είναι η πηγή των έμμεσων επιτρεπτών ορίων μέσα στα οποία «κινούνται» οι τιμές των μεταβλητών απόφασης.

2^ο Στάδιο: Κριτήρια απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής του προβλήματος οφείλει να διαμορφώσει γραμμικές αντικειμενικές συναρτήσεις σύμφωνα με τους στόχους της επιχείρησης ή του οργανισμού καθώς και τις προτιμήσεις των αποφασίζοντων.

3^ο Στάδιο: Μοντέλα απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής χρησιμοποιεί μια σειρά από αλγορίθμους και συναφείς τεχνικές για την επίτευξη «καλών» λύσεων και την τεκμηρίωση των λύσεων αυτών.

4^ο Στάδιο: Υποστήριξη της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο ο αναλυτής προσπαθεί να πείσει τον αποφασίζοντα για την «αξία» μιας λύσης. Σε περίπτωση που η λύση και οι επιπτώσεις της στο περιβάλλον που θα παρθεί η απόφαση δεν ικανοποιούν τον αποφασίζοντα, θα πρέπει να αναθεωρηθεί ένας ή περισσότεροι από τους παράγοντες: τεχνολογία, περιβάλλον, πόροι και προτιμήσεις.

2.6.2 Συνθήκες εφαρμογής και τυπολογία μοντέλων γραμμικού προγραμματισμού

Για να είναι θεμιτή η προσέγγιση ενός γραμμικού προβλήματος απόφασης μέσω ενός κλασικού μοντέλου γραμμικού προγραμματισμού θα πρέπει να ισχύουν οι προϋποθέσεις που ακολουθούν [33].

- **Γραμμικότητα:** Το αποτέλεσμα, είτε αυτό είναι όρος περιορισμού είτε όρος αντικειμενικής συνάρτησης, είναι γραμμική συνάρτηση του αιτίου που το

προκαλεί. Στην αντίθετη περίπτωση το μοντέλο εμπίπτει στο χώρο του μη γραμμικού προγραμματισμού.

- **Διαιρετότητα:** Οι μεταβλητές απόφασης είναι άπειρα διαιρετές, εκφράζονται, για παράδειγμα, σε μονάδες μήκους, βάρους, κ.λπ. Σε περίπτωση που οι μεταβλητές δεσμεύονται να πάρουν όλες ακέραιες τιμές, το πρόβλημα εμπίπτει στην κατηγορία του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Όταν δεν δεσμεύονται όλες οι μεταβλητές να πάρουν ακέραιες τιμές, αλλά μονάχα μερικές από αυτές, τότε το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του μικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού.
- **Βεβαιότητα:** Τα δεδομένα του προβλήματος (αριθμητικά στοιχεία) είναι γνωστά με απόλυτη βεβαιότητα. Όταν ορισμένα από αυτά δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα, αλλά ακολουθούν γνωστούς στατιστικούς νόμους, ο προγραμματισμός λέγεται στοχαστικός. Ενώ όταν η πληροφορία για κάποιους συντελεστές είναι προσεγγιστική, είναι δηλαδή διαστήματα στα οποία ανήκουν ασαφώς οι συντελεστές αυτοί, ο προγραμματισμός λέγεται ασαφής.
- **Μονοδιάστατη:** Στον κλασικό γραμμικό προγραμματισμό η αντικειμενική συνάρτηση πρέπει να είναι μια και μοναδική (μονοδιάστατος ή μονοκριτήριος). Στην αντίθετη περίπτωση, το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία του πολυκριτήριου γραμμικού προγραμματισμού.

2.6.3 Μικτός ακέραιος γραμμικός προγραμματισμός

Σε ένα κλασικό (συνεχές) γραμμικό πρόγραμμα οι τιμές των μεταβλητών μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε πραγματική τιμή. Σε άλλες περιπτώσεις, όπως αυτή που αναφέρεται στο γραμμικό πρόβλημα της συγκεκριμένης βιομηχανίας, μερικές από τις μεταβλητές υποχρεούνται να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές. Τέτοιες μεταβλητές είναι για παράδειγμα αυτές που δηλώνουν αριθμό εργατών, αποφάσεις χρηματοδότησης ή όπως στο συγκεκριμένο πρόβλημα, παρτίδες επεξεργαζόμενων τεμαχίων. Τα προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού που ο περιορισμός ακεραιότητας δεν ισχύει για όλες τις μεταβλητές, ονομάζονται προβλήματα μικτού ακέραιου προγραμματισμού. Στην συγκεκριμένη διατριβή το γραμμικό πρόβλημα ανήκει σε αυτή την κατηγορία μιας και η μεταβλητή απόφασης για τον καθορισμό των επεξεργαζόμενων παρτίδων δερμάτων θα πρέπει να είναι ακέραιος αριθμός, ενώ παράλληλα η μεταβλητή απόφασης που καθορίζει το μηνιαίο απόθεμα, μπορεί να δεχθεί όλες τις τιμές.

3^ο Κεφάλαιο

3. Υπό μελέτη εταιρία- Creta Farms

3.1 Ιστορία

Το ταξίδι της Creta Farms ξεκινά το 1970 στην Κρήτη, το νησί του ελαιόδεντρου, με τον καρπό που κρύβει το μεγάλο ελληνικό θησαυρό, το «υγρό χρυσάφι» κατά τον Όμηρο, το ελαιόλαδο.

Στον ευλογημένο αυτό τόπο, ο Στυλιανός Δομαζάκης, πατέρας των σημερινών ιδιοκτητών, μεγαλώνοντας δικά του ζώα, ιδρύει την πρώτη οργανωμένη μονάδα παραγωγής χοιρινού κρέατος στην Κρήτη, βάζοντας έτσι τα θεμέλια για τη δημιουργία της μεγάλης σημερινής επιχείρησης.



Εικόνα 3 Εγκαταστάσεις Creta Farms

Το μεράκι των δύο αδελφών, Εμμανουήλ και Κωνσταντίνου για καινοτομικά προϊόντα βασισμένα σε αγνά συστατικά, η πίστη τους στην κρητική διατροφή και το όνειρό τους να γίνουν πρεσβευτές της ταξιδεύοντάς τη σε όλο τον κόσμο, οδήγησε στη γέννηση της Creta Farms. Ένας σημαντικός σταθμός σε αυτό το γοητευτικό ταξίδι στη γεύση και την καινοτομία ήταν η πρωτοποριακή σειρά 0-3%, με κύρια χαρακτηριστικά την πλούσια γεύση και τα χαμηλά λιπαρά. Η κατηγορία των αλλαντικών μέχρι τότε χαρακτηριζόταν από υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, με αποτέλεσμα να θεωρείται - δικαίως- «απαγορευμένη απόλαυση».

Με το λανσάρισμα της σειράς Creta Farms 0-3%, κάνει την εμφάνισή της η πρώτη σειρά αλλαντικών στην Ελλάδα με χαμηλά λιπαρά, η οποία αποτέλεσε το εισιτήριο για την είσοδο της εταιρίας στο λιανεμπόριο και δημιούργησε νέα τάση στην κατηγορία των αλλαντικών κάνοντας το πρώτο βήμα για την απενοχοποίησή τους.

Όμως, τα δύο αδέλφια, ανήσυχια πνεύματα, δεν επαναπαύθηκαν στην αρχική επιτυχία. Σύντομα, ακολούθησε η γέννηση μιας ιδέας, μίας μοναδικής στον κόσμο συνταγής, που θα έκανε την Creta Farms όχι μόνο έναν από τους μεγαλύτερους ομίλους επιχειρήσεων τροφίμων στην Ελλάδα, αλλά και μία ταχύτατα αναπτυσσόμενη εταιρία σε διεθνές επίπεδο. Μία μεγάλη επιτυχία μέσα από μία πολύ απλή σκέψη! Μία μοναδική στον κόσμο συνταγή, μέσα από το μεγαλείο της απλότητας, που ονομάστηκε «**Εν Ελλάδι**».

Το μυστικό; Η αφαίρεση ζωικού λίπους από επιλεγμένα τεμάχια εκλεκτού κρέατος και ακολούθως η άμεση ενσωμάτωση εξαιρετικού παρθένου ελαιολάδου σε αυτό.

Σήμερα, η Creta Farms συνεχίζει να παράγει αγνά, υψηλής ποιότητας και με πλούσια γεύση προϊόντα. Διατηρώντας πάντα το αρχικό μεράκι των ανθρώπων της, έχει παντρέψει την μεσογειακή διατροφική παράδοση με την καινοτομία, μεγαλώνοντας και ξεφεύγοντας πλέον από τα στενά ελληνικά σύνορα. Η νέα παγκόσμια ταυτότητά της αντικατοπτρίζει τη δυναμική της και την αποφασιστικότητά της να ισχυροποιηθεί σε όλα τα επίπεδα σηματοδοτώντας παράλληλα την εξάπλωση από μία «φάρμα» στην Κρήτη... σε «φάρμες» στο εξωτερικό.

3.2 Παραγωγή

Οι υπερσύγχρονες μονάδες παραγωγής αλλαντικών της Creta Farms είναι άρτια εξοπλισμένες ώστε να συνδυάζουν υψηλή ποιότητα με παραγωγικότητα και να υποστηρίζουν κάθε νέα προοπτική και επίτευγμα στον τομέα της Τεχνολογίας Τροφίμων.



Εικόνα 4 Χώρος Αποθήκευσης αλλαντικών

Η παραγωγική μονάδα έχει δυναμικότητα πάνω από 100 τόνων ημερησίως ενώ λειτουργεί σε τρεις βάρδιες – δύο παραγωγικές και μία καθαρισμού και απολύμανσης χώρων και εξοπλισμού. Η λειτουργία της παραγωγικής μονάδας βασίζεται σε σύστημα ISO 22000 (HACCP) και είναι σύμφωνη με τα πρότυπα ISO9001,BRC,ISO14001.

Τα κρίσιμα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας όπως και οι συνθήκες θερμοκρασίας στους χώρους παραγωγής, παρακολουθούνται online με τη βοήθεια σύγχρονων συστημάτων ενώ ένα πολύ καλά οργανωμένο σύστημα ιχνηλασιμότητας επιτρέπει τη συσχέτιση του τελικού προϊόντος ακόμα και με τον αριθμό του θαλάμου απογαλακτισμού του χοιρινού που αποτέλεσε την Α' ύλη του αλλαντικού.

Θεμέλιο λίθο όμως για τη διασφάλιση της παραγωγικής διαδικασίας κάθε ποιοτικού προϊόντος που φέρει το όνομα της Creta Farms, αποτελεί το άρτια

εκπαιδευμένο προσωπικό, όχι μόνο σε επίπεδο διαδικασιών παραγωγής αλλά και σε θέματα υγιεινής και ασφάλειας.

3.3 Στάδια και Διαδικασία Παραγωγής Αλλαντικών

3.3.1 Α' Και Β' Ύλες για την παραγωγή αλλαντικών

Η βασική Α' ύλη για την παραγωγή των αλλαντικών Creta Farms είναι εκλεκτό χοιρινό κρέας. Κάτω από αυστηρές συνθήκες υγιεινής πραγματοποιείται ο τεμαχισμός των σφάγιων και η αφαίρεση οστών, νεύρων, χόνδρων και λίπους. Ο βαθμός καθαρισμού του κρέατος από το λίπος γίνεται με βάση τις προδιαγραφές λιποπεριεκτικότητας του τελικού προϊόντος για το οποίο προορίζεται. Για παράδειγμα η απομάκρυνση του λίπους είναι πλήρης εφόσον το κρέας προορίζεται για τελικό προϊόν της σειράς 0-3% και μερική εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή χωριάτικων λουκάνικων.

Κάθε παρτίδα καθαρού κρέατος σημαίνεται κατάλληλα σύμφωνα με το σύστημα ιχνηλασιμότητας της εταιρείας, αποθηκεύεται σε συνθήκες ψύξης και αναλώνεται εντός 24 ωρών για την παραγωγή αλλαντικών.

Με τον όρο Β' ύλες, περιγράφονται όλα τα πρόσθετα καρυκεύματα, άλευρα, ελαιόλαδο, λαχανικά, φυτικές πρωτεΐνες, μέλι, πρωτεΐνες γάλακτος που χρησιμοποιούνται στις συνταγές των αλλαντικών.

Η υποδοχή των Β' υλών γίνεται σε ειδικά διαμορφωμένους αποθηκευτικούς χώρους, όπου τηρούνται ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι Β' ύλες σημαίνονται κατάλληλα, εντάσσονται στο σύστημα ιχνηλασιμότητας και ταξινομούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται αποφυγή επιμολύνσεων από αλλεργιογόνα.

Οι Β' ύλες που προβλέπονται από κάθε συνταγή αλλαντικών, ζυγίζονται ελεγχόμενα σε ανοξείδωτα σκεύη στο παρασκευαστήριο της παραγωγικής μονάδας και προστίθενται στη συνταγή στο στάδιο της ανάμιξης.

3.3.2 Μορφοποίηση των αλλαντικών

Κατά το στάδιο της μορφοποίησης, το κρέας, τα είδη και οι διάφορες Β' ύλες που προβλέπονται από τη συνταγή του αλλαντικού αναμιγνύονται. Η διαδικασία αυτή είναι δυνατό να επιτυγχάνεται με διάλυση των Β' υλών σε νερό και έγχυσή τους στο

κρέας, είτε με μαρινάρισμα, είτε με λεπτό τεμαχισμό του κρέατος σε ομογενοποιητή όπου προστίθενται και οι Β' ύλες.

3.3.3 Θερμική επεξεργασία

Το στάδιο της θερμικής επεξεργασίας είναι το σημαντικότερο για την ασφάλεια του προϊόντος. Η επεξεργασία του αλλαντικού σε κατάλληλη θερμοκρασία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα στοχεύει στην εξάλειψη πιθανών μικροβιολογικών κινδύνων και εγγυάται την ασφάλεια του καταναλωτή.

Το στάδιο αυτό όμως είναι και καθοριστικό για τις ιδιαίτερες οργανοληπτικές ιδιότητες κάθε αλλαντικού αφού περιλαμβάνει βράσιμο ή ψήσιμο και κάπνισμα. Ακόμα και το είδος του ξύλου που χρησιμοποιείται για το κάπνισμα κάθε αλλαντικού συμμετέχει στην ιδιαίτερη γεύση της κάθε συνταγής.

3.3.4 Συσκευασία

Ο χώρος της συσκευασίας των αλλαντικών, σαφώς οριοθετημένος, αποτελεί περιοχή ύψιστης υγιεινής και είναι εξοπλισμένος με συστήματα εξειδικευμένων φίλτρων αέρα, και μονάδων υπεριώδους ακτινοβολίας για τη συνεχή αποστείρωση του αέρα και των επιφανειών κοπής των αλλαντικών.

Επιπλέον, μετά τη συσκευασία, ακολουθεί ακόμη ένα στάδιο παστερίωσης των τελικών προϊόντων. Η δεύτερη παστερίωση των αλλαντικών μας, αποτελεί τεχνολογική καινοτομία για τον ελλαδικό χώρο και θέτει ακόμα υψηλότερα τον πήχη της ποιότητας στην αγορά των αλλαντικών: διπλή παστερίωση για διπλή ασφάλεια.

Τα συσκευασμένα αλλαντικά σημαίνονται με τα στοιχεία της γραμμής και της ώρας συσκευασίας ενώ σε κάθε συσκευασία εντυπώνονται ευκρινώς η ημερομηνία λήξης και οι συνθήκες συντήρησης του προϊόντος.

Από το σημείο αυτό και έχοντας την έγκριση του τμήματος Ποιοτικού Ελέγχου για την τήρηση των απαραίτητων συνθηκών κατά την παραγωγή όπως ορίζονται από το HACCP της εταιρείας – από τις πρώτες ύλες έως και τη συσκευασία – αλλά και μετά από τους απαραίτητους μικροβιολογικούς και χημικούς ελέγχους, τα αλλαντικά Creta Farms είναι έτοιμα προς διακίνηση.

Με διαβατήριο την ποιότητα, ξεκινούν από την Κρήτη το ταξίδι προς κάθε σημείο της Ελλάδας και επιλεγμένα σημεία της Ευρώπης.

3.4 Υποδομές & Εγκαταστάσεις

Η Creta Farms είναι σήμερα ο μεγαλύτερος παραγωγός χοιρινού κρέατος στην Ελλάδα, με υπερσύγχρονες εγκαταστάσεις και μία καθετοποιημένη μονάδα παραγωγής.



Εικόνα 5 Υποδομές & Εγκαταστάσεις Creta Farms

Ακολουθώντας σταθερή και μακροπρόθεσμη στρατηγική επενδύσεων σε υπερσύγχρονες υποδομές, η Creta Farms διασφαλίζει την παροχή προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας, πάντα με σεβασμό στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

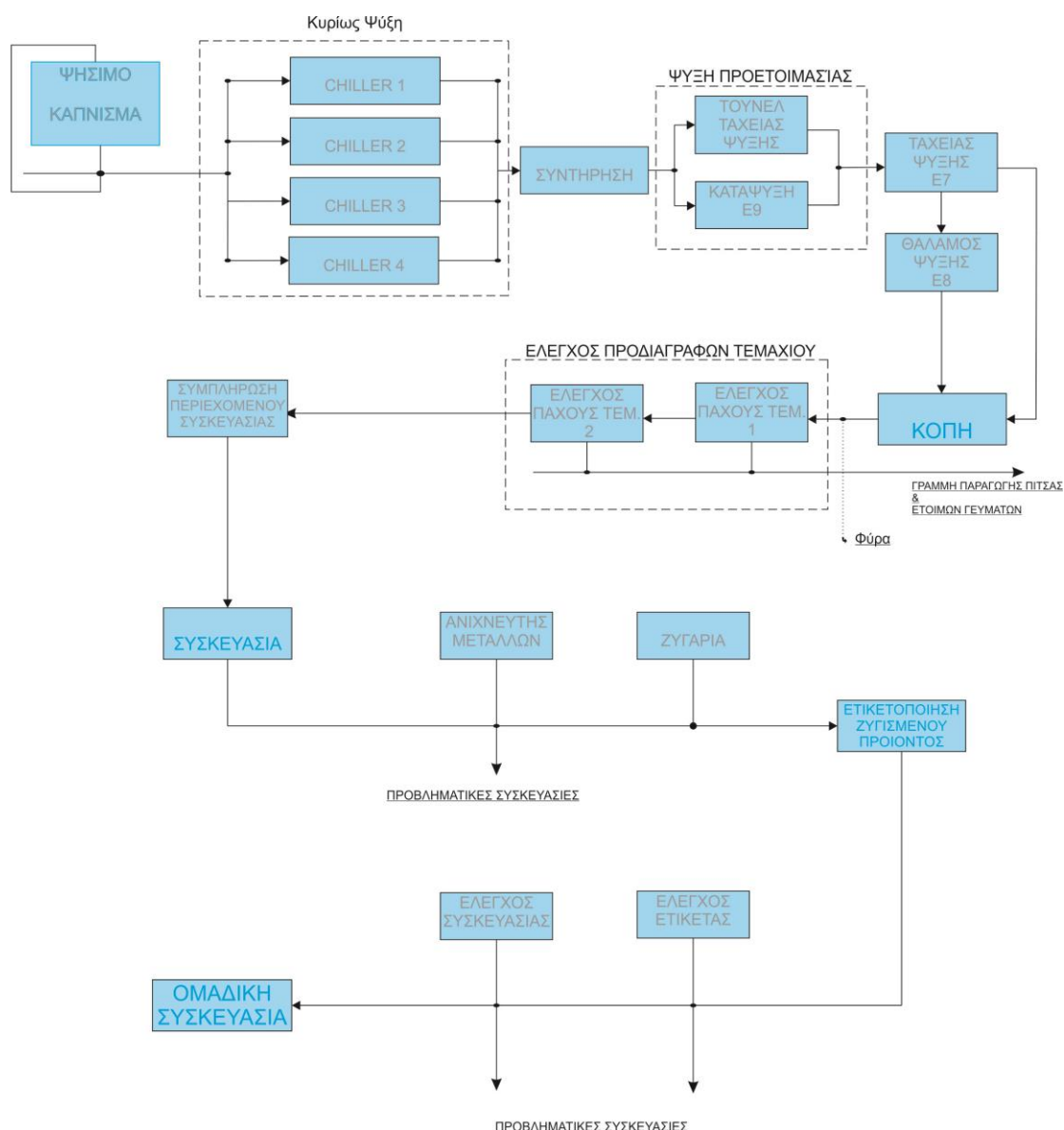
Πραγματοποιώντας κάθε χρόνο υψηλού κόστους επενδύσεις, η Creta Farms βαδίζει σε δύο βασικούς άξονες ανάπτυξης: από τη μία διασφαλίζει την προσφορά προϊόντων σταθερά υψηλής ποιότητας στο καταναλωτικό κοινό ενώ από την άλλη προστατεύει το περιβάλλον ακολουθώντας αυστηρά «πράσινη» πολιτική μέσω ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων.



Εικόνα 6 Υπερσύγχρονα μηχανήματα εργοστασίων

CECILE
FARMS

3.5 Διάγραμμα Ροής-Παραγωγική Διαδικασία



Διάγραμμα 1 Διάγραμμα ροής-Παραγωγική διαδικασία

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζονται συνοπτικά τα βασικά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας αλλαντικών από την στιγμή που έχει ψηθεί, καπνιστεί και έχει φτάσει στην διαδικασία chilling(ο όρος εξηγείται παρακάτω) έως και την αποθήκευση των συσκευασιών στα κιβώτια. Τα διαγράμματα σχεδιάστηκαν σε περιβάλλον CorelDRAW και αντιπροσωπεύουν την καθημερινή παραγωγική διαδικασία που πραγματοποιείται στην γραμμή παραγωγής κρεατοσκευασμάτων αλλαντικών που προορίζεται κυρίως για χονδρική πώληση. Η μικρή διαφοροποίηση στα διαγράμματα γίνεται στο στάδιο της κοπής και θα αναλυθεί διεξοδικά παρακάτω.

Η μεταφορά εντός των εγκαταστάσεων γίνεται με ένα δίκτυο ειδικών καροτσιών μεταφοράς της Α' ύλης από την διαδικασία chilling μέχρι και την εισαγωγή του προϊόντος στην μηχανή κοπής. Στα επόμενα στάδια γίνεται χρήση ιμάντων-ταινιοδρόμων έως και το τέλος της γραμμής παραγωγής.

Τα ειδικά καρότσια είναι “καρότσια σχάρας”, των οποίων η ονομασία προέρχεται από την ιδιαίτερη διαμόρφωση τους, όπου είναι απαραίτητη για να εξυπηρετήσει τις διαδικασίες ψήσιματος, καπνίσματος και ψύξης. Το κάθε καρότσι έχει 13 επίπεδα και το κάθε επίπεδο έχει χωρητικότητα 8 τεμάχια Α' ύλης. Δηλαδή έχουμε συνολικά 104 τεμάχια Α' ύλης /καρότσι.

Αρχικά τα τεμάχια Α' ύλης εισάγονται στα λεγόμενα chillers, όπου γίνεται ελεγχόμενη και απότομη ελάττωση της θερμοκρασίας. Τα chillers είναι ουσιαστικά ψύκτες, μηχανές δηλαδή που αφαιρούν θερμότητα μέσω ενός κύκλου χαμηλής θερμοκρασίας αέρα ή και νερού σε ειδικές περιπτώσεις. Αυτό γίνεται υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία πυρήνα των τεμαχίων της Α' ύλης, μέσω πυρηνόμετρου, έως τους ιδανικούς 5 βαθμούς Κελσίου που απαιτούνται για να μεταφερθούν τα καρότσια στην κυρίως ψύξη. Τα chiller έχουν μέγιστη χωρητικότητα 6 καρότσια. Η σημασία τους για την μονάδα είναι μεγάλη καθώς καταφέρνουν να κατεβάσουν την θερμοκρασία από τους 80-85 βαθμούς Κελσίου στους +5 βαθμούς Κελσίου σε 3 με 3.5 ώρες. Οι εγκαταστάσεις της μονάδας διαθέτουν πολλά chiller, αλλά για την γραμμή παραγωγής που μελετάται χρησιμοποιούνται 4. Η θερμοκρασία του θαλάμου καθορίζεται από τον υπεύθυνο-χειριστή στους +1β. Κελσίου και η θερμοκρασία πυρήνα, ώστε να σταματήσει αυτόματα, στους +5.

Πυρηνόμετρο είναι ένα θερμόμετρο διείσδυσης/εμβάπτισης (και θερμοκρασίας πυρήνα) ιδεώδες για γρήγορους και εύκολους ελέγχους. Έτσι επιτυγχάνεται ο έλεγχος ψύξης του κρέατος, καθώς ο υπεύθυνος χειριστής προγραμματίζει αρχικά την επιθυμητή θερμοκρασία πυρήνα και γνωρίζει άμεσα πότε είναι έτοιμο για μεταφορά στα επόμενα στάδια. Πυρηνόμετρο διαθέτουν τα chiller και οι θάλαμοι ταχείας ψύξης.

Ο στόχος της διαδικασίας στερεοποίησης είναι η καλύτερη ποιότητα του τελικού προϊόντος, που επιτυγχάνεται με συγκεκριμένες θερμοκρασίες ψύξης και χρόνους παραμονής στις καταψύξεις και στους θαλάμους ταχείας ψύξης. Η επιθυμητή θερμοκρασία πυρήνα για να μεταφερθούν τα τεμάχια Α' ύλης για κοπή είναι στους -2 με -2.5 βαθμούς Κελσίου και θερμοκρασία επιφάνειας -5 με -5.5β. Κελσίου. Έτσι ώστε το συσκευασμένο τελικό προϊόν να μην έχει παγωμένους

μικροκρυστάλλους στο αεροστεγώς σφραγισμένο πακέτο. Αυτό πρέπει να αποφευχθεί διότι, εάν έχει, τοποθετώντας το στην συντήρηση οποιουδήποτε καταστήματος πώλησης οι κρύσταλλοι σταδιακά θα υγροποιηθούν χαλώντας έτσι την αεροστεγανότητα, την ποιότητα και την όψη του. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι με αυτήν την μέθοδο έχει μειωθεί και η φύρα κατά την διάρκεια κοπής.

Στις εγκαταστάσεις ψύξης της μονάδας για την γραμμή παραγωγής αλλαντικών χρησιμοποιούνται (εκτός των προαναφερθέντων):

1. ένας θάλαμος ταχείας ψύξης, που λειτουργεί στους -25 με -30 βαθμούς Κελσίου και έχει μέγιστη χωρητικότητα 12 καρότσια (με την ονομασία «τούνελ») και χρησιμοποιείται για να φέρει την θερμοκρασία πυρήνα στους -1 με -1.5 βαθμούς Κελσίου
2. ένας θάλαμος ταχείας ψύξης, που δουλεύει στους -30β.Κελσίου και έχει μέγιστη χωρητικότητα 3 καρότσια (με την ονομασία E7). Αυτό το στάδιο κρατάει περίπου μία ώρα ώσπου το κρέας να έχει τελικά θερμοκρασία επιφάνειας στους -5 με -5.5 και θερμοκρασία πυρήνα στους -2 με -2.5 βαθμούς Κελσίου και τα τεμάχια Α' ύλης είναι έτοιμα για κοπή.
3. ένας θάλαμος ψύξης προετοιμασίας, που λειτουργεί στους -8 με -10 βαθμούς Κελσίου και έχει μέγιστη χωρητικότητα μέγιστη χωρητικότητα 19 καρότσια (με την ονομασία E9).Χρησιμοποιείται για να φέρει την θερμοκρασία πυρήνα στους -1 με -1.5 βαθμούς Κελσίου.
4. ένας θάλαμος εξισορρόπησης, που λειτουργεί στους -10 βαθμούς Κελσίου και έχει μέγιστη χωρητικότητα 8 καρότσια (με την ονομασία E8).Βοηθά στην εξισορρόπηση και την ομοιομορφία της θερμοκρασίας σε όλο το μήκος του τεμαχίου Α' ύλης μετά την εξαγωγή της από την E7.
5. ένας θάλαμος συντήρησης, στους +1 βαθμούς Κελσίου που χωράει θεωρητικά άπειρα καρότσια τα οποία προέρχονται από την διαδικασία chilling

Η ημέρα χωρίζεται κυρίως σε 2 βάρδιες ως εξής (κυρίως, γιατί υπάρχουν άτομα με διαφορετικά ωράρια για να εκπληρώνουν διαδικασίες προετοιμασίας):

1^η βάρδια (πρωινή 6πμ-2.30μμ) και 2^ηβάρδια(απογευματινή 2.30μμ-11μμ),και στις δύο υπολογίζεται και ο χρόνος διαλείμματος(30λεπτά).

Ο χρόνος κοπής ενός τεμαχίου και ενός καροτσιού(104 τεμάχια) έχει υπολογιστεί περίπου στα 11.5δευτερόλεπτα και 20λεπτά αντίστοιχα, εκτός απροόπτου. Τυχόν βλάβες, αλλαγή κωδικού προϊόντος, αλλαγής φιλμ ή απόψυξης θαλάμου ταχείας ψύξης.

Η διαδικασία της ψύξης του κρέατος για την εισαγωγή του στην μηχανή κοπής χωρίζεται σε διαδοχικά στάδια για την ημερήσια κάλυψη της διαδικασίας κοπής(40 καρότσια περίπου):

- Καθημερινά γίνεται εξαγωγή και σταδιακή τοποθέτηση 6-6 καροτσιών από τα chiller που ξεκινούν να λειτουργούν από τις 9:30-10:00 και σταματούν 22.00-23:00. Ανά μία με μιάμιση ώρα γεμίζεται με 6 καρότσια ένα chiller από τους φούρνους. Έτσι από τη 13:00 έως και τις 22:00-23:00 και ανά μιάμιση περίπου ώρα να είναι έτοιμα 6 καρότσια. Συνολικά καθημερινά βγαίνουν από τα chiller 46 καρότσια. Κατά την αρχή της διαδικασίας τα πρώτα 12 καρότσια, που βγαίνουν ανά 6 στις 13:00 και 14:00, προορίζονται για την ταχείας ψύξης (τούνελ) για μία ώρα και μετά ανά 3 (τα υπόλοιπα 3 της κάθε δάδας παραμένουν στο τούνελ) για ακόμη μία ώρα στο θάλαμο ταχείας ψύξης(E7). Το ίδιο γίνεται και με 2 από τα 6 στις 15:00. Τα επόμενα καρότσια που βγαίνουν από τα chiller προορίζονται για την πρωινή βάρδια και τοποθετούνται σταδιακά στην E9.
- Μόλις επιτευχθεί η θερμοκρασία πυρήνα -2 με -2.5 μεταφέρονται στην E8 απ' όπου και φεύγουν για την διαδικασία κοπής.
- Στις 5:00 τοποθετούνται 3 καρότσια στο θάλαμο ταχείας ψύξης(E7) από τα 6 που έχουν μείνει στην συντήρηση.
- Τα 3 αυτά καρότσια μεταφέρονται στην κατάψυξη εξισορρόπησης(E8) στις 6:00. Από εκεί προωθούνται για κοπή και μπορούν να μείνουν maximum 1 ώρα. Έπειτα τοποθετούνται άλλα 3 καρότσια στην κατάψυξη ταχείας ψύξης(E7) από την συντήρηση. Το άνω όριο του χρόνου είναι αρκετό, αφού όπως είπαμε κάθε καρότσι κάνει περίπου 20 λεπτά να κοπεί.
- Από τις 7:00 μέχρι τις 14:00 τα καρότσια που μεταφέρονται ανά 3 στην E7 προέρχονται από την κατάψυξη προετοιμασίας(E9). Και κάθε μία ώρα μεταφέρονται στην E8 και από κει κατευθείαν για κοπή.

Η διαδικασία κοπής γίνεται ανάλογα με τον τύπο προϊόντος που έχει ζητηθεί να παραχθεί. Από τη συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής προκύπτουν 8 διαφορετικοί τύποι συσκευασιών που απαιτούν δύο διαφορετικούς τύπους κοπής. Οι 5 από αυτούς απαιτούν κλιμακωτή κοπή και οι υπόλοιποι 3 απαιτούν συνεχή κοπή.

Πιο αναλυτικά:

1. Στην κλιμακωτή κοπή γίνεται ρύθμιση στην μηχανής κοπής των:

Βασικός Έλεγχος:

- Ταχύτητα μαχαιριού (σε στροφές/λεπτό)
- πάχους φέτας (σε mm)
- τεμαχίων στάκας (σε πλήθος φετών)
- απόστασης φετών (σε mm)
- Slice denials (σε πλήθος φετών)

Ιμάντες Εξόδου:

1^{ος} Ιμάντας:

- Ελέγχεται με βάση την τιμή της απόστασης φετών στις ρυθμίσεις Βασικού Ελέγχου

2^{ος} Ιμάντας:

- Ταχύτητα μετατόπισης στάκας(m/min)
- Μήκος μετατόπισης στάκας(mm)

3^{ος} Ιμάντας:

- Ταχύτητα Ιμάντα εξόδου(m/min)

Το Slice denials είναι για πόσες φέτες δεν κόβει το μαχαίρι ώστε να δημιουργηθεί ένα κενό ανάμεσα στις διαδοχικές στάκες.

2. Στην συνεχή κοπή γίνεται ρύθμιση στην μηχανή κοπής των:

- Ταχύτητα μαχαιριού (σε στροφές/λεπτό)
- πάχους φέτας (σε mm)
- απόστασης φετών (σε πλήθος)

Ιμάντες Εξόδου:

1^{ος} Ιμάντας:

- Ελέγχεται με βάση την τιμή της απόστασης φετών στις ρυθμίσεις Βασικού Ελέγχου

2^{ος} Ιμάντας:

- Ταχύτητα Ιμάντα (m/min)

3^{ος} Ιμάντας:

- Ταχύτητα Ιμάντα (m/min)

Οι ρυθμίσεις Βασικού ελέγχου αλλάζουν βάσει του προϊόντος, ενώ οι ρυθμίσεις των Ιμάντων Εξόδου μένουν σταθερές για τις ίδιες κατεργασίες κοπής. Παρακάτω παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα με βάση την κατεργασία κοπής και το προϊόν τις ρυθμίσεις Βασικού Ελέγχου και τις ρυθμίσεις Ιμάντων Εξόδου:

ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ					
ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	Ταχύτητα Μαχαιριού(rpm)	Πάχος Φέτας(mm)	Τεμάχια Στάκας	Απόσταση Φετών(mm)	Slice Denials
Προϊόν 'Α'	1250	2.2	22	28	7
Προϊόν 'Β'	1250	2.2	22	28	7
Προϊόν 'Γ'	1150	2.1	22	28	7
Προϊόν 'Η'	1250	2.2	40	28	15
Προϊόν 'Ζ'	1250	2.2	22	28	7

ΙΜΑΝΤΕΣ ΕΞΟΔΟΥ					
2 ^{ος} ΙΜΑΝΤΑΣ	Ταχύτητα μετατόπισης στάκας(m/min)	Μήκος μετατόπισης στάκας(mm)	Ταχύτητα Ιμάντα εξόδου(m/min)	3 ^{ος} ΙΜΑΝΤΑΣ	Ταχύτητα Ιμάντα εξόδου(m/min)
Προϊόν 'Α'	80	50	30	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑ	
Προϊόν 'Β'	80	50	30	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑ	
Προϊόν 'Γ'	80	50	30	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑ	
Προϊόν 'Η'	80	50	30	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑ	
Προϊόν 'Ζ'	80	50	30	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑ	

ΣΥΝΕΧΗΣ	Ταχύτητα Μαχαιριού(rpm)	Πάχος Φέτας(mm)	Απόσταση Φετών(mm)
Προϊόν 'ΣΤ'	1250	2.2	28
Προϊόν	1250	2.2	28

‘Δ’			
Προϊόν ‘Ε’	1250	2.2	28
IMANTES ΕΞΟΔΟΥ			
2 ^{ος} IMANTΑΣ	Ταχύτητα Ιμάντα εξόδου(m/min)	3 ^{ος} IMANTΑΣ	Ταχύτητα Ιμάντα εξόδου(m/min)
Προϊόν ‘ΣΤ’	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	
Προϊόν ‘Δ’	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	
Προϊόν ‘Ε’	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	ΙΔΙΟΣ ΜΕ ΚΥΡΙΩΣ IMANTA	

Αρχικά θα αναλυθεί το διάγραμμα ροής της κλιμακωτής κοπής, η οποία εμπεριέχει και την διαδικασία της συνεχούς κοπής.

Γίνεται μεταφορά ενός καροτσιού κάθε φορά από την συντήρηση ψύξης(E8) ή τον θάλαμο ταχείας ψύξης(E7) προς τον ιμάντα εισόδου της μηχανής κοπής. Ο ιμάντας εισόδου χωράει μέχρι 10 τεμάχια Α’ ύλης (4.5μ) και η ταχύτητά του ρυθμίζεται χειροκίνητα βάσει της «Ταχύτητας Κοπής του Μαχαιριού». Από εκεί το κάθε τεμάχιο Α’ ύλης ευθυγραμμίζεται και περνάει το μαχαίρι κοπής και κόβεται σε φέτες, με στροφές μαχαιριού όπως προαναφέρθηκε, για ένα συγκεκριμένο πλήθος (στάκα) και με ένα κενό ανάμεσα τους συγκεκριμένου πλήθους φετών(Slice Denials). Αυτό γίνεται πάντα ελεγχόμενα και με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (πάχος φέτας, τεμάχια στάκας, αριθμός φετών και απόσταση φετών) ανάλογα τον επιθυμητό παραγόμενο τύπο προϊόντος όπως προαναφέρθηκε. Οι φέτες πέφτουν στον 1^ο ιμάντα εξόδου (που κινείται βάσει της Απόστασης Φετών) και προχωρούν στον 2^ο ιμάντα εξόδου. Εκείνος κινείται με ταχύτητα όσο η «Ταχύτητα Ιμάντα Εξόδου» και μόλις περνά μία στάκα επιταχύνει βάσει την «Ταχύτητα Μετατόπισης Στάκας» και μήκος τόσο όσο το «Μήκος Μετατόπισης Στάκας» που έχουν ρυθμιστεί στην μηχανή κοπής. Έτσι περνάει στον 3^ο ιμάντα εξόδου κι από κει στον κυρίως ιμάντα προετοιμασίας. Οι δύο αυτοί ιμάντες έχουν ρυθμιστεί να αλλάζουν ταχύτητα βάσει της «Ταχύτητας Κοπής του Μαχαιριού».

Έπειτα στον κυρίως ιμάντα προετοιμασίας γίνονται η διαδικασία ελέγχου φύρας και η τοποθέτηση μίας στάκας πάνω στην άλλη (για συγκεκριμένα προϊόντα). Στο σημείο του ελέγχου φύρας γίνεται η απομάκρυνση των πολύ λεπτών-χοντρών φετών. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την απομάκρυνσή τους δεν πετάγονται, αλλά συλλέγονται και αργότερα μεταφέρονται σε άλλη γραμμή παραγωγής για διαφορετική χρήση. Επίσης ότι υπάρχει ένα πολύ μικρό ποσοστό (της τάξης του 0.02%) ανεκμετάλλευτης φύρας που χάνεται κατά την κοπή και την διαδικασία ελέγχου φύρας.

Το επόμενο στάδιο της διαδικασίας είναι η συμπλήρωση του επιθυμητού αριθμού φετών, σε όποια προϊόντα χρειάζεται, από την κάθε επόμενη στάκα και η τοποθέτηση μίας στάκας πάνω σε άλλη για να γίνει οικονομία χώρου κατά την αποθήκευση στην συσκευασία. Μετέπειτα γίνεται η τοποθέτηση τους σε ένα ενιαίο κάτω φιλμ με τροποποιημένες 2 σειρές ανάλογου χώρου πακέτων. Διαφορετικά μετά τον έλεγχο φύρας γίνεται μόνον συμπλήρωση των αναγκαίων φετών που απαιτούνται και οδηγούνται στην τοποθέτηση πακέτων. Τα διαθέσιμα ανοιχτά κάτω μέρη πακέτου είναι 6. Από εκεί κινούνται με σταθερή προκαθορισμένη ταχύτητα, η οποία αλλάζει χειροκίνητα σύμφωνα με την διαθεσιμότητα έτοιμων στακών για συσκευασία. Στην συσκευαστική γίνεται απορρόφηση του αέρα και η τοποθέτηση-κόλληση του πάνω μέρους του φιλμ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η Δυναμικότητα της Συσκευαστικής:

ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ		
	ΚΥΚΛΟΙ/ΛΕΠΤΟ- MAX	ΠΑΚΕΤΑ ΣΤΟΝ ΚΥΚΛΟ
ΠΑΚΕΤΟ 960ΓΡ	6	4
ΠΑΚΕΤΟ 1300ΓΡ	6	4
ΠΑΚΕΤΟ 760ΓΡ	6	8

Πίνακας 1 Δυναμικότητα συσκευαστικής

Στην συνέχεια μέσω ιμάντα τα αεροστεγώς κλεισμένα προχωρούν σε αποκοπή του περιττού υλικού συσκευασίας (γύρω - γύρω) και αποχωρισμό των τεμαχίων ανά 2.

Έπειτα υπάρχει ένας ιμάντας όπου ο μισός σταματά για 1sec ώστε να προχωρούν το ένα πίσω από το άλλο και με άλλο ιμάντα τα προϊόντα περνάνε από έναν ανιχνευτή μετάλλων και μετά μία ζυγαριά ακριβείας ώστε τελικά να μπουν στην μηχανή ετικετοποίησης όπου το κάθε προϊόν λαμβάνει ετικέτα με τα τεχνικά

χαρακτηριστικά του και άλλες απαραίτητες πληροφορίες για τους καταναλωτές και την εταιρία.

Ο ανιχνευτής μετάλλων είναι απαραίτητος σε παραγωγικές μονάδες στις οποίες γίνεται χρήση μεταλλικών αντικειμένων και υπάρχει περίπτωση, χωρίς να παρατηρηθεί από το προσωπικό, να συσκευαστούν μικρά κομμάτια από μέταλλο (πχ. για την μεταφορά, επεξεργασία του παραγόμενου προϊόντος, μηχανές, μεταφορείς, κοπτικά). Η μεταφορά των συσκευασιών υπό της κεφαλής ανίχνευσης γίνεται με χρήση μεταφορικού ιμάντα. Εάν γίνει η ανίχνευση ενός μετάλλου με συγκεκριμένη διάμετρο, που τα όρια του επιλέγονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές, υπεισέρχεται σταμάτημα του ιμάντα και σημαίνεται συναγερμός. Επίσης υπάρχει οθόνη, όπου ο χρήστης βλέπει τι μεγέθους είναι .

Ανάλογα την διάμετρο του ανιχνευθέντος μετάλλου γίνεται και το καλιμπράρισμα της μηχανής καθημερινά πριν την έναρξη και έπειτα ανά 2 ώρες κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας (Χρόνος καλιμπραρίσματος:20sec) με χρήση δοκιμίων των:

- 2mm
- 2.5mm
- 4mm




4ο Κεφάλαιο

4. Μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με δίκτυα Petri και προσομοίωση εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας.

Σε αυτήν την ενότητα υλοποιούνται τα μοντέλα των επιμέρους εργασιών που απαρτίζουν την γραμμή παραγωγής της βιομηχανίας και για τα οκτώ προϊόντα:

- Προϊόν 'Α'
- Προϊόν 'Β'
- Προϊόν 'Γ'
- Προϊόν 'Δ'
- Προϊόν 'Ε'
- Προϊόν 'ΣΤ'
- Προϊόν 'Ζ'
- Προϊόν 'Η'



Για την πιο αποτελεσματική αλλά και αναλυτικότερη μελέτη της διαδικασίας επεξεργασίας, δημιουργήθηκαν δύο επιμέρους μοντέλα βάσει των ομοιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα ένα μοντέλο υλοποιήθηκε για να περιγράψει τα προϊόντα τα Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Ζ', Προϊόν 'Η', κι ένα δεύτερο τα Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ'. Η υλοποίηση και στη συνέχεια, η προσομοίωση σεναρίων (ενδεχόμενων αλλαγών στην παραγωγική διαδικασία), πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού μοντελοποίησης και προσομοίωσης χρονικών και συνεχών δικτύων Petri, VisualObjectNet++. [42]

Αρχικά υλοποιείται το μοντέλο της παραγωγικής διαδικασίας στο οποίο ορίζονται οι δομικές σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οντοτήτων του συστήματος καθώς και τα στάδια της παραγωγής, η ακολουθία και ο τρόπος διασύνδεσης των σταδίων αυτών και τα προϊόντα που παράγονται από κάθε στάδιο , καθώς και δομές που διασφαλίζουν την ακολουθία εκτέλεσης των διεργασιών. Στη συνέχεια δημιουργείται μηχανισμός για την αναπαράσταση των αμοιβαίως αποκλειόμενων εργασιών, επιτρέποντας έτσι την διαδοχική λειτουργία τους. Επιπλέον το μοντέλο εμπλουτίζεται με ποσοτικές παραμέτρους , που κατά κύριο

λόγο αναφέρονται στις χρονικές καθυστερήσεις των (μη συνεχών) διαδικασιών, στις χωρητικότητες των αποθηκών, στα μεγέθη των παρτίδων αλλά και στα βάρη πολλαπλότητας των τόξων. Για την πιο ολοκληρωμένη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος παραγωγής υπό διάφορες συνθήκες, εκτελούνται προσομοιώσεις εναλλακτικών σεναρίων στα οποία τροποποιούνται τιμές αλλά και η φύση συγκεκριμένων ποσοτικών παραμέτρων (μέσω της εισαγωγής της τυχαιότητας), έτσι ώστε να εξεταστούν τόσο οι πλέον συχνά συναντούμενες περιπτώσεις όσο και ακραίες αλλά ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος. Η γνώση της συμπεριφοράς του συστήματος σε ακραίες περιπτώσεις λειτουργίας μπορεί να φανεί πολύ πιο χρήσιμη για την αντιμετώπιση αυτών των καταστάσεων στο πραγματικό σύστημα παραγωγής χωρίς τους κινδύνους (οικονομικούς, φυσικούς και κινδύνους ασφάλειας) που συνεπάγεται για το ίδιο το σύστημα.

Στις ποσοτικές εκείνες παραμέτρους, που παρουσιάζουν τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνουν, η μοντελοποίηση τους πραγματοποιήθηκε ως εξής:

$$A=x+y*\text{rnd}(z)$$

Όπου:

A: Η παράμετρος που παρουσιάζει τυχαιότητα στις τιμές που λαμβάνει

x: Η ελάχιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος

$x+y*z$: Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει η παράμετρος

$$z \in Z$$

Το z λαμβάνει ακέραια τιμή στο διάστημα $[0,z]$

Η τιμή που λαμβάνει το z σε κάθε περίπτωση είναι η μέγιστη δυνατή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ποικιλία αριθμών που παράγει η γεννήτρια τυχαίων αριθμών (rnd). Μεγαλύτερη ποικιλία τιμών, συνεπάγεται πιο ρεαλιστικά και αμερόληπτα αποτελέσματα.

Οι παρακάτω πίνακες παρουσιάζουν συνοπτικά τη σημασία των κόμβων του ου δηλαδή των θέσεων (πόρων που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγική ασία) και των μεταβάσεων (ενεργειών που εκτελούνται για το μετασχηματισμό των σε τελικά προϊόντα) στο μοντέλο με δίκτυα Petri, για **Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Ζ' και Προϊόν 'Η'**. Στην επόμενη στήλη παρουσιάζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις των θέσεων καθώς και η ελάχιστη και μέγιστη καθυστέρηση για τις μεταβάσεις, οι οποίες ορίζουν στην πράξη τους λειτουργικούς περιορισμούς κατά την εκτέλεση των σεναρίων.

Πίνακας 2 Petri Μεταβάσεις

Ονομασία μετάβασης	Σημασία μετάβασης	Ελάχιστη καθυστέρηση (λεπτά)	Μέγιστη καθυστέρηση (λεπτά)
T ₁	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₂	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	3	3,5
T ₃ - T ₆	Μεταφορά καροτσιών	1	1,5
T ₇ - T ₁₂	Μεταφορά καροτσιών	3	3,5
T ₁₃ - T ₁₆	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₁₇	Μεταφορά καροτσιών	0	0
T ₁₈	Μεταφορά καροτσιών	0	0
T ₁₉	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₂₀	Μεταφορά καροτσιών	0	0
T ₂₁	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₂₂	Μεταφορά καροτσιών	0	0
T ₂₃	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	1	1,12

T ₂₄	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	1	1,15
T ₂₅	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₂₆	Μεταφορά καροτσιών	0	0
T ₂₇	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₂₈	1καρότσι=104 τεμάχια Α' ύλης	0,29	0,32
T ₂₉	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₃₀	Μεταφορά τεμαχίων Α' ύλης	0	0
T ₃₁	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0,0032	0,0032
T ₃₂	Τεμάχια Α' ύλης ->φέτες	0	0
T ₃₃	Μετάβαση ενεργοποίησης εκτέλεσης της διαδικασίας	0	0
T ₃₄ - T ₃₇	Μεταφορά στάκας	0	0
T ₃₈	Έλεγχος προδιαγραφών (χοντρές)	0	0
T ₃₉	Μεταφορά φετών	0,0006	0,0006

T ₄₀	Έλεγχος προδιαγραφών (λεπτές)	0,0006	0,0006
T ₄₁	Μεταφορά φετών	0	0
T ₄₂	Μεταφορά φετών	0	0
T ₄₃	Συμπλήρωση περιεχομένου συσκευασίας	0	0
T ₄₄	176φέτες=> 4συσκευασίες	0,0017	0,0017
T ₄₅	Συσκευασία και αποκοπή	0,0026	0,0026
T ₄₆	Μεταφορά συσκευασίας	0,0006	0,0006
T ₄₇	Μεταφορά συσκευασίας	0,0012	0,0012
T ₄₈	Μεταφορά συσκευασίας	0,0006	0,0006
T ₄₉	Ανίχνευση μετάλλων	0,001	0,001
T ₅₀	Ανίχνευση μετάλλων	0,001	0,001
T ₅₁	Μεταφορά συσκευασίας	0,0013	0,0013
T ₅₂	Μεταφορά συσκευασίας	0,0013	0,0013
T ₅₃	Μεταφορά συσκευασίας	0,0005	0,0005
T ₅₄	Μεταφορά συσκευασίας	0,0005	0,0005

T ₅₅	Μεταφορά συσκευασίας	0,0003	0,0003
T ₅₆	Μεταφορά συσκευασίας	0,0003	0,0003
T ₅₇	Ετικετοποίηση	0,0003	0,0003
T ₅₈	Μεταφορά συσκευασίας	0,0003	0,0003

Πίνακας 3 Petri θέσεις

Ονομασία θέσης	Σημασία θέσης	Χωρητικότητα (τεμάχια)
P ₁	Ψήσιμο-κάπνισμα	46
P ₂	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₃	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	2
P ₄	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₅	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₆	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₇	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	4

P ₈	Chiller 1	6
P ₉	Chiller 2	6
P ₁₀	Chiller 3	6
P ₁₁	Chiller 4	6
P ₁₂	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₁₃	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₁₄	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₁₅	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₁₆	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	5
P ₁₇	Τούνελ ταχείας ψύξεως	12
P ₁₈	E9	19
P ₁₉	Συντήρηση	1000
P ₂₀	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	6
P ₂₁	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	2

P ₂₂	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₂₃	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 1	6
P ₂₄	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 2	6
P ₂₅	E7	3
P ₂₆	E8	8
P ₂₇	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	2
P ₂₈	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	4
P ₂₉	Θέση έλεγχου για καθορισμό προτεραιότητας	1
P ₃₀	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 3	104
P ₃₁	Ιμάντας εισόδου	10
P ₃₂	Μηχανή κοπής	1
P ₃₃	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 4	205
P ₃₄	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 5	205
P ₃₅	1ος ιμάντας	22
P ₃₆	2ος ιμάντας	22

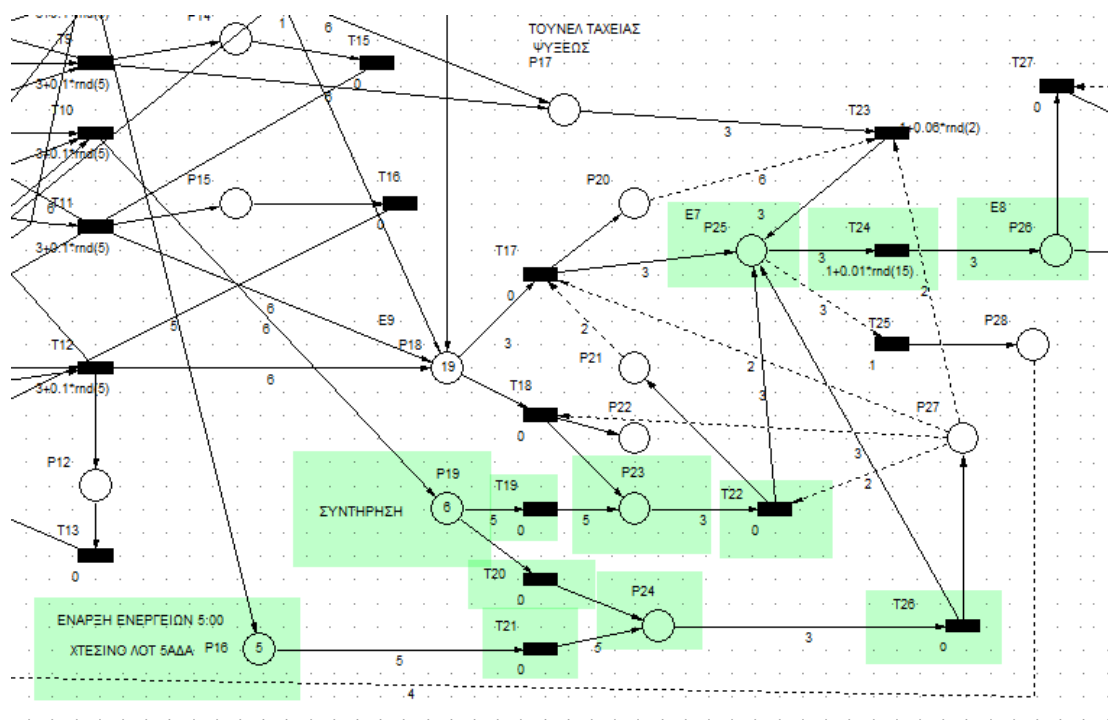
P ₃₇	3ος ιμάντας	22
P ₃₈	Κυρίως ιμάντας	22
P ₃₉	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 6	22
P ₄₀	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 7	22
P ₄₁	Ετοίμων γευμάτων	1000000
P ₄₂	Κυρίως ιμάντας	22
P ₄₃	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 8	40
P ₄₄	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 9	40
P ₄₅	Πληρότητα προδιαγραφών	88
P ₄₆	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 10	176
P ₄₇	Συσκευαστική	4
P ₄₈	Αποθήκη ενδιάμεσου προϊόντος 11	4
P ₄₉	Μαύρος σταματήματος	4
P ₅₀	Λευκός ισιώματος	6
P ₅₁	Ανιχνευτής μετάλλων	4
P ₅₂	1ος σταματήματος	2
P ₅₃	2ος σταματήματος	1

P ₅₄	Ζυγαριά	1
P ₅₅	Ετικετοποίηση	1
P ₅₆	Ομαδική συσκευασία	100000

Στο συγκεκριμένο σενάριο έχουν εισαχθεί οι ποσοτικές παράμετροι όπως έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια παρατήρησης της παραγωγικής διαδικασίας, μελέτη του αρχείου καταγραφών αλλά και από συνεντεύξεις που έγιναν με τους εργαζόμενους της συγκεκριμένης βιομηχανίας. Πρόκειται για το σενάριο βάσης, στο οποίο οι ποσοτικές παράμετροι έχουν τις πλέον συνηθισμένες τιμές και πιθανές διακυμάνσεις στην περίπτωση των τυχαίων μεταβλητών. Για την ευκολότερη επεξήγηση του, το βασικό μοντέλο θα χωριστεί σε στάδια, όπως αυτά έχουν αναλυθεί στην παρακάτω.



4.1.1 Στάδιο Προετοιμασίας



Εικόνα 9 Petri Στάδιο Προετοιμασίας

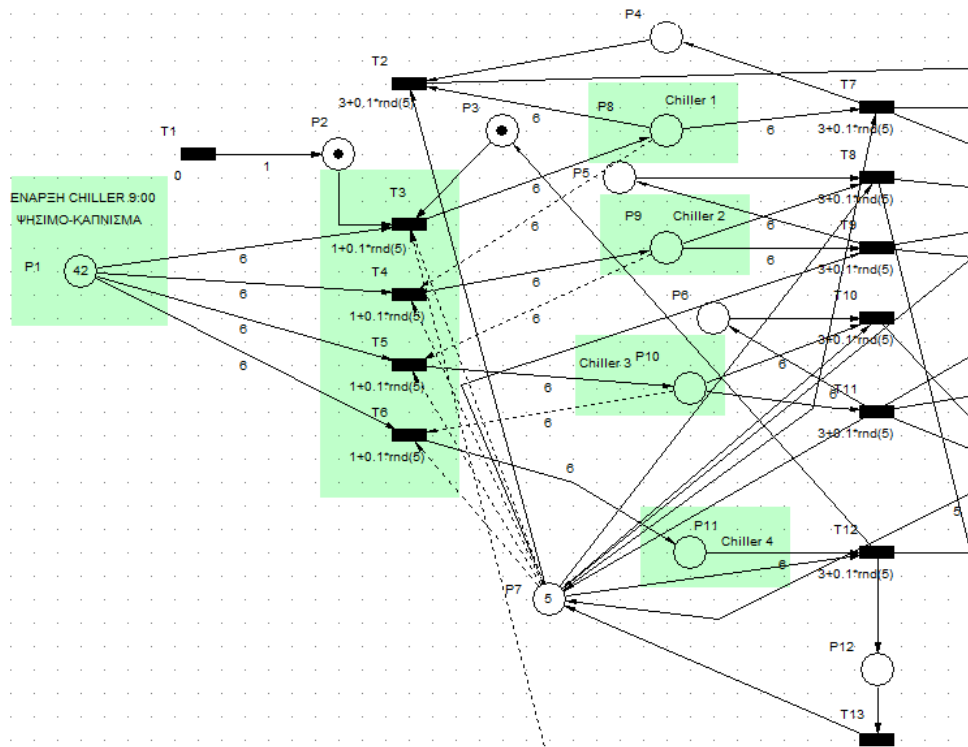
Κατά την έναρξη των εργασιών 5 καρότσια που βρίσκονται από την προηγούμενη μέρα στην P16 και ένα καρότσι από την P19 μεταφέρονται στην ενδιάμεση θέση P24 ,που αναπαριστά μια θέση συγκέντρωσης των καροτσιών αναγκαία για την δρομολόγηση των μετέπειτα διαδικασιών, μέσα από τη λειτουργία των άμεσων μεταβάσεων T20 και T21. Από εκεί τριάδες καροτσιών μεταφέρονται μέσω της T26 στη θέση P25 που αναπαριστά την κατάψυξη ταχείας ψύξης E7. Στο σημείο αυτό το κρέας θα παραμείνει περίπου μια ώρα μέχρι η θερμοκρασία επιφάνειας να πέσει στους -5 με -5.5 και αντίστοιχα η θερμοκρασία πυρήνα στους -2 με -2.5 βαθμούς Κελσίου

Από την κατάψυξη ταχείας ψύξης E7, τριάδες καροτσιών μεταφέρονται μέσω της T24 στην θέση P26 που αναπαριστά το τούνελ εξισορρόπησης E8. Εκεί γίνεται η εξισορρόπηση και επίτευξη της ομοιομορφίας της θερμοκρασίας σε όλο το μήκος του τεμαχίου Α' ύλης.

Έπειτα από την θέση P19,που αναπαριστά την ψύξη συντήρησης, μεταφέρονται τριάδες καροτσιών στην θέση P25, που αναπαριστά το τούνελ ταχείας ψύξης E7, μέσω της μετάβασης T22. Αυτό γίνεται μέσω της ενδιάμεσης μετάβασης T19 προς την ενδιάμεση θέση P23 (λαμβάνοντας υπόψη τους μέσους χρόνους των μεταφορών, υπολογίζουμε τις μεταφορές αυτών ανάλογα). Από εκεί τριάδες

καροτσιών μεταφέρονται στην P26 ,που αναπαριστά το τούνελ εξισορρόπησης E8,μέσω της μετάβασης T24.

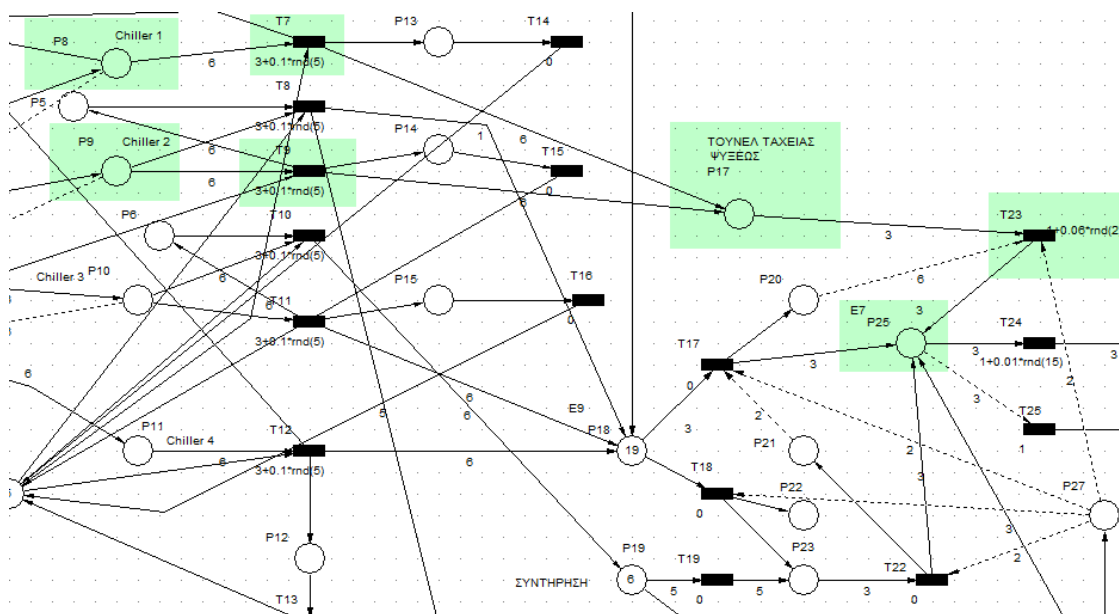
4.1.2 Κυρίως Ψύξη Μετά Από Ψήσιμο-Κάπνισμα



Εικόνα 10 Petri Κυρίως Ψύξη Μετά Από Ψήσιμο-Κάπνισμα

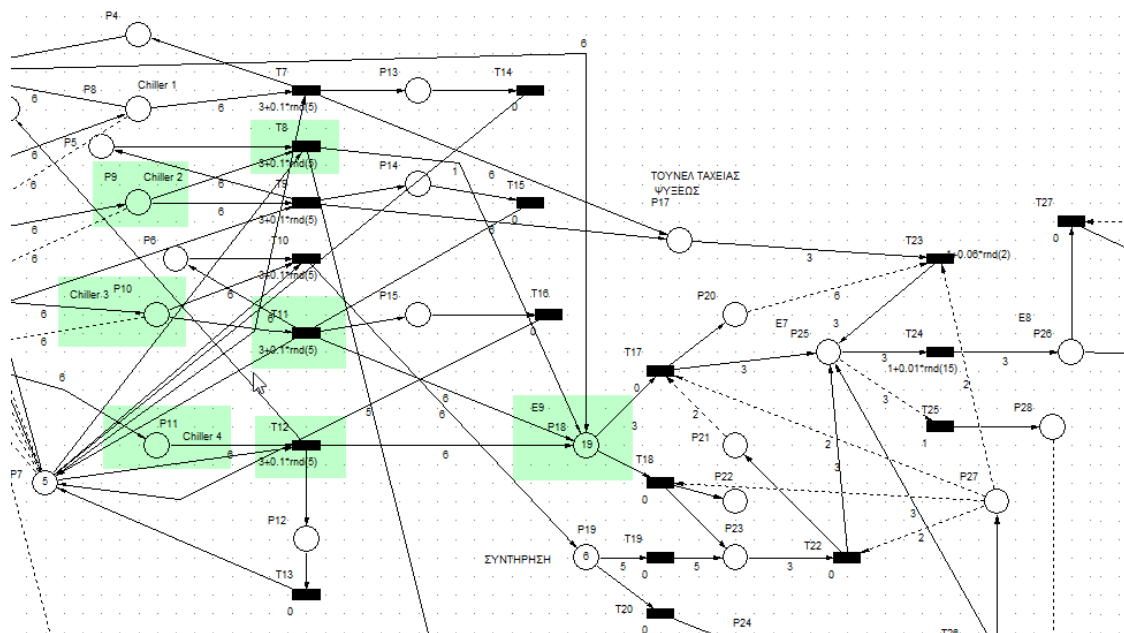
Ξεκινώντας από την θέση P1 ψησίματος και καπνίσματος των τεμαχίων Α' ύλης τα καρότσια οδηγούνται σε εξάδες στις P8,P9,P10,P11, που αναπαριστούν τέσσερις θαλάμους αποβολής θερμότητας (τα λεγόμενα «chiller»), μέσω των μεταβάσεων t3,t4,t5,t6. Ο χρόνος μεταφοράς των εξάδων υπολογίζεται ανάλογα συμπεριλαμβάνοντας τυχαιότητα στην διάρκεια του. Αυτό γίνεται για την απλοποίηση του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τους μέσους χρόνους των μεταφορών από έναν μεταφορέα.

4.1.3 Ψύξη Προετοιμασίας



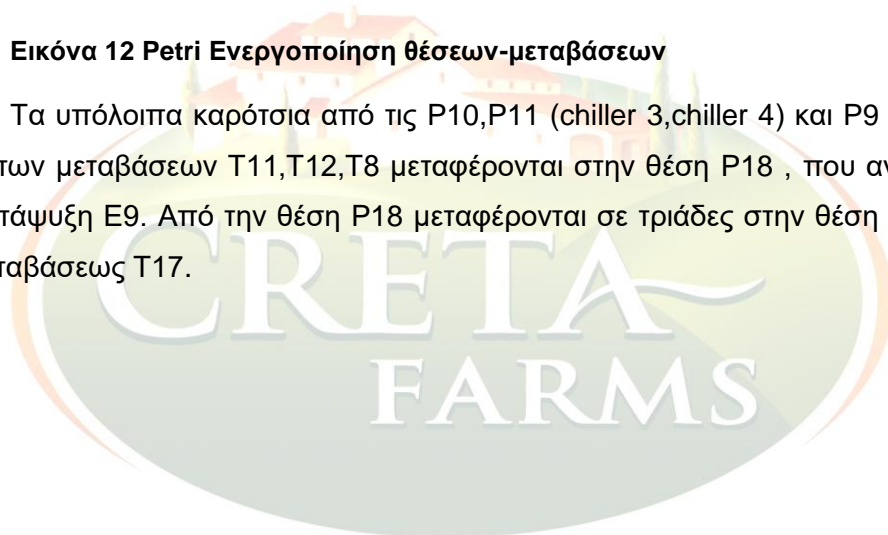
Εικόνα 11 Petri Ψύξη Προετοιμασίας

Ο κάθε θάλαμος από τους τέσσερις, έχει χωρητικότητα 6 καροτσιών. Έπειτα, από τις θέσεις P8,P9 (chiller 1, chiller 2) θα μεταφερθούν σε εξάδες στην θέση P17, που αναπαριστά ένα τούνελ ταχείας ψύξεως, μέσω των μεταβάσεων T7,T9. Από κει για επιπλέον ψύξη μεταφέρονται σε τριάδες στην θέση P25, που αναπαριστά το τούνελ ταχείας ψύξης E7, μέσω της μετάβασης T23. Η τελευταία ενέργεια θα γίνει αφού έχει τελειώσει το «Στάδιο προετοιμασίας» και θα έχουν μεταφερθεί τουλάχιστον έξι τριάδες καροτσιών από την θέση P18, που αναπαριστά την κατάψυξη E9. Η λειτουργία των μεταβάσεων T17 και T26 και η μεταφορά των αναγκαίων tokens στις θέσεις εξόδου τους P20 και P27 αντίστοιχα διασφαλίζει την ικανοποίηση των συνθηκών ενεργοποίησης της T23.

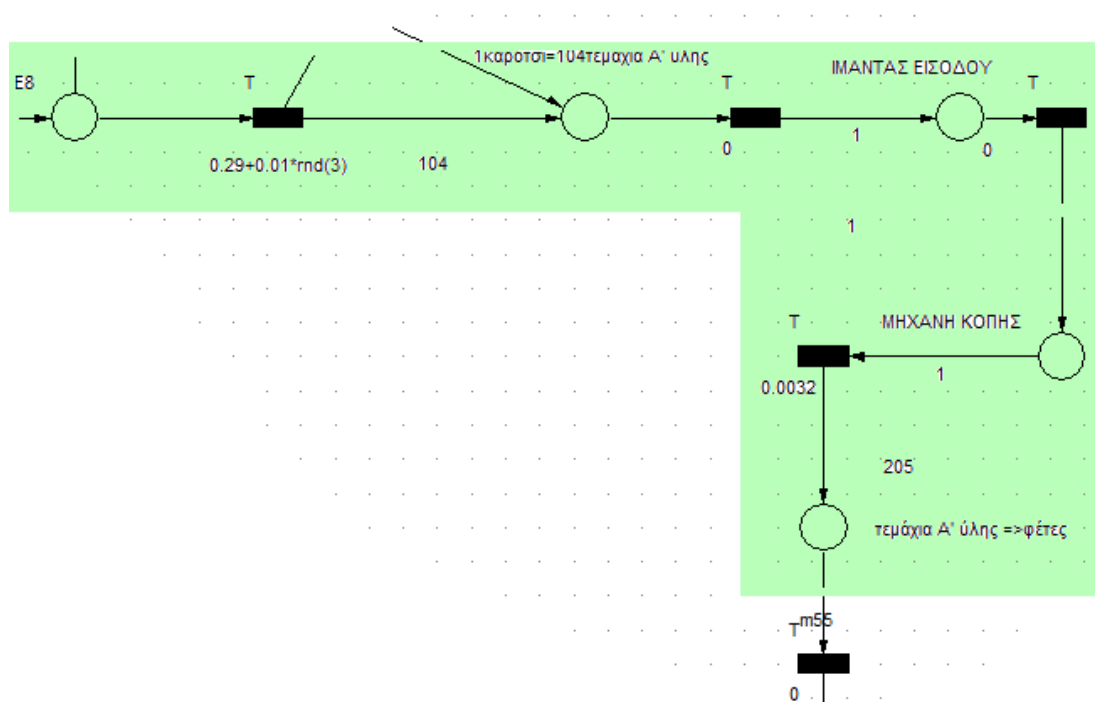


Εικόνα 12 Petri Ενεργοποίηση θέσεων-μεταβάσεων

Τα υπόλοιπα καρότσια από τις P10,P11 (chiller 3,chiller 4) και P9 (chiller 2) μέσω των μεταβάσεων T11,T12,T8 μεταφέρονται στην θέση P18 , που αναπαριστά την κατάψυξη E9. Από την θέση P18 μεταφέρονται σε τριάδες στην θέση P25 μέσω της μεταβάσεως T17.



4.1.4 Κοπή

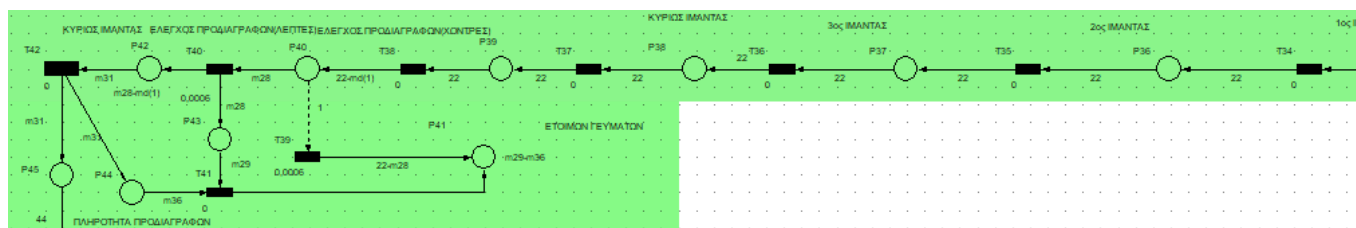


Εικόνα 13 Petri Κοπή

Στο επόμενο στάδιο, όταν δηλαδή τα απαραίτητα tokens θα έχουν φτάσει στην θέση P26 , τούνελ εξισορρόπησης E8,για τη σωστότερη λειτουργία της αναπαράστασης εξισώνεται το κάθε καρότσι σε 104 τεμάχια Α' ύλης για να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες μοντελοποίησης των επόμενων λειτουργιών. Αυτό αναπαριστάται στην ενδιάμεση θέση P30 , μέσω της άμεσης μετάβασης T28. Από εκεί τα τεμάχια Α' ύλης μεταφέρονται διακριτά στην θέση P31,που αναπαριστά τον ιμάντα εισόδου, μέσω της μετάβασης T29, στην θέση P32 ,που αναπαριστά την μηχανή κοπής , μέσω της μετάβασης T30.

Η μηχανή κόβει κάθε τεμάχιο Α' ύλης, σε 205 κατά μέσο όρο φέτες. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικά βάρη πολλαπλότητας στα τόξα εισόδου και εξόδου της μετάβασης T31. Η ενδιάμεση θέση P34 χρησιμοποιείται για την ομαλότητα της ροής του δικτύου Petri, είναι δηλαδή μια πλασματική αποθήκη, όμοια με την προηγούμενη θέση P33.

4.1.5 Έλεγχος Προδιαγραφών



Εικόνα 14 Petri Έλεγχος Προδιαγραφών

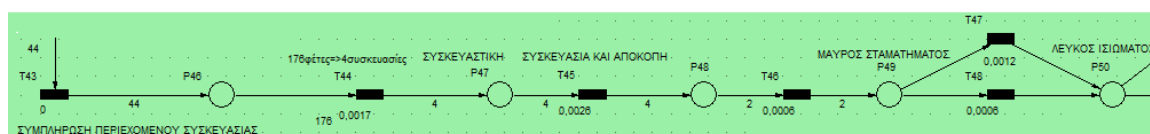
Οι φέτες μεταφέρονται μέσω μιας διάταξης ιμάντων που λειτουργούν σε διαφορετικές ταχύτητες ώστε να γίνεται πιο εύκολος ο έλεγχος προδιαγραφών και ο διαμοιρασμός σε πακέτα. Έτσι έχουμε μια ακολουθία θέσεων P35, P36, P37, P38, «1^{ος} ΙΜΑΝΤΑΣ», «2^{ος} ΙΜΑΝΤΑΣ», «3^{ος} ΙΜΑΝΤΑΣ» και «ΚΥΡΙΩΣ ΙΜΑΝΤΑΣ» αντίστοιχα και με αντίστοιχες μεταβάσεις T34, T35, T36. Η μετάβαση T34 ελέγχει την απόσταση μεταξύ των φετών, η T35 την ταχύτητα μετατόπισης στάκας και η T36 έχει μια σταθερή ταχύτητα ώστε να κρατείται η αλληλουχία μεταξύ των στακών.

Οι χρόνοι των παραπάνω μεταβάσεων μοντελοποιούνται ως μηδενικοί στο δίκτυο Petri, αλλά συμπυκνώνονται στην επόμενη μετάβαση για λόγους απλοποίησης του δικτύου, χωρίς να προκαλείται καμία σημαντική απόκλιση από την πραγματικότητα. Από την θέση P39 όπου γίνεται ο έλεγχος προδιαγραφών για τις χοντρές φέτες, μέσω της T38 μεταφέρονται στην πλασματική θέση P40, αλλά με την πιθανότητα να είναι λιγότερες.

Έπειτα γίνεται ο έλεγχος προδιαγραφών για τις λεπτές φέτες, όπου οι απορριπτέες λεπτές μαζί με τις απορριπτέες χοντρές μέσω της T39 μεταφέρονται στην θέση P41 που είναι ουσιαστικά ένα καρότσι και προορίζεται για πακέτα έτοιμων γευμάτων.

Οι υπόλοιπες φέτες που πληρούν τις προδιαγραφές συνεχίζουν να κινούνται μέσω της T42 στην θέση P45, όπου και συγκεντρώνονται.

4.1.6 Συσκευασία

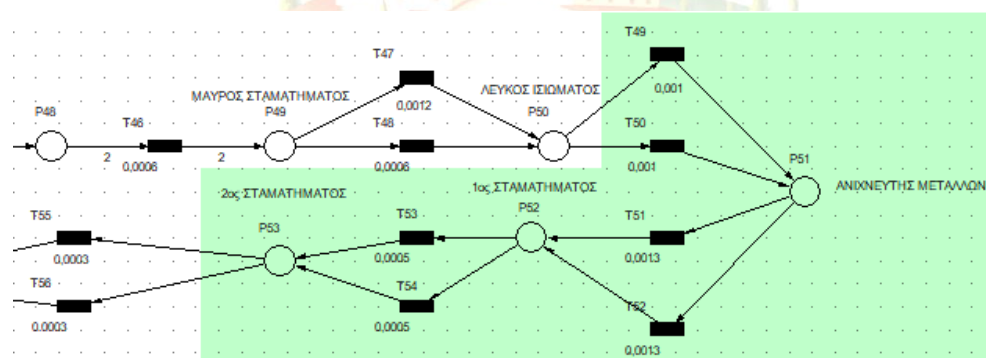


Εικόνα 15 Συσκευασία

Μετά τον έλεγχο των προδιαγραφών με την μετάβαση T43 αναπαρίσταται η συμπλήρωση περιεχομένου, με 44 φέτες ανά συσκευασία. Η θέση P46 δηλώνει ένα χώρο συγκέντρωσης συσκευασιών. Συγκεκριμένα αφού συγκεντρωθούν 176 φέτες, ενεργοποιείται η μετάβαση T44 για να γίνει η μετατροπή των 176 φετών σε τέσσερα πακέτα, όπου 'αποθηκεύονται' στην επομένη θέση P47.

Από την τελευταία θέση, μέσω της μεταβάσεως T45 αναπαρίστανται η διαδικασία της συσκευασίας και η αποκοπή των τεσσάρων συσκευασιών από τις επόμενες κενές και η μεταφορά τους στη θέση P48. Από κει με την μετάβαση T46 δηλώνεται η κίνηση δυάδων συσκευασιών παράλληλα και μεταφέρονται μέσω του μαύρου ιμάντα σταματήματος στην θέση P49. Έπειτα διακριτά και εν σειρά μεταφέρονται μέσω των T47 και T48 στην θέση P50, που αναπαριστά τον λευκό ιμάντα ισιώματος.

4.1.7 Ανίχνευση Μετάλλων

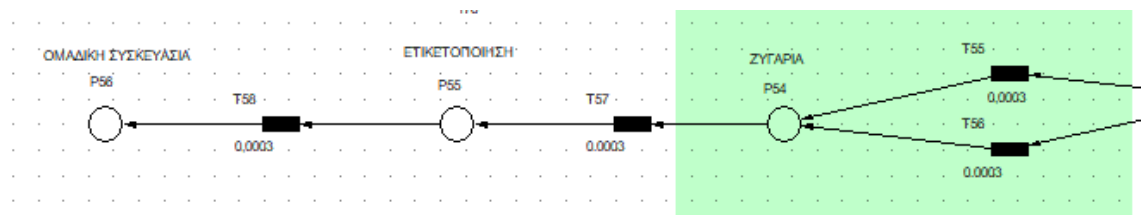


Εικόνα 16 Petri Ανίχνευση Μετάλλων

Με τις μεταβάσεις T49 και T50 αναπαρίστανται η ανίχνευση μετάλλων όπου μεταφέρονται στην θέση P51, που αναπαριστά τον ανιχνευτή μετάλλων.

Έπειτα με τις T51 και T52 οι συσκευασίες μεταφέρονται διακριτά και σταματούν να κινούνται για ένα μικρό χρονικό διάστημα, στην θέση P52, που αναπαριστά τον 1^ο ιμάντα σταματήματος. Παρομοίως με τις T53 και T54 μεταφέρονται διακριτά και σταματούν να κινούνται για ένα μικρό χρονικό διάστημα, στην θέση P53, που αναπαριστά τον 2^ο ιμάντα σταματήματος.

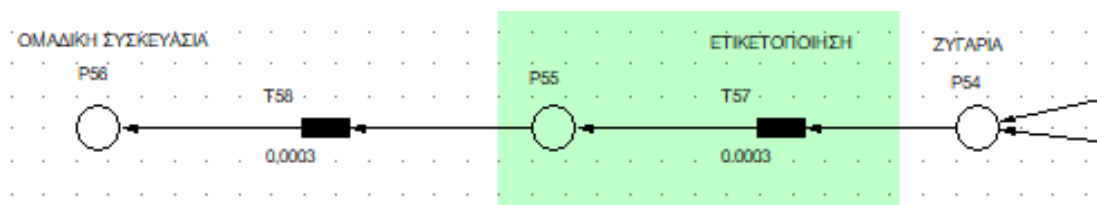
4.1.8 Ζύγιση



Εικόνα 17 Petri Ζύγιση

Με τις μεταβάσεις T55 και T56 οι συσκευασίες ζυγίζονται διακριτά και μεταφέρονται στην θέση P54, που αναπαριστά την ζυγαριά.

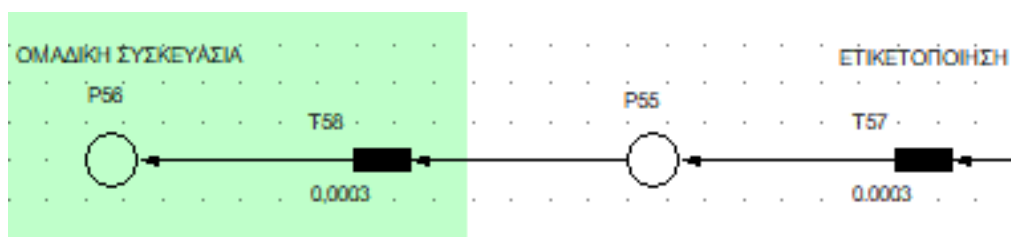
4.1.9 Ετικετοποίηση



Εικόνα 18 Ετικετοποίηση

Η μετάβαση T57 αναπαριστά τη διαδικασία ετικετοποίησης, με την ολοκλήρωση της οποίας το κάθε πακέτο μεταφέρεται στην P55.

4.1.10 Ομαδική Συσκευασία



Εικόνα 19 Ομαδική Συσκευασία

Τέλος, μέσω της μεταβάσεως T₅₈ αναπαρίστανται μεταφορά των συσκευασιών προς την θέση P56, που αναπαριστά την ομαδική συσκευασία, με θεωρητικά άπειρη χωρητικότητα συσκευασιών.

Για τα προϊόντα Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' που εφαρμόζεται συνεχής διαδικασία κοπής το μοντέλο τροποποιείται μόνο στο στάδιο της κοπής, όπου το τεμάχια Α' ύλης κόβεται σε φέτες από την αρχή ως το τέλος χωρίς να μεσολαβεί νεκρός χρόνος για τη απομάκρυνση συγκεκριμένου αριθμού φετών (στάκα).

5ο Κεφάλαιο

5. Πρόβλεψη ζήτησης για το έτος 2016

5.1 Εφαρμογή μεθόδων πρόβλεψης ζήτησης της γραμμής παραγωγής

Για την πρόβλεψη της ζήτησης της υπό μελέτη γραμμής παραγωγής επιλέχθηκαν ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης. Η επιλογή αυτή έγινε με δεδομένη την ικανοποιητική παροχή παρατηρήσεων, που παραχωρήθηκαν από τα στελέχη της εταιρίας, που θα οδηγούσε σε αντικειμενικότερα και πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, μειώνοντας ταυτόχρονα την υψηλή τυχαιότητα που εντοπίζεται στις ποιοτικές μεθόδους. Επιπλέον οι προβλέψεις που θα πραγματοποιούνταν θα αφορούσαν το άμεσο μέλλον, τον επόμενο χρόνο(2016). Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τις μηνιαίες πωλήσεις κάθε ξεχωριστού είδους τελικού προϊόντος για τα τέσσερα τελευταία χρόνια. Οι ποσοτικές μέθοδοι πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο απλό κινητός μέσος, ο διπλός κινητός μέσος, η μέθοδος Brown και η μέθοδος Winters και θα αναλυθούν στη συνέχεια [37].

5.1.1 Απλός κινητός μέσος (simple moving Average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει τον αριθμητικό μέσο όρο των m πιο πρόσφατων παρατηρήσεων της υπό εξέταση χρονοσειράς. Ο μέσος αυτός αποκαλείται «κινητός» γιατί κάθε φορά που γίνεται διαθέσιμη μια νέα παρατήρηση, μπορεί να υπολογιστεί και να χρησιμοποιηθεί ως πρόβλεψη ένας νέος αριθμητικός μέσος. Οι προβλέψεις μιας χρονοσειράς Y_t όπου $t=1,2,\dots,m$ χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του απλού κινητού μέσου, δίνονται από την ακόλουθη μαθηματική σχέση:

$$\hat{Y}_{t+1} = M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

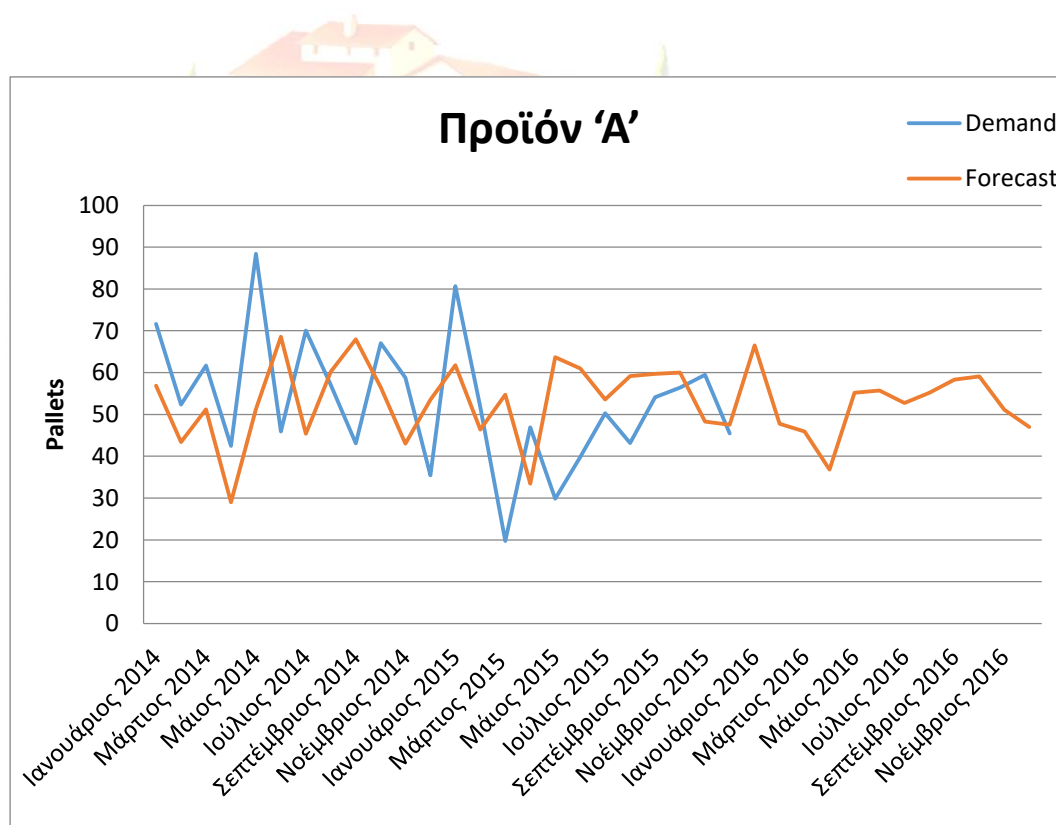
Όπου:

\hat{Y}_{t+1} = η πρόβλεψη για την περίοδο $(t+1)$

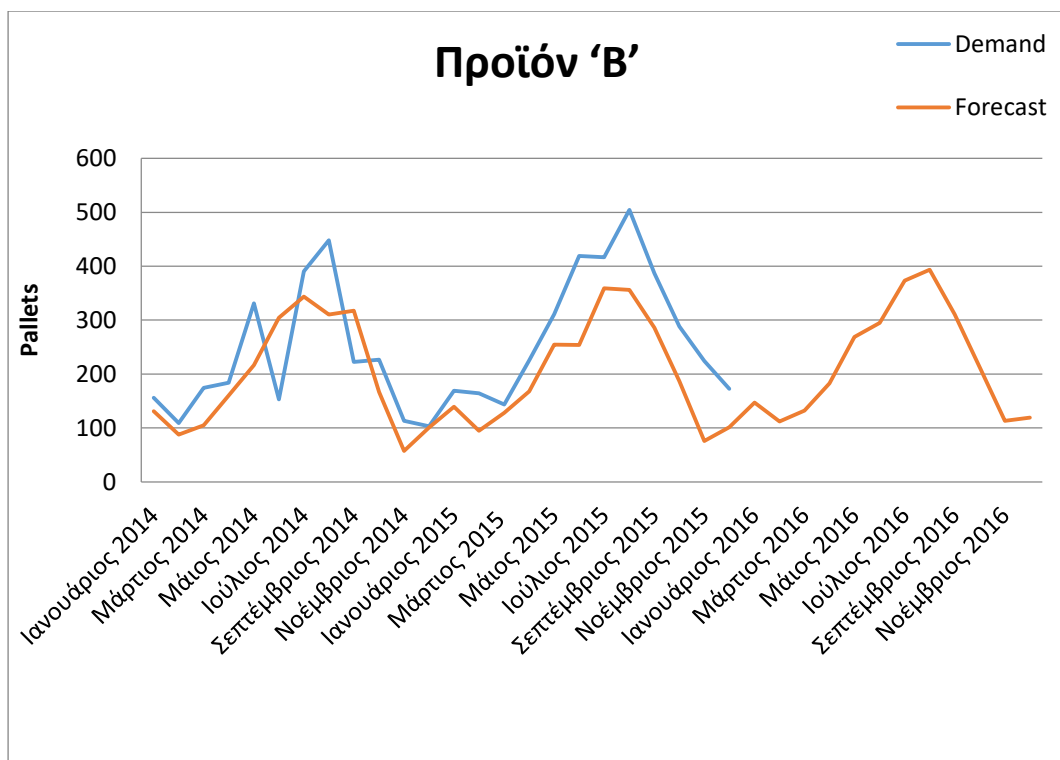
M_{t+1} = ο απλός κινητός μέσος για την περίοδο (t+1) και

m= ο αριθμός των περιόδων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του απλού κινητού μέσου

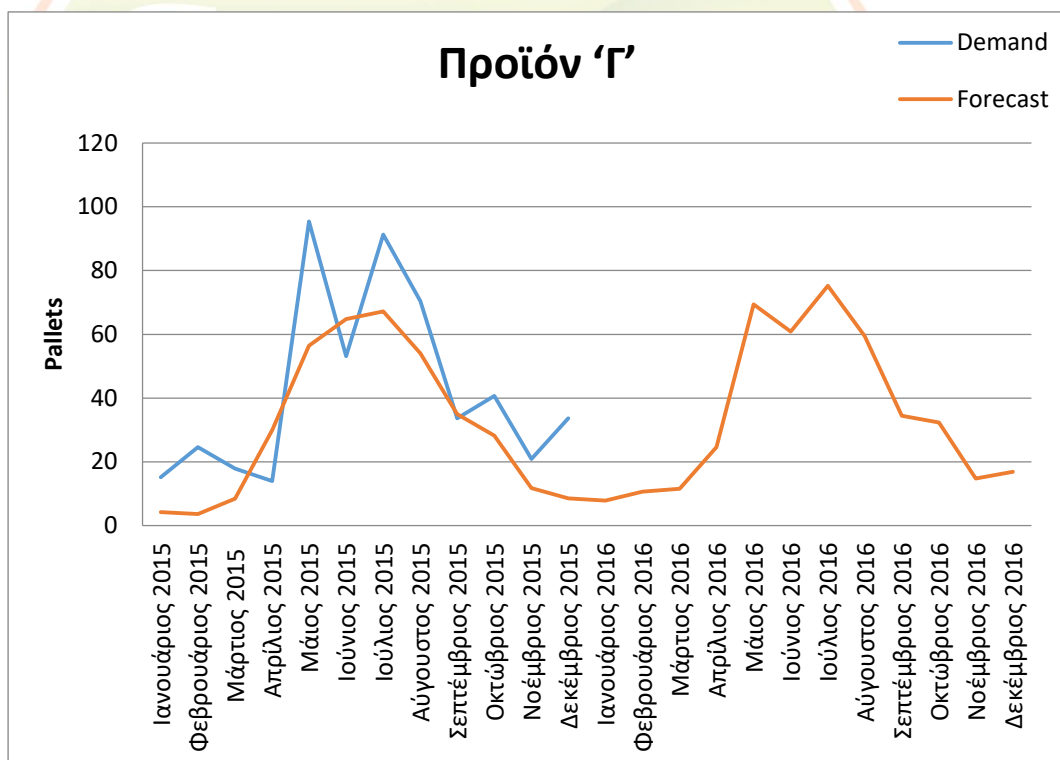
Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε ανά μήνα δηλαδή για την πρόβλεψη της ζήτησης του Ιανουαρίου του 2016, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία για τον Ιανουάριο μερικών ετών πρωτίτερα, ανάλογα τα ιστορικά στοιχεία που μας δόθηκαν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά προϊόν, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



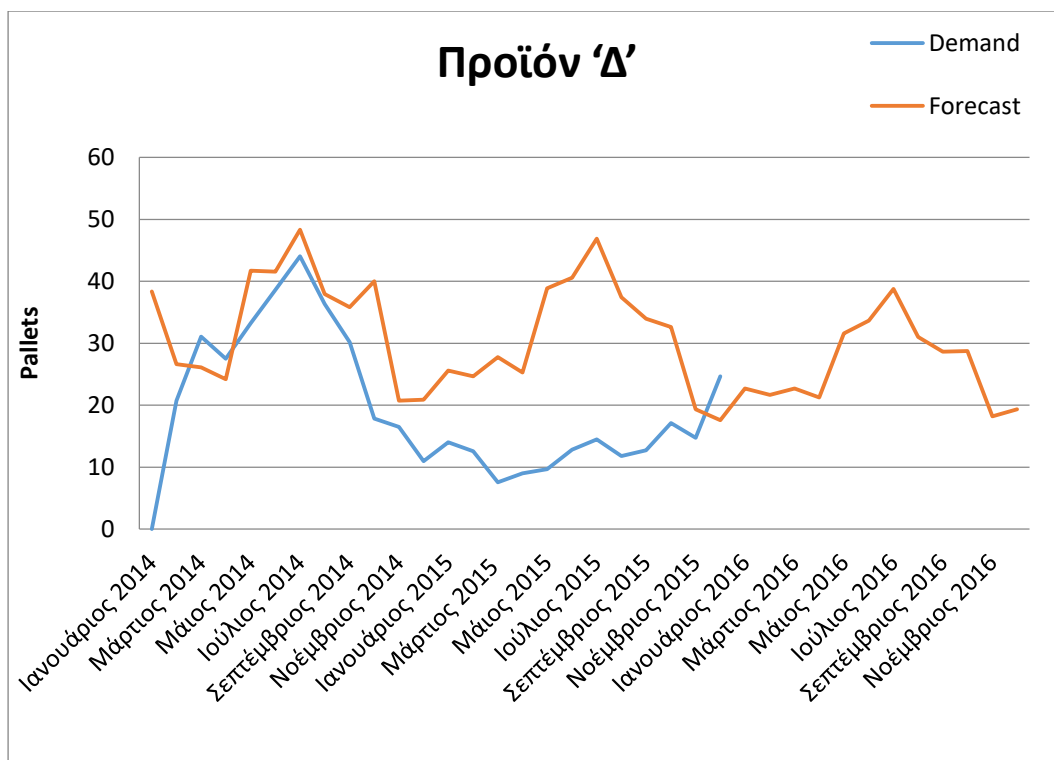
Γράφημα 1 Απλός κινητός μέσος Προϊόν Α'



Γράφημα 2 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Β'



Γράφημα 3 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Γ'

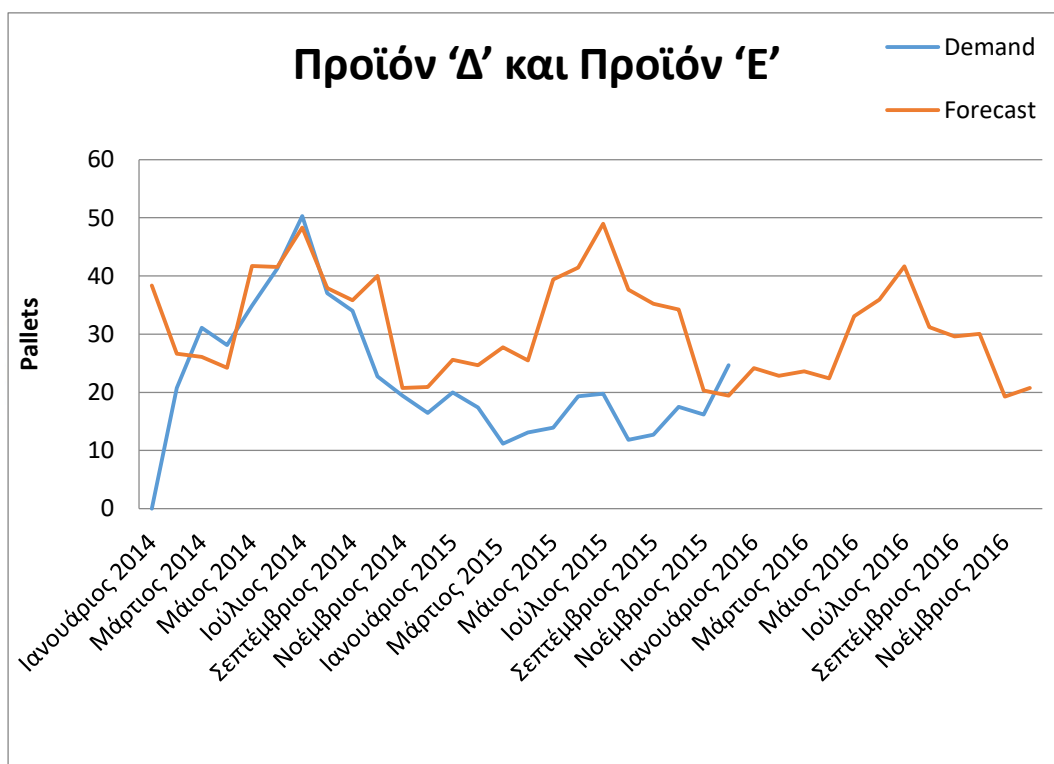


Γράφημα 4 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ'



Γράφημα 5 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Ε'

Επειδή τα Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' είναι ουσιαστικά ομοειδή προϊόντα που απευθύνονται σε παρόμοιο κοινό, το οποίο μετατοπίζεται κατά περιόδους βάσει προωθητικών ενεργειών της Creta Farm, αποφασίστηκε να μελετηθούν και σαν σύνολο. Για το λόγο αυτό, στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται τόσο η εξέλιξη του συνολικού όγκου πωλήσεων, όσο και η εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης του απλού κινητού μέσου για το 2016. Είναι φανερό από το σχήμα αυτό πως οι πωλήσεις εμφανίζουν έντονη εποχικότητα, ενώ η μακροπρόθεσμη τάση είναι πτωτική, κάτι που φαίνεται να αντιστρέφεται κατά το τελευταίο διάστημα για το οποίο υπάρχουν πραγματικές τιμές. Από τα επιμέρους διαγράμματα προκύπτει ότι η συνολική τάση διαμορφώνεται κυρίως από το Προϊόν 'Δ' αφού οι πωλήσεις του είναι σχεδόν δεκαπλάσιες των αντιστοίχων του Προϊόν 'Ε'.



Γράφημα 6 Απλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'

Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος αν και η πιο «απλή» στην εφαρμογή της, παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα, προβλέποντας με σχετική ακρίβεια την εποχικότητα, αλλά και την τάση των περισσότερων προϊόντων. Εξαιρεση αποτελούν τα προϊόντα Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε', για τα οποία η μέθοδος του απλού κινητού μέσου όρου δείχνει να μην μπορεί να προσαρμοστεί τόσο καλά. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο καθώς τα προηγούμενα διαθέσιμα δεδομένα δεν είναι αρκετά ώστε να «εκπαιδευτεί» το μοντέλο και να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα.

5.1.2 Διπλός κινητός μέσος (Double moving average)

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όταν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς που εξετάζουμε παρουσιάζουν μια ανοδική ή πτωτική εξελικτική πορεία που εκφράζεται από κάποια γραμμική τάση, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση. Βάσει αυτής της μεθόδου, ο απλός κινητός μέσος εφαρμόζεται δύο φορές. Ο δεύτερος κινητός υπολογίζεται από τους πρώτους κινητούς μέσους. Παράλληλα κατά την διαδικασία της διαμόρφωσης προβλέψεων λαμβάνεται υπόψη και η γραμμική τάση των παρατηρήσεων της χρονοσειράς. Η διαδικασία διαμόρφωσης προβλέψεων με τον διπλό μέσο όρο πραγματοποιείται σε πέντε στάδια:

1° Στάδιο: Υπολογισμός του απλού κινητού μέσου m -περιόδων, M_t . Δηλαδή:

$$M_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j Y_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

2° Στάδιο: Υπολογισμός του διπλού κινητού μέσου m -περιόδων, M'_t . Δηλαδή:

$$M'_{t+1} = \frac{1}{m} * \sum_j M_{t-j+1} \text{ όπου } j=1,2,\dots,m$$

3° Στάδιο: Υπολογισμός της διαφοράς a_t . Ως:

$$a_t = 2 * M_t - M'_t$$

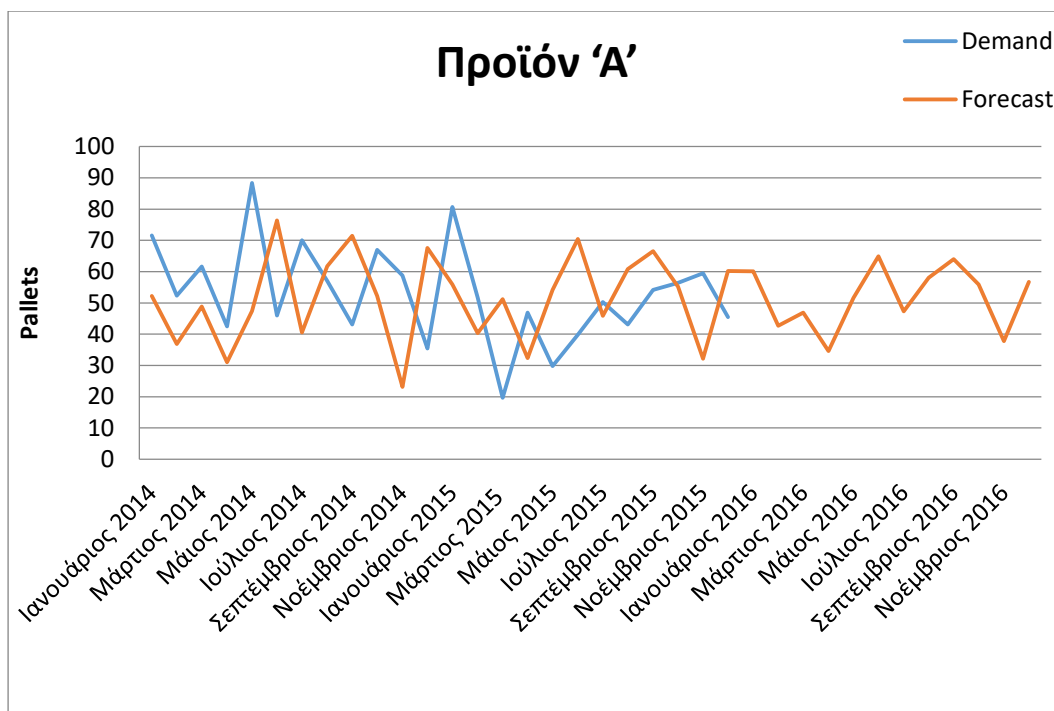
4° Στάδιο: Υπολογισμός του παράγοντα προσαρμογής για την τάση, b_t . Ως:

$$b_t = \frac{2}{(m-1)} * (M_t - M'_t)$$

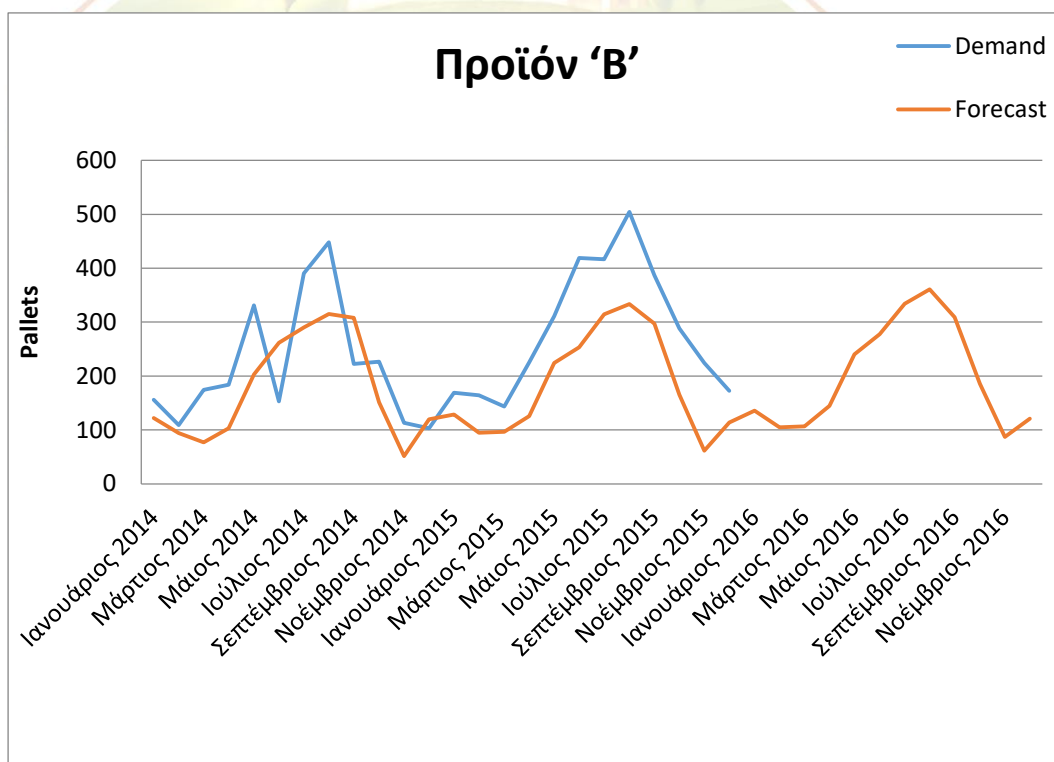
5° Στάδιο: Υπολογισμός της πρόβλεψης \hat{Y}_{t+1} για την h μελλοντική περίοδο. Ως:

$$\hat{Y}_{t+h} = a_t + h * b_t$$

Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόστηκε επίσης ανά μήνα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά προϊόν, παρουσιάζονται στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



Γράφημα 7 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Α'



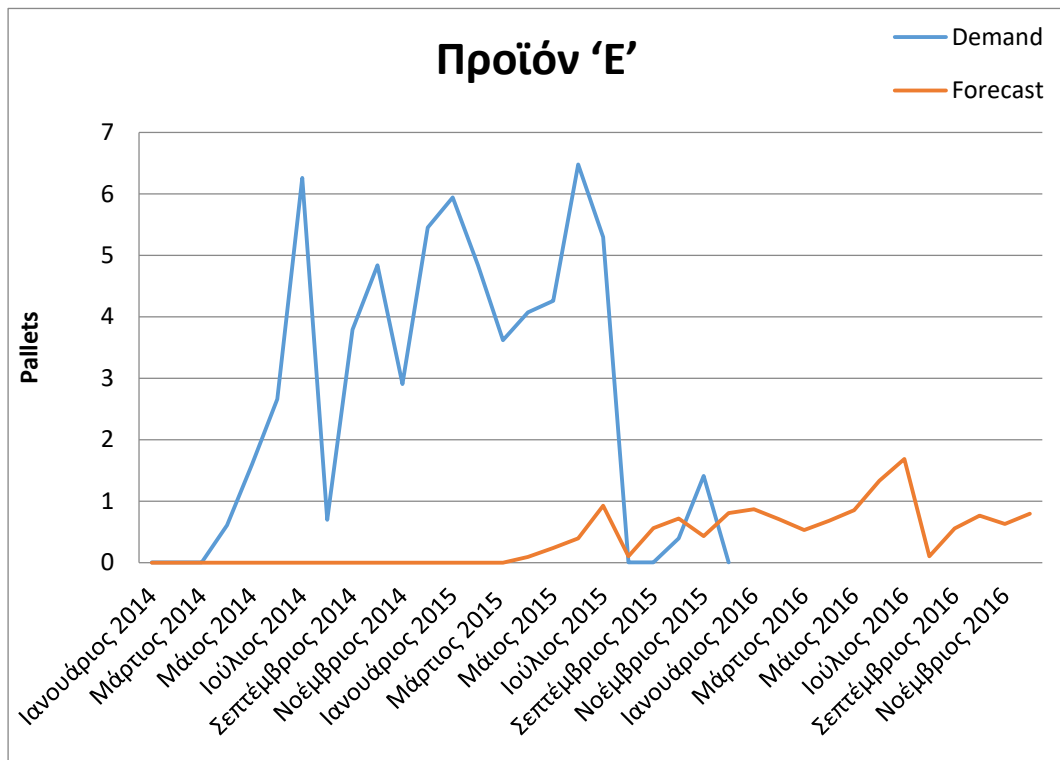
Γράφημα 8 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Β'



Γράφημα 9 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Γ'



Γράφημα 10 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ'



Γράφημα 11 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Ε'



Γράφημα 12 Διπλός κινητός μέσος Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'

Παρατηρείται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει μία ικανοποιητική προσαρμογή στην εποχικότητα για τα περισσότερα προϊόντα. Παρόλα αυτά, υστερεί στη πρόβλεψη της τάσης, αλλά και κάποιων ακραίων τιμών, είτε κατά τους μήνες με υψηλή ζήτηση, είτε κατά εκείνες τις περιόδους με δυσανάλογη πτώση σε σχέση με κάθε προηγούμενη χρονιά. Όσον αφορά τις αποκλείσεις, στο προϊόν Προϊόν 'Δ', για το 2015 σε συνδυασμό με την απότομη πτώση που παρατηρείται στην κατανάλωση του από τον Ιούλιο του 2014, είναι φυσιολογικό για τα αποτελέσματα του μοντέλου καθώς τα δεδομένα δεν είναι αρκετά για να επιτευχθεί καλύτερη προσαρμογή. Επίσης για το προϊόν Προϊόν 'Ε' παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ πραγματικών τιμών κι αυτών της πρόγνωσης, λόγω έλλειψης δεδομένων για την εκπαίδευση του μοντέλου. Παρ'όλ'αυτά, ο συνδυασμός Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' δείχνει καλύτερα αποτελέσματα γραφικά.

5.1.3 Μέθοδος Brown

Σύμφωνα με τη μέθοδο Brown οι προβλέψεις δημιουργούνται βάσει κάποιου σταθμικού μέσου όρου, έτσι ώστε να δίνεται διαφορετική βαρύτητα σε κάθε παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο αυτή δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις, σε σχέση πάντοτε με την προβλεπόμενη περίοδο, από αυτή που δίνεται στις πιο απομακρυσμένες. Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης μεθόδου, θα θεωρηθούν ότι οι προβλέψεις της χρονοσειράς που εξετάζεται δημιουργούνται ως εξής:

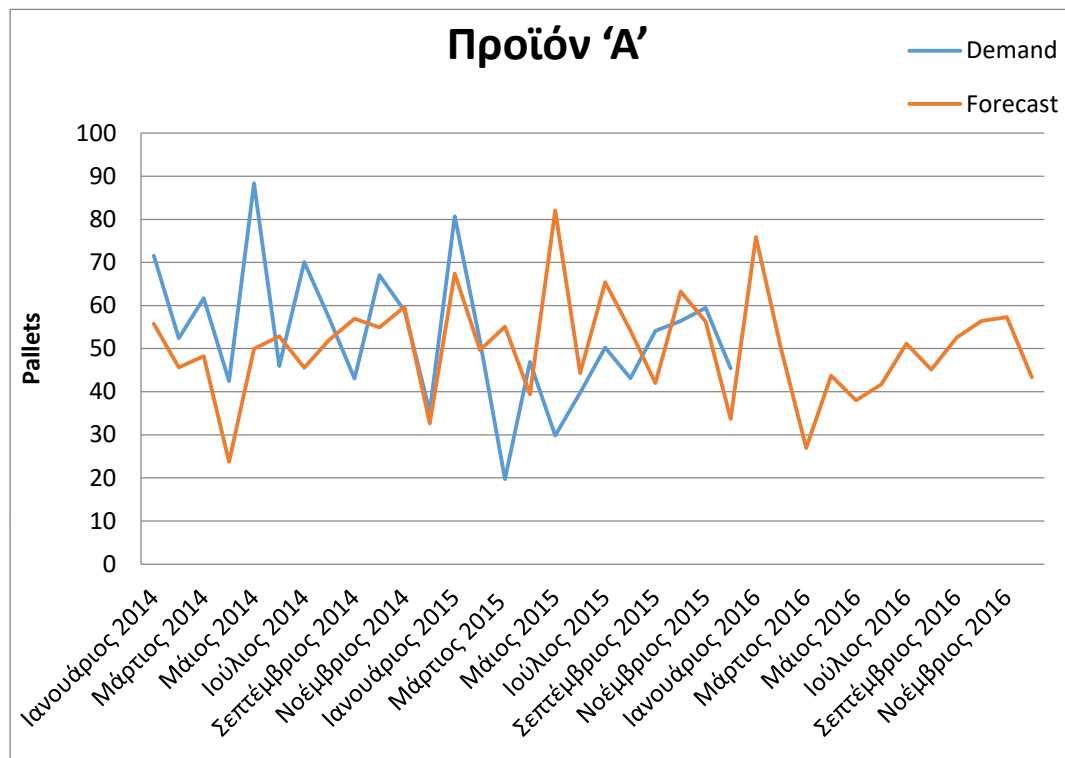
$$\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + a * (1 - a) * Y_{t-1} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-2} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-n}$$

Η παράμετρος a της παραπάνω σχέσης ονομάζεται σταθερά εξομάλυνσης(smoothing constant) και λαμβάνει τιμές από μηδέν έως ένα, δηλαδή $0 \leq a \leq 1$. Βάσει της προηγούμενης σχέσης, η πρόβλεψη \hat{Y}_t για την περίοδο t , που γίνεται στην αρχή της περιόδου αυτής θα είναι: $\hat{Y}_t = a * Y_{t-1} + a * (1 - a) * Y_{t-2} + a * (1 - a)^2 * Y_{t-3} + \dots + a * (1 - a)^n * Y_{t-1-n}$

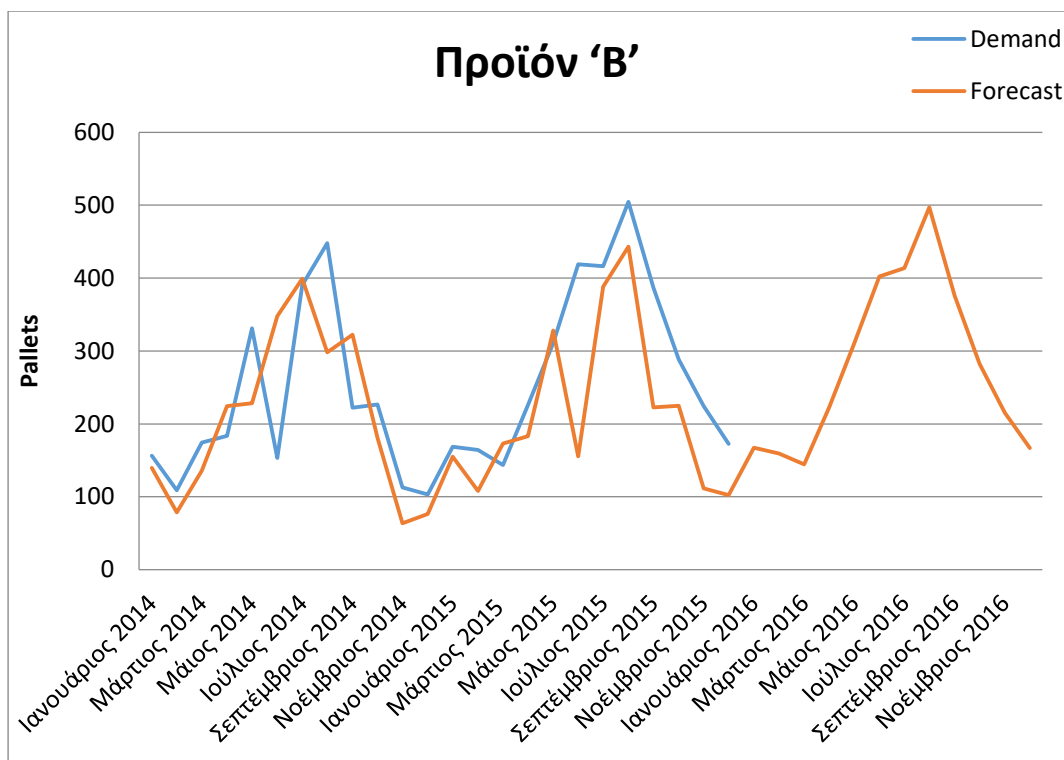
Σύμφωνα με τις δύο παραπάνω σχέσεις, προκύπτει η μαθηματική έκφραση της μεθόδου Brown: $\hat{Y}_{t+1} = a * Y_t + (1 - a) * \hat{Y}_t$, όπου $t=2,3,\dots,n$ και με αρχική συνθήκη $\hat{Y}_2 = Y_1$.

Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές τιμές της παραμέτρου a , επηρέαζαν κατά πολύ την πρόβλεψη αλλά και

το σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο, με τη βοήθεια του Microsoft Excel, πραγματοποιήθηκε επίλυση σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του σφάλματος (σύμφωνα με τους δείκτες που υπολογίζονται στην παράγραφο 5.2), με μοναδικό άγνωστο την παράμετρο α . Στο επόμενο γράφημα παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη τετραγωνική ρίζα μέσου σφάλματος (παράγραφος 5.2.3) για τις διάφορες τιμές της παραμέτρου α .



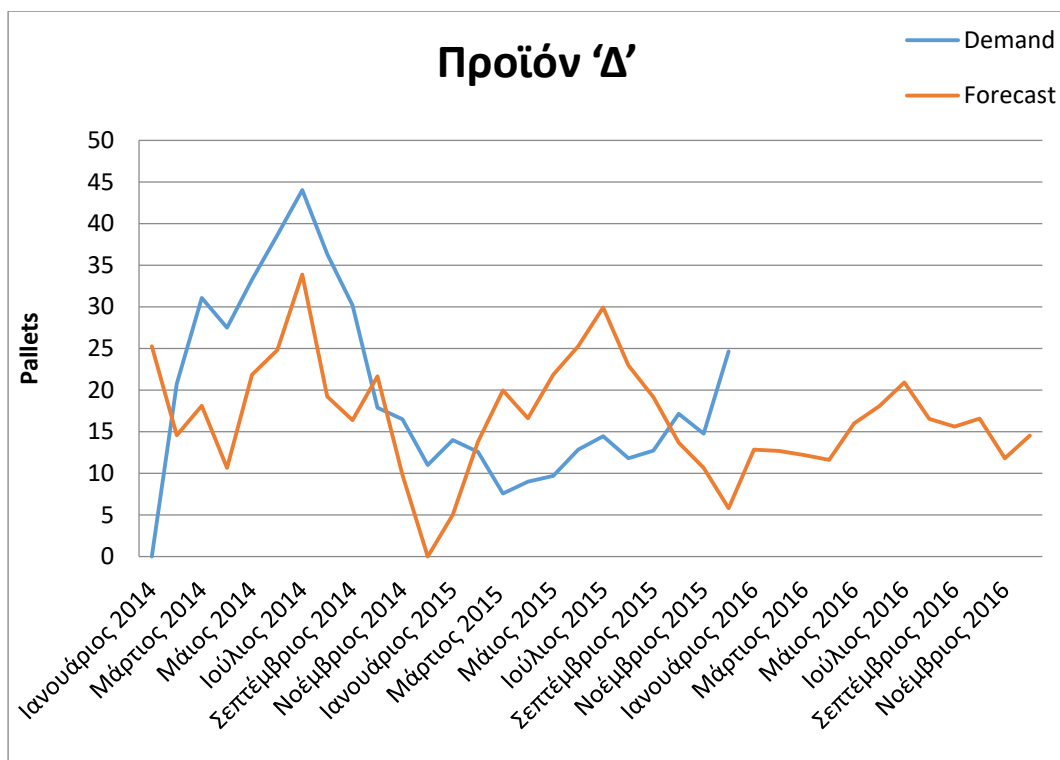
Γράφημα 13 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Α'



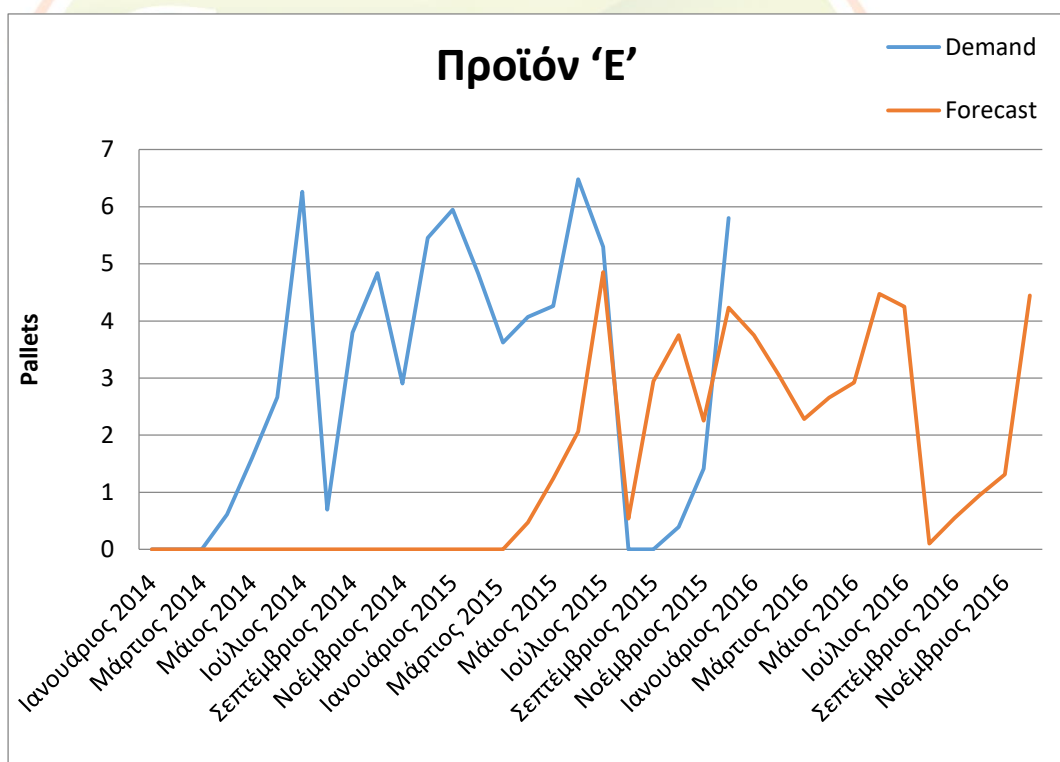
Γράφημα 14 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Β'



Γράφημα 15 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Γ'



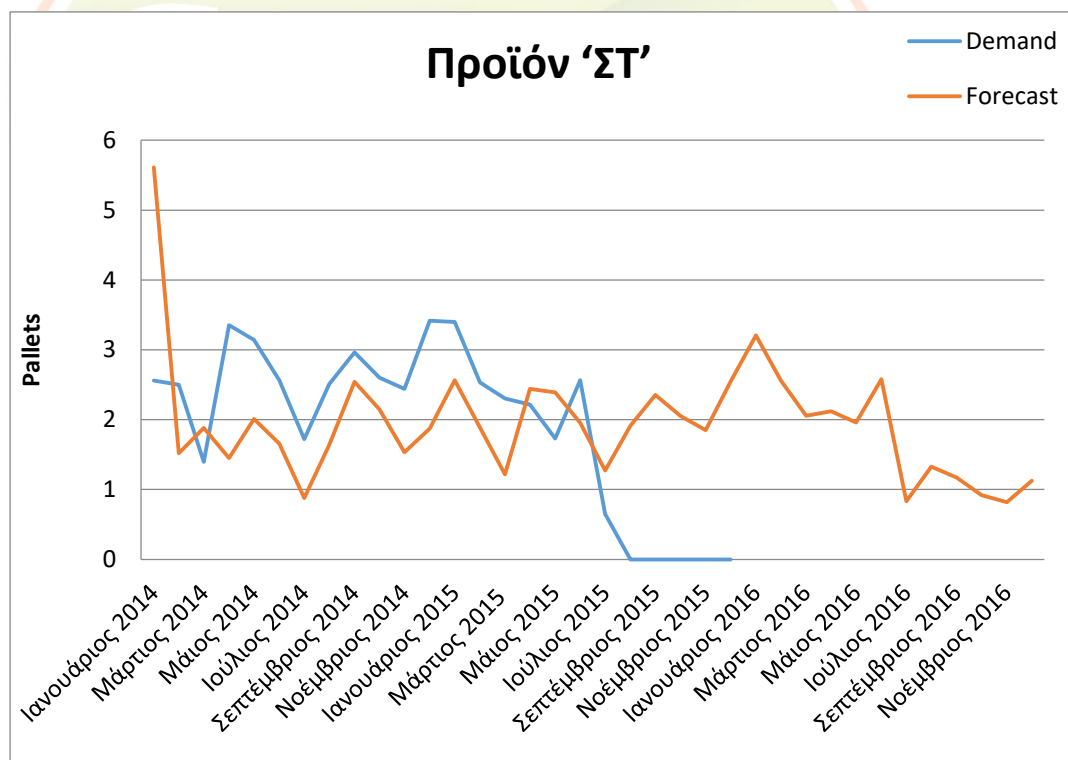
Γράφημα 16 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Δ'



Γράφημα 17 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Ε'



Γράφημα 18 Μέθοδος Brown Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'



Γράφημα 19 Μέθοδος Brown Προϊόν 'ΣΤ'

Η μέθοδος αυτή φαίνεται να προβλέπει αρκετά ικανοποιητικά τις τιμές πρόγνωσης σε σχέση με τις πραγματικές, όσον αφορά την εποχικότητα και την

εκδήλωση ακραίων τιμών. Επίσης, ακόμα και με λίγα δεδομένα εκπαίδευσης τα αποτελέσματα προσεγγίζουν σε καλό βαθμό την πραγματικότητα.

5.1.4 Μέθοδος Winters

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται στην περίπτωση που οι παρατηρήσεις μιας χρονοσειράς παρουσιάζουν τόσο τάση (ανοδική ή καθοδική) όσο και κάποια εποχικότητα, δηλαδή να παρατηρούνται κάποιες εποχικές διακυμάνσεις οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε έτος με την ίδια ή σχεδόν την ίδια μορφή. Τόσο η τάση όσο και η εποχικότητα παρατηρείται έντονα στα δεδομένα πωλήσεων της υπό μελέτη εταιρίας. Η μέθοδος αυτή έχει τρεις παραμέτρους εξομάλυνσης. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει μία παράμετρος α για την εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς, μία παράμετρο β για την εξομάλυνση της τάσης και μία παράμετρο γ για την εξομάλυνση της εποχικότητας.

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη διαμόρφωση προβλέψεων με τη μέθοδο Winters, ή αλλιώς μέθοδο εκθετικής εξομάλυνσης με προσαρμογή στην τάση και στην εποχικότητα, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1^ο Στάδιο: Εξομάλυνση των τιμών της χρονοσειράς. Η εξομάλυνση γίνεται με την σχέση:

$$A_t = \alpha * \left(\frac{Y_t}{S_{t-L}} \right) + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1}), \text{ για } 0 \leq \alpha \leq 1$$

Όπου:

A_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της χρονοσειράς

S_t : Ο εποχικός συντελεστής της περιόδου t

L : Η περιοδικότητα ($L=12$ για μηνιαία δεδομένα όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση)

α : Σταθερά εξομάλυνσης της χρονοσειράς

2^ο Στάδιο: Εξομάλυνση της τάσης. Η εξομάλυνση της τάσης γίνεται με την σχέση:

$$T_t = \beta * (A_t + A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}, \text{ για } 0 \leq \beta \leq 1$$

Όπου:

T_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της τάσης

β : Σταθερά εξομάλυνσης της τάσης

3^ο Στάδιο: Εξομάλυνση της εποχικότητας. Η εξομάλυνση της εποχικότητας γίνεται με την σχέση:

$$S_t = \gamma * \left(\frac{Y_t}{A_t}\right) + (1 - \gamma) * S_{t-L}, \text{ για } 0 \leq \gamma \leq 1$$

Όπου:

S_t : Οι εξομαλυνθείσες τιμές της εποχικότητας

γ : Σταθερά εξομάλυνσης της εποχικότητας

4^ο Στάδιο: Πρόβλεψη του \hat{Y}_{t+h} για τις h μελλοντικές περιόδους του πρώτου έτους, βάσει της σχέσης:

$$\hat{Y}_{t+h} = (A_t + h * T_t) * S_{t+h-L}, \text{ για } h=1,2,\dots,L$$

Ο καθορισμός των αρχικών συνθηκών πραγματοποιείται σύμφωνα με τον τρόπο που πρότεινε ο Chatfield, όπου χρησιμοποιεί τις παρατηρήσεις της χρονοσειράς του πρώτου έτους για να προσδιορίσει τις αρχικές τιμές των A_t , T_t και S_t που αφορούν το πρώτο έτος. Πιο συγκεκριμένα:

- Για $t=1,2,\dots,L-1$ δεν προσδιορίζονται οι τιμές A_t , ενώ για $t=L$ το A_L ορίζεται ως:

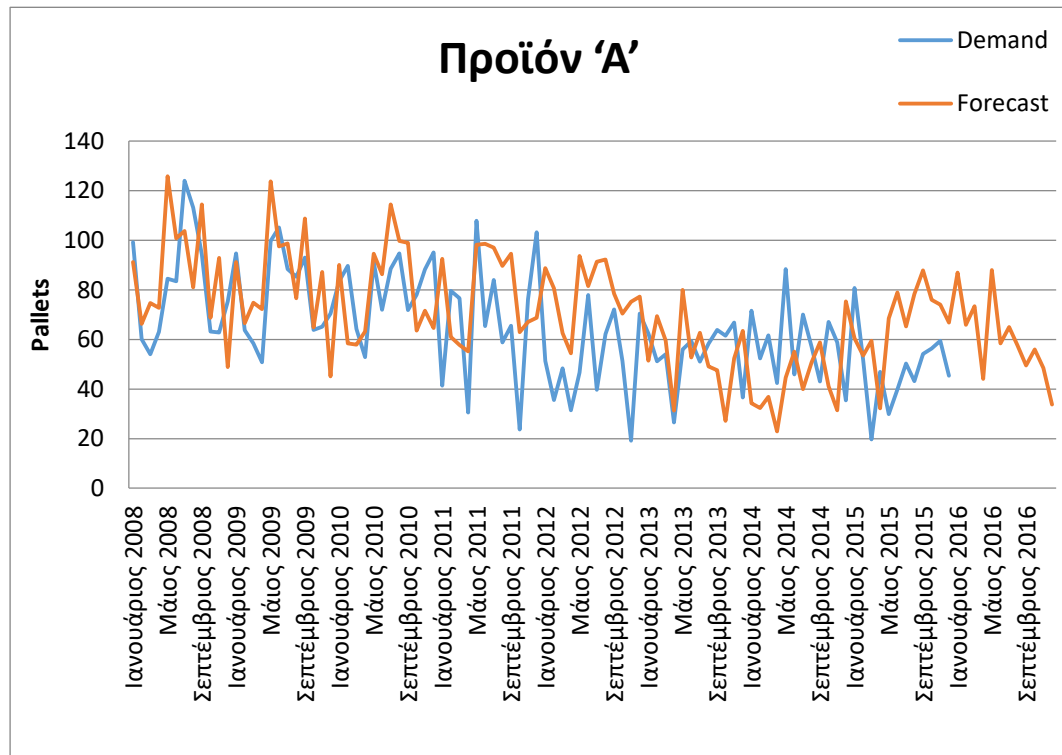
$$A_L = \frac{(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_L)}{L}$$

- Για $t=1,2,\dots,L-1$ δεν προσδιορίζονται οι τιμές T_t , ενώ για $t=L$ τίθεται $T_L = 0$.
- Για $t=1,2,\dots,L$ οι τιμές των εποχικών συντελεστών S_t υπολογίζονται ως εξής:

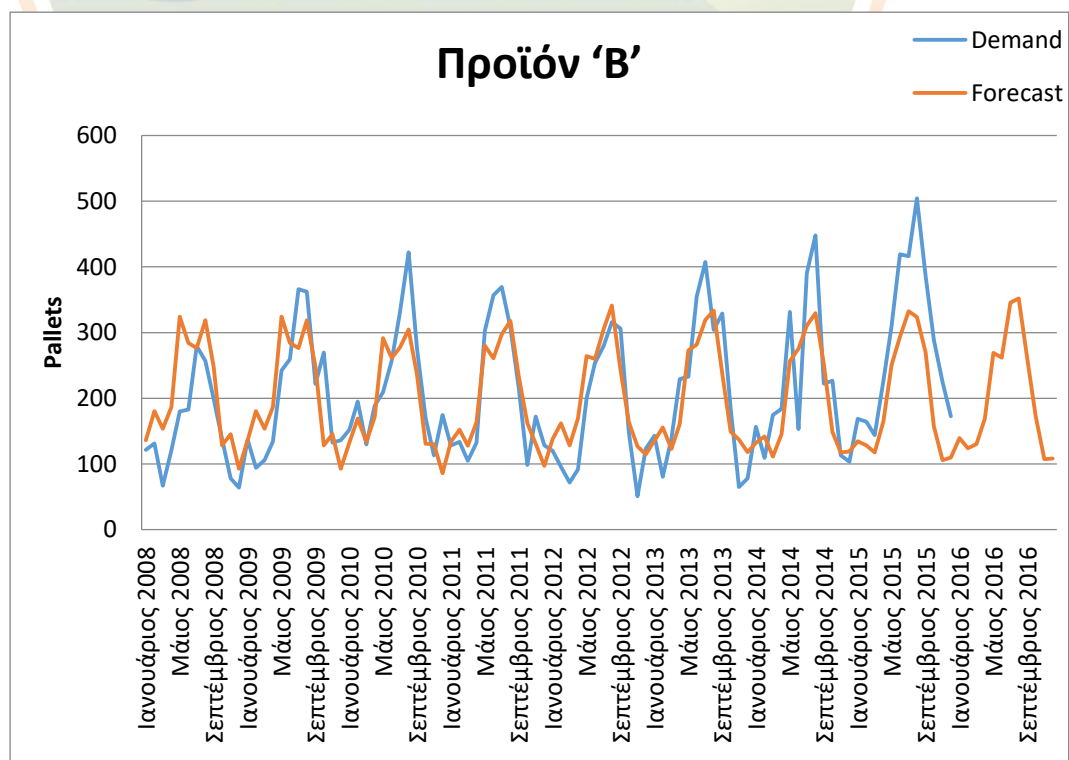
$$S_t = \frac{Y_t}{A_L}$$

Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου διαπιστώθηκε ότι οι διαφορετικές τιμές των παραμέτρων α , β και γ , επηρέαζαν κατά πολύ την πρόβλεψη αλλά και το σφάλμα. Γι' αυτό το λόγο, με τη βοήθεια του Microsoft Excel, έγινε επίλυση σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης του σφάλματος, όπως και κατά την εφαρμογή της μεθόδου Brown (παράγραφος 5.1.3), με άγνωστους τις τρεις αυτές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ανά προϊόν, παρουσιάζονται

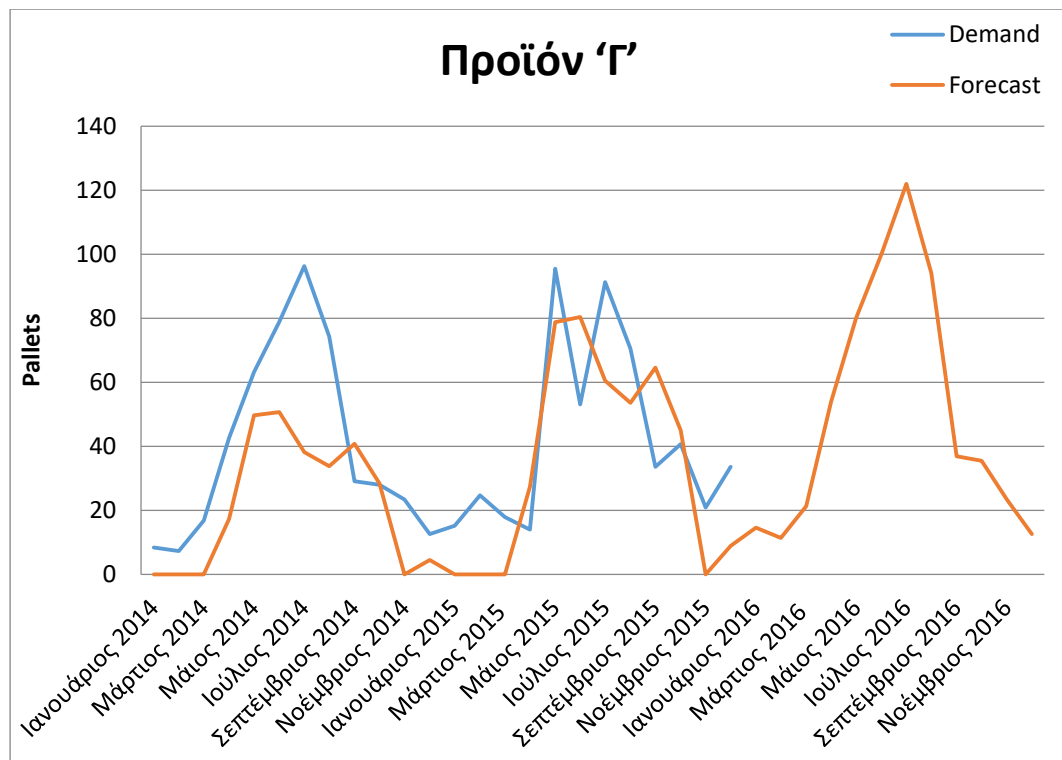
στα παρακάτω γραφήματα. Να σημειωθεί ότι με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές, ενώ αντίστοιχα με πορτοκαλί οι τιμές της πρόβλεψης.



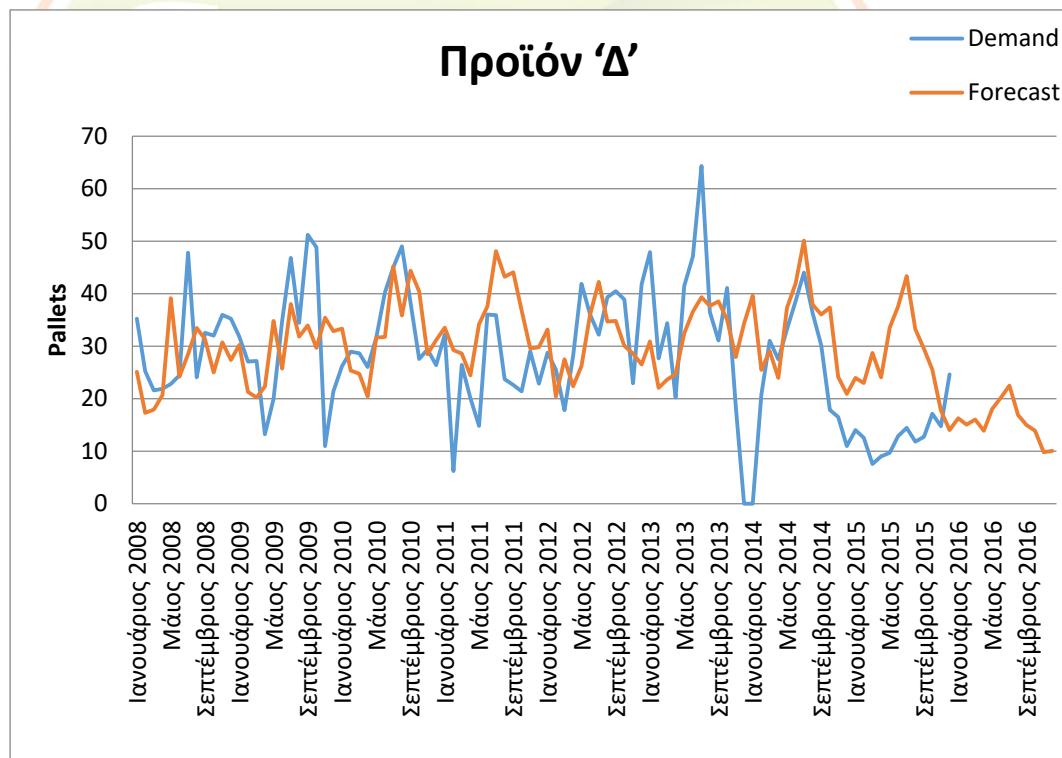
Γράφημα 20 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Α'



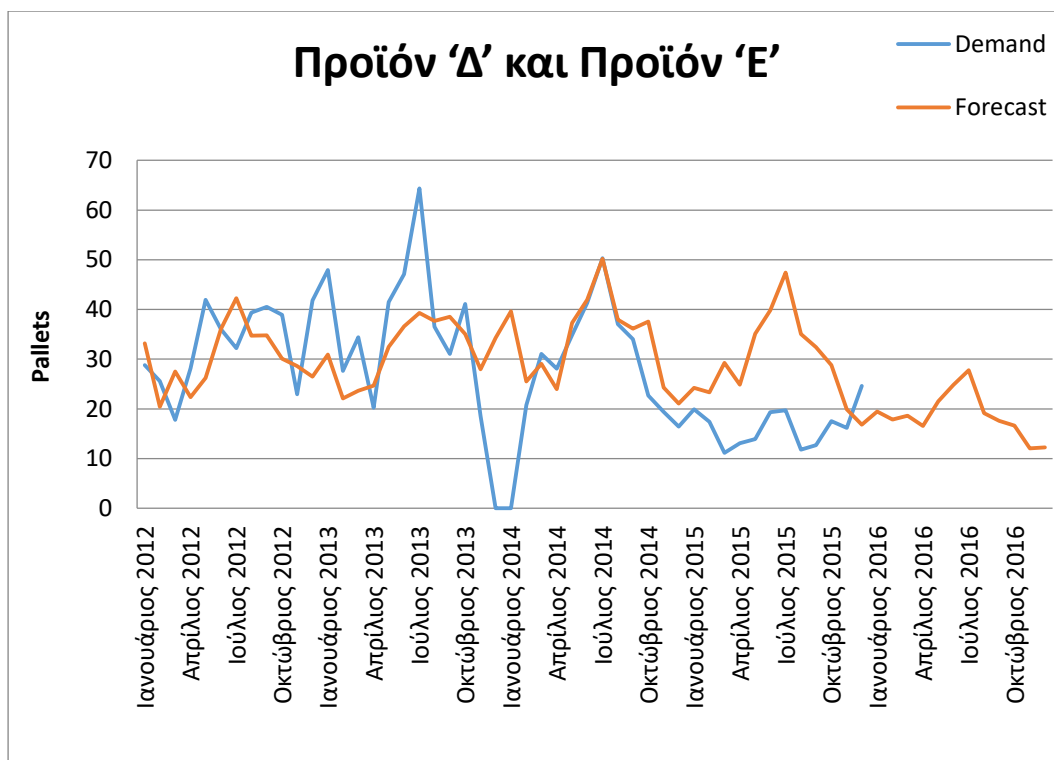
Γράφημα 21 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Β'



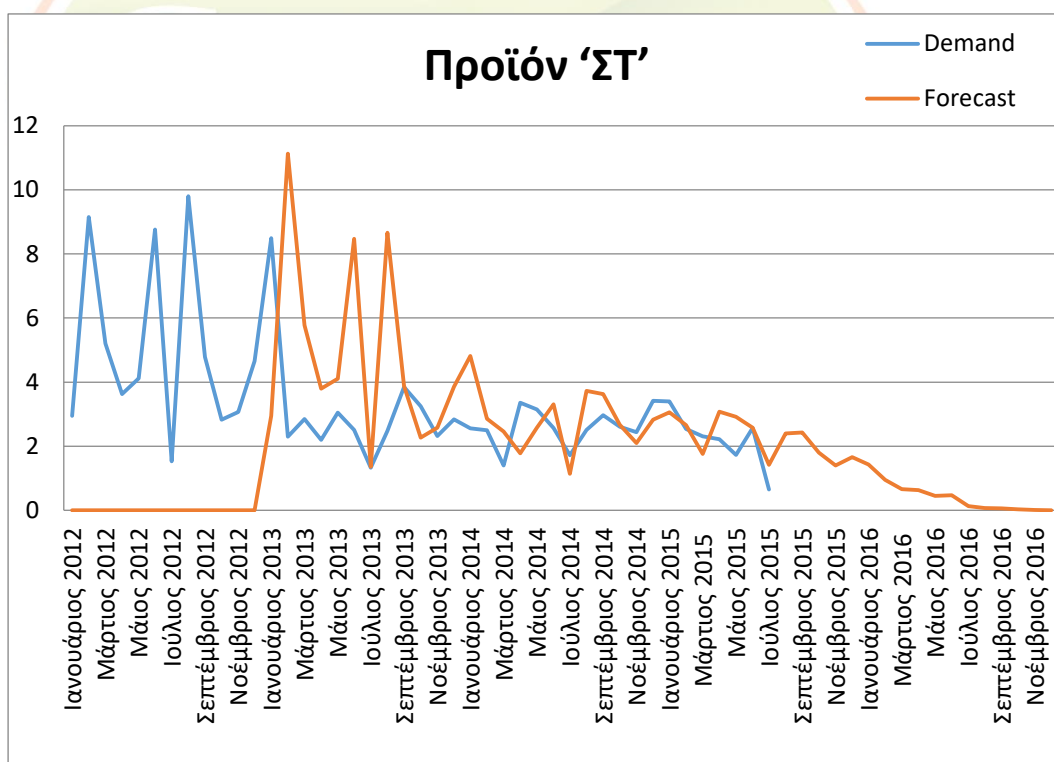
Γράφημα 22 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Γ'



Γράφημα 23 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Δ'



Γράφημα 24 Μέθοδος Winters Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'



Γράφημα 25 Μέθοδος Winters Προϊόν 'ΣΤ'

Η μέθοδος αυτή έχει τα καλύτερα αποτελέσματα επί το πλείστον σε σχέση με τις προηγούμενες μεθόδους πρόβλεψης, αφού με μεγάλη ακρίβεια προσαρμόζει τις

τιμές πρόβλεψης στις πραγματικές. Έχει αρκετά ικανοποιητική ακρίβεια και δίνει εξίσου καλά αποτελέσματα για κάθε διαφορετικό προϊόν. Επιπροσθέτως, δημιουργεί μια πιο ομαλή καμπύλη για τις ακραίες τιμές πρόβλεψης ανόδου και πτωτικής τάσης, παρουσιάζοντας έτσι μια πολύ πιο ορθολογική κατανομή, που στα πλαίσια ενός σχεδίου παραγωγής καθίσταται απαραίτητο. Δεν μπορεί να παραβλεπτεί ότι όσο περισσότερα δεδομένα δίδονται, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται.

5.2 Αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων

Σκοπός της εφαρμογής των κριτηρίων για την αξιολόγηση της ακρίβειας των προβλέψεων, είναι η επιλογή της πιο κατάλληλης και αξιόπιστης μεθόδου πρόβλεψης [38]. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται στην απόκλιση που παρουσιάζουν οι προβλεπόμενες σε σχέση με τις πραγματικές τιμές της χρονοσειράς. Η απόκλιση αυτή καλείται «Σφάλμα Πρόβλεψης» και ορίζεται ως:

$$e_t = Y_t - \hat{Y}_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όπου:

Y_t : Η πραγματική τιμή της περιόδου t

\hat{Y}_t : Η προβλεπόμενη τιμή της περιόδου t

Όσο μικρότερες είναι οι αποκλίσεις αυτές, τόσο πιο αξιόπιστη θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Τα κριτήρια που θα εξεταστούν στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν κυρίως για την επιλογή της καλύτερης μεθόδου πρόβλεψης από αυτές που εφαρμόστηκαν.

5.2.1 Μέσο σφάλμα (Mean error-ME)

Το μέσο σφάλμα είναι το πιο απλό μέτρο για την αξιολόγηση της ακρίβειας μιας μεθόδου πρόβλεψης. Ορίζεται ως το άθροισμα των τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n -περιοδών που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και επηρεάζεται σημαντικά από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$ME = \frac{1}{n} * \sum_t e_t, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τα προϊόντα Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ', συνδυασμό Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' και τα γενικά σύνολα προϊόντων «ΓΕΝΙΚΟ 1» και «ΓΕΝΙΚΟ 2». Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα και με πράσινο αυτή με το αμέσως μικρότερο.

ΜΕ	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN	ΜΕΘΟΔΟΣ WINTERS
ΠΡΟΪΟΝ 'Α'	-45,5407	555,6956	616,74954	-1277,581
ΠΡΟΪΟΝ 'Β'	20182,88	26226,08	14348,76	-3799,274
ΠΡΟΪΟΝ 'Γ'	3761,932	7465,916	3755,454	4883,2708
ΠΡΟΪΟΝ 'Δ'	-4564,9	-4711,66	722,3798	543,84586
ΠΡΟΪΟΝ 'Ε'	582,4234	923,5305	736,6722565	396,58254
ΠΡΟΪΟΝ 'ΣΤ'	-573,243	-356,8	155,323	-362,0314
ΠΡΟΪΟΝ 'Δ' ΚΑΙ ΠΡΟΪΟΝ 'Ε'	-3777,891823	-3788,68	839,1299	544,66057
ΓΕΝΙΚΟ 1	17561,42	24079,24	12484,72	-3799,273
ΓΕΝΙΚΟ 2	-284,152	107,4828	337,4397	-1821,089

Πίνακας 4 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean error

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου η μέθοδος Winters εμφανίζει τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα περισσότερα προϊόντα, όπως φαίνεται για τα νούμερα με το κόκκινο χρώμα. Αντιθέτως, οι υπόλοιπες μεθοδολογίες είναι μοιρασμένες ως προς την δεύτερη θέση όσον αφορά το μικρότερο σφάλμα όπως φαίνεται από τα νούμερα με πράσινο χρώμα. Σημαντική διαφορά παρατηρείται όσον αφορά το Προϊόν 'Α' και γενικά τα ΓΕΝΙΚΟ '2' όπου ο απλός κινητός μέσος και ο διπλός κινητός μέσος αντίστοιχα εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης η μέθοδος Brown για τα Προϊόν 'Γ' και Προϊόν 'ΣΤ' εμφανίζει λίγο καλύτερα αποτελέσματα από άλλες μεθόδους .

5.2.2 Μέση απόλυτη απόκλιση (Mean absolute deviation-MAD)

Η μέση απόλυτη απόκλιση εκφράζει την μέση τιμή των απόλυτων αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των απόλυτων τιμών του σφάλματος της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις και δεν επηρεάζεται από τις θετικές και τις αρνητικές τιμές του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα:

$$MAD = \frac{1}{n} * \sum_t |e_t| , \text{ για } t=1,2,...,n$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ', συνδυασμό Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' και τα γενικά σύνολα προϊόντων «ΓΕΝΙΚΟ 1» και «ΓΕΝΙΚΟ 2». Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα.

<i>MAD</i>	<i>Απλός κινητός μέσος</i>	<i>Διπλός κινητός μέσος</i>	<i>Μέθοδος Brown</i>	<i>Μέθοδος Winters</i>
<i>Προϊόν 'Α'</i>	5468,826	7445,273	5072,2827	5951,1494
<i>Προϊόν 'Β'</i>	27650,06	32616,55	26189,91	18619,39
<i>Προϊόν 'Γ'</i>	5680,567	8115,078	6112,828	7444,4824
<i>Προϊόν 'Δ'</i>	5010,367	5399,426	3992,424	2907,1446
<i>Προϊόν 'Ε'</i>	1038,56	977,7154	969,4783576	1034,0219
<i>Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'</i>	4246,18893	4765,154	4008,021	2905,8533
<i>Προϊόν 'ΣΤ'</i>	593,9953	384,9393	348,4733	586,01432
<i>ΓΕΝΙΚΟ 1</i>	25184,36	31176,28	25919,66	18619,39
<i>ΓΕΝΙΚΟ 2</i>	6658,508	8519,819	6032,933	6754,3144

Πίνακας 5 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean absolute deviation

Παρατηρείται ότι βάσει του συγκεκριμένου κριτηρίου οι μέθοδοι Brown και Winters εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα περισσότερα προϊόντα. Αντίθετα, ο απλός κινητός μέσος εμφανίζει λίγο καλύτερα αποτελέσματα από την μέθοδο Brown για το προϊόν Προϊόν 'Γ'.

5.2.3 Μέσο σφάλμα τετραγώνου (Mean squared error-MSE)

Το μέσο σφάλμα τετραγώνου είναι η μέση τιμή των τετραγώνων των αποκλίσεων μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών μιας χρονοσειράς και ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων της πρόβλεψης διαιρούμενο με τον αριθμό των n-περιοδών που πραγματοποιήθηκαν οι προβλέψεις. Πιο συγκεκριμένα:

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Αντίστοιχα προκύπτει και η τετραγωνική ρίζα μέσου σφάλματος τετραγώνου (Root mean squared error-RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_t (e_t)^2}, \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των προαναφερθέντων κριτηρίων στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τα προϊόντα Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ', συνδυασμό Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' και τα γενικά σύνολα προϊόντων «ΓΕΝΙΚΟ 1» και «ΓΕΝΙΚΟ 2». Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα.

<i>MSE</i>	<i>Απλός κινητός μέσος</i>	<i>Διπλός κινητός μέσος</i>	<i>Μέθοδος Brown</i>	<i>Μέθοδος Winters</i>
<i>Προϊόν 'Α'</i>	43647458	69926438	45565386	48912763
<i>Προϊόν 'Β'</i>	1,06E+09	1,31E+09	1,21E+09	536692760
<i>Προϊόν 'Γ'</i>	44067741	94451632	62577445	74690079
<i>Προϊόν 'Δ'</i>	39239482	40898904	19868661	13185664
<i>Προϊόν 'Δ'</i>	1484895	1588874	1449333,064	1468158,9

Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	31980641,08	32704200	20878088	13185202
Προϊόν 'ΣΤ'	543713,3	447319,7	173160,8	853710,1
ΓΕΝΙΚΟ 1	9,33E+08	1,17E+09	1,15E+09	536692760
ΓΕΝΙΚΟ 2	60827300	94357444	58986422	65510442

Πίνακας 6 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean squared error

RMSE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN	ΜΕΘΟΔΟΣ WINTERS
Προϊόν 'Α'	6606,622	8362,203	6750,2138	6993,766
Προϊόν 'Β'	32549,92	36132,6	34808,64	23166,63
Προϊόν 'Γ'	6638,354	9718,623	7910,591	8642,3422
Προϊόν 'Δ'	6264,143	6395,225	4457,428	3631,207
Προϊόν 'Ε'	1218,563	1260,505	1203,882496	1211,6761
Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	5655,142887	5718,759	4569,255	3631,1434
Προϊόν 'ΣΤ'	737,3692	668,8196	416,126	923,96434
ΓΕΝΙΚΟ 1	30538,35	34245,04	33875,78	23166,63
ΓΕΝΙΚΟ 2	7799,186	9713,776	7680,262	8093,8521

Πίνακας 7 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Root Mean squared error

Παρατηρείται ότι βάσει των συγκεκριμένων κριτηρίων οι μέθοδοι Brown και Winters εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα περισσότερα προϊόντα. Αντίστοιχα η μέθοδος του απλού κινητού μέσου για τα προϊόντα Προϊόν 'Α' και Προϊόν 'Γ'.

5.2.4 Μέσο ποσοστιαίο σφάλμα (Mean percentage error-MPE)

Το μέσο ποσοστιαίο σφάλμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κατά πόσο η μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε είναι αμερόληπτη ή όχι και ορίζεται ως το άθροισμα των σφαλμάτων των χρονοσειρών προς τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές της χρονοσειράς διαιρούμενο με τον αριθμό των χρονικών περιόδων. Πιο συγκεκριμένα:

$$MPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left(\frac{e_t}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όταν οι τιμές που λαμβάνει αυτό το κριτήριο είναι κοντά στο μηδέν, τότε η μέθοδος πρόβλεψης θεωρείται αμερόληπτη. Μεγάλες τιμές του κριτηρίου, σημαίνουν πως η συγκεκριμένη μέθοδος εμφανίζει μεγάλη μεροληψία. Όταν το κριτήριο παρουσιάζει αρνητική τιμή, συνεπάγεται ότι η μέθοδος πρόβλεψης παρέχει υπερεκτιμημένες προβλεπόμενες τιμές, σε σχέση με τις πραγματικές. Αντιθέτως όταν η τιμή είναι θετική, οι τιμές της χρονοσειράς είναι υποεκτιμημένες. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν για τα προϊόντα Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ', συνδυασμό Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' και τα γενικά σύνολα προϊόντων «ΓΕΝΙΚΟ 1» και «ΓΕΝΙΚΟ 2». Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα.

MPE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN	ΜΕΘΟΔΟΣ WINTERS
Προϊόν 'Α'	-0,11327	-0,09582	-0,074378	-0,066346
Προϊόν 'Β'	0,194549	0,263475	0,121338	-0,153833
Προϊόν 'Γ'	0,214507	0,517318	0,267213	0,4071897
Προϊόν 'Δ'	-559,526	-47,0131	-382,898	-0,049392
Προϊόν 'Ε'	-139,03	-21,4457	-52,5948	-126,0623
Προϊόν 'Δ' & Προϊόν 'Ε'	-559,224	-461,524	-440,743	-0,049333
Προϊόν 'ΣΤ'	-434,551	-0,4751	0,098958	-98,13334
ΓΕΝΙΚΟ 1	0,156158	0,222474	0,100354	-0,153833

ΓΕΝΙΚΟ 2	-0,09871	-0,09447	-0,06338	-0,076157
-----------------	----------	----------	----------	-----------

Πίνακας 8 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean percentage error

Παρατηρείται ότι βάσει των συγκεκριμένων κριτηρίων οι μέθοδοι Brown και Winters εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα περισσότερα προϊόντα.

Πιο συγκεκριμένα για το Mean absolute percentage error:

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_t \left(\frac{|e_t|}{Y_t} \right), \text{ για } t=1,2,\dots,n$$

Όσο μικρότερη είναι η τιμή του συγκεκριμένου κριτηρίου, τόσο πιο καλή θεωρείται η μέθοδος πρόβλεψης που εφαρμόστηκε. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του συγκεκριμένου κριτηρίου στις διαφορετικές μεθόδους πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν στα προϊόντα Προϊόν 'Α', Προϊόν 'Β', Προϊόν 'Γ', Προϊόν 'Δ', Προϊόν 'Ε', Προϊόν 'ΣΤ', συνδυασμό Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε' και τα γενικά σύνολα προϊόντων «ΓΕΝΙΚΟ 1» και «ΓΕΝΙΚΟ 2». Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η μέθοδος που παρουσιάζει το μικρότερο σφάλμα.

MAPE	ΑΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΔΙΠΛΟΣ ΚΙΝΗΤΟΣ ΜΕΣΟΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ BROWN	ΜΕΘΟΔΟΣ WINTERS
Προϊόν 'Α'	0,345115	0,442721	0,3278837	0,210301
Προϊόν 'Β'	0,312303	0,367799	0,30654	0,3189907
Προϊόν 'Γ'	0,469215	0,60511	0,5317	0,6402861
Προϊόν 'Δ'	559,5708	47,06583	383,438	0,3062715
Προϊόν 'Ε'	139,9444	23,06084	53,6005	127,00361
Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	559,268	23,06084	441,2555	0,3061418
Προϊόν 'ΣΤ'	434,5744	0,505544	0,413035	98,277617
ΓΕΝΙΚΟ 1	0,254403	0,323448	0,278317	0,3189907
ΓΕΝΙΚΟ 2	0,324085	0,401308	0,298341	0,2089183

Πίνακας 9 Αξιολόγηση προβλέψεων με το κριτήριο Mean absolute percentage error

Παρατηρείται ότι βάσει των συγκεκριμένων κριτηρίων οι μέθοδοι Brown και Winters εμφανίζουν τα καλύτερα αποτελέσματα πρόβλεψης για τα περισσότερα προϊόντα.



5.3 Συμπεράσματα

Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή των μοντέλων πρόβλεψης, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, η μέθοδος Winters εμφανίζει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα (μικρότερες αποκλίσεις) από τις υπόλοιπες τρεις μεθόδους υπερτερώντας σχεδόν για όλα τα προϊόντα που εξετάστηκαν. Επίσης σε όσα από τα μέτρα σφάλματος υπερτερεί κάποια άλλη μέθοδος, η Winters ακολουθεί με μικρή διαφορά. Παρόλα αυτά δείχνει να περιορίζει την εμφάνιση ακραίων τιμών, είτε πολύ υψηλών είτε σχεδόν μηδενικών, γεγονός που θα πρέπει να επισημανθεί στα στελέχη της εταιρίας στα οποία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της πρόβλεψης για αποφυγή σφαλμάτων κατά τον προγραμματισμό της παραγωγής (για το λόγο αυτών θα προταθεί ο καθορισμός συγκεκριμένου αποθέματος ασφαλείας επιπλέον της υπολογιζόμενης ποσότητας).

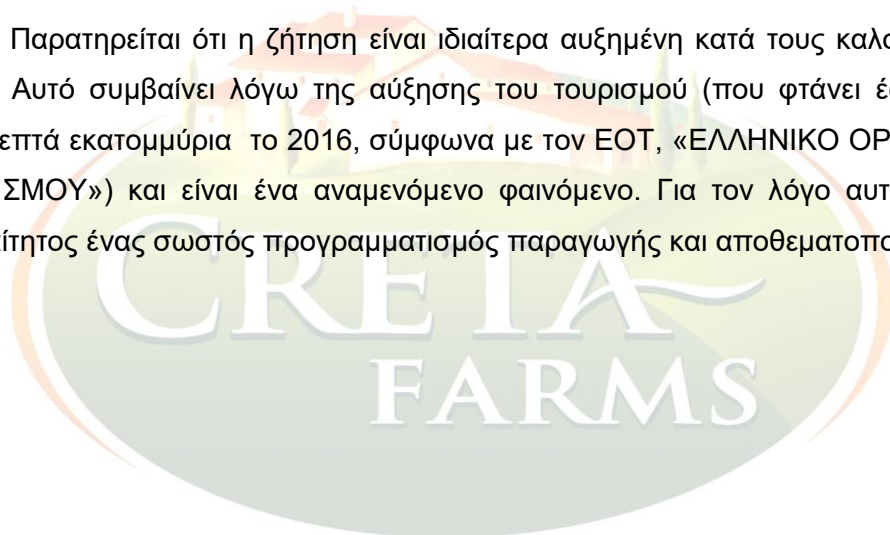
Αξίζει να σημειωθεί, πως μετά την παρουσίαση των προκαταρκτικών αποτελεσμάτων, η μέθοδος Winters επιλέχθηκε και από τα αρμόδια στελέχη της υπό μελέτη εταιρίας, θεωρώντας ότι εμφανίζει μία πολύ καλή εικόνα της μελλοντικής ζήτησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της, για την πρόβλεψη ζήτησης του έτους 2016 και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την κατάστρωση του γραμμικού προβλήματος στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα αντίστοιχα:

Πρόβλεψη 2016	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Προϊόν 'Α'	87	66	73	44	88	58	65	58	49	56	48	33
Προϊόν 'Β'	139	124	130	168	269	262	345	352	259	173	107	108
Προϊόν 'Γ'	15	11	21	54	80	100	122	94	37	35	23	13

Προϊόν 'Δ'	16	15	16	14	18	20	23	17	15	14	10	10
Προϊόν 'Ε'	4	3	2	3	3	4	4	0	1	1	1	4
Προϊόν 'Δ' και Προϊόν 'Ε'	19	18	19	17	21	25	28	19	18	17	12	12
Προϊόν 'ΣΤ'	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Πίνακας 10 Πρόβλεψη παραγωγής 2016(σε παλέτες)

Παρατηρείται ότι η ζήτηση είναι ιδιαίτερα αυξημένη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό συμβαίνει λόγω της αύξησης του τουρισμού (που φτάνει έως και τα είκοσι επτά εκατομμύρια το 2016, σύμφωνα με τον ΕΟΤ, «ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΤΟΥΡΙΣΜΟΥ») και είναι ένα αναμενόμενο φαινόμενο. Για τον λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητος ένας σωστός προγραμματισμός παραγωγής και αποθεματοποίησης.



6^ο Κεφάλαιο

6. Μοντελοποίηση Γραμμικού Προβλήματος και Αριθμητικά Αποτελέσματα

6.1 Μαθηματικό Μοντέλο Προβλήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο υλοποιήθηκε η μοντελοποίηση της λειτουργίας της γραμμής παραγωγής, σαν ένα γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης αποθέματος στο οποίο συμπεριλαμβάνονται όλες εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν το τελικό κέρδος της συγκεκριμένης γραμμής παραγωγής υπό των περιορισμών (φυσικών και τεχνολογικών) που πρέπει να ισχύουν.

- Εξίσωση ελαχιστοποίησης συνολικού αποθέματος

Στην ουσία η εξίσωση αυτή περιγράφει το απόθεμα του κάθε προϊόντος ανά μήνα για ένα έτος.

$$\text{Min} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^{12} (A_{i,j})$$

Όπου:

$A_{i,j}$: Απόθεμα Τελικού Προϊόντος, όπου i τα προϊόντα και j οι μήνες, όπως φαίνεται αναλυτικότερα παρακάτω.

Συμβολισμοί:

- Δείκτης i : Είδος τελικού προϊόντος

$i=1$: Προϊόν 'Α'

$i=2$: Προϊόν 'Β'

$i=3$: Προϊόν 'Γ'

$i=4$: Προϊόν 'Δ'

- Δείκτης j : Μήνες του έτους

$j=1$: Ιανουάριος

$j=2$: Φεβρουάριος

$j=3$: Μάρτιος

$j=4$: Απρίλιος

$j=5$: Μάιος

$j=6$: Ιούνιος
 $j=7$: Ιούλιος
 $j=8$: Αύγουστος
 $j=9$: Σεπτέμβριος
 $j=10$: Οκτώβριος
 $j=11$: Νοέμβριος
 $j=12$: Δεκέμβριος

Ισούται ουσιαστικά με το απόθεμα τελικού προϊόντος του προηγούμενου μήνα, μαζί με την παραγόμενη ποσότητα του τρέχοντος μήνα, μείον την ζήτηση του τρέχοντος μήνα. Δηλαδή:

$$A_{i,j} = A_{i,j-1} + X_{i,j} - Z_{i,j}$$

Όπου:

$X_{i,j}$ η παραγόμενη ποσότητα του προϊόντος i τον μήνα j και

$Z_{i,j}$ η ζήτηση του προϊόντος i τον μήνα j

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ:

- **Χωρητικότητα αποθηκών:** $\sum_{i=1}^4 (A_{i,j}) \leq 85, \forall j=1, \dots, 12$
- **Μέγιστη παραγωγή:** $1.4 * (\sum_{i=1}^3 (X_{i,j}) + X_{4,j}) \leq 923, \forall j=1, \dots, 12$
- **Διάρκεια Ζωής:** $A_{i,j} - Z_{i,j} - Z_{i,j+1} \leq 0, \forall i=1, \dots, 4 \text{ και } j=1, \dots, 12$
- **Ζήτησης:** $A_{i,j} = A_{i,j-1} + X_{i,j} - Z_{i,j}, \forall i=1, \dots, 4 \text{ και } j=1, \dots, 12$
- **Αρχικού αποθέματος:** $\sum_{i=1}^4 (A_{i,0}) = 35$
- **Μη αρνητικότητας:** $X_{i,j} \geq 0, \forall i=1, \dots, 4 \text{ και } j=1, \dots, 12$

6.2 Αποτελέσματα-Πρόγραμμα Παραγωγής

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η απαιτούμενη παραγωγή ανά μήνα και ανά προϊόν και η αποθεματοποίηση τελικών προϊόντων (υπολογισμένα σε παλέτες) ανά μήνα και ανά προϊόν, καθώς ελαχιστοποιώντας το συνολικό απόθεμα, περιορίζεται το κόστος αποθεματοποίησης και ως αποτέλεσμα μεγιστοποιείται το κέρδος.

Δεδομένου ότι τα περισσότερα κόστη και έξοδα είναι σταθερά το γραμμικό πρόβλημα ανήχθει ουσιαστικά σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης του συνολικού αριθμού αποθηκευμένων παλετών ανά μήνα. Η βέλτιστη λύση που προκύπτει από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος οδηγεί σε μεγιστοποίηση κέρδους, ικανοποιώντας το πρόγραμμα παραγωγής και την προβλεπόμενη ζήτηση όπως αυτή έχει προκύψει με χρήση του αντίστοιχου μοντέλου πρόβλεψης. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι έχει γίνει σχετική παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε υπεύθυνο της εταιρίας και έχει προταθεί για την αποφυγή λάθους κατά τον προγραμματισμό της παραγωγής και την επίτευξη κάλυψης της ζήτησης (ιδιαίτερα κατά τους μήνες κατά τους οποίους είναι αυξημένη) να υπάρχει συγκεκριμένο απόθεμα ασφαλείας ανά προϊόν. Η απάντηση ήταν καταφατική και γνωστοποιήθηκε ότι ήδη χρησιμοποιείται κάποια ανάλογη τεχνική κατά την πρόβλεψη της παραγωγής. Επισημαίνεται ότι το τελικό πρόγραμμα παραγωγής που προκύπτει είναι εφικτό βάσει της παραγωγικότητας της μονάδας

Πίνακας 11 Προτεινόμενη Παραγωγή Ανά Μήνα (σε παλέτες)

Παραγωγή ανά μήνα	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Προϊόν 'Α'	31	48	46	37	55	56	53	55	58	59	51	47
Προϊόν 'Β'	139	123	130	168	269	262	345	352	259	173	107	108
Προϊόν 'Γ'	8	11	11	25	69	61	75	59	34	32	15	17
Προϊόν 'Δ'	16	15	16	14	18	20	23	17	15	14	10	10



Γράφημα 26 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Α'



Γράφημα 27 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Β'



Γράφημα 28 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Γ'



Γράφημα 29 Προτεινόμενη παραγωγή ανά μήνα Προϊόν 'Δ'

Απόθεμα ανά μήνα	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Προϊόν 'Α'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Προϊόν 'Β'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Προϊόν 'Γ'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Προϊόν 'Δ'	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 12 Προτεινόμενο Απόθεμα Ανά μήνα (σε παλέτες)



7^ο Κεφάλαιο

7. Συμπεράσματα και προτάσεις

7.1 Ανακεφαλαίωση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η παραγωγική διαδικασία μιας γραμμής παραγωγής της Creta Farms, μιας οργανωμένης μονάδας παραγωγής και επεξεργασίας κρέατος. Αρχικά παρουσιάζεται η εταιρία, η ιστορία της, οι υποδομές και εγκαταστάσεις, καθώς και η εξέλιξη της με το πέρασμα των χρόνων. Πιο συγκεκριμένα γίνεται παρουσίαση των σταδίων της διαδικασίας παραγωγής των αλλαντικών, των συνθηκών εκτέλεσης καθενός από τα στάδια αυτά, των πρώτων υλών (πρωτεύουσες και δευτερεύουσες), όπως επίσης των χρόνων και των αναλογιών με τις οποίες εκτελούνται μέσα από διαγράμματα ροής. Τόσο κατά την παραγωγική διαδικασία όσο και τα υπόλοιπα μέρη της συγκεκριμένης εργασίας, για την καλύτερη μελέτη του συνόλου των προϊόντων, που παράγονται σε αυτή την γραμμή παραγωγής, έχει γίνει ομαδοποίηση βάσει κοινών χαρακτηριστικών.

Βάσει των πληροφοριών που συλλέχθηκαν από τα στελέχη της εταιρίας αλλά και μετρήσεων που συλλέχθηκαν επιτόπου, υλοποιήθηκε η μοντελοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας με χρονικά δίκτυα Petri. Στη συνέχεια εκτελέστηκαν προσομοιώσεις της λειτουργίας κάθε μοντέλου από τις οποίες ελέχθησαν τα δεδομένα για τις διαδικασίες κοπής. Ο χρόνοι αυτοί, πέρα από την αξιολόγηση της αποδοτικότητας της γραμμής παραγωγής, φάνηκαν χρήσιμοι και για τον υπολογισμό της μέγιστης δυναμικότητας, δεδομένα που θα μπορούσαν να υποβοηθήσουν στον έλεγχο πιθανών σεναρίων για την βελτιστοποίηση και την εξέλιξη λειτουργίας της γραμμής.

Βάσει των στοιχείων ζήτησης των τελευταίων ετών, πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης ανά προϊόν με χρήση εναλλακτικών μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά αξιολογήθηκαν με χρήση κατάλληλων κριτηρίων και επιλέχθηκε το βέλτιστο σε συμφωνία με τους υπεύθυνους της εταιρίας.

Τα παραπάνω αποτελέσματα σε συνδυασμό με επιπλέον στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τους υπεύθυνους της εταιρίας, χρησιμοποιήθηκαν για την βελτιστοποίηση του ετήσιου κέρδους από την λειτουργία της γραμμής παραγωγής. Καταστρώθηκε κατάλληλο γραμμικό πρόβλημα ελαχιστοποίησης αποθέματος στο

οποίο συμπεριλαμβάνονται όλες εκείνες οι παράμετροι που επηρεάζουν το τελικό κέρδος της συγκεκριμένης γραμμής υπό των περιορισμών (φυσικών και τεχνολογικών). Το συγκεκριμένο πρόβλημα στην συνέχεια επιλύθηκε με την χρήση του επιλύτη για προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού Lingo [40]. Από την επίλυση του γραμμικού προβλήματος, προέκυψε η τελική κατανομή της παραγωγής των προϊόντων ανά μήνα, καθώς και το μηνιαίο απόθεμα ανά προϊόν ώστε να μεγιστοποιείται το κέρδος της εταιρίας.

7.2 Συμπεράσματα

Όπως αποδείχτηκε από τα αποτελέσματα του γραμμικού προβλήματος η δυναμικότητα παραγωγής της γραμμής είναι υψηλότερη της ζήτησης των συγκεκριμένων προϊόντων ανά μήνα. Σύμφωνα με τα δεδομένα ζήτησης, τα αποτελέσματα προσομοίωσης και των προβλέψεων, η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί ικανοποιητικά από τον υπάρχοντα εξοπλισμό και το απόθεμα του κάθε προϊόντος ανά μήνα να είναι θεωρητικά μηδέν.

7.3 Προτάσεις

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της επίλυσης του γραμμικού προβλήματος προτείνεται να χρησιμοποιηθεί ένα απόθεμα ασφαλείας, ιδιαίτερα για τους θερινούς μήνες όσο και για τα προϊόντα με αυξημένη ζήτηση, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο ανικανοποίητης ζήτησης. Με εναλλακτικά (ρεαλιστικά) σενάρια λειτουργίας, όσον αφορά τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και τη ζήτηση μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλάνο για κάθε πιθανή ανάγκη παραγωγής. Επιπροσθέτως, θα μπορούσε να μελετηθεί η παραγωγή περισσότερων προϊόντων για την συγκεκριμένη γραμμή παραγωγής ώστε να αξιοποιείται όσο γίνεται η δυναμικότητα της και να είναι έτσι πιο αποδοτική και πιο παραγωγική (να περιοριστούν δηλαδή οι νεκροί χρόνοι κατά την διάρκεια της παραγωγής).

Μια ακόμη πρόταση αποτελεί η μελέτη για την τροποποίηση της υπάρχουσας γραμμής, όσον αφορά τους χρόνους και τις διαδικασίες παραγωγής, βάσει του υπάρχοντος εξοπλισμού. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσαν ενδεχομένως να μειωθούν οι χρόνοι παραγωγής, τα κόστη εργασίας, ή/και τα κόστη κατανάλωσης ενέργειας, που σαν έμμεσο αποτέλεσμα αυξάνουν τα καθαρά κέρδη της γραμμής. Παραδείγματος χάρη, για την ψύξη, είναι αρκετά σημαντικό να μελετηθεί και, εάν είναι δυνατόν, να βελτιστοποιηθεί η δρομολόγηση των καροτσιών μεταφοράς εντός των εγκαταστάσεων έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες ψύξης και οι χρόνοι μεταφοράς

μεταξύ των σταδίων παραγωγής, πάντα πληρώνοντας τις προδιαγραφές ποιότητας του τελικού προϊόντος.

7.4 Επεκτάσεις διπλωματικής εργασίας

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποτελεί μία πολύ καλή «βάση» για την επέκταση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε, εισάγοντας περισσότερα (ρεαλιστικά) στοιχεία που μπορούν να παραχωρηθούν από την εταιρία Creta Farms. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πιθανά επόμενα βήματα τα της συγκεκριμένης μελέτης:

- Μελέτη αλλαγής της παραγωγικής διαδικασίας με την εισαγωγή νεότερων τεχνολογιών και μηχανημάτων,
- Εναλλακτικά (ρεαλιστικά) σενάρια λειτουργίας με τον υπάρχοντα εξοπλισμό,
- Νέα επίλυση του γραμμικού προγράμματος θεωρώντας ελάχιστα επίπεδα αποθέματος ασφαλείας ανά προϊόν τα οποία θα προσδιοριστούν σε συνεργασία με τα στελέχη της εταιρίας,
- Έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο,
- Ανάπτυξη λογισμικού υπολογισμού του βέλτιστου πλάνου παραγωγής, λαμβάνοντας δεδομένα (απόθεμα πρώτης ύλης, ζήτησης), σε πραγματικό χρόνο,
- Μελέτη ανάθεσης μη οικονομικά συμφερούσων εργασιών σε υπεργολάβους,
- Επέκταση της χρήσης της μεθοδολογίας για τα επόμενα έτη με χρήση περισσότερων δεδομένων, γεγονός που αναμένεται να δώσει μεγαλύτερη ακρίβεια στις προβλέψεις ζήτησης των επιμέρους προϊόντων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Γεώργιος Τσιναράκης – Διδακτορική διατριβή, *Μοντελοποίηση και μελέτη συστημάτων παραγωγής τυχαίας τοπολογίας με δίκτυα Petri, μία προσέγγιση ιεραρχικού ελέγχου*, Χανιά 2007

[2] Zhou M.C. and DiCesare F., *Petri Net Synthesis for Discrete Event Control of Manufacturing Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1993.

[3] Peterson J. “Petri nets”, *Computing Surveys*, vol. 9, no. 3, pp. 223-252, September 1977

[4] Desel J. and Juhas G., “What is a Petri Net? Informal Answers for the Informed Reader”, *Unifying Petri Nets*, Ehrig H., Juhas G., Padberg J. and Rozenberg G., Eds., Springer, pp. 1- 27, 2001.

[5] Zimmerman A., διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://pdv.cs.tu-berlin.de/~azi/petri.html>.

[6] Murata T., “Petri Nets: Properties, Analysis and Applications”, in *Proc. IEEE*, vol. 77, no. 4, pp.541 – 580, April 1989.

[7] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.

[8] Jehng W. K., “Petri net models applied to analyze automatic sequential pressing systems”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 120, pp. 115 – 125, 2002.

[9] Hofestadt R., “A petri net application to model metabolic processes”, *Systems Analysis Modelling Simulation*, vol. 2, pp. 113 – 122, 1994.

[10] Will J. and Heiner M., *Petri nets in Biology, Chemistry and Medicine – Bibliography-*, Τεχνική Έκθεση, Brandenburg University of Technology at Cottbus, 2002.

[11] Desrochers A. and Al – Jaar R., *Applications of Petri Nets in Manufacturing Systems – Modeling, Control and Performance Analysis*, IEEE Press, 1995.

- [12] Levis A., *Discrete Event Systems*, Διαφάνειες, 2000.
- [13] Marsan A. M., Balbo G., Conte G., Donatelli S. and Franceschinis G., *Modeling with Generalized Stochastic Petri Nets*, Wiley, Series in Parallel Computing, 1995.
- [14] Petri C. A., *Kommunikationen mit Automaten*, Ph.D. Thesis, Institut für Instrumentelle Mathematik, Bonn, 1962. Also English Translation, *Communication with Automata*, Griffiss Air Force Base, New York, Tech. Rep. RADC-TR-65-377, vol. 1, Suppl. 1, 1966.
- [15] Mellado E. L. "Analysis of discrete event systems by simulation of timed Petri net models", *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 61, pp. 53-59, 2002.
- [16] Venkatesh K. and Ilyas M. "Real-time Petri nets for modelling, controlling and simulation of Local Area Networks in Flexible Manufacturing Systems", *Computers in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 147-162, 1995.
- [17] Zuberek W. "Timed Petri Nets in Modeling and Analysis of Cluster Tools", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, no. 5, October 2001.
- [18] Peterson J., *Petri Net Theory And The Modeling of Systems*, Prentice Hall Inc., 1981.
- [19] Drath R., Engmann U. and Schwuchow, "Hybrid Aspects of Modeling Manufacturing Systems using Modified Petri nets", in Proc. *5th Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, Granado, Brazil, 1999.
- [20] Busi N., "Analysis issues in Petri nets with inhibitor arcs", *Theoretical Computer Science*, vol. 275, no. 1, pp. 127 – 177, 2002.
- [21] Ramaswamy S. and Valavanis K., "Hierarchical Time – Extended Petri Nets (HEPN's) Based Error Identification and Recovery for Multilevel Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics – Part B: Cybernetics*, vol. 26, no. 1, pp. 164 – 175, February 1996.
- [22] David R. and Alla H., *Discrete, Continuous and Hybrid Petri Nets*, Springer - Verlag, 2005.

[23] Girault C. and Valk R., *Petri Nets for System Engineering*, Springer, 2002.

[24] Valavanis K., "On the hierarchical Modeling, Analysis and Simulation of Flexible Manufacturing Systems with Extended Petri Nets", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 1, pp. 94 – 110, 1990.

[25] Jeng M. D. and DiCesare F., "A review of synthesis techniques for Petri nets with applications to Automated Manufacturing Systems", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 1, pp. 301-312, 1993.

[26] Βασίλης Κουϊκόγλου – Σημειώσεις μαθήματος: Προσομοίωση, Χανιά 2002 http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/simulation.pdf

[27] Γεώργιος Παναγιώτου-Διπλωματική εργασία: Προβλέψεις πωλήσεων των Ι.Χ. Αυτοκινήτων σε δεκαπέντε χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2005 <http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/878/1/Panagiotou.pdf>

[28] Γεωργία Μαργιά – Διπλωματική εργασία: Ανάλυση και πρόβλεψη χρονοσειρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009

<http://invenio.lib.auth.gr/record/112902/files/MAPΓΙΑ.pdf?version=1>

[29] Μιχάλης Βαϊδάνης-Σημειώσεις μαθήματος: Αρχές διοίκησης και οργάνωση παραγωγής, Πρόβλεψη, Αθήνα 2005

<http://www.metal.ntua.gr/uploads/3469/447/forecasting.pdf>

[30] Μαυρογιαννάκης Άρης - Διπλωματική εργασία: Χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου εκτροπής του ποταμού Αναποδάρη. Μελέτη της επίδρασης χρονικών παραμέτρων στη διάρκεια και στο κόστος εκτέλεσης του έργου, Χανιά 2014

[31] Hartmut Stadtler, Christoph Kilger, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, Springer, 4th Edition, 2008

[32] Hartmut Stadtler, *Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lot sizing*, *European Journal of Operational Research*, vol. 94, 1995

[33] Γιάννης Σίσκος, *Γραμμικός Προγραμματισμός*, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2000

[34] Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit, European IPPC Bureau, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skin*, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control JOINT RESEARCH CENTRE, 2013

[35] Market and Policy Analyses of Raw Materials, Horticulture and Tropical Products Team, *World Statistical Compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear 1993-2012*, Trade and Market Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013

[36] US-EPA Report, *Wells G & H Site Remedial Investigation report Part 1*, Woburn Massachusetts, Vol 2, p. B-34

[37] Pradeep Kumar Sahu, Rajesh Kumar, *Demand Forecasting For Sales of Milk Product (Paneer) In Chhattisgarh*, International Journal of Inventive Engineering and Sciences (IJIES), vol. 1, Issue-9, 2013

[38] Rob J. Hyndman, Anne B. Koehler, *Another Look at Measures of Forecast Accuracy*, Department of Economics and Business Statistics, Monash University, 2005

[39] Gurobi Optimization, Inc, *Gurobi Optimizer Reference Manual*, 2015, <http://www.gurobi.com>

[40] Δούμπος Μιχάλης, Γραμμικός Προγραμματισμός, eclass Δημιουργία αρχείων Lingo & LP_Solve μέσω του Excel

[41] Κωνσταντίνος Βροντάκης, "Αξιολόγηση αποδοτικότητας και μελέτη λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας δέρματος", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2015

[42] Visual Object Net++, διαθέσιμο στη διεύθυνση

http://www.r-drath.de/Home/Visual_Object_Net++.html

[43] Ιστοσελίδα της Creta Farms <http://cretafarms.gr/>