



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΧΙΟΣ

Διδακτορική Διατριβή

του

Βασιλείου Βρυσαγώτη

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΕ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Βιδάλης Μιχαήλ, Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων

Αγγελής Βασίλειος, Καθηγητής

Μαύρη Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια

ΧΙΟΣ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

Η παρούσα μελέτη είναι αφιερωμένη σε όλους τους εμπλεκόμενους (εργαζομένους, εργοδότες) στον κλάδο της εφοδιαστικής (logistics) στην Ελλάδα, που με τον καθημερινό μόχθο τους διατηρούν το σύστημα διάθεσης προϊόντων και υπηρεσιών σε εξαιρετικά αντίξοες οικονομικές συνθήκες και σε ένα δύσκολο εξωγενές επιχειρηματικό περιβάλλον.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	11
1. Εισαγωγή	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.1 ΤΑ ΠΕΔΙΑ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ (LOGISTICS) ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (SUPPLYCHAINMANAGEMENT)	14
1.2 ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	16
1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	19
2.1 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ & ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	19
2.2 Η ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	19
2.3 ΟΙ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	22
2.3.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ (BUSINESSMODELS)	23
2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	26
2.4.1 Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ	26
2.4.2 ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΣΤΟΧΟΙ	29
2.4.3 ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	31
2.4.4 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ	36
3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ-ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ	36
3.2 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ	41
3.2.1 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΟΥΡΩΝ	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
3.2.2 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ	42
3.3 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ.....	49
3.3.1 ERLANG-2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ.....	50
3.3.2 ERLANG-R ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ.....	51
3.3.3 ΥΠΟΕΚΘΕΤΙΚΗ R ΦΑΣΕΩΝ – ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ERLANG	52
3.3.4 ΥΠΕΡΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ.....	53
3.3.5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN	54
3.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 1-3	56

3.4.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 2 ΣΤΟΙΒΑΔΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2	57
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	57
4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	57
4.2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	58
4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	59
4.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	59
4.3.2. ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	60
4.3.3 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ	61
4.3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	62
4.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	64
4.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	65
4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ	67
4.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ...	68
4.7 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	72
4.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	74
4.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 4	75
4.10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣΜΑΤLAB & ΜΟΝΤΕΛΟ ARENA.....	77
4.10.1 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤLAB	77
4.10.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ARENA	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΡΙΩΝ ΣΤΟΙΒΑΔΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2	80
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	80
5.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	81
5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	83
5.3.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ.....	83
5.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	85
5.3.3. ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ	86
5.3.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ Π.....	87
5.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	87
5.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	89
5.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP RETAILER	89
5.4.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP WHOLESALER	90

5.4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP TRANSIT	90
5.4.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP SYSTEM.....	91
5.4.5 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕΤΟΦΙΛΛ RATE SYSTEM	92
5.4.6 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ WIPRETAILER	92
5.4.7 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ WIPWHOLESALE.....	93
5.4.8 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ WIPTRANSIT	94
5.4.9 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ WIPSYSTEM	95
5.4.10 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕΤΟΦΙΛΛ RATE SYSTEM.....	95
5.4.11 ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ WIP SYSTEM, FILL RATE ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΟ $S1+S2$	96
5.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	97
5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	100
5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2	103
6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	112
6.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	113
6.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	114
6.3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	114
6.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	117
6.3.3 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ	129
6.3.4 ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	130
6.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	131
6.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	131
6.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	138
6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	140
6.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6	141
6.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	143
6.8.1 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ BUFFER.....	143
6.8.2 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ BUFFER (N, b, 1).....	147
6.8.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΤΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ARENA	152
6.8.4 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ.....	103
6.8.5 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (SPLIT OUT) ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2	154
7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	154
7.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	155
7.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	157
7.3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	157
7.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ	158
7.3.3 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ	159
7.3.4 ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	162
7.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	162
7.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	162
7.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP_{SYSTEM} ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΩΝ (R)	163
7.4.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ $FILLRATE_{SYSTEM}$ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΩΝ (R).....	164
7.4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΡΥΘΜΩΝ μ_{1i} , μ_{2i} ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΚΑΛΥΨΗΣ	165
7.4.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ λ ΣΤΟ WIP ΚΑΙ ΤΟ $FILLRATE$	170
7.4.5 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ S ΜΕ ΤΟ WIP ΚΑΙ ΤΟ $FILLRATE$ ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΗ.....	175
7.4.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ d_{1i} , d_{2i} ΣΤΑ WIP_{SYSTEM} ΚΑΙ $FILLRATE_{SYSTEM}$	179
7.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	184
7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	188
7.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7	189
8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	194
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	196
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1 ^{ΟΥ} ΜΕΡΟΥΣ.....	196
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ	196
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	197
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	198
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 7 ^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	199
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑ.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η ΣΧΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ , ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ (LOGISTICS) ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (SUPPLYCHAINMANAGEMENT)	15
Εικόνα 2: ΤΟ ΣΕΙΡΙΑΚΟ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	19
Εικόνα 3: ΣΥΓΚΛΙΝΩΝ (MERGEIN) ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	20
Εικόνα 4: ΑΠΟΚΛΙΝΩΝ (SPLITOUT) ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	21
Εικόνα 5: Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ.....	23
Εικόνα 6: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	24
Εικόνα 7: ΣΥΣΤΗΜΑ - ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ.....	39
Εικόνα 8: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	41
Εικόνα 9: ΜΕΤΑΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΜΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ "ΓΕΝΝΗΣΗΣ ΘΑΝΑΤΟΥ"	44
Εικόνα 10: Η ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ERLANG 2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ	50
Εικόνα 11: Η ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ERLANG -ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ	51
Εικόνα 12: Η ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΥΠΕΡΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ	53
Εικόνα 13: Η ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ COXIAN-2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ.....	54
Εικόνα 14: ΗΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ SQUAREDCV	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 15: Το υπό εξέταση σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο 2 στοιβάδων	60
Εικόνα 16: Το fillrate ως προς το $q = S - s$	66
Εικόνα 17: Το WIP σε σχέση με το $q = S - s$	67
Εικόνα 18: Το cycle time σε σχέση με το $q = S - s$	67
Εικόνα 19: Ανάλυση ευαισθησίας - Η σχέση των q με το fillrate	68
Εικόνα 20: Ανάλυση ευαισθησίας - Η σχέση με το WIP	68
Εικόνα 21: Η σχέση των S, s με το κέρδος.....	70
Εικόνα 22: Η εξέλιξη των S, s με τα CP (κόστος χαμένων πωλήσεων).....	70
Εικόνα 23	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εικόνα 24 : Η διακύμανση του fill rate στα δυο υποδείγματα	73
Εικόνα 25 : Η διακύμανση του WIP στα δυο υποδείγματα	74
Εικόνα 26 Το Εφοδιαστικό Σύστημα των 3 στοιβάδων.....	80
Εικόνα 27 Το υπόδειγμα των 3 στοιβάδων	85
Εικόνα 28 Το WIP RETAILER σε σχέση με τα S_w, s_w θεωρώντας $\mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7 d_{12}=0,3 d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	90
Εικόνα 29 ΤΟ WIP WHOLESALE ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ $S_w, s_w \mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7 d_{12}=0,3 d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	90
Εικόνα 30 Το WIP transit σε σχέση με τα $S_w, s_w \mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2 d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3 d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	91
Εικόνα 31 Το WIP system σε σχέση με τα $S_w, s_w \mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2 d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3 d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	92
Εικόνα 32 Το FillRate σε σχέση με τα $S_w, s_w \mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2 d_{11}=0,7 d_{12}=0,3$ $d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	92
Εικόνα 33 Το WIP Retailer σε σχέση με τα $S_r, s_r \mu_{11}=0,6 \mu_{12}=2 \mu_{21}=0,6 \mu_{22}=2 d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3 d_{21}=0,7 d_{22}=0,3 \lambda=1$	93

Εικόνα 34 Το WIPwholesaler σε σχέση με τα S_r, s_r $\mu_{11}=0,6$ $\mu_{12}=2$ $\mu_{21}=0,6$ $\mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3$ $d_{21}=0,7$ $d_{22}=0,3$ $\lambda=1$	94
Εικόνα 35 Το WIPtransit σε σχέση με τα S_r, s_r $\mu_{11}=0,6$ $\mu_{12}=2$ $\mu_{21}=0,6$ $\mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3$ $d_{21}=0,7$ $d_{22}=0,3$ $\lambda=1$	94
Εικόνα 36 Το WIPsystem σε σχέση με τα S_r, s_r $\mu_{11}=0,6$ $\mu_{12}=2$ $\mu_{21}=0,6$ $\mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3$ $d_{21}=0,7$ $d_{22}=0,3$ $\lambda=1$	95
Εικόνα 37 Το FILLRATE σε σχέση με τα S_r, s_r $\mu_{11}=0,6$ $\mu_{12}=2$ $\mu_{21}=0,6$ $\mu_{22}=2$ $d_{11}=0,7$ $d_{12}=0,3$ $d_{21}=0,7$ $d_{22}=0,3$ $\lambda=1$	96
Εικόνα 38 : Σύγκλιων εφοδιαστικό δίκτυο χωρίς buffer	112
Εικόνα 39 Συγκλιων εφοδιαστικό δίκτυο με buffer	113
Εικόνα 40 Η διαδικασία του αλγορίθμου	116
Εικόνα 41 Η συμπεριφορά του αριθμού των states σε σχέση με τον αριθμό των προμηθευτών και του buffer	128
Εικόνα 42 Throughput σε σχέση με d_1 θεωρώντας $\mu_1=\mu_2=6$	132
Εικόνα 43 Throughput σε σχέση με μ_1, μ_2 θεωρώντας $d_1=0,7, d_2=0,3$	133
Εικόνα 44 Το WIP σε σχέση με τον αριθμό των προμηθευτών (N)	133
Εικόνα 45 Μέσο απόθεμα σε σχέση με μ_1, μ_2 θεωρώντας $d_1=0,7, d_2=0,3$	134
Εικόνα 46 Throughput σε σχέση με d_1 θεωρώντας $\mu_1=6, \mu_2=6, B=2, N=6$	135
Εικόνα 47 Throughput σε σχέση με μ_1, μ_2 θεωρώντας $d_1=0,7, d_2=0,3 B=2, N=6$	135
Εικόνα 48 Το WIP σε σχέση με N (No προμηθευτών) με $\mu_1=\mu_2=6, d_1=0,7 d_2=0,3 B=2$	136
Εικόνα 49:WIP σε σχέση με B (buffer) θεωρώντας $\mu_1=\mu_2=6, d_1=0,7, d_2=0,3$	137
Εικόνα 50 Το WIP σε σχέση με d_1 θεωρώντας $\mu_1=\mu_2=6, B=2, N=6$	137
Εικόνα 51 Το WIP (Μέσο απόθεμα) σε σχέση με μ_1, μ_2 θεωρώντας $d_1=0,7, d_2=0,3 N=6 B=2$	138
Εικόνα 52 Το υπόδειγμα του αποκλίνοντος εφοδιαστικού συστήματος	154
Εικόνα 53 Η συνολική δομή του πίνακα μεταπήδησης για το υπόδειγμα του αποκλίνοντος εφοδιαστικού δικτύου	161
Εικόνα 54: Η σχέση του αριθμού λιανοπωλητών (R) με το WIPsystem για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1, \mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1, \mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	163
Εικόνα 55 Η σχέση του αριθμού λιανοπωλητών (R) με το WIPsystem για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1, \mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1, \mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	164
Εικόνα 56 Η σχέση των μ_{11}, μ_{12} με το WIP 1ου retailer για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1 \mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1 \mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=0,3=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	165
Εικόνα 57 Η σχέση των μ_{11}, μ_{12} με το fillrate1ου retailer για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1 \mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1 \mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=0,3=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	166
Εικόνα 58 Η σχέση των μ_{21}, μ_{22} με το WIP 2ουretailer για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1 \mu_{11}=\mu_{31}=\mu_{41}=1 \mu_{12}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	167
Εικόνα 59 Η σχέση των μ_{21}, μ_{22} με το Fillrate 2ουretailer για $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1 \mu_{11}=\mu_{31}=\mu_{41}=1 \mu_{12}=\mu_{32}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	167
Εικόνα 60 Η σχέση του WIP του 3ου retailer με τα μ_{31}, μ_{32} για $\lambda_1-\lambda_2=\lambda_3-\lambda_4=1 \mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1 \mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	168
Εικόνα 61 Η σχέση fillrate του 3ου retailer με τα μ_{31}, μ_{32} για $\lambda_1-\lambda_2=\lambda_3-\lambda_4=1 \mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1 \mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{42}=1 d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7 d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$	169

Εικόνα 80 Η σχέση του μ_{11} με το WIPsystem στην περίπτωση της ERLANG κατανομής για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$ για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$	180
Εικόνα 81 Η σχέση του μ_{1i} με το Fillratesystem στην περίπτωση της ERLANG κατανομής για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$ για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$	181
Εικόνα 82 Η σχέση του μ_{2i} με το WIPsystem στην περίπτωση της ERLANG κατανομής για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$ για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$	181
Εικόνα 83 Η σχέση του fillratesystem με το μ_{2i} στην περίπτωση της ERLANG κατανομής για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$ για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$	181
Εικόνα 84 Το WIPsystem σε σχέση με το μ_{1i} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$	182
Εικόνα 85 Η σχέση του Fillratesystem με το μ_{1i} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$	183
Εικόνα 86 Η σχέση του wipsystem με το μ_{2i} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$	183
Εικόνα 87 Η σχέση του fillratesystem με το μ_{2i} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$	184
Εικόνα 88 Σύγκριση τιμών fillrate του 1ου retailer μεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος	186
Εικόνα 89 Σύγκριση τιμών WIP του 1 ^{ου} retailer μεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος	186
Εικόνα 90 Σύγκριση τιμών fillrate του 2 ^{ου} retailer αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος	187
Εικόνα 91 Σύγκριση τιμών WIP 2ου retailer μεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος	187

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου, Χαράλαμπο Ραφαήλ Βρυσαγώτη, (Πτυχίο Πληροφορικής Ο.Π.Α., MSc Artificial Intelligence, University of Edinburgh) που με βοήθησε στον προγραμματισμό των υποδειγμάτων στο MATLAB. Χωρίς τη συμβολή του θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τον καλό μου συμφοιτητή στο διδακτορικό πρόγραμμα σπουδών του Τ.Δ.Ε. ΠΑΝ.ΑΙ., Γεώργιο Βαρλά, (Πτυχίο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, Μεταπτυχιακό δίπλωμα ειδίκευσης στη Διοίκηση Επιχειρήσεων (MBA), Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου) για τη βοήθεια που πρόσφερε στη χρήση του προγράμματος προσομοίωσης ARENA 12, η οποία αποδείχθηκε απαραίτητη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή του ΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αιγαίου και επιβλέποντα της διατριβής κ. Βιδάλη Μιχαήλ, τον καθηγητή του ΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αιγαίου κ. Αγγελή Βασίλειο και την επίκουρο καθηγήτρια του ΤΔΕ κ. Μαύρη Μαρία του ΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αιγαίου, μέλη της τριμελούς επιτροπής που επέβλεπε την πρόοδο των διδακτορικών μου σπουδών, καθώς και τους κ.κ. Παπαδόπουλο Χρυσολέοντα (Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο), Μουστάκη Βασίλειο (Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης), Αδαμίδη Εμμανουήλ (Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Πατρών) και Κουϊκόγλου Βασίλειο (Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης), μέλη της επταμελούς επιτροπής κρίσης της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Συνεισφορά της παρούσας εργασίας

Κεντρικός στόχος ήταν η μελέτη των ροών σε δυναμικά στοχαστικά εφοδιαστικά δίκτυα που επηρεάζονται από ένα πλήθος τυχαίων γεγονότων όπως αβεβαιότητας ζήτησης (εσωτερικής κι εξωτερικής) αβεβαιότητα προσφοράς (ως προς τον χρόνο και την ποσότητα), και αβεβαιότητα παραγωγής (βλάβες).

Επιδίωξη η κατανόηση της δυναμικής λειτουργίας αυτών των συστημάτων και η δημιουργία εργαλείων (μοντέλων) που περιγράφουν την δυναμική αλληλεπίδρασης των πολλών παραγόντων που επηρεάζουν την συνολική απόδοσή τους. Μέσω των μοντέλων στοχεύουμε στην ανάδειξη των πλέον σημαντικών παραμέτρων στην απόδοση των υπό μελέτη συστημάτων και ο προσδιορισμός των βέλτιστων τιμών που μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν συγκεκριμένα μέτρα απόδοσης του συστήματος.

Ως προς την δομή μελετήθηκαν σειριακά (tandem) και συγκλίνοντα (merge) και αποκλίνοντα (split) εφοδιαστικά δίκτυα. Ως προς την τυχαιότητα εμφάνισης των τυχαίων γεγονότων (ζήτηση, αναπλήρωση, βλάβες) υιοθετήθηκε η κατανομή Coxian με 2 φάσεις και γενικότερα με k φάσεις. Αιτία της επιλογής ότι οι κατανομές phasetypeCoxian αποτελούν μια κλάση κατανομών με συντελεστή μεταβλητότητας (CV) που κυμαίνεται από $1/k$ έως και το άπειρο. Αποτελούν επομένως ευέλικτα εργαλεία μοντελοποίησης χρόνων που συναντώνται σε πραγματικές καταστάσεις (ευελιξία). Ως προς την φιλοσοφία ροής των προϊόντων μελετήθηκαν εφοδιαστικά συστήματα έλξης (pull) και ώθησης (push) Ως προς την πολιτική ανάδρασης των μελών των εφοδιαστικών δικτύων στη ζήτηση υιοθετήθηκε η ανεξάρτητη ανά μέλος πολιτική συνεχούς παρακολούθησης των αποθεμάτων με χαμένες πωλήσεις σε περίπτωση μη επαρκούς αποθέματος (installationlogicinventorypolicy).

Η μεθοδολογία μοντελοποίησης συνίσταται στην απεικόνιση του συστήματος ως μαρκοβιανής στοχαστικής διαδικασίας διακριτών καταστάσεων, συνεχούς χρόνου, στην κατανόηση της δομής του πίνακα μεταπήδησης συναρτήσει των τιμών των παραμέτρων, στην επίλυση του γραμμικού συστήματος των στασίμων εξισώσεων, στον προσδιορισμό των στασίμων πιθανοτήτων και τέλος στον υπολογισμό των μέτρων απόδοσης του συστήματος

Η προσφορά της παρούσας διατριβής επιγραμματικά είναι η εξής:

1. Μελετήθηκαν σειριακά εφοδιαστικά δίκτυα έλξης με δύο και τρία επίπεδα Η υπάρχουσα βιβλιογραφία παρουσιάζει μικρή αναφορά σε μελέτη δικτύων με κατανομή αναπλήρωσης Coxian-2.
2. Δημιουργήθηκε ακριβής αναλυτικός αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει βάσει των παραμέτρων του συστήματος (πολιτικές αναπλήρωσης μελών, χρόνοι αναπλήρωσης 1^{ns} και 2^{ns} φάσης, πιθανότητες 1^{ns} και 2^{ns} φάσης, ρυθμός εξωτερικής ζήτησης) μέσω των στασίμων πιθανοτήτων, μέτρα απόδοσης των εφοδιαστικών δικτύων (βαθμός κάλυψης ζήτησης, μέσο απόθεμα ανά μέλος και για ολόκληρο το δίκτυο, μέσο απόθεμα σε διακίνηση κλπ.) για διαφορετικές παραμέτρους του συστήματος

3. Ο αναλυτικός αλγόριθμος ελέγχθηκε ως προς την ορθότητα και μέσω προσομοιωτικού μοντέλου στο ARENA.
4. Ο ακριβής αναλυτικός αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των τιμών των παραμέτρων του συστήματος (π.χ. πολιτικές αναπλήρωσης) που μεγιστοποιούν συγκεκριμένα μέτρα απόδοσης (π.χ. βαθμός κάλυψης εξωτερικής ζήτησης-fillrate), επίδραση των παραμέτρων στην απόδοση του συστήματος κλπ.
5. Μελετήθηκαν συγκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα ώθησης με 2 επίπεδα (προμηθευτές και κέντρο παραγωγής με πολλαπλές μηχανές και με αποθηκευτικό χώρο –buffer).
6. Δημιουργήθηκε ακριβής αναλυτικός αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει βάσει των παραμέτρων του συστήματος (αριθμός προμηθευτών, χρόνοι αναπλήρωσης 1^{ης} και 2^{ης} φάσης, πιθανότητες 1^{ης} και 2^{ης} φάσης για κάθε προμηθευτή, χωρητικότητα αποθηκευτικού χώρου, αριθμός μηχανών και ρυθμοί εξυπηρέτησης 1^{ης} και 2^{ης} φάσης στο κέντρο παραγωγής) μέσω των στασίμων πιθανοτήτων, μέτρα απόδοσης των συγκλινόντων εφοδιαστικών δικτύων (μέσος ρυθμός εκροής-throughput, μέσο απόθεμα στον αποθηκευτικό χώρο και για ολόκληρο το σύστημα, βαθμός χρησιμοποίησης-utilization ανά προμηθευτή και στο κέντρο παραγωγής κλπ.) για διαφορετικές παραμέτρους του συστήματος
7. Ο αναλυτικός αλγόριθμος ελέγχθηκε ως προς την ορθότητα και μέσω προσομοιωτικού μοντέλου στο ARENA.
8. Μελετήθηκαν αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα έλξης με δύο επίπεδα (κεντρική αποθήκη που εξυπηρετεί ένα πλήθος λιανεμπόρων) όπου ως πολιτική ανάδρασης των μελών του εφοδιαστικού δικτύου στην εξωτερική ζήτηση υιοθετήθηκε η ανεξάρτητη πολιτική (installationlogic) συνεχούς παρακολούθησης των αποθεμάτων με χαμένες πωλήσεις. Οι χρόνοι αναπλήρωσης μεταξύ των κόμβων είναι τυχαίοι κι ακολουθεί την κατανομή Coxiaημε 2 φάσεις.
9. Δημιουργήθηκε ακριβής αναλυτικός αλγόριθμος ο οποίος υπολογίζει βάσει των παραμέτρων του συστήματος (πολιτικές αναπλήρωσης καθενός λιανοπωλητή, ρυθμός εξωτερικής ζήτησης που αντιμετωπίζει, χρόνοι αναπλήρωσης 1^{ης} και 2^{ης} φάσης μεταξύ των λιανοπωλητών και της κεντρικής αποθήκης) μέσω των στασίμων πιθανοτήτων μέτρα απόδοσης των εφοδιαστικών δικτύων (βαθμός κάλυψης ζήτησης καθενός λιανοπωλητή, μέσο απόθεμα ανά μέλος και για ολόκληρο το δίκτυο, μέσο απόθεμα σε διακίνηση κλπ.) για διαφορετικές παραμέτρους του συστήματος.
10. Ο αναλυτικός αλγόριθμος ελέγχθηκε ως προς την ορθότητα και μέσω προσομοιωτικού μοντέλου στο ARENA.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΑ ΠΕΔΙΑ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ (LOGISTICS) ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)

Σύμφωνα με τη Neubauer (2010), η εφοδιαστική μπορεί να οριστεί με δύο τρόπους: 1) ως χρονοσχετιζόμενη (time-related) τοποθέτηση υλικών και ανθρώπινων πόρων για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των χρηστών των συστημάτων παροχής προϊόντων και υπηρεσιών· 2) ως το συνολικό ιδεολογικό πλαίσιο του σχεδιασμού και οργάνωσης της παροχής και της μετακίνησης υλικών και έτοιμων προϊόντων από μια αρχική πηγή προσφοράς στον τελικό καταναλωτή μέσω της αλυσίδας αξίας (value chain).

Η έννοια της εφοδιαστικής είναι επομένως πολύ ευρύτερη της μεταφοράς των προϊόντων, η οποία αποτελεί μία μόνο διαδικασία από ένα σύνολο απαραίτητων διαδικασιών για τον εφοδιασμό του τελικού σημείου πώλησης με τα απαραίτητα προϊόντα ή υπηρεσίες.

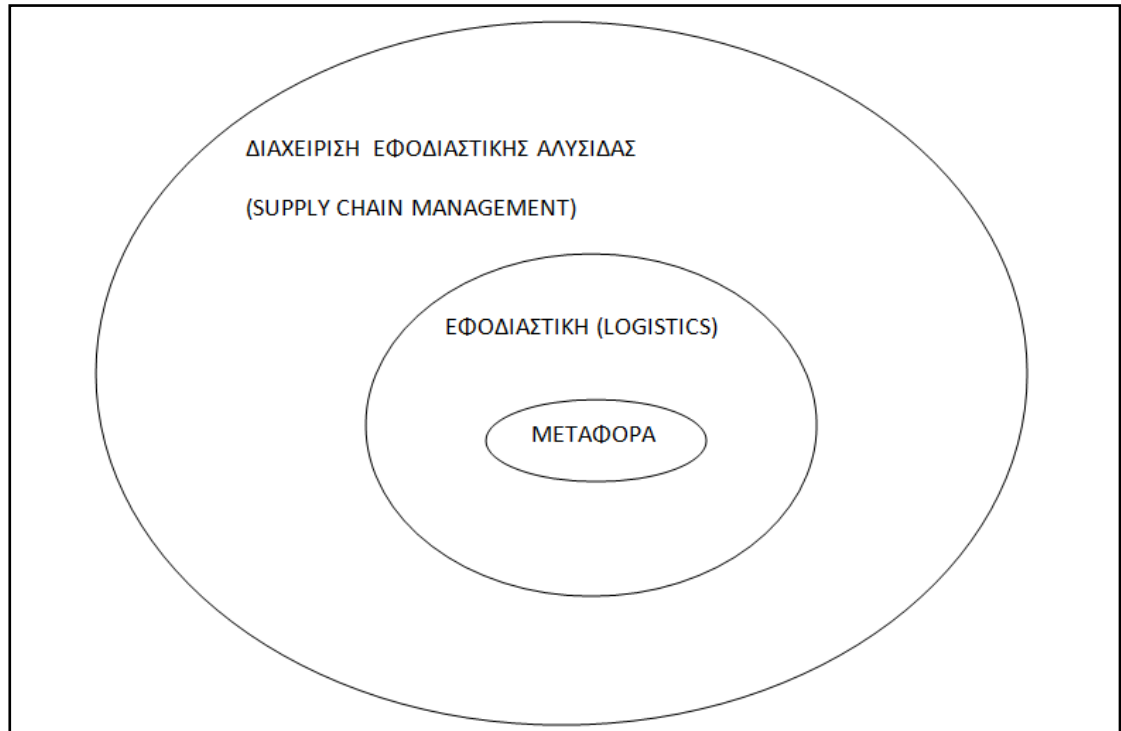
Η εφοδιαστική συχνά συγχέεται με την έννοια της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management) . Σύμφωνα πάλι με την Neubauer, η διαφορά έγκειται στον αριθμό των επιχειρησιακών διαδικασιών που περικλείουν. Συγκεκριμένα, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας καλύπτει την ολότητα των διαδικασιών και των δραστηριοτήτων κατά μήκος της συνολικής εφοδιαστικής αλυσίδας, δηλαδή περιλαμβάνει τα εξής:

- Σχεδιασμός Προϊόντων
- Αλυσίδα διαδικασιών και εφοδιασμού
- Εισαγωγή προϊόντος
- Προώθηση τιμολόγησης και πώλησης προϊόντος
- Κάλυψη της ζήτησης του προϊόντος
- Ανακύκλωση, επανάχρηση και απόθεση άχρηστων υλικών

Αντίθετα, η εφοδιαστική περιλαμβάνει μόνο τις εξής τρεις:

- Σχεδιασμός Προϊόντων
- Αλυσίδα διαδικασιών και εφοδιασμού
- Κάλυψη της ζήτησης του προϊόντος
- Ανακύκλωση, επανάχρηση και απόθεση άχρηστων υλικών

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τις σχέσεις των πεδίων:



Εικόνα 1:Οι σχέσεις της μεταφοράς, της εφοδιαστικής και της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι έξι διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν τέσσερα είδη ροών: τις φυσικές εμπορευματικές ροές, τις χρηματοοικονομικές ροές, τις πληροφοριακές ροές και τις ροές γνώσης. Επομένως, η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας αφορά και τα τέσσερα είδη ροών.

Η Neubaue(2010) υποστηρίζει ότι ο χώρος της εφοδιαστικής είναι δυναμικός, χαρακτηρίζεται δηλαδή από συνεχή αλλαγή. Η αλλαγή είναι προσανατολισμένη στη διαχείριση τριών από τα τέσσερα είδη ροών: τις πληροφοριακές, τις χρηματοοικονομικές και τις ροές γνώσης.

Παράγοντες αλλαγής στην εφοδιαστική αποτελούν ο εμπορικός φιλελευθερισμός, ιδιαίτερα στην Ε.Ε., η παγκοσμιοποίηση και η ανάδειξη αναπτυσσόμενων χωρών –Κίνα, Ρωσία, Βραζιλία, Ινδία– σε ισχυρές οικονομίες. Η ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου ανάγκασε τις μεγάλες πολυεθνικές βιομηχανίες να εστιάσουν σε συγκεκριμένες βασικές διαδικασίες, όπως ο σχεδιασμός προϊόντων και η καινοτομική παραγωγή, καθώς ήταν πλέον αδύνατη η εφαρμογή των ίδιων αυστηρών ποιοτικών προτύπων στο σύνολο των επιχειρησιακών τους λειτουργιών. Έτσι μειώθηκε το μήκος των αλυσίδων αξίας των επιχειρήσεων, ενώ επιμηκύνθηκαν οι εφοδιαστικές αλυσίδες. Η τάση επέτρεψε με τη σειρά της την ανάθεση επιχειρησιακών διαδικασιών, όπως η μεταφορά και αποθήκευση προϊόντων, που δεν αναλαμβάνονταν πλέον από τις ίδιες τις επιχειρήσεις, σε τρίτους (thirdpartylogisticsprovidersή3PL).

Η παγκόσμια απαίτηση για την προστασία του περιβάλλοντος επηρεάζει επίσης την εφοδιαστική. Επιβάλλει κανονιστικούς όρους στη λειτουργία των επιχειρήσεων, και συγκεκριμένα στις διαδικασίες της μεταφοράς (περιορισμός εκπομπών αέριων ρύπων) και στις διαδικασίες ανακύκλωσης, επανάχρησης και απόθεσης άχρηστων υλικών (μείωση παραγωγής άχρηστων υλικών).

Συνέπεια των παραπάνω είναι η μεγέθυνση των ποιοτικών απαιτήσεων λειτουργίας των εφοδιαστικών συστημάτων και η αύξηση του επιστημονικού ενδιαφέροντος για το πεδίο, καθώς οι επιχειρηματικοί φορείς χρήζουν επιστημονικής υποστήριξης για να εφαρμόσουν τα νέα κριτήρια ποιότητας. Η παρούσα εργασία συνεγράφη σε αυτά τα πλαίσια.

1.2 ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Πέρα από τον γενικότερο στόχο που αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, η μελέτη είναι προϊόν ειδικότερων κινήτρων και στόχων.

Αρχικά, η παρούσα προσπάθεια επιδιώκει να αναλύσει τη συμπεριφορά των δυναμικών συστημάτων εφοδιαστικής. Βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων εφοδιαστικής είναι η αβεβαιότητα και ο σχετικός με την πολυπλοκότητα των διαδικασιών κίνδυνος (Neubauer, 2010). Δεδομένου ότι μεγάλο μέρος των επιχειρησιακών διαδικασιών που αφορούν τις φυσικές εφοδιαστικές ροές γίνεται εκτός των χώρων της επιχείρησης, σε δημόσιες μεταφορικές υποδομές (αυτοκινητόδρομοι, σιδηρόδρομοι, αεροδρόμια, λιμένες) και με μέσα μεταφοράς (οδικά, σιδηροδρομικά, θαλάσσια, αεροπορικά) που διανύουν μεγάλες αποστάσεις και για μεγάλο χρονικό διάστημα, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος μη έγκαιρης ολοκλήρωσης ή/και διακοπής των διαδικασιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα συγκυριών που εντείνουν τον κίνδυνο είναι: οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες που καθυστερούν τις τα μεταφορικά μέσα και διακόπτουν τη λειτουργία των μεταφορικών υποδομών, ή οι απεργίες προσωπικού που εργάζεται στα μεταφορικά μέσα και στις μεταφορικές υποδομές. Ως εκ τούτου οι επιχειρήσεις είναι αναγκασμένες να ποσοτικοποιήσουν τις επιπτώσεις και να τους διαχειριστούν τους κινδύνους ανάλογα. Η μελέτη επιχειρεί να αναπτύξει ολοκληρωμένη μεθοδολογία, η οποία θα ανταποκρίνεται σε αυτές ακριβώς τις ανάγκες ανάλυσης. Βασικός στόχος μας είναι, επομένως, να εξαγάγουμε τεκμηριωμένα συμπεράσματα ως προς την επίδραση απρόσμενων γεγονότων στους ποσοτικούς δείκτες απόδοσης των εφοδιαστικών συστημάτων.

Εκτός από την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, η μελέτη μας προσπαθεί, χρησιμοποιώντας ποσοτικά υποδείγματα, να διαμορφώσει μια αποτελεσματική στρατηγική διαχείρισης φυσικών εμπορευματικών ροών. Εστιάζουμε ιδιαίτερα στην αλυσίδα διαδικασιών και εφοδιασμού, αλλά και στη διαδικασία κάλυψης της ζήτησης. Συγκεκριμένα, η πρώτη βελτιστοποιείται μέσω της μείωσης του συνολικού διατηρούμενου αποθέματος, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιείται ο βαθμός κάλυψης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα ενός επιπέδου αποθεμάτων, στο οποίο ενεργοποιείται η διαδικασία των παραγγελιών που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος της εφοδιαστικής διαχείρισης ενός προϊόντος. Σύμφωνα με τον Schutt (2004), οι ποσοτικές μέθοδοι μπορούν γρήγορα να γίνουν σύνθετες, και ως εκ τούτου χρήζουν επιστημονικής αντιμετώπισης. Δεύτερος στόχος της διατριβής είναι, λοιπόν, να παραγάγουμε κανόνες λειτουργίας, μέσω ποσοτικών μοντέλων, που βελτιστοποιούν την απόδοση των εφοδιαστικών συστημάτων.

Επιπλέον, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των διαφόρων ποσοτικών δεικτών απόδοσης των εφοδιαστικών συστημάτων, η παρούσα μελέτη φιλοδοξεί να τονίσει τον συμπληρωματικό ρόλο των αναλυτικών και των προσομοιωτικών υποδειγμάτων, καταρρίπτοντας την κοινή αντίληψη περί ανταγωνισμού των δύο μεθόδων. Ακόμη, εφαρμόζονται στοχαστικές διαδικασίες συνεχούς χρόνου, διακριτών καταστάσεων και κατανομών τύπου φάσης στα πεδία διοίκησης και εφοδιαστικής για την εξαγωγή περαιτέρω συμπερασμάτων.

1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η εργασία μας αποτελείται από δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος, και ειδικότερα στο Κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται εισαγωγή στο θέμα, διατυπώνονται οι βασικοί ορισμοί των όρων εφοδιαστική και διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και οι στόχοι της μελέτης. Στο Κεφάλαιο 2 δίνονται οι ορισμοί του εφοδιαστικού συστήματος, του εφοδιαστικού δικτύου και περιγράφεται η κατηγοριοποίησή τους. Επιπλέον, εξετάζονται οι στόχοι της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, οι αποφάσεις που λαμβάνονται στην εφοδιαστική και δίνεται, τέλος, μια σύντομη περιγραφή των επιχειρηματικών υποδειγμάτων που χρησιμοποιούνται στο πεδίο. Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται οι έννοιες του συστήματος και του υποδείγματος, καθώς επίσης και τα θετικά και αρνητικά των αναλυτικών υποδειγμάτων και των υποδειγμάτων προσομοίωσης. Η ανάλυση των γνωστικών εργαλείων περιλαμβάνει τις έννοιες των τυχαίων μεταβλητών, των στοχαστικών διαδικασιών με την ειδική περίπτωση των διαδικασιών γεννήσεων-θανάτων και των κατανομών τύπου φάσης. Το Κεφάλαιο 3 κλείνει με μια εισαγωγή στις Matrix Analytical Methods.

Στο δεύτερο μέρος, και ειδικότερα στο Κεφάλαιο 4, η μελέτη ασχολείται με σειριακά εφοδιαστικά δίκτυα τύπου pull δύο στοιβάδων (παραγωγός-λιανοπωλητής) και με σειριακά εφοδιαστικά δίκτυα pull τριών στοιβάδων (παραγωγός-χονδρέμπορος-λιανοπωλητής). Αναλύεται το σύστημα και έπειτα μοντελοποιείται με βάση ένα σύνολο υποθέσεων. Παρατίθεται ο τρόπος επίλυσης των υποδειγμάτων, ενώ γίνεται αναφορά στον τρόπο υπολογισμού των μέτρων απόδοσης των συστημάτων. Τέλος, προχωρούμε στα αριθμητικά αποτελέσματα των υποδειγμάτων, όπου παρουσιάζεται η συμπεριφορά των μέτρων απόδοσης στις αλλαγές των ελεγχόμενων από τον διαχειριστή του συστήματος μεταβλητών. Τέλος, γίνεται σύγκριση τιμών μέτρων απόδοσης αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος, ενώ παρατίθενται και επαγωγικοί κανόνες για την ανάπτυξη υποδειγμάτων σειριακών εφοδιαστικών δικτύων άνω των τριών στοιβάδων.

Το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει συγκλίνοντα (merge-in) εφοδιαστικά δίκτυα δύο στοιβάδων (N προμηθευτές – κέντρο διανομής/συναρμολόγησης) με buffer ή χωρίς. Τα συγκεκριμένα συστήματα λειτουργούν με στρατηγική ώθησης (push). Στη συνέχεια, εξετάζεται το πραγματικό σύστημα, μοντελοποιείται, επιλύεται με τον προσδιορισμό του διανύσματος των στάσιμων πιθανοτήτων, προσδιορίζονται τα μέτρα απόδοσης και παρατίθενται τα αριθμητικά αποτελέσματα. Και εδώ οι προκύπτουσες από το αναλυτικό υπόδειγμα λύσεις συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του προσομοιωτικού.

Στο Κεφάλαιο 6 ασχολούμαστε με ένα σύστημα αποκλίνοντος εφοδιαστικού δικτύου (split-out) με στρατηγική έλξης (pull). Το πραγματικό σύστημα, αποτελούμενο από δύο στοιβάδες – με την πρώτη στοιβάδα να αποτελείται από ένα κέντρο διανομής και τη δεύτερη από έναν αριθμό N λιανοπωλητών – βρίσκει τη θεωρητική του αντανάκλαση σε ένα υπόδειγμα στοχαστικής διαδικασίας, για το οποίο προσδιορίζεται το διάνυσμα στάσιμων πιθανοτήτων, μεταβλητή εισόδου (input) για τον προσδιορισμό των μέτρων απόδοσης. Παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα και εξάγονται συμπεράσματα για τη λειτουργία του συστήματος. Τέλος, παρατίθεται και η σύγκριση τιμών μέτρων απόδοσης αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος.

Ολοκληρώνοντας την περιγραφή της δομής της μελέτης θεωρούμε σκόπιμο να περιγράψουμε σύντομα τη μεθοδολογία ανάλυσης. Με γνώμονα μας την πλήρη τεκμηρίωση των επιστημονικών ευρημάτων που προκύπτουν, αναπτύξαμε αναλυτικών υποδειγμάτων στοχαστικών διαδικασιών σε πρώτο χρόνο και προσομοιωτικών υποδειγμάτων (με χρήση του λογισμικού ARENA 12) σε δεύτερο χρόνο, προκειμένου να επαληθευθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και των προτάσεων που εξάγονται από την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ & ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

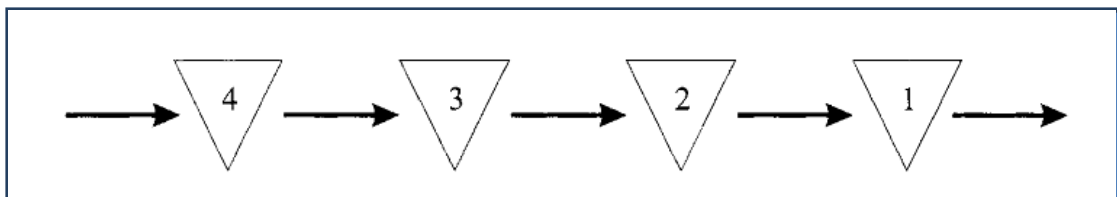
2.1 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ & ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Έχει μάλλον γίνει σαφές από τα παραπάνω ότι πυρήνας της εργασίας μας είναι η έννοια του εφοδιαστικού συστήματος με την εφοδιαστική αλυσίδα και το εφοδιαστικό δίκτυο να αποτελούν τις γραφικές απεικονίσεις του. Η εφοδιαστική αλυσίδα θεωρείται απλή απεικόνιση ενός εφοδιαστικού συστήματος. Λόγω της απλότητας του σχήματος της, απέσπασε πρώτη το ενδιαφέρον των ερευνητών ήδη από τη δεκαετία του 1980. Ο Schutt (2004) υποστηρίζει ότι η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί μηχανισμό δια του οποίου υλικά και προϊόντα διακινούνται και μεταποιούνται από πρώτες ύλες σε τελικά προϊόντα με αξία προς τον τελικό καταναλωτή. Σημαντική είναι η συστημική προσέγγιση, η οποία θεωρεί την εφοδιαστική αλυσίδα ως ένα σύνθετο σύνολο σχετιζόμενων στοιχείων ή υποσυστημάτων, με την απόδοση των τελευταίων να επηρεάζει συνολικά την απόδοση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εξέλιξη του αντικειμένου, που έφερε στο προσκήνιο τη σημασία των φυσικών ροών εμπορευμάτων και των πληροφοριακών ροών, ανέδειξε το γεγονός ότι η εφοδιαστική αλυσίδα είναι μέρος ενός ευρύτερου πλαισίου, όπως αυτό καθορίζεται από τα εφοδιαστικά δίκτυα. Ο Taylor (2006) ορίζει τα εφοδιαστικά δίκτυα ως σύνολα εγκαταστάσεων που συνδέονται με διαύλους μεταφοράς. Ο Marquez (2010) υποστηρίζει ότι ο όρος εφοδιαστικό δίκτυο αναφέρεται στη φύση των σχέσεων μεταξύ προμηθευτών έτοιμων προϊόντων, υποπροϊόντων και πρώτων υλών, οι οποίες δεν είναι γραμμικές, αλλά αποτελούν δικτυοκεντρικά συστήματα, που περιλαμβάνουν πληθώρα καταναλωτών και προμηθευτών. Εύκολα συμπεραίνεται ότι σε ένα εφοδιαστικό δίκτυο υπάρχουν και λειτουργούν ταυτόχρονα πολλές εφοδιαστικές αλυσίδες.

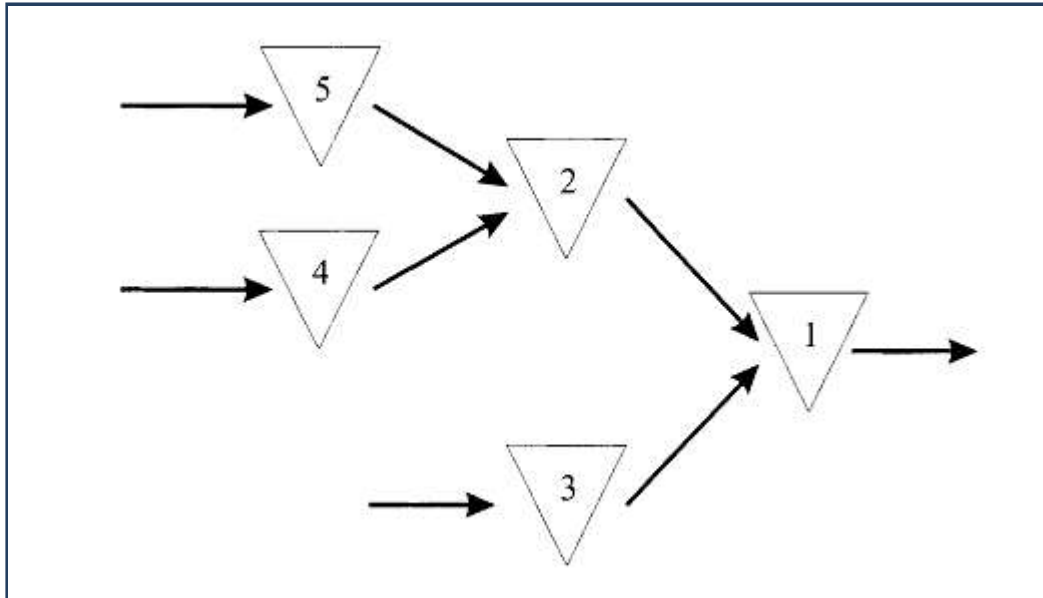
2.2 Η ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Σύμφωνα με τους Brandimarte&Zotteri (2007) η απλούστερη μορφή δικτύου που υπάρχει είναι η γραμμική τακτοποίηση των κόμβων. Η αρχή ενός γραμμικού εφοδιαστικού δικτύου ξεκινά από την παραγωγή πρώτων υλών. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια γραμμική τακτοποίηση κόμβων. Υπενθυμίζεται ότι αυτή μορφή εφοδιαστικού δικτύου συμπίπτει με την εφοδιαστική αλυσίδα.



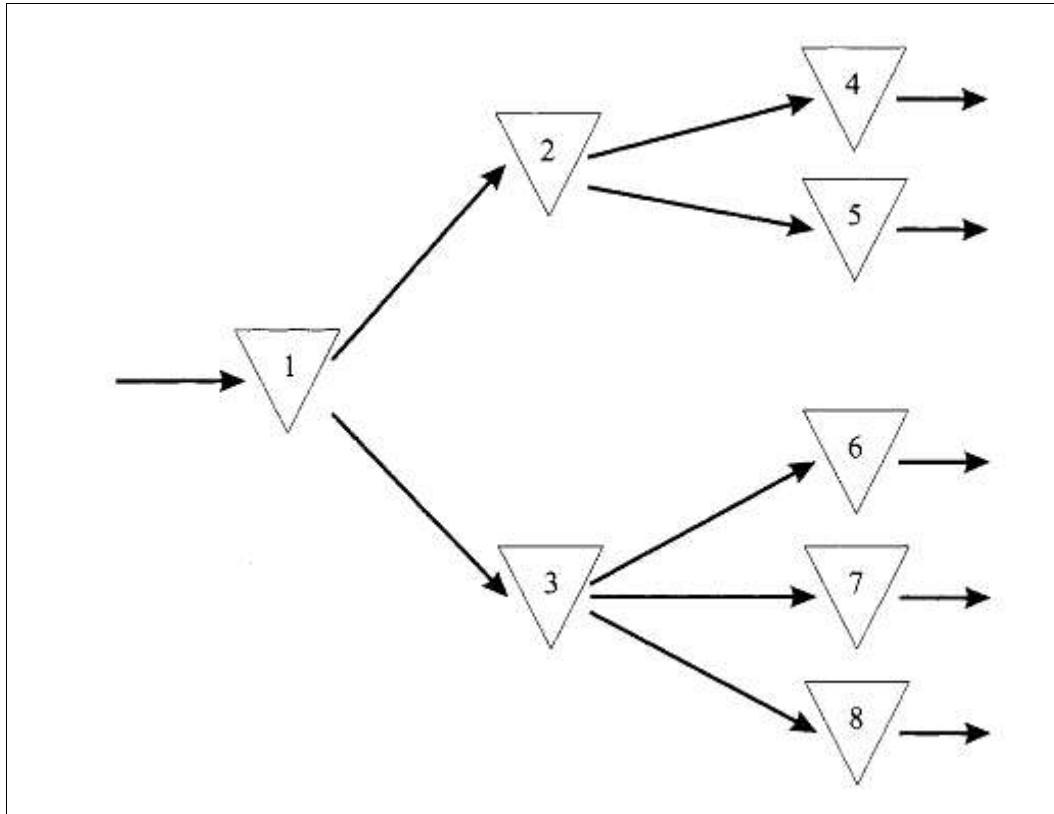
Εικόνα 2: Το σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο

Άλλη μορφή εφοδιαστικών δικτύων είναι τα συγκλίνοντα (merge-in) εφοδιαστικά δίκτυα, τα οποία συνήθως αφορούν τη συναρμολόγηση τελικών προϊόντων. Χαρακτηριστικό τους είναι το γεγονός ότι για την κατασκευή ενός τελικού προϊόντος απαιτείται η παραγωγή όλων –ακόμα και χαμηλού κόστους– εξαρτημάτων, που καθιστά αναγκαίο τον συντονισμό. Στα δίκτυα αυτού του τύπου ένα εργοστάσιο διαθέτει πολλούς προμηθευτές, οι οποίοι εφοδιάζονται με τη σειρά τους από πληθώρα προμηθευτών. Τα διαδοχικά επίπεδα ονομάζονται διαζώματα και αριθμούνται ξεκινώντας από το εργοστάσιο των πιο βασικών εξαρτημάτων.



Εικόνα 3: Συγκλίνον (merge) εφοδιαστικό δίκτυο

Η τρίτη μορφή εφοδιαστικών δικτύων είναι τα αποκλίνοντα (split), τα οποία είναι κυρίως δίκτυα διανομής, με έναν κόμβο που λειτουργεί ως κεντρική αποθήκη και άλλους να λειτουργούν ως τοπικές αποθήκες ή ως καταστήματα λιανικής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η φυσική ροή αφορά τα τελικά προϊόντα τα οποία ξεκινούν από το εργοστάσιο συναρμολόγησης και μέσω των κύριων αποθηκών, των κέντρων διανομής, καταλήγουν στα καταστήματα λιανικής πώλησης. Τα διαδοχικά επίπεδα, (εργοστάσιο, κύριες αποθήκες, κέντρα διανομής, σημεία λιανικών πωλήσεων), αυτής της αλληλουχίας ονομάζονται κλιμάκια και αριθμούνται ξεκινώντας από το εργοστάσιο.



Εικόνα 4:Αποκλίνον (split) εφοδιαστικό δίκτυο

Βασικό χαρακτηριστικό των εφοδιαστικών δικτύων είναι οι ενδιάμεσοι κόμβοι. Τι αναπαριστούν στην πραγματικότητα; Αντιπροσωπεύουν τις εγκαταστάσεις οι οποίες φιλοξενούν ελεγχόμενες ποσότητες υλικών ή αποθέματα, που διακρίνονται σε αποθέματα πρώτων υλών, ημιτελών προϊόντων και έτοιμων προϊόντων. Ο ρόλος τους εστιάζεται στην επίτευξη οικονομικών κλίμακας στη διαδικασία μεταφοράς και στη μείωση της αβεβαιότητας ζήτησης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι τα συγκλίνοντα δίκτυα συνήθως –αλλά όχι αποκλειστικά– λειτουργούν ως δίκτυα push, σε αντίθεση με τα αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα, που συνήθως λειτουργούν ως δίκτυα pull. Τα σειριακά δίκτυα λειτουργούν είτε ως δίκτυα push είτε ως δίκτυα pull. Ωστόσο, ο παραπάνω διαχωρισμός είναι θεωρητικός, αφού κανένα εφοδιαστικό δίκτυο δεν είναι αποκλειστικά push ή pull σε όλο το μήκος του. Εισάγουμε για τον λόγο αυτό την έννοια του συνόρου push-pull, που ορίζεται ως το σημείο αλλαγής του τρόπου ροής εντός του εφοδιαστικού δικτύου.

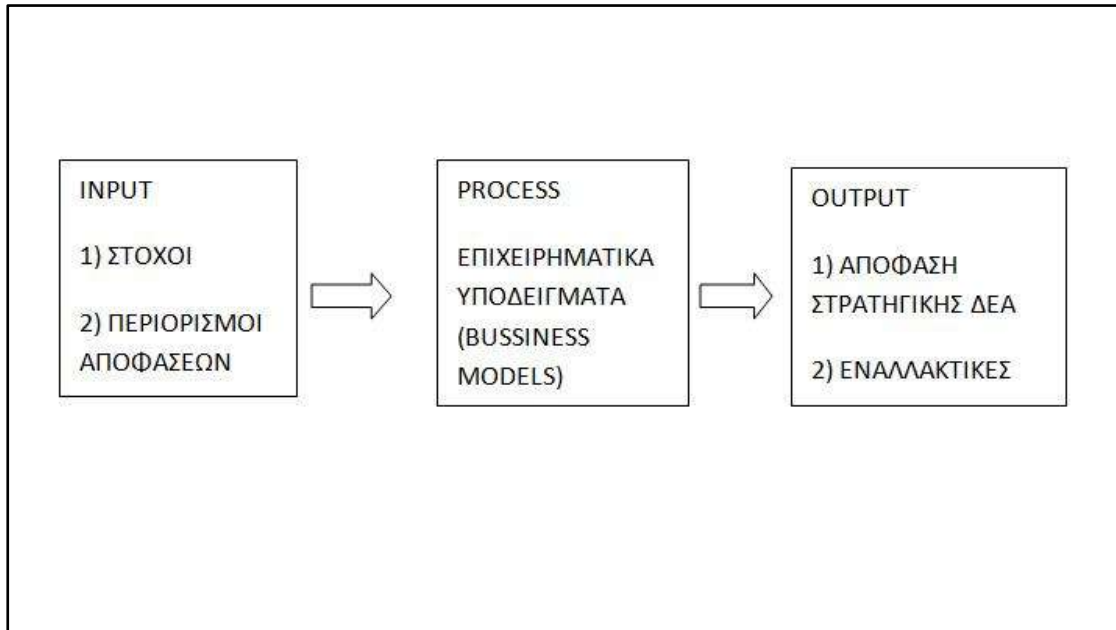
Χαρακτηριστικό της λειτουργίας των δικτύων που εξετάζονται στην εργασία μας είναι η διακριτή φύση των ροών. Οι ροές κινούνται δηλαδή σε διακριτά «πακέτα» που μεταβιβάζουν συγκεκριμένες ποσότητες σε συγκεκριμένους χρόνους, αφού η ζήτηση μεταδίδεται μέσω παραγγελιών και οι τροφοδοσίες μέσω αποστολών. Επομένως, τα εφοδιαστικά δίκτυα έχουν μοντελοποιηθεί ως συστήματα διακριτών καταστάσεων.

2.3 ΟΙ ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ (ΔΕΑ)

Ο παράγοντας χρόνος είναι κρίσιμης σημασίας στις αποφάσεις σχετικά με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, και ειδικότερα στη διαχείριση του αποθέματος. Όλες οι αποφάσεις αφορούν το μέλλον και ως εκ τούτου χαρακτηρίζονται δύσκολες ή επιστημονικού ενδιαφέροντος (Schutt, 2004). Ο Schutt σημειώνει επιπλέον ότι οι αποφάσεις λαμβάνονται σε συγκεκριμένα χρονικά σημεία: όσο πλησιέστερα στο χρονικό σημείο της απόφασης είναι ο χρονικός ορίζοντας σχεδιασμού, τόσο μειώνεται η αβεβαιότητα της απόφασης. Οι αποφάσεις στη διαχείριση εφοδιαστικών δικτύων διακρίνονται λοιπόν σε τρία είδη: τις στρατηγικές, τις τακτικές και τις λειτουργικές (Brandimarte και Zotteri, 2007). Οι στρατηγικές αποφάσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλο χρονικό ορίζοντα και υψηλή αβεβαιότητα. Οι τακτικές αποφάσεις χαρακτηρίζονται από μέσης διάρκειας χρονικό ορίζοντα και μέση αβεβαιότητα (π.χ. αποφάσεις για τον σχεδιασμό διαχείρισης αποθεμάτων). Τέλος, οι λειτουργικές αποφάσεις χαρακτηρίζονται από μικρό χρονικό ορίζοντα και ακολούθως μικρό επίπεδο αβεβαιότητας.

Η διάσταση του χρόνου στη λήψη αποφάσεων αποτελεί κριτήριο κατηγοριοποίησης και για τα εφοδιαστικά δίκτυα (Brandimarte και Zotteri, 2007). Συγκεκριμένα, αν οι αποφάσεις αφορούν μελλοντική ζήτηση και λαμβάνονται με τεχνικές πρόβλεψης ζήτησης, το εφοδιαστικό δίκτυο είναι τύπου ώθησης (push). Αν όμως λαμβάνονται κατά την εκδήλωση της ζήτησης, το δίκτυο είναι τύπου έλξης (pull). Η παρούσα εργασία μελετά και τα δύο είδη δικτύων.

Η Neubauer (2010) παρατηρεί ότι παρά τις διαφωνίες που υπάρχουν για τον ορισμό της, λόγω της ευρύτητάς της, η σημασία της στρατηγικής μιας επιχείρησης είναι καθολικά αναγνωρισμένη. Με ποιον τρόπο λοιπόν επιλέγεται μία από τις δύο στρατηγικές; Η λήψη ορθολογικών αποφάσεων στρατηγικής στη διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί μια διαδικασία τεκμηρίωσης. Οι στόχοι και οι περιορισμοί των αποφάσεων λαμβάνονται ως εισροές (input), τα επιχειρηματικά υποδείγματα ως επεξεργασία (process), ενώ η απόφαση και τα εναλλακτικά σχέδια ως έξοδος (output). Τα παραπάνω απεικονίζονται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 5: Η διαδικασία αποφάσεων στρατηγικής στην εφοδιαστική

2.3.1 ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ (BUSINESSMODELS)

Εύκολα συμπεραίνεται ότι όσο αποτελεσματικότερο είναι το επιχειρηματικό υπόδειγμα, τόσο αποτελεσματικότερη θα είναι και η απόφαση. Ο έντονος συσχετισμός των δύο στοιχείων υπογραμμίζει τη σημασία των επιχειρηματικών υποδειγμάτων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ας αναλύσουμε σύντομα δομικά στοιχεία, τους σκοπούς, το γενικό πλαίσιο λειτουργίας καθώς και τη σχέση των επιχειρηματικών υποδειγμάτων με τη στρατηγική.

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία των επιχειρηματικών υποδειγμάτων, η ανάλυση μας θα πρέπει να περιστραφεί γύρω από τις λέξεις επιχειρηματικό και υπόδειγμα. Σύμφωνα με τη Neubauer (2010), η έννοια της επιχείρησης περιλαμβάνει την έννοια του σκοπού. Συνεπώς, τα επιχειρηματικά υποδείγματα πρέπει να υπηρετούν κάποιο σκοπό ή να έχουν κάποια στόχευση· στην περίπτωση μας, την επίτευξη οικονομικού αποτελέσματος, δηλαδή την κερδοφορία ή αμοιβή για την ανάληψη του επιχειρηματικού κινδύνου. Στη συνέχεια, η Neubauer (2010) ορίζει το υπόδειγμα ως απλοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση διαφόρων πλευρών ή καταστάσεων της πραγματικότητας. Για την επιτυχία της αναπαράστασης πρέπει να πληρούνται τρεις βασικές προϋποθέσεις:

- Η επιλογή βασικών στοιχείων της πραγματικότητας, και η απαλοιφή λεπτομερειών ή σσωνος σημασίας
- Η ακρίβεια, που καθιστά το υπόδειγμα έγκυρο
- Η σαφήνεια στην έκθεση όλων των σημαντικών στοιχείων

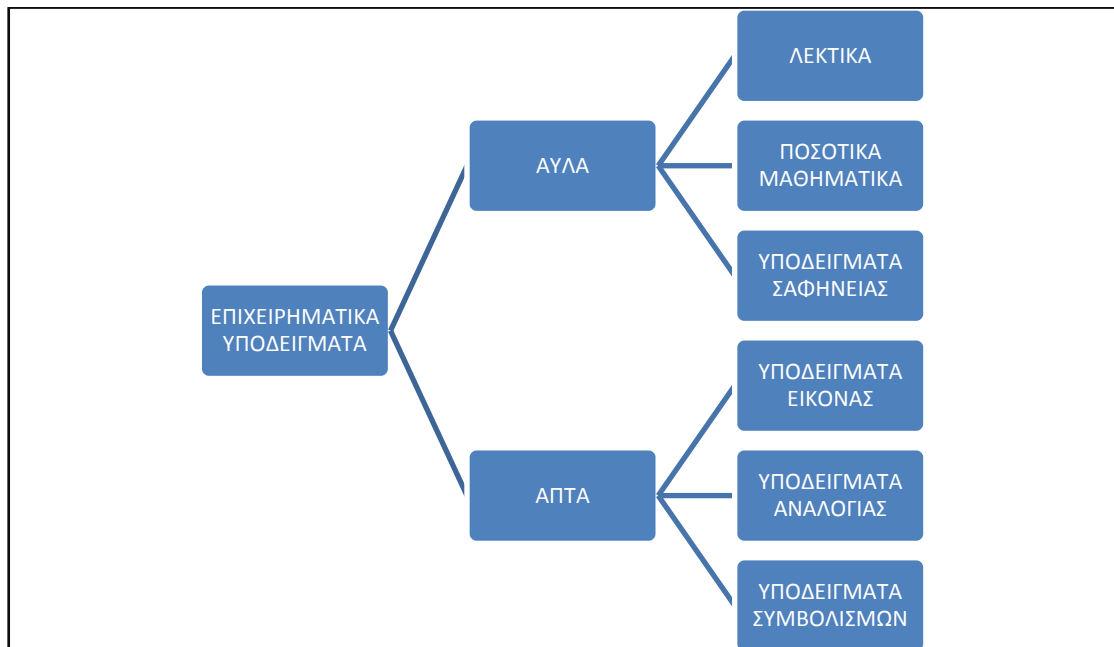
ΗNeubauer (2010) διακρίνει τα υποδείγματα σε άυλα και απτά. Τα πρώτα διακρίνονται περαιτέρω σε:

- Λεκτικά
- Ποσοτικά-μαθηματικά (ιδιαίτερη αναφορά στα ποσοτικά επιχειρηματικά υποδείγματα διαχείρισης εφοδιαστικών ροών θα γίνει παρακάτω)
- Υποδείγματα σαφήνειας: συνδυάζουν τη λεκτική και την ποσοτική διάσταση των άυλων υποδειγμάτων, αποτελώντας υβρίδιο των πρώτων δύο υποδειγμάτων.

Η δεύτερη κατηγορία διακρίνεται σε υποδείγματα εικόνας, αναλογίας και υποδείγματα συμβολισμών. Ειδικότερα:

- Υποδείγματα εικόνας: το υπόδειγμα προσομοιάζει φυσικά με το αντικείμενο έρευνας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι μακέτες κτιρίων υπό κατασκευή.
- Υποδείγματα αναλογίας: αφορά υποδείγματα στα οποία μια ποσότητα αντικαθιστά κάποια άλλη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα υποδειγμάτων αναλογίας είναι οι χάρτες υπό κλίμακα, όπου μια χιλιομετρική απόσταση αντικαθίσταται στον χάρτη μεαντίστοιχη απόσταση σε εκατοστά.
- Υποδείγματα συμβολισμών: αναπαριστούν ποσότητες και σχέσεις μεταξύ των συστατικών του υποδείγματος.

Η κατηγοριοποίηση των επιχειρηματικών υποδειγμάτων φαίνεται διαγραμματικά στην Εικόνα 6.



Εικόνα 6:Κατηγοριοποίηση επιχειρηματικών υποδειγμάτων

Τα επιχειρηματικά υποδείγματα χρησιμοποιούνται για να κατανοηθεί η πραγματικότητα του επιχειρηματικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με τηNeubauer (2010) τα επιχειρηματικά υποδείγματα σκοπό έχουν:

- Να υποβοηθούν την αντίληψη των καίριων μηχανισμών των υπαρχουσών επιχειρηματικών διαδικασιών, ενώ ταυτόχρονα να αποτελούν βάση για την ανάπτυξη κατάλληλων πληροφοριακών συστημάτων που υποστηρίζουν τις επιχειρησιακές διαδικασίες.
- Να διασφαλίζουν την ομαλή ροή εργασιών για την καθοδήγηση των επιχειρηματικών οντοτήτων από μια υπάρχουσα κατάσταση σε μια μελλοντική, δηλαδή σε διαδικασίες μετάβασης. Με άλλα λόγια, τα επιχειρηματικά υποδείγματα αποτελούν πυξίδες των επιχειρήσεων στο ταξίδι τους στον χρόνο.

Πολλές φορές ο σκοπός των επιχειρηματικών υποδειγμάτων συγχέεται με τη στρατηγική ανάπτυξη, ταυτίζοντας τα επιχειρηματικά υποδείγματα με τα σχέδια στρατηγικής ανάπτυξης. Ωστόσο, μεταξύ τους υπάρχει σαφής διάκριση. Συγκεκριμένα:

1. Η στρατηγική είναι ο σύνδεσμος μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος της επιχείρησης, ενώ τα επιχειρηματικά υποδείγματα αφορούν το εσωτερικό περιβάλλον της επιχείρησης.
2. Η στρατηγική μιας επιχείρησης είναι μια δυναμική διαδικασία που υπόκειται σε αλλαγές λόγω της αβεβαιότητας του εξωτερικού περιβάλλοντος, σε αντίθεση με τα επιχειρηματικά υποδείγματα που είναι στατικά.
3. Τα επιχειρηματικά υποδείγματα είναι πιο εξειδικευμένα από τη στρατηγική, αφού συνήθως αναφέρονται σε μια από τις λειτουργίες της επιχείρησης, π.χ. τη διαχείριση εφοδιαστικών δικτύων, τη χρηματοοικονομική διοίκηση κλπ.
4. Μεταξύ στρατηγικής και επιχειρηματικών υποδειγμάτων υπάρχουν αμοιβαίες σχέσεις. Πιο συγκεκριμένα, τα επιχειρηματικά υποδείγματα αποτελούν σημεία εκκίνησης για καινοτομίες και ανάπτυξη ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων. Ωστόσο, παρά τις αμοιβαίες σχέσεις στρατηγική και επιχειρηματικά υποδείγματα δεν παύουν να αποτελούν διακριτές έννοιες που δεν πρέπει να συγχέονται.

Συμπερασματικά, η στρατηγική είναι μια δυναμική διαδικασία για την επίτευξη γενικών στόχων της επιχείρησης, ενώ τα επιχειρηματικά υποδείγματα αποτελούν βάση ανάπτυξης για τη διαδικασία διαμόρφωσης στρατηγικής.

Τα επιχειρηματικά υποδείγματα πρέπει να λειτουργούν εντός συγκεκριμένου πλαισίου. Απομονώνουν ένα σύνολο βασικών μεταβλητών, των οποίων οι διασυνδέσεις εξετάζονται επισταμένως. Ωστόσο, η εφαρμοσιμότητα των υποδειγμάτων είναι περιορισμένη, αφού κανένα υπόδειγμα δεν μπορεί να συμπεριλάβει όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το επιχειρηματικό περιβάλλον. Πάντως, η ανάπτυξη των επιχειρηματικών υποδειγμάτων διασφαλίζει τη λογική αλληλουχία στη διαδικασία αποκάλυψης σύνθετων σχέσεων για έναν περιορισμένο αριθμό μεταβλητών. Ένα επιχειρηματικό υπόδειγμα πρέπει να απαντά στα ερωτήματα «πώς;», «με ποια μέσα;», «ποιος θα αναλάβει;» και «πότε θα γίνει;». Ουσιαστικά, τα επιχειρηματικά υποδείγματα αποτελούν ιστορίες που εξηγούν πως οι επιχειρήσεις λειτουργούν και αναπτύσσονται (Neubauer, 2010).

Στην εργασία μας εστιάζουμε στα ποσοτικά επιχειρηματικά υποδείγματα (businessmodels) που αφορούν την διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.

2.4 ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

2.4.1 Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Η αξιολόγηση των εφοδιαστικών δικτύων έχει δυο διαστάσεις: την ποιοτική και την ποσοτική.

Η ποιοτική αξιολόγηση περιλαμβάνει τα κριτήρια του χρόνου παράδοσης - ολοκλήρωσης μιας παραγγελίας (deliveryleadtime), της ποικιλίας των προϊόντων, της ευελιξίας. Ο χρόνος παράδοσης μιας παραγγελίας, θεωρείται ικανοποιητικός αν είναι μικρός, αξιόπιστος ή σταθερός (Βιδάλης, 2009). Η ποικιλία, παρά το αυξημένο κόστος διατήρησης αποθεμάτων, είναι σημαντική διότι προσελκύει πελάτες. Η ευελιξία του εφοδιαστικού δικτύου έχει τρεις διαστάσεις:

- ευελιξία του προϊόντος: το προϊόν είναι καινοτόμο
- ευελιξία διανομής: η διαδικασία διανομής ανταποκρίνεται στις ανάγκες πελατών
- ευελιξία στις αυξομειώσεις του όγκου παραγωγής και διανομής: το εφοδιαστικό δίκτυο προσαρμόζεται με σχετική ευκολία στις μεταβολές του διανεμόμενου όγκου προϊόντων.

Η ποσοτική αξιολόγηση των εφοδιαστικών δικτύων αφορά τον υπολογισμό και την αξιολόγηση των συγκεκριμένων αριθμοδεικτών των μέτρων απόδοσης, που αναλύονται παρακάτω (Βιδάλης, 2009).

Διακρίνουμε τα μέτρα απόδοσης σε λειτουργικά και κοστολογικά:

Λειτουργικά μέτρα απόδοσης:

1. **Απόθεμα σε εξέλιξη (Work in Process ή WIP):** απόθεμα που βρίσκεται εντός των υποδομών (αποθήκες και μονάδες παραγωγής) και των συστημάτων μεταφοράς, σε σταθμούς ελέγχου, σε οποιαδήποτε στιγμή. Ικανοποιητική επίδοση του εφοδιαστικού δικτύου ισοδυναμεί με το μικρότερο δυνατό επίπεδο αποθέματος, για τους εξής λόγους:
 - Τα απόθεμα απαιτεί χρηματικούς πόρους για να δημιουργηθεί αλλά δε δημιουργεί κέρδος όσο βρίσκεται στο σύστημα εφοδιασμού.
 - Όσο μεγαλύτερο είναι το απόθεμα, τόσο περισσότερος χρόνος κατά μέσο χρόνο απαιτείται για τη διανομή του προϊόντος και επομένως το σύστημα εφοδιασμού αναγκάζει τον πελάτη να αναμένει.

- Όσο περισσότερο χρόνο τα προϊόντα παραμένουν στο εφοδιαστικό δίκτυο τόσο περισσότερο αυξάνεται η πιθανότητα ζημιών ή καταστροφών.

Ωστόσο, το μικρότερο δυνατό επίπεδο αποθέματος υπόκειται σε περιορισμούς που τίθενται από το επιχειρησιακό περιβάλλον, όπως αιφνίδιες μειώσεις της προσφοράς των προϊόντων λόγω βλάβης, απεργιών, διακοπών στη μεταφορά λόγω δυσμενών καιρικών συνθηκών ή καταστροφών των μεταφορικών υποδομών, αλλά και αιφνίδιες αυξήσεις της ζήτησης. Οι πιθανότητες αυτές αναγκάζουν τις επιχειρήσεις να διατηρούν απόθεμα. Συνεπώς, η ικανοποιητική απόδοση ενός εφοδιαστικού δικτύου όσον αφορά το απόθεμα εξασφαλίζεται όταν το μικρότερο επίπεδο αποθέματος συντονίζεται με την προσφορά και τη ζήτηση ενός προϊόντος.

2. **Χρόνος κύκλου παραγωγής (cycle time):** ο μέσος χρόνος που δαπανά μια μονάδα προϊόντος στο εφοδιαστικό δίκτυο. Ικανοποιητική θεωρείται η απόδοση του δικτύου όταν ο χρόνος κύκλου παραγωγής είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, για τους ίδιους παραπάνω λόγους. Ο χρόνος κύκλου παραγωγής σχετίζεται με το WIP και τον ρυθμό άφιξης οντοτήτων(λ), όπως προκύπτει από τον θεμελιώδη νόμο της θεωρίας ουρών (νόμος του Little):

$$WIP = (\lambda) \times (\text{cycle time})$$

3. **Βαθμός κάλυψης της ζήτησης (fill rate):** ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης ενός προϊόντος ή μιας παραγγελίας προϊόντων ή η πιθανότητα να είναι διαθέσιμο το προϊόν στο σημείο της τελικής ζήτησης. Το fill rate πρέπει να είναι το μεγαλύτερο δυνατό, δεδομένων των περιορισμών του κόστους διατήρησης αποθεμάτων, ώστε να μειώνεται το κόστος με το οποίο επιβαρύνεται ένας οργανισμός λόγω έλλειψης προϊόντος.
4. **λ effective:** Αν σε ένα σύστημα εισέρχονται με τυχαίο τρόπο (στοχαστικό) οντότητες με μέσο ρυθμό λ ορισμένες από αυτές εξυπηρετούνται ενώ οι υπόλοιπες χάνονται (δεν εισέρχονται στο σύστημα λόγω περιορισμένης δυναμικότητας χωρητικότητας) Ορίζεται ως πραγματικός μέσος ρυθμός εξυπηρετούμενων οντοτήτων και συμβολίζεται με $\lambda_{\text{effective}} < \lambda$, και δίνεται από τη σχέση

$\lambda * \text{Probability}$ (το σύστημα μπορεί να δεχθεί την εισερχόμενη οντότητα προς εξυπηρέτηση)

Στην περίπτωση εφοδιαστικού δικτύου όπου ο πλέον κατωφερής κόμβος (λιανοπωλητής) δέχεται πελάτες με μέσο ρυθμό λ ο μέσος ρυθμός των εξυπηρετούμενων πελατών δίνεται από την σχέση:

$\lambda_{\text{effective}} = \text{Probability}$ (ο λιανοπωλητής να έχει απόθεμα). Προκύπτει επομένως ότι το άθροισμα των πιθανοτήτων Probability (ο λιανοπωλητής να έχει απόθεμα) και η πιθανότητα Prob (ο λιανοπωλητής να μην έχει απόθεμα) είναι ίσο με ένα (1)

5. **Stockoutprobability**: Σε συνέχεια με την παραπάνω πρόταση προκύπτει ότι η πιθανότητα των ελλείψεων (stockoutprobability) ισούται με την Prob (ο λιανοπωλητής να μην έχει απόθεμα) .Ισχύει $Stockout\ probability = Prob$ (ο λιανοπωλητής να μην έχει απόθεμα). Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι αντικειμενικός στόχος των διαχειριστών των εφοδιαστικών συστημάτων είναι η ελαχιστοποίηση της συγκεκριμένης πιθανότητας
6. **Leadtime**: ο χρόνος αναμονής εκτέλεσης μιας παραγγελίας

Κοστολογικά μέτρα απόδοσης:

1. **Κόστος διακράτησης αποθεμάτων (holdingcost)**: το γινόμενο του μοναδιαίου κόστους διακράτησης αποθεμάτων και του μέσου αποθέματος σε επεξεργασία (WIP).
2. **Κόστος έλλειψης (shortageή stockoutcost)**: το κόστος που συνεπάγεται η έλλειψη αποθέματος απαραίτητου για την ικανοποίηση της ζήτησης, εσωτερικής ή εξωτερικής
3. **Συνολικό κόστος (totalcost)**: μπορεί να περιλαμβάνει το κόστος διακράτησης αποθεμάτων, το κόστος ελλείψεων, το κόστος παραγγελιών και το κόστος μεταφοράς. (Bearmon, 1999)

Σύμφωνα με τη Bearmon(1999), τα χαρακτηριστικά των μέτρων απόδοσης πρέπει να είναι τα εξής:

- Μετρησιμότητα
- Αξιοπιστία
- Καθολικότητα
- Συνολικότητα

Σύμφωνα με τους Persson&Olhager (2002) τα μέτρα απόδοσης πρέπει να έχουν επιπλέον χαρακτηριστικά:

- Άμεση σύνδεση με τη στρατηγική παραγωγής
- Χρήση κυρίως μη χρηματοοικονομικών μέτρων
- Διαφοροποίηση ανάλογα με τις θέσεις των μελών των δικτύων
- Διαχρονική μεταβολή ανάλογα με τις ανάγκες
- Ευκολία στη χρήση
- Παροχή γρήγορης ανάδρασης στα διευθυντικά στελέχη
- Σκοπός βελτίωση και όχι απλά η παρακολούθηση

Χρησιμοποιούνται για τους παρακάτω λόγους:

- Αποτυπώνουν τη στρατηγική παραγωγής.
- Επιτρέπουν την παρακολούθηση των αλλαγών σε περιπτώσεις ανασχεδιασμού διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας (businessprocessreengineering).
- Παρέχουν γρήγορο feedback.

2.4.2ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Μέχρι τώρα έχουμε εστιάσει στις μεθόδους αξιολόγησης της απόδοσης των εφοδιαστικών δικτύων. Επόμενο βήμα είναι η αναζήτηση των στόχων και των προσδιοριστικών παραγόντων απόδοσης της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα, θα ασχοληθούμε με τους στόχους που αφορούν τα τρίαείδηρών (φυσικές ροές εμπορευμάτων, χρηματοοικονομικές ροές, ροές πληροφοριών)στις οποίες εστιάζεται η διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι στόχοι διακρίνονται σε ποιοτικούς και ποσοτικούς. Στους ποιοτικούς ανήκουνη ποιότητα και, δηλαδή το υποσύνολο των οντοτήτων που ελέγχονται σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας του εφοδιαστικού συστήματος καθώς και τα έσοδα (yield). Στους ποσοτικούς ή αντικειμενικούς στόχους συγκαταλέγονται τα εξής:

- Η επίτευξη της μέγιστης δυνατής κερδοφορίας
- Η διατήρηση του μεριδίου αγοράς ή η απόκτηση συγκεκριμένου μεριδίου αγοράς
- Η διατήρηση της εφοδιαστικής λειτουργίας για όσο το δυνατόν περισσότερο χρόνο

Σύμφωνα με τους Chorρακαι Meindl (2004), για την επίτευξη του κύριου στόχου της διαχείρισης ροών, δηλαδή της κερδοφορίας,βασικοί είναι οι εξής τέσσερις άξονες: οι υποδομές (facilities), η μεταφορά (transportation), η πληροφορία (information) και το απόθεμα(inventory).

Πιο αναλυτικά, οι υποδομές αφορούν τους χώρους των εφοδιαστικών δικτύων όπου το προϊόν αποθηκεύεται, συναρμολογείται ή υφίσταται επεξεργασία. Ο σωστός σχεδιασμός των υποδομών οδηγεί σε μικρότερο αριθμό κατασκευών, που βρίσκονται εγγύτερα στον πελάτη, με προφανή οφέλη την εξοικονόμηση κόστους και την αύξηση της διαθεσιμότητας του προϊόντος.

Η μεταφορά αφορά τη μετακίνηση πρώτων υλών, ημιτελών προϊόντων και τελικών αγαθών εντός εφοδιαστικού δικτύου. Οι επιλογές στον τομέα των μεταφορών (μέσα μεταφοράς, διαδρομές) επηρεάζουν το κόστος όσο και την ανταποκρισιμότητα του εφοδιαστικού δικτύου, αφού χρονοβόρες διαδρομές και μεταφορές με ακριβά μέσα αυξάνουν το κόστος μεταφοράς, αλλά και μειώνουν τη διαθεσιμότητα του προϊόντος.

Για τις φυσικές εμπορευματικές ροές, ιδιαίτερα σημαντική είναι η επιλογή της κατάλληλης στρατηγικής μεταφοράς καθώς και η διαχείριση των μεταφορικών ροών (inboundlogistics) και διανεμητικών ροών (outboundlogistics). Βασική είναι επίσης η επιλογή του μεταφορικού μέσου ή του συνδυασμού μεταφορικών μέσων (δίαυλοι μεταφοράς). Επιπλέον, οι σχεδιαστές πρέπει να καθορίσουν τη συχνότητα των μεταφορικών ροών, εξισορροπώντας κόστος και διαθεσιμότητα. Πιο αναλυτικά, πυκνές μεταφορικές ροές αυξάνουν το συνολικό κόστος αλλά μειώνουν την πιθανότητα ελλείψεων στο τελικό σημείο και αντίστροφα. Τέλος, κρίσιμη είναι η μεταφορική χωρητικότητα. Οι σχεδιαστές μπορούν να επιλέξουν ανάμεσα στη στρατηγική πλήρως εμφόρτου μέσου μεταφοράς (fulltruckload, FTL) και τη στρατηγική μερικώς εμφόρτου μέσου μεταφοράς (lessthantrackload, LTL). Αν και η πρώτη συμβάλλει στην επίτευξη οικονομιών κλίμακας και τη συνεπακόλουθη εξοικονόμηση επιχειρησιακών πόρων, πολλές εταιρείες (π.χ. ταχυμεταφορές) επιλέγουν τη δεύτερη, λόγω του επιχειρηματικού αντικειμένου δραστηριοποίησης. Στους διαύλους μεταφοράς υπάρχει και το διακινούμενο απόθεμα (intransitinventory), το οποίο γεφυρώνει το κενό μεταξύ του διατηρούμενου αποθέματος στην εγκατάσταση αποστολής και στην εγκατάσταση προορισμού.

Ο επόμενος παράγοντας απόδοσης, οι πληροφορίες, περιλαμβάνουν δεδομένα και αναλύσεις για τις υποδομές, το απόθεμα, τις μεταφορές. Βασικός στόχος στη διαχείριση πληροφοριών είναι η αντικατάσταση των δαπανηρών υποδομών, μεταφορών και αποθεμάτων με τη χρήση πολύ λιγότερο κοστοβόρων πληροφοριών. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός αντικατάστασης, τόσο αυξάνει η απόδοση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Για παράδειγμα, αν γνωρίζουμε το χρονικό διάστημα για το οποίο μια αποθηκευτική θέση είναι απαραίτητη, τότε η θέση μπορεί να μείνει αδέσμευτη όσο δεν αποθηκεύεται υλικό σε αυτή. Παρομοίως, μέσω της διαχείρισης των πληροφοριών μπορεί να υπάρξει συντονισμός μεταφορικών αποστολών, ώστε να αποφεύγονται δρομολόγια μερικώς έμφορτα. Επιπλέον, το απόθεμα ασφαλείας είναι δυνατόν να μειωθεί στο ελάχιστο μέσω της διάχυσης της πληροφορίας σε όλο το εφοδιαστικό δίκτυο, καθώς τα μέλη του δικτύου μπορούν να προβλέψουν ενδεχόμενες αλλαγές στις ροές της ζήτησης και της προσφοράς (Brandimante & Zotteri, 2007). Συνεπώς, η σωστή διαχείριση της πληροφορίας μπορεί να μειώσει δραματικά το κόστος και να αυξήσει τα έσοδα ενός εφοδιαστικού δικτύου. Οι Brandimante & Zotteri (2007) αναφέρουν δύο απαραίτητες προϋποθέσεις για την επιτυχή διαχείριση της πληροφορίας:

- 1) Ένα κέντρο λήψης αποφάσεων πρέπει να διαχειρίζεται τις πληροφορίες ολόκληρου του εφοδιαστικού. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν ενίοτε ανυπέρβλητες δυσκολίες:
 - Μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν επιθυμούν να δώσουν πληροφορίες για διαχείριση.
 - Μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν επιθυμούν να παραχωρήσουν το δικαίωμα της απόφασης σε τρίτους.

- 2) Οι πληροφορίες πρέπει να είναι αξιόπιστες. Με την ανάπτυξη των συστημάτων P.O.S (PointofSales) και των τεχνολογιών διαχείρισης πληροφοριών υπάρχει η δυνατότητα να καθοριστεί ανά πάσα στιγμή το διαθέσιμο απόθεμα. Ωστόσο, η πληροφορία δεν είναι απόλυτα σωστές, λόγω κλοπών, λαθών στην απογραφή, λάθος παραδόσεων από τους προμηθευτές, λάθος τοποθετημένου αποθέματος, καταστροφής φορτίου κλπ.

Ο σημαντικότερος παράγοντας είναι, κατά τη γνώμη μας, το απόθεμα, το δομικό στοιχείο των φυσικών ροών ενός εφοδιαστικού δικτύου. Το απόθεμα περιλαμβάνει τις πρώτες ύλες, τα ημιτελή προϊόντα και τα τελικά προϊόντα. Μικρές μεταβολές του επιπέδου αποθεμάτων επιφέρουν μεγάλες αλλαγές στην απόδοση της διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας: επηρεάζουν το κόστος και τη διαθεσιμότητα του προϊόντος και κατ' επέκταση τα έσοδα.

Για παράδειγμα, μεγάλα επίπεδα αποθέματος που υπερβαίνουν τη ζήτηση μένουν αδιάθετα και απαξιώνονται οικονομικά ή αλλοιώνονται φυσικά, σε περίπτωση ευπαθών προϊόντων. Αντίθετα, μικρά επίπεδα αποθέματος που δεν καλύπτουν τη ζήτηση οδηγούν σε μειωμένη διαθεσιμότητα του προϊόντος, με αποτέλεσμα την απώλεια μεριδίων αγοράς και εσόδων.

2.4.3 ΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Η σημασία της σωστής διαχείρισης του αποθέματος δημιουργεί την ανάγκη να αναπτυχθούν τεχνικές και μεθοδολογίες ελέγχου αποθεμάτων. Ο έλεγχος αποθεμάτων απαιτεί σχεδιασμό, δηλαδή τη λήψη αποφάσεων για τη μελλοντική χρήση όλων των επιχειρησιακών πόρων, με στόχο την παροχή και προσφορά προϊόντων στην πελατεία (Schutt, 2004). Σύμφωνα με τον Schutt ο σχεδιασμός αφορά ολόκληρη την επιχειρησιακή διαδικασία με βασικό χαρακτηριστικό τον ορθολογισμό και πυρήνα του είναι η βελτίωση των διαδικασιών. Οι αποφάσεις σχετικά με τον σχεδιασμό διαχείρισης αποθεμάτων εξαρτώνται από τη συνολική στρατηγική, τη φιλοσοφία παραγωγής και φυσικά τη στρατηγική διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας. Ενδείξεις κακού σχεδιασμού της διαχείρισης αποθεμάτων είναι, παραδείγματος χάριν, ο μεγάλος όγκος αποθεμάτων εντός της αποθήκης.

Ένας καλός σχεδιαστής έχει ευρεία γνώση των τεχνικών διαχείρισης αποθεματικών ροών. Η συντριπτική πλειοψηφία των τεχνικών υποθέτουν στοχαστικές και όχι ντετερμινιστικές μεταβλητές. Για να είναι επιτυχείς τεχνικές και υποδείγματα, πρέπει να επανεξετάζονται συνεχώς, όπως και οι υποθέσεις που τα διέπουν, ώστε να εξακριβωθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων και να βελτιωθούν περαιτέρω.

OSchutt (2004) υποστηρίζει ότι:

1. Η αποτελεσματική πολιτική αποθεμάτων σε εφοδιαστικά δίκτυα πολλών στοιβάδων πετυχαίνει τη μεγαλύτερη δυνατή κάλυψη της ζήτησης με το μικρότερο δυνατό απόθεμα.

2. Οι θεωρίες αποθεμάτων αποτελούν βασικό στοιχείο της διαχείρισης αποθεματικών ροών.

2.4.4 ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΜΑΤΩΝ

Στο υποκεφάλαιο αυτό εστιάζουμε στις πολιτικές αποθεμάτων, δηλαδή τους τρόπους με τους οποίους οι επιχειρήσεις διαχειρίζονται παραγγελίες και αποθέματα.

Οι πολιτικές διακρίνονται σε βασικές και υβριδικές (Ιωάννου, 2005). Οι βασικές πολιτικές αποθεμάτων περιλαμβάνουν την πολιτική συνεχούς αναπλήρωσης (continuous review inventory policy) και την πολιτική περιοδικής αναπλήρωσης (periodic review inventory policy), ενώ στις υβριδικές κατατάσσονται η πολιτική διατήρησης σταθερού αποθέματος (base stock policy) και η πολιτική επιλεκτικού ανεφοδιασμού (Optional Review Systems).

Βασικές κατηγορίες πολιτικών διαχείρισης αποθεμάτων

Στην πολιτική συνεχούς αναπλήρωσης, η απόφαση για τοποθέτηση παραγγελίας ποσότητας Q βασίζεται στον έλεγχο του υπόλοιπου (από την ανάλωση) αποθέματος R . Η παραγγελία πραγματοποιείται όταν το απόθεμα R είναι χαμηλότερο ενός προκαθορισμένου επιπέδου. Η κατάσταση αποθέματος στην οποία ο πωλητής ενεργοποιεί τη διαδικασία τοποθέτησης παραγγελίας ονομάζεται σημείο αναπαραγγελίας ή reorder point, R (Bijvank & Vis, 2011). Οι αναθεωρήσεις του αποθέματος είναι συνεχείς, πράγμα εφικτό χάρη στη χρήση σύγχρονων πληροφοριακών συστημάτων και τηλεματικής. Σημαντικός παράγοντας κατά τη λήψη της απόφασης είναι το επίπεδο του αποθέματος (inventory position ή IP), δηλαδή η ικανότητα του συστήματος να καλύψει τη μελλοντική ζήτηση. Το επίπεδο του αποθέματος προκύπτει από το άθροισμα:

- Των αναμενόμενων παραγγελιών, δηλαδή παραγγελιών που δεν έχουν παραληφθεί (scheduled releases ή SR),
- Των ανεκτέλεστων παραγγελιών (backorders ή BO),
- Του υπάρχοντος αποθέματος (on hand inventory),

σύμφωνα με τον τύπο:

$$IP = OH + SR - BO$$

(OH : inventory on hand διαθέσιμο απόθεμα, SR : Scheduled Receipts, προγραμματισμένες παραλάβες παραγγελιών και BO : Backorders: μη καλυφθείσες παραγγελίες). Το σημείο αναπαραγγελίας υπολογίζεται με βάση το απόθεμα ασφάλειας και τη μέση ζήτηση κατά τον χρόνο αναμονής της παραγγελίας. Αν η ζήτηση είναι γνωστή ή σταθερή, το σημείο αναπαραγγελίας καθορίζεται το επίπεδο κατάσταση αποθέματος που καλύπτει τη ζήτηση για το σταθερό ή μεταβλητό χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της τοποθέτησης της παραγγελίας και της λήψης της (leadtime).

Αν η ζήτηση είναι στοχαστική, δηλαδή μεταβάλλεται σύμφωνα με μια κατανομή πιθανοτήτων, η διαδικασία υπολογισμού είναι πιο σύνθετη, καθώς η μεταβλητότητα της ζήτησης επηρεάζει και το απόθεμα ασφαλείας κατά την αναμονή της παραγγελίας. Σύμφωνα με τον Ιωάννου (2005), «προκειμένου να καθοριστεί το απόθεμα ασφαλείας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα ελαχιστοποίησης κόστους για την επίλυση των οποίων απαιτούνται εκτιμήσεις αναφορικά με το κόστος που δημιουργείται εξαιτίας των ελλειμμάτων και της μη ικανοποίησης της ζήτησης». Υπάρχει και μια εναλλακτική προσέγγιση: να καθοριστεί το απόθεμα ασφαλείας για ένα προκαθορισμένο επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών (Ιωάννου, 2005). Συγκεκριμένα, η επιχείρηση καθορίζει ένα ανεκτό επίπεδο εξυπηρέτησης πελατών (cycleservicelevel ή CSLείναι το ποσοστό εκείνο των κύκλων αναπλήρωσης (replenishmentcycles) που με το πέρασ τους, η ζήτηση έχει ικανοποιηθεί πλήρως. Ως κύκλος αναπλήρωσης ορίζεται το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών αναπληρώσεων. Το επίπεδο εξυπηρέτησης ανά κύκλο ισούται με την πιθανότητα να μην υπάρξει έλλειμμα (stockout) κατά τη διάρκεια ενός κύκλου αναπλήρωσης) και με βάση αυτό καθορίζει το απόθεμα ασφαλείας. Στη συνέχεια, υπολογίζεται κατά προσέγγιση η κατανομή ζήτησης κατά τον χρόνοαναμονής της παραγγελίας (demandleadtime). Έτσι, το απόθεμα ασφαλείας υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\text{Απόθεμα Ασφάλειας} = z \times \sigma_L$$

όπου το $z=CSL$ είναι η τιμή της αθροιστικής συνάρτησηςτης τυποποιημένης κανονικής κατανομής $N(0,1)$ ίση με CSL και σ_L η τυπική απόκλιση της συνολικής ζήτησης (D) κατά την περίοδο αναμονής της παραγγελίας (leadtime).

Ωστόσο, σύμφωνα με τον Βιδάλη (2009) υπάρχουν δύο βασικές προϋποθέσεις για την εφαρμογή του τύπου:

- 1) Η ζήτηση για το συγκεκριμένο προϊόν ακολουθεί την κανονική κατανομή.
- 2) Η ζήτηση είναι ανεξάρτητη από τημια χρονική περίοδο στην άλλη.

Επίσης, για να προσδιορίσουμε το σ_L αντιμετωπίζουμε δύο αντικειμενικές δυσκολίες:

1) Είναι ευκολότερο να εκτιμηθεί η ζήτηση από τον χρόνο μεταξύ τοποθέτησης και παραλαβής παραγγελίας, αφού η πρώτη αφορά τον πελάτη, ενώ το χρονικό διάστημα παραλαβής της παραγγελίας εξαρτάται από μέρη εκτός της επιχείρησης, τους προμηθευτές.

2) Τα αρχεία εντός της επιχείρησης είναι απίθανο να συμπίπτουν ακριβώς με το χρονικό διάστημα μεταξύ τοποθέτησης και παραλαβής μιας παραγγελίας. Το σύστημα ελέγχου αποθεμάτων μπορεί να χρησιμοποιείται για την διαχείριση χιλιάδων κωδικών προϊόντων που προέρχονται από διαφορετικούς προμηθευτές με διαφορετικά διαστήματα παραλαβής (Ιωάννου, 2005).

Σχετικά με την κατηγορία της συνεχούς αναπλήρωσης αποθεμάτων σύμφωνα με τους Bijvanκαι Vis(Bijvanκαι Vis, 2011)η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει τις πολιτικές αποθεμάτων (s,Q) , (s,S) , (R,Q) .

Στον αντίποδα της συνεχούς πολιτικής βρίσκεται η πολιτική περιοδικής αναπλήρωσης, σύμφωνα με την οποία η αναπλήρωση των αποθεμάτων γίνεται περιοδικά. Οι νέες παραγγελίες τοποθετούνται στο τέλος μιας διακριτής περιόδου αναπλήρωσης αποθεμάτων, ώστε τα υπάρχοντα αποθέματα συν την παραγγελία να καλύπτουν ένα προκαθορισμένο ανώτερο επίπεδο αποθέματος (orderuptolevelήOUL). Η διάρκεια της περιόδου είναι σταθερή και ίση με T. Σημαντικές επιλογές:

- Επιλογή του χρόνου μεταξύ των περιοδικών αναθεωρήσεων: μπορεί α) να επιλεγεί ένας σύνηθες χρονικό διάστημα, π.χ. εβδομάδα ή μήνας και β) να επιλεγεί ως χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών αναπληρώσεων ο μέσος χρόνος διάρκειας του αποθέματος μεταξύ των παραγγελιών.
- Επιλογή επιθυμητού επιπέδου αποθέματος: βασιζόμενοι στη διατύπωση «κάθε παραγγελία να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει την ζήτηση για τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε διαδοχικές αναπλήρωσεις (T) και τους χρόνους αναπλήρωσης παραγγελιών (L)» προκύπτει ο τύπος του αποθέματος ασφάλειας:

$$OUL = \text{ΜΕΣΗ ΖΗΤΗΣΗ}(T+L) + \text{Απόθεμα Ασφάλειας } (T+L)$$

$$\text{Απόθεμα Ασφάλειας} = z\sigma_{T+L} \text{ με τυπική απόκλιση της ζήτησης } \sigma_{T+L} = \sqrt{T + L} \sigma$$

Υβριδικές πολιτικές διαχείρισης αποθεμάτων

Η πολιτική επιλεκτικού ανεφοδιασμού έχει πολλά κοινά με την πολιτική περιοδικής αναπλήρωσης, αλλά και με τη συνεχή πολιτική, αφού συνδυάζει την επιθεώρηση του επιπέδου αποθέματος σε τακτά χρονικά διαστήματα με τα χαρακτηριστικά της τοποθέτησης μιας παραγγελία τέτοιου ύψους ώστε να καλυφθεί ένα ανώτατο επίπεδο αποθέματος μόνο εφόσον το επίπεδο αποθέματος είναι χαμηλότερο του σημείου επαναπαραγγελίας (ReorderPoint, ROP).

Άλλη πολιτική αποθεμάτων που ανήκει στην κατηγορία των υβριδικών πολιτικών αποθεμάτων είναι η πολιτική διατήρησης σταθερού αποθέματος (base stock policy). Ειδικότερα, η πολιτική διατηρεί ένα σταθερό επιθυμητό επίπεδο αποθέματος τέτοιο ώστε να καλυφθεί η ζήτηση επιπλέον ενός αποθέματος ασφάλειας. Πιο αναλυτικά, κάθε φορά που ένας πωλητής δέχεται ποσότητα παραγγελίας για ένα προϊόν, αυτομάτως παραγγέλνει την ίδια ποσότητα προϊόντος στον προμηθευτή του προκειμένου να το αναπληρώσει...

Για την διαχείριση αποθεμάτων σύμφωνα με την πολιτική διατήρησης σταθερού αθροίσματος πρέπει να απαντηθεί το βασικό ερωτήμα: Τι ποσότητα αποθέματος πρέπει να διατηρείται σε αυτό το χρονικό διάστημα;

Για να απαντήσουμε στο ερώτημα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν τα εξής:

- Η ζήτηση σε μια χρονική στιγμή αφορά ένα τεμάχιο ζητούμενου προϊόντος από έναν πελάτη. Με την παράμετρο αυτή διασφαλίζεται ότι δεν γίνονται μαζικές παραγγελίες
- Η ζήτηση που δεν ικανοποιείται από το υπάρχον απόθεμα ικανοποιείται αργότερα, δηλαδή δεν υπάρχουν χαμένες πωλήσεις (lost sales).

- Ο χρόνος παραλαβής μιας παραγγελίας είναι γνωστός και σταθερός.
- Δεν υπάρχει υπολογίσιμο κόστος παραγγελίας.
- Δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των παραγγελιών που μπορεί να στείλει ο πωλητής στον προμηθευτή

Χαρακτηριστικά της πολιτικής αποθεμάτων διατήρησης σταθερού αποθέματος είναι

1. Οι ποσότητες παραγγελίας διαφέρουν αφού αυτές σχετίζονται άμεσα με την εκδήλωση της ζήτησης. Ελαχιστοποιείται το κυκλικό απόθεμα με το κυκλικό απόθεμα να είναι το τμήμα του συνολικού αποθέματος που προσδιορίζεται άμεσα από το ύψος της παραγγελίας. Τονίζεται ότι το ύψος του κυκλικού αποθέματος εξαρτάται άμεσα από τον χρόνο ανάμεσα σε δύο παραγγελίες. Γίνονται περισσότερες παραγγελίες μικρότερου μεγέθους
2. Η πολιτική ενδείκνυται για διαχείριση αποθέματος υψηλής αξίας προϊόντων πχ αυτοκίνητα , ηλεκτρονικός εξοπλισμός

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση των πολιτικών αποθεμάτων σκόπιμο κρίνουμε να δώσουμε σχηματικά με την βοήθεια ενός πίνακα την κατηγοριοποίηση των πολιτικών αποθεμάτων. Σύμφωνα με τους (Bijvank & Vis, 2011) και (Ιωάννου, 2005) παρουσιάζουμε τον παρακάτω πίνακα .

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ	ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ
ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗΣ (Continuous review policies)	<ul style="list-style-type: none"> • (s,Q) • (s,s) • (R,Q)
ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗΣ (periodic review policies)	<ul style="list-style-type: none"> • Order up to level (OUL)
ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ Hybrid policies	<ul style="list-style-type: none"> • Πολιτική επιλεκτικού ανεφοδιασμού • Πολιτική διατήρησης σταθερού αποθέματος

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση πολιτικών αποθεμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΝΩΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

3.1 ΣΥΣΤΗΜΑ-ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ

Πριν την παρουσίαση των ποσοτικών επιχειρηματικών υποδειγμάτων, ας αναλύσουμε τις έννοιες σύστημα και υπόδειγμα (μοντέλο).

Οι Cassandras&Lafortune (2008) ορίζουν το σύστημα ως συναρμολόγηση ή συγκέντρωση στοιχείων που συνδυαζόμενα από την φύση ή τον άνθρωπο διαμορφώνουν ένα ενιαίο και σύνθετο σύνολο. Η μελέτη των συστημάτων βασίζεται στη θεωρία της Κυβερνητικής που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1940 στις ΗΠΑ.

Τα εφοδιαστικά συστήματα διακρίνονται από τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Τα εφοδιαστικά δίκτυα συνήθως σχεδιάζονται για να παράγουν εκροές που θα έχουν μεγαλύτερη αξία από ότι εισροές.
2. Τα ανθρωπογενή συστήματα, και επομένως τα εφοδιαστικά, σχεδιάζονται για να ελέγχονται, ώστε να βελτιώνεται η απόδοσή τους.
3. Οι ενδογενείς παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση των εφοδιαστικών δικτύων αλλά είναι ελέγξιμοι.
4. Οι εξωγενείς παράγοντες επηρεάζουν ριζικά την απόδοση, ωστόσο βρίσκονται εκτός ακτίνας ελέγχου Μη ελέγξιμες μεταβλητές (uncontrollable variables). Η μελέτη προσπαθεί να μοντελοποιήσει τις συνέπειες στην απόδοση του εφοδιαστικού συστήματος, μέσω της κατανομής τύπου φάσης Coxian με 2 φάσεις
5. Οι διαχειριστές συστημάτων αναλαμβάνουν την ευθύνη για μια ομάδα εισροών, που ελέγχονται από εξωγενείς παράγοντες, και παρακολουθούν ενδείξεις σε μετρητές.
6. Οι τρεις βασικές πλευρές της διαχείρισης των συστημάτων εφοδιαστικών δικτύων είναι:
 - Κατανόηση: η απαιτούμενη εις βάθος γνώση για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος που αντιδρά στις μεταβολές των εκροών του
 - Πρόβλεψη: δίνει την δυνατότητα ελέγχου του συστήματος μέσω συνδυασμού προσαρμογών
 - Έλεγχος(Control): Η έννοια του ελέγχου ταυτίζεται με μια μεταβλητή εισόδου, το σήμα ελέγχου (control signal), που επιδιώκει την επιθυμητή συμπεριφορά. Ουσιαστικά μια μεταβλητή εξόδου από το σύστημα ελέγχου αποτελεί και μια μεταβλητή εισόδου στο γενικό σύστημα.

Θεμελιακή στη διαδικασία μοντελοποίησης είναι η έννοια της κατάστασης (state). Σύμφωνα με τους Cassandras&Lafortune (2008) κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t είναι η ποσοτικά μετρήσιμη συμπεριφορά του συστήματος τη χρονική στιγμή t ή η πληροφορία που απαιτείται την χρονική στιγμή t_0 , ώστε η έξοδος $y=g(U(t))$ για όλα τα $t>t_0$ να είναι μοναδικά καθορισμένη από την πληροφορία και από έξοδο.

Ευρύτερη έννοια αποτελεί ο χώρος των καταστάσεων ή το σύνολο καταστάσεων. «Χώρος καταστάσεων του συστήματος είναι το σύνολο των δυνατοτήτων που μια συστημική κατάσταση μπορεί να λάβει». Ο χώρος των καταστάσεων μπορεί να περιλαμβάνει και μη φυσικούς αριθμούς ως καταστάσεις, βασικό χαρακτηριστικό των συστημάτων συνεχούς χρόνου. Τα συστήματα συνεχούς χρόνου διαθέτουν το πλεονέκτημα της εύκολης αναγνωσιμότητας ή της οπτικοποίησης τους.

Τα περισσότερα συστήματα του πραγματικού κόσμου διαθέτουν επιπλέον διαδρομές προς την αντίθετη φορά, από τις εκροές στις εισροές (Taylor, 2006). Η πρόσθετη αυτή διαδρομή ονομάζεται ανάδραση ή ανατροφοδότηση (feedback) και αφορά τη χρήση πληροφορίας για τη συμπεριφορά του συστήματος, ώστε η τελευταία να προσαρμόζεται συνεχώς στη μεταβλητή εξόδου. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Marquez (2010) η ανάδραση αναφέρεται στην κατάσταση όπου η παράμετρος X επηρεάζει την παράμετρο Y αλλά και η μεταβλητή Y επηρεάζει τη μεταβλητή X μέσω μιας αλυσίδας αιτιών και αποτελεσμάτων. Η διακριτή ανάλυση των σχέσεων μεταξύ των σχέσεων X & Y , Y & X δεν είναι δυνατή ούτε δίνει και αποτελέσματα για τη μελλοντική συμπεριφορά του υπό εξέταση συστήματος.

Συνηθέστερος τρόπος ανατροφοδότησης στα εφοδιαστικά συστήματα είναι η μετάδοση πληροφοριών για τρέχουσα εκροή από κατώτερο μέλος του εφοδιαστικού δικτύου σε ανώτερο. Η αποτελεσματική ανατροφοδότηση περιλαμβάνει την συνεργασία πολλών ατόμων που αναλύουν εκροές και τροποποιούν εισροές. Υπάρχουν δύο είδη ανατροφοδότησης: η θετική και η αρνητική.

Θετική Ανατροφοδότηση: Η θετική ανατροφοδότηση μεγαλώνει την ισχύ του εισερχόμενου σήματος. Αναλυτικά, αν η εκροή του στοιχείου B περιέχει ένα σήμα ανατροφοδότησης προς το A που το αναγκάζει να μεγεθύνει την αντίδραση του σε εισερχόμενο σήμα, τότε η εκροή A μεγαλώνει με διαρκώς αυξανόμενο ρυθμό. Η θετική ανατροφοδότηση ενθαρρύνει την κίνηση με διαρκώς αυξανόμενο ρυθμό και προωθεί την απεριόριστη ανάπτυξη. Για παράδειγμα, αν η ζήτηση ενός προϊόντος μεγαλώνει με αυξανόμενο ρυθμό (εκροή στοιχείου B) τότε η παραγωγή και συνεπώς η διανομή θα πρέπει να αυξηθούν (εκροή στοιχείου A). Στη συνέχεια, η αυξημένη παραγωγή και διανομή αυξάνει περαιτέρω τη ζήτηση του προϊόντος, προωθώντας τη συνεχή ή απεριόριστη ανάπτυξη.

Αρνητική Ανατροφοδότηση: Η αρνητική ανατροφοδότηση μειώνει την ισχύ του εισερχόμενου σήματος, δηλαδή η εκροή του στοιχείου B ελαττώνει την εκροή του στοιχείου A . Περιορίζει την κίνηση σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και χρησιμοποιείται για να προάγει τη σταθερότητα σε ένα σύστημα. Για παράδειγμα, αν οι πωλήσεις ενός προϊόντος μειώνονται με αυξανόμενο ρυθμό (εκροή του στοιχείου B) τότε η παραγωγή και συνεπώς η διανομή θα πρέπει να μειωθούν (εκροή του στοιχείου A), ώστε το ποσό παραγωγής να απορροφηθεί από τη ζήτηση.

Η αξία της ανατροφοδότησης στα εφοδιαστικά δίκτυα συνίσταται στη μείωση της αβεβαιότητας, παρέχοντας στις εταιρίες έγκαιρη πληροφόρηση για τις επερχόμενες διακυμάνσεις ζήτησης και προσφοράς και δίνοντάς τους τη δυνατότητα της έγκαιρης αντίδρασης.

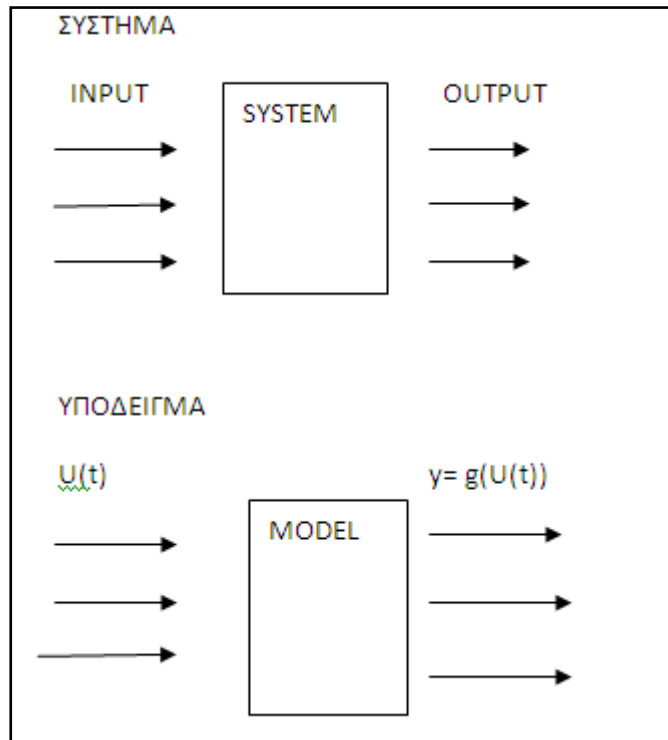
Σημαντική είναι επίσης η έννοια του γεγονότος (event). Πρόκειται για ειδική ενέργεια που γίνεται είτε αυθόρμητα, λόγω φυσικών παραμέτρων του συστήματος, είτε ως αποτέλεσμα συνθηκών που προκαλούν μεταβάσεις του συστήματος σε διάφορες καταστάσεις.

Βασική μεθοδολογία έρευνας και ανάλυσης σύνθετων συστημάτων με ανάδραση αποτελεί η δυναμική συστημάτων ή *systemdynamics* (Marquez, 2010). Η μέθοδος θεωρεί τη δομή των συστημάτων ως πληθώρα σχέσεων κυκλικών, συμπλεκτικών και χρονικής υστέρησης που αφορούν δομικά στοιχεία του συστήματος από τα οποία μπορεί να εξαχθεί η συμπεριφορά του. Ωστόσο, κάποιες ιδιότητες του συστήματος που το επηρεάζουν καθολικά δεν μπορούν να εντοπιστούν μόνο σε ένα δομικό στοιχείο του συστήματος. Ως αποτέλεσμα, δεν μπορεί να εξηγηθεί η συνολική συμπεριφορά του συστήματος από τη συμπεριφορά των επιμέρους τμημάτων.

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των συστημάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και ευκολία, πρέπει να τα ποσοτικοποιήσουμε. Έτσι, οδηγούμαστε στην ανάγκη μίμησης της λειτουργικής συμπεριφοράς του συστήματος, η οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τη χρήση μαθηματικών μεθόδων και τη δημιουργία μαθηματικών υποδειγμάτων-μοντέλων. Ένα σύστημα αποτελεί πραγματικότητα και το υπόδειγμα μερική αποτύπωση της. Ωστόσο, στην περίπτωση που η μερική αποτύπωση είναι πιστή στην πραγματικότητα, τότε συνήθως ταυτίζουμε τις δυο έννοιες του μοντέλου και του συστήματος.

Σύμφωνα με τον Marquez (2010), ως υπόδειγμα ορίζεται η αναπαράσταση του επιστητού ως απλοποιημένη περιγραφή μιας σύνθετης οντότητας ή διαδικασίας. Η διαδικασία παραγωγής υποδειγμάτων ονομάζεται μοντελοποίηση και ορίζεται ως διαδικασία δημιουργίας θεωρητικών σχημάτων αναπαράστασης μέρους της πραγματικής κατάστασης. Η συντριπτική πλειοψηφία των διαδικασιών μοντελοποίησης παράγει μαθηματικά και ποσοτικά υποδείγματα. Τα ποσοτικά υποδείγματα αποτελούν μαθηματικές δομές, στις οποίες η περιγραφή του συστήματος γίνεται με τη χρήση της μαθηματικής γλώσσας. Ένα ποσοτικό υπόδειγμα περιγράφει ένα σύστημα ως σύνολο ποσοτικών μεταβλητών και εξισώσεων που συνδέουν τις μεταβλητές μεταξύ τους (Marquez, 2010).

Βασικό στοιχείο των υποδειγμάτων είναι τα σύνολα μεταβλητών εισόδου και εξόδου (input&outputvariables). Σχηματικά έχουμε:



Εικόνα 7: Σύστημα-Υπόδειγμα

Ποια είναι η αντιστοίχιση των τιμών εισροών και των τιμών εκροών; Η απάντηση δεν είναι μονοδιάστατη, αφού οι σχέσεις μεταξύ εισροών και εκροών μπορεί να είναι πέντε ειδών:

1. Γραμμική Σχέση: η αντιστοίχιση των εισροών και των εκροών αναπαρίσταται με ευθεία γραμμή.
2. Μονοτονική Σχέση: η αύξηση της εισροής δεν προκαλεί μείωση της εκροής χωρίς να υπάρχουν ενδείξεις για το σχήμα της καμπύλης
3. Συνεχής Σχέση: η μόνη προβλέψιμη συμπεριφορά η ομαλή αύξηση ή μείωση των εκροών με αλλαγή των εισροών.
4. Μονότιμη Σχέση: η παραμικρή αλλαγή στην εισροή ενδέχεται να προκαλέσει τεράστια μεταβολή στην εκροή και χωρίς ομαλή μετάβαση. Πολύ συχνό είδος σχέσης στα εφοδιαστικά δίκτυα.
5. Πλειότιμη Σχέση: Η ίδια εκροή δεν δίνει μια δεδομένη εισροή. Μια μικρή αλλαγή της εισροής μπορεί να προκαλέσει ακόμα και μετατόπιση σε άλλη καμπύλη. (TAYLORsel. 94-95)

Οι παραπάνω πέντε σχέσεις μπορούν να αναπαρασταθούν από μια πληθώρα υποδειγμάτων. Ο Marquez (2010) κατηγοριοποιεί τα ποσοτικά υποδείγματα ως εξής:

- Γραμμικά (linear) και μη γραμμικά (nonlinear)
- Ντετερμινιστικά (deterministic) και στοχαστικά (stochastic)
- Δυναμικά (dynamic) και στατικά (static)

Σύμφωνα με τους Brandimarte&Zotteri (2007) τα ποσοτικά υποδείγματα διακρίνονται επίσης σε αναλυτικά και προσομοιωτικά.

Βασικό χαρακτηριστικό των δυναμικών συστημάτων είναι το στοιχείο του χρόνου. Ένα ποσοτικό δυναμικό υπόδειγμα περιγράφει τις αλλαγές των συστημάτων, που αναπαρίστανται με ποικιλία αναπαραστάσεων, στη διάρκεια του χρόνου. Λόγω του στοιχείου του χρόνου, τα δυναμικά συστήματα μοντελοποιούνται με τη χρήση μεταβλητών συνεχούς χρόνου και με διαφορικές εξισώσεις της μορφής:

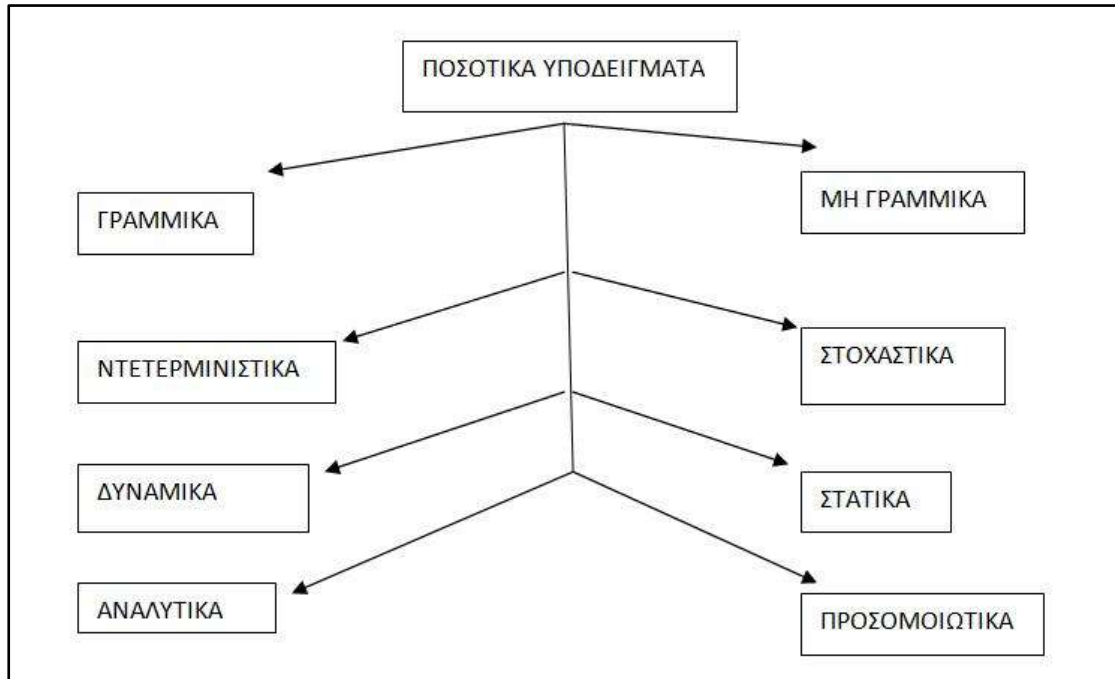
$$\frac{dx}{dt} = f(x, t)$$

Οι διαφορικές εξισώσεις χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση πολλών μεταβλητών, συσχετιζόμενων μεταξύ τους. Τέτοια συστήματα επιλύονται με ποικιλία μεθόδων, με τον διαφορικό λογισμό (derivatives) να αποτελεί τη μαθηματική διατύπωση των μεταβλητών συνεχούς χρόνου. Κάθε εξίσωση παρέχει τιμές των μεταβλητών για κάθε διακριτό χρονικό σημείο.

Στα στοχαστικά υποδείγματα, οι δυνατές καταστάσεις δεν περιγράφονται από μοναδικές τιμές αλλά από κατανομές πιθανοτήτων. Εδώ ανήκουν τα αναλυτικά υποδείγματα, στα οποία παρέχονται τύποι για τα μέτρα απόδοσης ως συνάρτηση των παραμέτρων του συστήματος, των ελεγχόμενων και μη ελεγχόμενων μεταβλητών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα υποδείγματα που χρησιμοποιούν ως εργαλείο μοντελοποίησης τις Μαρκοβιανές διαδικασίες, προκειμένου να προσδιοριστούν τα μέτρα απόδοσης. Τα αναλυτικά υποδείγματα υπακούουν στην παρακάτω λογική σχέση: Brandimarte (48-49)

$$H(\vartheta) = E_{\omega} [f(\vartheta, \omega)]$$

- Όπου $f(\vartheta, \omega)$: η συνάρτηση ενός μέτρου απόδοσης που επηρεάζεται από ένα σύνολο μεταβλητών, κάποιες ελέγξιμες και κάποιες όχι
- ϑ : οι ελεγχόμενες μεταβλητές απόφασης
- ω : οι μη ελεγχόμενες μεταβλητές απόφασης
- E_{ω} : η μέση τιμή της συνάρτησης ενός μέτρου απόδοσης που επηρεάζεται από την τυχαία μεταβλητή ω
- $H(\vartheta)$: η μέση τιμή ενός μέτρου απόδοσης που επηρεάζεται από τις ελεγχόμενες μεταβλητές ϑ



Εικόνα 8:Κατηγοριοποίηση ποσοτικών υποδειγμάτων

Αντίθετα, τα προσομοιωτικά υποδείγματα υπολογίζουν τα μέτρα απόδοσης εντός συγκεκριμένων διαστημάτων εμπιστοσύνης για ένα δεδομένο σύνολο παραμέτρων. Συγκρίνοντας τα δύο υποδείγματα παρατηρούμε ότι :

- Βασικό πλεονέκτημα των αναλυτικών υποδειγμάτων είναι η ακρίβεια των παραγόμενων λύσεων, ενώ βασικό μειονέκτημα είναι η μεγάλη υπολογιστική προσπάθεια που απαιτείται, καθώς και οι δυσκολίες μοντελοποίησης.
- Στα θετικά του προσομοιωτικού μοντέλου συγκαταλέγεται η ευκολία και η ευελιξία ανάπτυξης, ενώ στα αρνητικά ο μειωμένος βαθμός ακρίβειας που οφείλεται στη φύση των μοντέλων υπολογισμού των μέτρων απόδοσης εντός συγκεκριμένων διαστημάτων εμπιστοσύνης.

Η κατηγοριοποίηση των ποσοτικών υποδειγμάτων του Marquez και των Brandimarte & Zotteri φαίνεται διαγραμματικά στην εικόνα 8.

3.2 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

Η εργασία μας ενδιαφέρεται ιδιαίτερα, όπως έχει γίνει μέχρι τώρα σαφές, για εφοδιαστικά δίκτυα που χαρακτηρίζονται από μεταβλητότητα στη συμπεριφορά των παραγόντων λειτουργίας τους. Για τη μοντελοποίηση αυτών των συστημάτων στρεφόμαστε στοχαστικά υποδείγματα. Κατωτέρω παρουσιάζεται ο ορισμός των στοχαστικών διαδικασιών, η κατηγοριοποίησή τους και στη συνέχεια αναλύεται περαιτέρω οι Μαρκοβιανές διαδικασίες

Η στοχαστική διαδικασία (stochastic process) είναι ένα μαθηματικό εργαλείο για την αναπαράσταση-μοντελοποίηση τυχαίων φαινομένων που επηρεάζονται από τον χρόνο. Ο όρος στοχαστικός μεταφράζεται ως τυχαίος και όρος διαδικασία αναφέρεται στην αλλαγή της κατάστασης ενός δεδομένου συστήματος συναρτήσει του χρόνου. Οι στοχαστικές διαδικασίες έχουν εφαρμογές σε πολλά πεδία και είναι χρήσιμες για την μοντελοποίηση φυσικών, βιολογικών ή οικονομικών συστημάτων. Ουσιαστικά μια στοχαστική διαδικασία είναι μία οικογένεια τυχαίων μεταβλητών $(X_t)_{t \in T}$ που εξαρτώνται-επηρεάζονται από τον χρόνο T οι οποίες ορίζονται συνήθως στον ίδιο πιθανοθεωρητικό χώρο Ω . (δηλ. για κάθε $t \in T$ η συνάρτηση X_t είναι μια τυχαία μεταβλητή (Δάρας & Σύψας 2003)). Ο δείκτης t δηλώνει τον χρόνο και ανήκει στο ένα σύνολο δεικτών T . Το σύνολο δεικτών T μπορεί να είναι πεπερασμένο δηλ. $T = \{1, 2, \dots, N\}$, ή αριθμήσιμο $T = \mathbb{N}$ ή μη αριθμήσιμο δηλ. $T = [0, 1]$ ή $T = \mathbb{R}_+$. Στην περίπτωση όπου T μη αριθμήσιμο έχουμε στοχαστική διαδικασία συνεχούς χρόνου. Οι στοχαστικές διαδικασίες μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 κύριες κατηγορίες:

Μαρκοβιανές στοχαστικές διαδικασίες (Markov processes)

Μία στοχαστική διαδικασία είναι μαρκοβιανή όταν η στατιστική της συμπεριφορά μετά από την χρονική στιγμή t μπορεί να προσδιορισθεί από την τιμή της X_t της διαδικασίας την χρονική στιγμή t . Δηλαδή οι παρελθούσες τιμές της X_s της διαδικασίας στις χρονικές στιγμές $s < t$ δεν έχουν καμία επίδραση. Το μέλλον προσδιορίζεται από το παρόν t . Το παρελθόν $s < t$ δεν προσφέρει καμία πληροφορία.

Martingales

Μία στοχαστική διαδικασία είναι Martingale όταν η καλύτερη δυνατή εκτίμηση την χρονική στιγμή t για την μελλοντική τιμή της διαδικασίας X_s για τις χρονικές στιγμές $s > t$ βασίζεται στη τιμή X_t .

3.2.1 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΕΣ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

Όπως θα έχει γίνει αντιληπτό από την έως τώρα ανάλυση, βασική ιδιότητα των συστημάτων είναι η μετάπτωση τους σε ένα σύνολο καταστάσεων. Συνεπώς, μια εύστοχη ανάλυση θα πρέπει να εστιάζει στην εξέταση τόσο των καταστάσεων όσο και των διαδικασιών μετάβασης στις διάφορες καταστάσεις. Το μεθοδολογικό εργαλείο ή το εργαλείο ανάλυσης καταστάσεων και διαδικασιών μετάβασης είναι η ευρεία κατηγορία των στοχαστικών ανελίξεων και ειδικότερα των διαδικασιών Markov. Στοχαστική ανέλιξη είναι μια οικογένεια τυχαίων μεταβλητών (X_t) οι οποίες ορίζονται συνήθως στον ίδιο πιθανοθεωρητικό χώρο Ω , και για κάθε $t \in T$ η συνάρτηση X_t είναι μια τυχαία μεταβλητή (Δάρας & Σύψας 2003).

Μία στοχαστική διαδικασία-ανέλιξη (X_n) με χώρο καταστάσεων S και σύνολο δεικτών $T = \{1, 2, \dots, N\}$ λέγεται διακριτή διαδικασία Markov ή αλυσίδα Markov όταν ισχύουν οι παρακάτω συνθήκες:

1. $P\{X_{t+1} = x_{t+1} \mid X_{t_0} = x_{t_0}, X_{t_1} = x_{t_1}, \dots, X_{t_n} = x_{t_n}\}$
2. $P\{X_{t_n+1} = x_{t_n+1} \mid X_{t_n} = x_{t_n}\}$

Τις περισσότερες φορές ο χώρος καταστάσεων είναι ένα πεπερασμένο σύνολο, οπότε αναφερόμαστε σε αλυσίδα Markov με διακριτό χώρο καταστάσεων (Δάρας & Σύψας 2003). Χαρακτηριστικό τους είναι ο διακριτός χρόνος και οι διακριτές καταστάσεις.

Η αλυσίδα Markov αναπαριστά τα συστήματα με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Οι πιθανότητες μετάπτωσης-μετάβασης στις διάφορες καταστάσεις είναι ολοκληρωτικά ανεξάρτητες από τις αρχικές συνθήκες.
- Το φαινόμενο της λειτουργίας του συστήματος εξελίσσεται με βάση τον χρόνο.

Χαρακτηριστικό των αλυσίδων Markov είναι οι μεταβάσεις ενός βήματος. Ενδιαφέρουν ιδιαίτερα οι πιθανότητες μετάβασης ενός βήματος που περιγράφουν την συμπεριφορά του συστήματος. Δείχνουν, δηλαδή, πόσο πιθανό είναι να κάνει το σύστημα μια μετάβαση στην κατάσταση y τη χρονική στιγμή $n+1$, δεδομένου ότι τη χρονική στιγμή n βρίσκεται στην κατάσταση X . Για τη γραφική απεικόνισή τους χρησιμοποιούμε τους πίνακες μεταπήδησης, οι οποίοι παρουσιάζουν το σύνολο των πιθανοτήτων μετάβασης του συστήματος στις διάφορες καταστάσεις του. Σε περίπτωση που οι πιθανότητες μετάβασης είναι ανεξάρτητες του χρόνου αναφερόμαστε σε ομογενείς αλυσίδες Markov, τη συντριπτική πλειοψηφία των αλυσίδων που χρησιμοποιούνται σε υποδείγματα.

Αν ο διακριτός χρόνος γίνει συνεχής, τότε αναφερόμαστε σε άλλο είδος στοχαστικών διαδικασιών στις *στοχαστικές διαδικασίες Markov συνεχούς χρόνου* που ορίζονται ως εξής:

$$P(X(s+t) = j | X(u), 0 \leq u \leq s) = P(X(s+t) = j | X(s)) \text{ όπου } (s, t \geq 0, j \in S)$$

Βασική στοχαστική Μαρκοβιανή διαδικασία συνεχούς χρόνου είναι η διαδικασία Poisson.

Σύμφωνα με τους Δάρα και Σύψα (2003) μια ανέλιξη απαρίθμησης (counting process) $\{N_t\}_{t \geq 0}$ καλείται ανέλιξη Poisson με ρυθμό λ εάν:

1. $N_0 = 0$
2. Η $\{N_t\}_{t \geq 0}$ έχει ανεξάρτητες και στάσιμες προσauξήσεις
3. Ισχύει $P(N_{t+h} - N_t = 1) = \lambda h + O(h)$ και $P(N_{t+h} - N_t \geq 2) = O(h)$

Στις ανελίξεις Poisson:

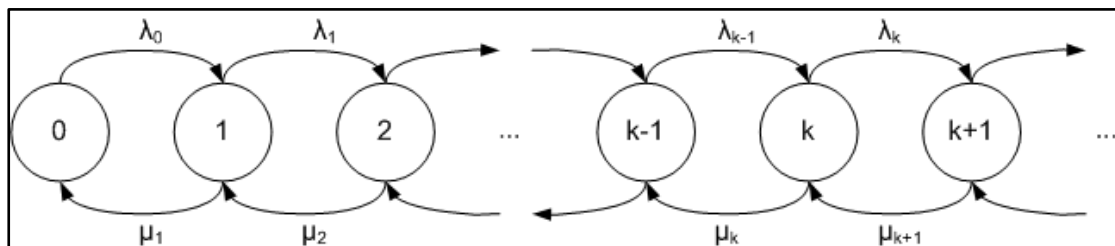
- Ισχύει η «αμνήμων ιδιότητα» (memoryless property). Συγκεκριμένα, οι καταστάσεις του μέλλοντος μιας διαδικασίας εξαρτώνται μόνο από τις καταστάσεις του παρόντος και όχι από την κατάσταση του παρελθόντος. Στα εφοδιαστικά δίκτυα η εκδήλωση ζήτησης (ανάλωση αποθέματος) και η τοποθέτηση παραγγελιών (αναπλήρωση αποθέματος) εξαρτώνται και αυτές από τις καταστάσεις του παρόντος.
- Γεγονότα που συμβαίνουν σε μη επικαλυπτόμενα διαστήματα χρόνου είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα. Η ιδιότητα αυτή ισχύει στα εφοδιαστικά συστήματα, αφού γεγονότα εκδήλωσης ζήτησης και αναπλήρωσης αποθέματος συμβαίνουν σε μη επικαλυπτόμενα χρονικά διαστήματα και είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα.

- Η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός είναι ίδια σε όλα τα διαστήματα ίσου μήκους. Στα συστήματα εφοδιασμού, επίσης, ένα γεγονός ζήτησης είναι πιθανό να συμβεί σε όλο το εύρος των υπό εξέταση χρονικών διαστημάτων.
- Τέλος, σε ένα απειροστό μικρό χρονικό διάστημα συμβαίνει ένα το πολύ γεγονός. Η πιθανότητα να συμβούν περισσότερα από ένα γεγονότα στο απειροστό μικρό χρονικό διάστημα είναι μηδενική.

Από τις ιδιότητες των μαρκοβιανών διαδικασιών γίνεται εμφανής η καταλληλότητα τους για την ανάλυση των εφοδιαστικών συστημάτων ως προς τις ροές των αποθεμάτων. Η ύπαρξη ενός συγκεκριμένου επιπέδου αποθέματος (stocklevel) σε έναν κόμβο-επιχείρηση σε συνθήκες αβεβαιότητας προσφοράς και ζήτησης καθορίζει την μελλοντική στοχαστική συμπεριφορά του κόμβου. Δηλ. το παρόν (επίπεδο αποθέματος) προκαθορίζει το μέλλον (εξυπηρέτηση της ζήτησης). Η πληροφορία του παρελθόντος δεν προσθέτει τίποτε επιπλέον στην ανάλυση. Μία κλάση σημαντικών μαρκοβιανών διαδικασιών αποτελούν οι διαδικασίες «γεννήσεων-θανάτων», στις οποίες είναι αφιερωμένη η επόμενη ενότητα.

3.2.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΕΝΝΗΣΕΩΝ-ΘΑΝΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΜΟΙΑΖΟΥΣΕΣ ΜΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΕΝΝΗΣΕΩΝ ΘΑΝΑΤΩΝ

Οι διαδικασίες γεννήσεων-θανάτων (birth-death processes) είναι ειδική περίπτωση μαρκοβιανών διαδικασιών συνεχούς χρόνου, όπου οι μεταβάσεις είναι δύο τύπων: ο πρώτος αφορά τις «γεννήσεις» που συμβολίζουν την αύξηση της ποσότητας μιας κατάστασης κατά μία μονάδα, και ο δεύτερος τους θανάτους, που αφορούν την μείωση της ποσότητας μιας κατάστασης κατά μία μονάδα. Κατά τη «γέννηση» η διαδικασία μεταβαίνει από την κατάσταση στην $n+1$, ενώ κατά τον θάνατο η διαδικασία μεταβαίνει από την κατάσταση n στην $n-1$. Εφαρμόζοντας τα προαναφερθέντα στα εφοδιαστικά συστήματα «γέννηση» έχουμε όταν ολοκληρώνεται μια παραγγελία και αναπληρώνεται-αυξάνεται το απόθεμα (με ρυθμό μ), ενώ θάνατο έχουμε όταν εκδηλώνεται ζήτηση (με ρυθμό λ), η οποία αφαιρεί ποσότητα αποθεμάτων. Διαγραμματικά:



Εικόνα 9: Μεταβάσεις σε μια διαδικασία γέννησης-θανάτου

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα πίνακα μεταπήδησης, της μορφής:

$$\begin{bmatrix} -\lambda & \lambda & \dots & & & \\ \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda & & & \\ & \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda & & \\ \vdots & & \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda & \\ & & \vdots & & & \vdots \\ & & \dots & & & \dots \end{bmatrix}$$

Οι διαδικασίες «γέννησης-θανάτου» είναι κατάλληλες για την μοντελοποίηση των εισροών-εκροών αποθεμάτων σε κάθε κόμβο-επιχείρηση στα εφοδιαστικά συστήματα. Η προηγούμενη ανάλυση αφορά τις γεννήσεις-θανάτους σε έναν κόμβο.

Σε συνθετότερα εφοδιαστικά συστήματα όπου οισυμμετέχοντες επιχειρήσεις-κόμβοι είναι περισσότεροι του ενός ή η στοχαστική διαδικασία ροών (ζήτησης-αναπλήρωσης) είναι τύπου κατανομών με πολλές φάσεις (phasetypedistributions)ο πίνακας μεταπήδησης (ή απειροστός γεννήτωρ) της αντίστοιχης στοχαστικής διαδικασίας Markovέχει συνθετότερη μορφή.Διατηρεί την τριδιαγώνια μορφή –χαρακτηριστική των διαδικασιών γεννήσεων-θανάτου- αλλά τα στοιχεία της κυρίας διαγωνίου καθώς και της υπερδιαγωνίου και της υποδιαγωνίου είναι πλέον πίνακες (παύουν να είναι αριθμοί). Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για ομοιάζουσες με διαδικασίες γεννήσεων-θανάτων (quasibirth-deathprocesses ήQBD). Στα πλαίσια της εργασίας μας αναπτύσσουμε υποδείγματα αυτών των διαδικασιών.

Ομοιάζουσες με διαδικασίες γεννήσεων-θανάτων είναι πινακοειδείς γενικεύσεις πραγματικών διαδικασιών γεννήσεων-θανάτων. Οι ομοιάζουσες με διαδικασίες γεννήσεων-θανάτων διακρίνονται σε διαδικασίες συνεχούς και διακριτού χρόνου.

Στην περίπτωση ομοιαζουσώνμε διαδικασίες γεννήσεως-θανάτου πίνακας μεταπήδησης παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$Q = \begin{bmatrix} \Delta_0 & A_0 & \dots & & & \\ K_1 & \Delta_1 & A_1 & & & \\ & K_2 & \Delta_2 & A_2 & & \\ & & K_3 & \Delta_3 & A_3 & \\ \vdots & & \vdots & & & \vdots \\ & & \dots & & & \Delta_N \end{bmatrix}$$

Το διάνυσμα των σταθμίμων πιθανοτήτων $\pi = (\pi_{00}, \dots, \pi_{0k}, \dots, \pi_{01}, \dots, \pi_{0x}, \dots, \pi_{N0}, \dots, \pi_{NN})$ προκύπτει από την επίλυση της πινακοειδούς εξίσωσης

$$\pi \cdot Q = 0$$

Ισοδύναμα από την επίλυση του γραμμικού συστήματος των στάσιμων εξισώσεων

$$\pi_0 \Delta_0 + \pi_1 K_1 = 0$$

$$\pi_0 A_0 + \pi_1 \Delta_1 + \pi_2 K_2 = 0$$

$$\pi_1 A_1 + \pi_2 \Delta_2 + \pi_3 K_3 = 0$$

.....

$$\pi_{N-1} K_N + \pi_N \Delta_N = 0$$

3.2.3 ΛΟΙΠΕΣ ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΓΕΝΝΗΣΕΩΝ-ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥ

1^η Ιδιότητα: γεννήτορας πίνακας (generator) Q: Ο πίνακας έχει τη μορφή:

Q=

$$\begin{bmatrix} q_{00} & q_{01} & 0 & \dots & \\ q_{10} & q_{11} & q_{12} & 0 & \\ 0 & q_{21} & q_{22} & q_{23} & \\ 0 & 0 & q_{32} & q_{33} & \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ & & & \dots & q_{nn} \end{bmatrix}$$

2^η Ιδιότητα: οριακή πιθανότητα (limiting probability) $\pi_n = \lim P [X(t)=n]$

3^η Ιδιότητα: κατανομή στάσιμων πιθανοτήτων

Θεώρημα: Σε περίπτωση που η διαδικασία είναι επαναλαμβανόμενη (recurrent), η κατανομή στάσιμων πιθανοτήτων είναι $\pi_n = \pi_{n-1} \times (q_{n-1,n} / q_{n,n-1})$.

Η διαδικασία είναι εργοδική, αν $\sum (q_{01} \dots q_{k-1,k}) / (q_{10} \dots q_{k,k-1}) < \infty$.

Στην περίπτωση της ομοιογενούς αναγέννησης η κατανομή στάσιμων πιθανοτήτων είναι:

$$\pi_n = \pi_{n-1} (q_0/q_R).$$

3.2.4 MATRIXANALYTICALMETHODS

Οι Matrix Analytic Methods αποτελούν ένα επιτυχές παράδειγμα εμπλουτισμού της επιστημονικής γνώσης των εφαρμοσμένων πιθανοτήτων με το πεδίο της πληροφορικής. Θεμελιωτής της θεωρίας είναι ο μαθηματικός Marcel Neuts. Σύμφωνα με τον ίδιο, «η εργασία στα υπολογιστικά μαθηματικά είναι μια δέσμευση για έναν πιο απαιτητικό ορισμό της λύσης σε ένα μαθηματικό πρόβλημα. Όταν η δέσμευση αυτή γίνεται ορθόδοξα, τότε [η εργασία στα υπολογιστικά μαθηματικά] συμμορφώνεται με τα υψηλότερα επίπεδα επιστημονικής αναζήτησης» (Latouche & Ramaswami, 1999).

Το ερευνητικό πρόγραμμα του Marcel Neuts απέφερε σε μερικά χρόνια τους διάσημους όρους «μήτρα γεωμετρικής κατανομής» (matrix geometric distribution) και «κατανομές τύπου φάσης» (phase type distributions), οι οποίοι βρίσκονται κάτω από την ομπρέλα των Matrix Analytical Methods. Το στοιχείο επιτυχίας των Matrix Analytical Methods είναι η συνέργεια που προκύπτει μεταξύ των αλγοριθμικών εκτιμήσεων κατά τη διαδικασία επίλυσης στοχαστικών προβλημάτων. Χάρη στις Matrix Analytical Methods, μπορούμε να επιλύσουμε στοχαστικά υποδείγματα μέσω της σύνδεσης διάφορων τεχνικών αλγορίθμων. Οι Matrix Analytical Methods έγιναν δημοφιλή εργαλεία μοντελοποίησης πληθώρας συστημάτων, κυρίως τηλεπικοινωνιακών και υπολογιστικών, λόγω της ιδιότητας τους να δομούν και να αναλύουν με έναν ενοποιημένο και αλγοριθμικά ιχνηλατήσιμο τρόπο μια ευρεία ποικιλία στοχαστικών προβλημάτων.

Βασικά πλεονεκτήματά τους:

1. Οι πράξεις μεταξύ των πινάκων μπορούν να προγραμματιστούν σε Η/Υ μεγάλων ταχυτήτων.
2. Γίνεται απευθείας και άμεσος υπολογισμός των λύσεων από τον πίνακα μεταπήδησης.
3. Δεν χρησιμοποιείται η θεωρία των ιδιοτιμών κάνοντας όλες τις μαθηματικές εκφράσεις πιο απλές, αφού οι τελευταίες συμβολίζονται με πίνακες.
4. Οι MatrixAnalyticalMethods προσφέρουν στους μαθηματικούς την ευχέρεια ανακάλυψης στοχαστικών διαδικασιών κατά τη διάρκεια υπολογιστικών εργασιών.

Στα πλαίσια της εργασίας μας χρησιμοποιούμε τις MatrixAnalyticalMethods για τη δημιουργία πινάκων μεταπήδησης ιδιαίτερης δομής (διαδικασίες QBD), την εξαγωγή στάσιμων πιθανοτήτων και τέλος τον προσδιορισμό των μέτρων απόδοσης.

Έστω πίνακας μεταπήδησης της μορφής:

$$\begin{bmatrix} B_{00} & B_{01} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots \\ B_{10} & A_1 & A_2 & 0 & 0 & 0 & \\ 0 & A_0 & A_1 & A_2 & 0 & 0 & \\ 0 & 0 & A_0 & A_1 & A_2 & 0 & \\ \vdots & & & & & & \ddots \\ & & & & & & \dots \end{bmatrix}$$

Κάθε μία κατάσταση γράφεται: $\{(n,k)$ με $n \geq 0, 1 \leq k < K\}$. Ο αριθμός n δηλώνει το επίπεδο (level) ενώ ο αριθμός k την φάση (phase). Οι καταστάσεις διατάσσονται κατά αύξουσα διάταξη συναρτήσεως του n και κατά δεύτερον κατά αύξουσα διάταξη συναρτήσεως του k . Οι καταστάσεις κατηγοριοποιούνται με βάση το «επίπεδο», που είναι η τιμή του n . Παρατηρούμε ότι οι πίνακες μεταπήδησης έχουν τριδιαγώνια μορφή με τα στοιχεία του πίνακα μεταπήδησης να είναι οι υποπίνακες (blockstructuredtridiagonalmatrices). Επιτρέπονται οι παρακάτω περιπτώσεις μεταβάσεων στην μαρκοβιανή αλυσίδα σε:

- Μεταπηδήσεις σε καταστάσεις ίδιου επιπέδου: στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται διαγώνιοι υποπίνακες.
- Μεταπηδήσεις σε καταστάσεις χαμηλότερου επιπέδου (εκδήλωση ζήτησης, «θάνατοι»): στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται υποδιαγώνιοι πίνακες.
- Μεταπηδήσεις σε καταστάσεις με μεγαλύτερο επίπεδο (ολοκλήρωση διαδικασίας αναπλήρωσης, «γεννήσεις»): στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται οι υπερδιαγώνιοι πίνακες.

Βήματα επίλυσης για μέθοδο MATRIX ANALYTICAL

1. Διασφάλισε ότι ο πίνακας μεταπήδησης έχει τριδιαγώνιο μορφή
2. Διασφάλισε μέσω επαλήθευσης της εξίσωσης $\pi_A A_2 e < \pi_A A_0 e$.
3. Προσδιόρισε πίνακα R μέσω της εξίσωσης $R_{k+1} = -V - R_{(k)}^2 W$.
4. Επίλυσε το σύστημα στασίμων εξισώσεων
5. Υπολόγισε τη σταθερά α και κανονικοποίησε $\pi_0 \pi_1$.
6. Χρησιμοποίησε εξίσωση $\pi_i = \pi_{i-1} \times R_{i-1}$ για τον υπολογισμό των υπόλοιπων στάσιμων πιθανοτήτων.

3.3 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ

Τα υποδείγματα μελέτης εφοδιαστικών δικτύων ως στοχαστικές διαδικασίες τύπου Markov περιλαμβάνουν την υιοθέτηση κατανομών τύπου φάσης, τόσο στη διαδικασία άφιξης, όσο και στη διαδικασία εξυπηρέτησεων.

Κατανομή τύπου φάσης με m φάσεις, ονομάζεται η κατανομή του χρόνου που μεσολαβεί μέχρι την απορρόφηση στην $m+1$ κατάσταση σε μια μαρκοβιανή διαδικασία συνεχούς χρόνου, πεπερασμένου αριθμού καταστάσεων εκ των οποίων οι m καταστάσεις είναι παροδικές και η $m+1$ κατάσταση απορροφητική. Η διαδικασία τύπου φάσης με m φάσεις έχει ένα αρχικό διάνυσμα πιθανοτήτων που δίνει την πιθανότητα έναρξης της διαδικασίας σε κάθε μία από τις $m+1$ δυνατές καταστάσεις. Μια κατανομή φάσης με m φάσεις αποτελείται από μια συνέλιξη m εκθετικά κατανεμημένων κατανομών.

Η ανάπτυξη της θεωρίας των κατανομών τύπου φάσης ξεκινάει την δεκαετία του 1960 από ένα ερευνητικό πρόγραμμα του M. Neuts και εκ τότε έχει αποσπάσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών ανά τον κόσμο. Η θεωρία του Neuts έρχεται να βασιστεί στις βάσεις των Matrix Analytic Methods, δηλαδή στοχαστικά υποδείγματα που υπόκεινται σε σταθερές και ακριβείς λύσεις. Πολλά από τα στοχαστικά υποδείγματα βασίζονται σε κατανομές τύπου φάσης.

Με τις κατανομές τύπου φάσης πετυχαίνουμε:

- Να βρούμε τρόπους μοντελοποίησης γενικών και ιδιόμορφων κατανομών διατηρώντας την ιχνηλασιμότητα της εκθετικής κατανομής.
- Να βρούμε τρόπους προσαρμογής μιας κατανομής που θα έχει mean value και διακύμανση με μια κατανομή φάσης (moment matching method).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κατανομές τύπου φάσης έχουν και περιορισμούς:

- Δεν δίνουν ακριβείς λύσεις για σύνθετα υποδείγματα.
- Δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις ιδιόμορφες κατανομές.

Οι κατανομές τύπου φάσης αφορούν αποτελούν συνέλιξεις εκθετικών κατανομών, (δηλαδή αποτελούνται από φάσεις που κατανέμονται εκθετικά) περιλαμβάνουν την εκθετική κατανομή (μία φάση), τις Erlang κατανομές με $k=2,3,\dots,n$ φάσεις, τις Coxian κατανομές με $k=2,3,\dots,n$, και τις γενευμένες Erlang κατανομές με $k=2,3,\dots,n$ φάσεις. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της εκθετικής κατανομής, των Erlang κατανομών με $k=2,3,\dots,n$ φάσεις, και της Coxian κατανομής με $k=2$ φάσεις.

3.3.1 Η ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η εκθετική κατανομή αποτελείται από μία εκθετική φάση. Περιγράφει τον χρόνο μεταξύ γεγονότων σε μια διαδικασία (Poisson), δηλαδή μια διαδικασία στην οποία γεγονότα συμβαίνουν συνεχώς και ανεξάρτητα με ένα σταθερό μέσο ρυθμό. Ο χρόνος διέλευσης από την μοναδική φάση κατανέμεται σύμφωνα με την εκθετική κατανομή με παράμετρο μ .

Η συνάρτηση πυκνότητας είναι $f(x) = \mu e^{-\mu x}$

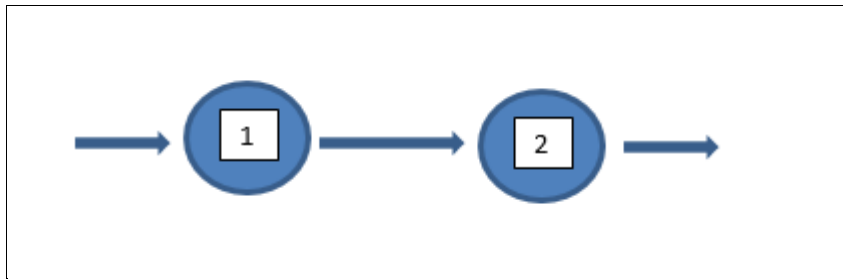
Η αθροιστική συνάρτηση της εκθετικής κατανομής δίνεται από τον τύπο: $F(x) = 1 - e^{-\mu x}$

Η μέση τιμή της συνάρτησης είναι $E(X) = 1/\mu$

Η διακύμανση της συνάρτησης είναι $\sigma^2(x) = 1/\mu^2$

3.3.2 Η ERLANG-2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕ 2 ΦΑΣΕΙΣ

Με την προσθήκη μιας ακόμα διαδοχικής φάσης περνάμε στις κατανομές τύπου φάσης, η πιο απλή μορφή των οποίων είναι η Erlang-2. Αν το σύστημα ουράς έχει εξυπηρέτηση που κατανέμεται σύμφωνα με την Erlang-2, τότε η υπηρεσία που παρέχεται στον πελάτη εκφράζεται από μια εκθετική φάση που ακολουθείται σειριακά από μια δεύτερη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 10: Η εξυπηρέτηση σύμφωνα με την Erlang-2

Οι δύο φάσεις κατανέμονται εκθετικά με την ίδια παράμετρο μ αλλά εντελώς ανεξάρτητα.

Χαρακτηριστικά Erlang-2

Συνάρτηση πυκνότητας χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις 2 φάσεις:

$$f_Y(y) = \mu e^{-\mu y}, \quad y \geq 0$$

Μέση τιμή χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις 2 φάσεις: $E(Y) = 1/\mu$

Διακύμανση χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις 2 φάσεις: $\sigma_Y^2 = \frac{1}{\mu^2}$

Συνάρτηση πυκνότητας συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης $X = Y_1 + Y_2$ και στις 2 φάσεις:

$$f_X(x) = \mu^2 x e^{-\mu x}, \quad x \geq 0$$

Αθροιστική κατανομή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις 2 φάσεις:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\mu x} (1 + \mu x), \quad x \geq 0$$

Μέση τιμή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις 2 φάσεις:

$$E[X] = E[Y] + E[Y] = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu} = \frac{2}{\mu}$$

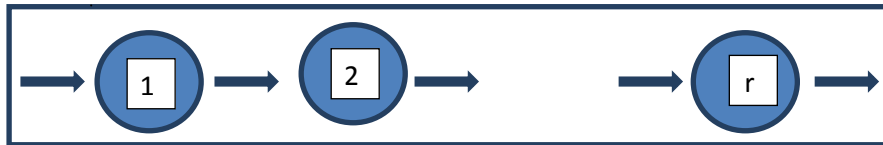
Διακύμανση συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις 2 φάσεις:

$$\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 + \sigma_Y^2 = \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{1}{\mu}\right)^2 = \frac{2}{\mu^2}$$

Η κατανομή τύπου φάσης Erlang-2 έχει επομένως πολύ μικρότερη διακύμανση από την εκθετική με την ίδια μέση τιμή.

3.3.3 HERLANG-r ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η προσθήκη γταυτόσημων εκθετικών φάσεων μας εισάγει στις κατανομές τύπου φάσης Erlang-r, που έχουν το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 11:εξυπηρέτηση σύμφωνα με την Erlang-r

Χαρακτηριστικά κατανομής Erlang-r

Συνάρτηση πυκνότητας χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις r φάσεις:

$$f_Y(y) = \mu e^{-\mu y}, \quad y \geq 0$$

Μέση τιμή χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις r φάσεις: $E(Y) = 1/\mu$

Διακύμανση χρόνου εξυπηρέτησης Y σε κάθε μία από τις r φάσεις: $\sigma_Y^2 = \frac{1}{\mu^2}$

Συνάρτηση πυκνότητας συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης $X=Y+Y+..Y$ και στις r φάσεις:

$$f_X(x) = \frac{\mu(\mu x)^{r-1} e^{-\mu x}}{(r-1)!}, \quad x \geq 0$$

Αθροιστική κατανομή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$F_X(x) = 1 - e^{-\mu x} \sum_{i=0}^{r-1} \frac{(\mu x)^i}{i!}, \quad x \geq 0$$

Μέση τιμή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$E[x] = r \left(\frac{1}{\mu} \right) = \frac{r}{\mu}$$

Διακύμανση συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$\sigma_x^2 = r \left(\frac{1}{\mu} \right)^2 = \frac{r}{\mu^2}$$

Squared of coefficient of variation:

$$C_x^2 = \frac{r/\mu^2}{(r/\mu)^2} = \frac{1}{r} < 1, \quad \text{for } r \geq 2$$

3.3.4 ΥΠΟΕΚΘΕΤΙΚΗ ΡΦΑΣΕΩΝ – ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ERLANG

Όταν σε μια κατανομή φάσεων Erlang- r οι εκθετικές φάσεις δεν είναι ταυτοσήμες αλλά διαφορετικές δηλ. $\mu_i \neq \mu_j$ για $i \neq j$, $1 \leq i, j \leq r$ τότε έχουμε την γενικευμένη κατανομή Erlang- r ή υποεκθετική κατανομή.

Χαρακτηριστικά γενικευμένης Erlang- r

Συνάρτηση πυκνότητας συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$f_X(x) = \sum_{i=1}^r \alpha_i \mu_i e^{-\mu_i x} \quad \text{όπου} \quad \alpha_i = \prod_{j=1, j \neq i}^r \frac{\mu_j}{\mu_j - \mu_i}$$

Μέση τιμή συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$E[X] = \sum_{i=1}^r \frac{1}{\mu_i}$$

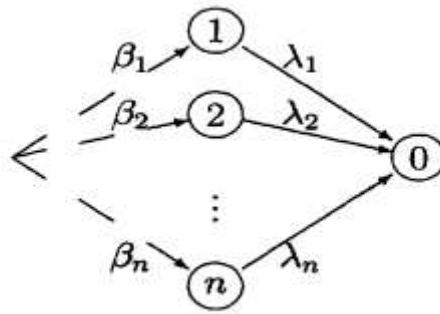
Διακύμανση συνολικού χρόνου εξυπηρέτησης X και στις r φάσεις:

$$\text{Var}[X] = \sum_{i=1}^r \frac{1}{\mu_i^2}$$

Coefficient of variation:

$$C_x^2 = \frac{\sum_i 1/\mu_i^2}{\left(\sum_i 1/\mu_i \right)^2} \leq 1$$

3.3.5 ΥΠΕΡΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ



Εικόνα 12: εξυπηρέτηση σύμφωνα με την υπερεκθετική κατανομή

Για την υπερεκθετική κατανομή με 2 φάσεις έχουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

Συνάρτηση Πυκνότητας υπερεκθετικής κατανομής με 2 φάσεις:

$$f_x(x) = \beta_1 \lambda_1 e^{-\mu_1 x} + \beta_2 \lambda_2 e^{-\mu_2 x}, \quad x \geq 0, \beta_1 + \beta_2 = 1$$

όπου:

λ_1 ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης, εκθετικά κατανομημένος της 1^{ης} φάσης

λ_2 ο μέσος ρυθμός εξυπηρέτησης, εκθετικά κατανομημένος της 2^{ης} φάσης

β_1 η πιθανότητα μετάβασης στην 1^η φάση

β_2 η πιθανότητα μετάβασης στην 2^η φάση

Αθροιστική Κατανομή Πυκνότητας υπερεκθετικής κατανομής με 2 φάσεις:

$$F_x(x) = \beta_1(1 - e^{-\mu_1 x}) + \beta_2(1 - e^{-\mu_2 x})$$

Μέση τιμή υπερεκθετικής κατανομής με 2 φάσεις:

$$E[X] = \frac{\beta_1}{\mu_1} + \frac{\beta_2}{\mu_2}$$

$$E[X^2] = \frac{2\beta_1}{\mu_1^2} + \frac{2\beta_2}{\mu_2^2}$$

Διακύμανση υπερεκθετικής κατανομής με 2 φάσεις:

$$Var[X] = E[X^2] - (E[X])^2$$

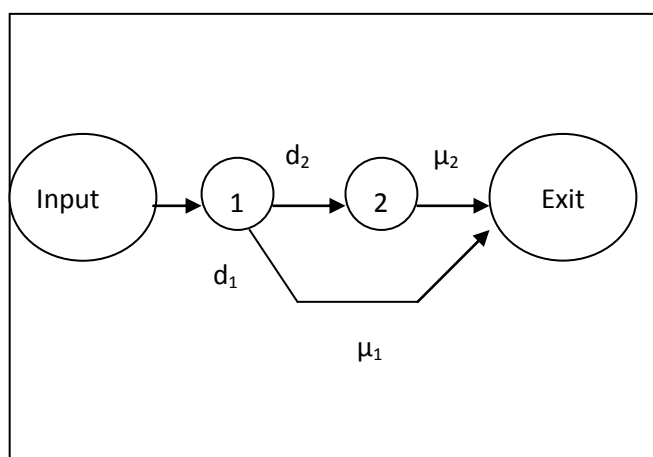
Squared coefficient of variation:

$$C_x^2 = \frac{E[x^2] - (E[x])^2}{(E[x])^2} = \frac{E[X^2]}{(E[X])^2} - 1 = \frac{(2\beta_1/\mu_1^2) + (2\beta_2/\mu_2^2)}{(\beta_1/\mu_1 + \beta_2/\mu_2)^2} - 1 \geq 1$$

Προκύπτει ο C_x^2 (squared coefficient of variation) της υπερεκθετικής είναι μεγαλύτερος του 1.

3.3.6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN

Η τελευταία οικογένεια κατανομών τύπου φάσης είναι η Coxian. Το όνομα της προέρχεται από τον Βρετανό μαθηματικό D. Cox που θεμελίωσε την θεωρία για αυτή την κατανομή. Η Coxian με r φάσεις κατανομή αποτελεί μια γενίκευση της Erlang κατανομής με r φάσεις. Στην Erlang- r μια οντότητα διατρέχει με τη σειρά όλες τις r φάσεις. Στην Coxian- r η οντότητα μπορεί να μεταπηδήσει στην έξοδο (αποροφητική κατάσταση) από οποιαδήποτε από τις $i=1,2,\dots,r$ καταστάσεις.



Εικόνα 13: εξυπηρέτηση σύμφωνα με την Coxian-2

Στην εικόνα 1 παρατηρούμε τη λειτουργία της κατανομής Coxian με 2 φάσεις: Μία οντότητα εισέρχεται πάντοτε στην 1^η φάση που είναι εκθετικά κατανομημένη με μέσο ρυθμό μ_1 . Μετά την ολοκλήρωση της 1^{ης} φάσης με πιθανότητα d_1 , η διαδικασία ολοκληρώνεται (μετάβαση στην έξοδο), ενώ με πιθανότητα $d_2=1-d_1$, η διαδικασία μεταβαίνει στη δεύτερη φάση εξυπηρέτησης που είναι εκθετικά κατανομημένη με μέσο ρυθμό μ_2 και στη συνέχεια στην έξοδο.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

Η 1^η φάση της κατανομής Coxian-2 εκτελείται πάντοτε. Μέση τιμή χρόνου παραμονής στην 1^η φάση: $E[T_1] = 1/\mu_1$.

Η 2^η φάση της κατανομής Coxian εκτελείται με πιθανότητα d_2 . Μέση τιμή χρόνου παραμονής στην 2^η φάση: $E[T_2]=1/\mu_2$.

$$\text{Coxian-2: } T = \begin{cases} T_1 & \text{with probability } d_1 \\ T_1 + T_2 & \text{with probability } d_2 \end{cases}$$

Αθροιστική Συνάρτηση της κατανομής Coxian-2 με 2 φάσεις:

$$F(x) = 1 - e^{-\mu_1 x} - \frac{\mu_1 d_2}{\mu_2 - \mu_1} (e^{-\mu_1 x} - e^{-\mu_2 x})$$

Συνάρτηση πυκνότητας της κατανομής Coxian-2 με 2 φάσεις:

$$f(x) = (1-d_2)\mu_1 e^{-\mu_1 x} + d_2 \frac{\mu_1 d_2}{\mu_2 - \mu_1} (e^{-\mu_1 x} - e^{-\mu_2 x}) \quad (\mu_1 \neq \mu_2)$$

Συντελεστής μεταβλητότητας της κατανομής Coxian-2 με 2 φάσεις:

$$C_v = \frac{\mu_2^2 + d_2 \cdot \mu_1^2 (2 - d_2)}{(\mu_2 + d_2 \cdot \mu_1)^2}$$

Βασικά χαρακτηριστικά Coxian-2:

1. Σχέση της Coxian με άλλες οικογένειες κατανομών τύπου φάσης: Η Coxian- r κατανομή τύπου φάσης είναι υπό πιθανότητες γραμμικός συνδυασμός εκθετικών κατανομών.
2. Η σχέση της Coxian με τα εφοδιαστικά ουρών: Λόγω του υπό πιθανότητες γραμμικού συνδυασμού εκθετικών εξυπηρετήσεων, η κατανομή τύπου φάσης Coxian- r είναι ιδανική για την περιγραφή διαδικασιών με πολλές ενδεχόμενες καταστάσεις που έχουν διαφορετικές πιθανότητες εμφάνισης.
3. Ο Συντελεστής μεταβλητότητας της κατανομής Coxian-2 παίρνει τιμές στο διάστημα $[1/2, +\infty)$. Ειδικά όταν οι φάσεις αυξάνονται ο συντελεστής μεταβλητότητας της κατανομής Coxian- r παίρνει τιμές στο διάστημα $[1/r, +\infty)$
4. Η ευλειτουργία του συντελεστή μεταβλητότητας της Coxian- r επιτρέπει τον μετασχηματισμό μιας οποιασδήποτε κατανομής σε κατανομή Coxian- r , μέσω της προσαρμογής της μέσης τιμής και της διασποράς της κατανομής με την αντίστοιχη μέση τιμή και διασπορά της Coxian- r . Το πλεονέκτημα που προκύπτει είναι ότι η κατανομή Coxian- r διαθέτει τη μαρκοβιανή ιδιότητα.

Τα χαρακτηριστικά 2,3,4 θεωρούνται και τα πλεονεκτήματα χρήσης της Coxian.

Κατάταξη των κατανομών τύπου φάσης ανάλογα με το squared coefficient of variation

$0 < C^2 \leq 0,5$	Erlang κατανομή τύπου φάσης
$0 \leq C^2 < \infty$	Coxian κατανομή τύπου φάσης
$C^2 = 1$	Εκθετική
$C^2 > 1$	Υπερεκθετική

Πίνακας 2: Η ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ

3.4 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 1-3

3.4.1 ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Bearmon, B. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operation and Production Economics* , σσ. 275-292.
2. Bijvank, M., & Vis, I. F. (2011). Lost sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research* , σσ. 1-13.
3. Brandimante, P., & Zotteri, G. (2007). *Introduction to Distribution Logistics*. Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons.
4. Cassandras, C., & Lafortune, S. (2008). *Introduction to Discrete Event Systems*. N.Y.: Springer .
5. Chopra, S., & Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
6. Heragu, S. (2008). *Facilities Design 3rd Edition*. Philadelphia: Taylor and Francis.
7. Latouche, G., & Ramaswami, V. (1999). *Introduction to Matrix Analytic Methods in Stochastic Modeling* . Philadelphia: ASA-SIAM University City Science Center.
8. Marquez, A. C. (2010). *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*. London: Springer Verlag London.
9. Neubauer, R. (2010). *Business Models in Logistics Area*.
10. Persson, E., & Olhanger, J. (2002). Performance Simulation of supply chain designs. *International Journal of Production Economics* , σσ. 231-245.
11. Schutt, J. (2004). *Directing the flow. A guide to improving supply chain planning*. Boca Raton: Ross Publishing.
12. Taylor, D. (2006). *Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας*. ΑΘΗΝΑ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.
13. Βιδάλης, Μ. (2009). *Εφοδιαστική (Logistics) Μια ποσοτική προσέγγιση* . ΑΘΗΝΑ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ .
14. Βιδάλης, Μ. (2009). *Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα ανάλυση βιομηχανικών συστημάτων* . Χίος .
15. Δάρας, Τ., & Σύψας, Π. (2003). *Στοχαστικές Ανελίξεις : Θεωρία & Πράξη*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
16. Ιωάννου, Γ. (2005). *Διοίκηση Παραγωγής & Υπηρεσιών*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ 2 ΣΤΟΙΒΑΔΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πρώτο μέρος του κεφαλαίου μας αναλύουμε ένα σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο με δύο μέλη-στοιβάδες, παραγωγό και λιανοπωλητή. Αρχικά περιγράφουμε το σύστημα και κάνουμε μια βιβλιογραφική επισκόπηση. Ακολούθως διαμορφώνουμε το υπόδειγμα, παρουσιάζουμε τα αριθμητικά αποτελέσματα και το τεκμηριώνουμε μέσω προσομοίωσης. Στη συνέχεια δίνουμε κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα. Τέλος, στο παράρτημα παρατίθενται οι εντολές του ψευδοκώδικα MATLAB καθώς και το προσομοιωτικό υπόδειγμα του προγράμματος ARENA.

4.1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η σύγχρονη επιχειρησιακή πραγματικότητα απαιτεί τη λήψη αποφάσεων σε περιβάλλοντα με υψηλή συνθετότητα και αβεβαιότητα. Τα ποσοτικά υποδείγματα προσφέρουν πολύτιμη συνδρομή σε αυτή την προσπάθεια. Το ποσοτικό υπόδειγμα που θα εξετάσουμε αφορά ένα σύστημα με τα εξής χαρακτηριστικά:

Μέλη του συστήματος

Το σύστημα περιλαμβάνει έναν λιανοπωλητή (retailer) ο οποίος αντιμετωπίζει τυχαία και ανεξάρτητη ζήτηση. Ο λιανοπωλητής ακολουθεί συνεχή πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων τύπου (s,S) , όπου s το απόθεμα ασφάλειας, δηλαδή το επίπεδο αποθέματος που έχει καθοριστεί από τους διαχειριστές του συστήματος ως σημείο τοποθέτησης παραγγελιών για την κάλυψη της ζήτησης, που θα εκδηλωθεί κατά τον χρόνο εκτέλεσης παραγγελίας και χρόνο ολοκλήρωσης της παραγγελίας (leadtime), και όπου S : το μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του λιανοπωλητή.

Η ποσότητα παραγγελίας (q) είναι η διαφορά των παραπάνω μεγεθών: $q = S - s$.

Το σύστημα περιλαμβάνει και έναν παραγωγό (manufacturer), ο οποίος έχει τη δυνατότητα να παρέχει οποιαδήποτε ποσότητα παραγγελίας ζητηθεί (neverstarved).

Δίαυλοι Μεταφοράς

Η λειτουργία των διαύλων μεταφοράς χαρακτηρίζεται από υψηλή μεταβλητότητα του χρόνου διεκπεραίωσης παραγγελιών. Για την ποσοτικοποίηση του βασικού αυτού χαρακτηριστικού εφαρμόζουμε στη μελέτη των χρόνων αναπλήρωσης την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2, που επιλέχθηκε διότι είναι η μόνη που μπορεί να αναλύσει την κατανομή διεκπεραίωσης προερχόμενη από υψηλή μεταβλητότητα.

Υπάρχουν δύο ποσοστά παραγγελιών: στο πρώτο (d_1) ανήκουν οι παραγγελίες που ολοκληρώνονται με έναν εκθετικά κατανομημένο μέσο ρυθμό μ_1 , ενώ στο δεύτερο ($d_2=1-d_1$) όσες ολοκληρώνονται με έναν εκθετικά κατανομημένο μέσο χρονορυθμό μ_2 . Ισχύει $\mu_1 \neq \mu_2$. Η πρακτική διάσταση της περιγραφής της Coxian αναφέρεται στο ότι ένα ποσοστό παραγγελιών ολοκληρώνεται με ένα ταχύ ρυθμό μ_1 (με συνήθη ρυθμό) και ένα δεύτερο ποσοστό παραγγελιών ολοκληρώνεται με έναν αργό ρυθμό μ_2 (με αργό ρυθμό). Εύλογα προκύπτει το ερώτημα των αιτιών της μεταβλητότητας. Η μεταβλητότητα πηγάζει από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Οι εξωγενείς παράγοντες είναι παράγοντες που επηρεάζουν τους διαύλους μεταφοράς του εφοδιαστικού συστήματος και που δεν μπορούν να ελεγχθούν από τους διαχειριστές του (δυσμενείς καιρικές συνθήκες, βλάβες λειτουργίας των μεταφορικών μέσων, απρόοπτες διακοπές λειτουργίας των μεταφορικών και εφοδιαστικών υποδομών). Η διαδικασία αναπλήρωσης, ωστόσο, ολοκληρώνεται μέσω της εκτέλεσης εναλλακτικών και εφεδρικών σχεδίων (Plans B). Οι ενδογενείς παράγοντες είναι χαρακτηριστικά λειτουργίας των εφοδιαστικών συστημάτων (π.χ. λειτουργία της αποθήκης με παραδοσιακή αποθήκευση αλλά και με διαμεταφορά ταυτόχρονα).

4.2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Έρευνα στη βιβλιογραφία σχετική με υποδείγματα αποθεμάτων πολλών στοιβάδων, Poissonζήτηση και υπόθεση «χαμένων πωλήσεων» (lost sales assumptions) ανέδειξε τα εξής:

- 1) Οι Anderson & Melchior (2001) εξετάζουν ένα υπόδειγμα δύο στοιβάδων με χαμένες πωλήσεις και μία παραγγελία σε εκκρεμότητα. Η κατωφερής στοιβάδα-λιανοπωλητής ακολουθεί base stock πολιτική αποθεμάτων ($S-1,S$), ενώ ο χρόνος αναπλήρωσης είναι σταθερός.
- 2) Σε εργασίες του Axsater (1993), (1996), (1997) γίνονται υπολογισμοί για το κόστος διατήρησης αποθεμάτων και το κόστος έλλειψης για υποδείγματα δύο στοιβάδων, όπου η ζήτηση έχει κατανομή Poisson. Τα μέλη ακολουθούν περιοδική πολιτική αναπλήρωσης, χωρίς την υπόθεση των χαμένων πωλήσεων και με σταθερό χρόνο παραγγελίας.
- 3) Ο Zirkin (2000) υπολογίζει τα μέτρα απόδοσης υποδειγμάτων με χαμένες πωλήσεις, με (s,S) πολιτική αποθεμάτων στην περίπτωση $2s > S$.
- 4) Ο Boute (2007) εξετάζει σειριακό υπόδειγμα εφοδιαστικού δικτύου δύο στοιβάδων, όπου κάθε στοιβάδα λειτουργεί με περιοδική πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων, ο λιανοπωλητής λειτουργεί με την υπόθεση των χαμένων πωλήσεων, ενώ η εξωτερική ζήτηση και οι χρόνοι αναπλήρωσης κατανέμονται στοχαστικά.
- 5) Ο Forsberg (1995), Forsberg (1996), παρόμοια με τον Axsater, υπολογίζει κόστος διατήρησης αποθεμάτων και έλλειψης αντίστοιχα σε υποδείγματα με Poissonζήτηση, με συνεχή πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων και σταθερούς χρόνους αναπλήρωσης.

- 6) Οι Johansen και Thortenson (1996) υπολογίζουν βέλτιστες τιμές των $q=S-s$ και s για υποδείγματα με ζήτηση Poisson, με gammaκατανομή χρόνου ολοκλήρωσης παραγγελιών, χωρίς την υπόθεση χαμένων πωλήσεων. Επεκτείνουν το μοντέλο τους ελαχιστοποιώντας τα αναμενόμενα κόστη για άπειρο χρονικό ορίζοντα.
- 7) Σημαντική είναι η συμβολή του Hill (1992), Hill (1994), Hill (1997), Hill (1999), Hill (2006), Hill (2007) στη βιβλιογραφία των υποδειγμάτων αποθεμάτων. Με την πρώτη του μελέτη υπολογίζει στάσιμες πιθανότητες υποδείγματος με Poissonζήτηση, σταθερό χρόνο ολοκλήρωσης παραγγελιών στο βασικό του υπόδειγμα και Erlang χρόνο διεκπεραίωσης παραγγελιών. Η αναζήτηση του Hillσυνεχίζεται με ένα σύστημα παραγγελιών όπου οι ροές γίνονται σε παρτίδες και οι καταναλώσεις με σταθερό ρυθμό. Στόχος του υποδείγματος είναι η ελαχιστοποίηση του μέσου συνολικού ανά μονάδα χρόνου α) κόστους προετοιμασίας β) ροής αποθέματος και γ) διατήρησης αποθέματος. Επίσης στην μελέτη του 1999 ο Hillαποδεικνύει την ύπαρξη μη βέλτιστων λύσεων για εφοδιαστικά συστήματα με Poissonζήτηση, σταθερούς χρόνους αναπλήρωσης και basestockπολιτική αποθεμάτων. Από κοινού με τον Johansen εξετάζει την συμπεριφορά των βέλτιστων πολιτικών αποθεμάτων για υποδείγματα με χαμένες πωλήσεις σταθερού χρόνου αναπλήρωσης και μία τουλάχιστον εκκρεμούσα παραγγελία. Η ζήτηση είναι διακριτή, με σύνθετη κατανομή Poisson. Στην επέκταση του 2007 αποδεικνύει το υποβέλτιστο της basestockπολιτικής αποθεμάτων για υποδείγματα με χαμένες πωλήσεις, Poissonζήτηση, σταθερό χρόνο αναπλήρωσης χωρίς σταθερό κόστος παραγγελίας
- 8) Ιδιαίτερα σημαντική είναι η εργασία των Lee&Hong (2003), οι οποίοι αναλύουν ένα стоχαστικό υπόδειγμα παραγωγής τύπου (s,S) με πολλά είδη ζήτησης και χαμένες πωλήσεις. Τα διάφορα είδη ζήτησης έχουν κατανομή Poisson και ο χρόνος αναπλήρωσης κατανομή Coxian-2. Μοντελοποιούν το εφοδιαστικό σύστημα ως μια μαρκοβιανή διαδικασία συνεχούς χρόνου και προτείνουν έναν αλγόριθμο υπολογισμού διανύσματος στάσιμων πιθανοτήτων.

4.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

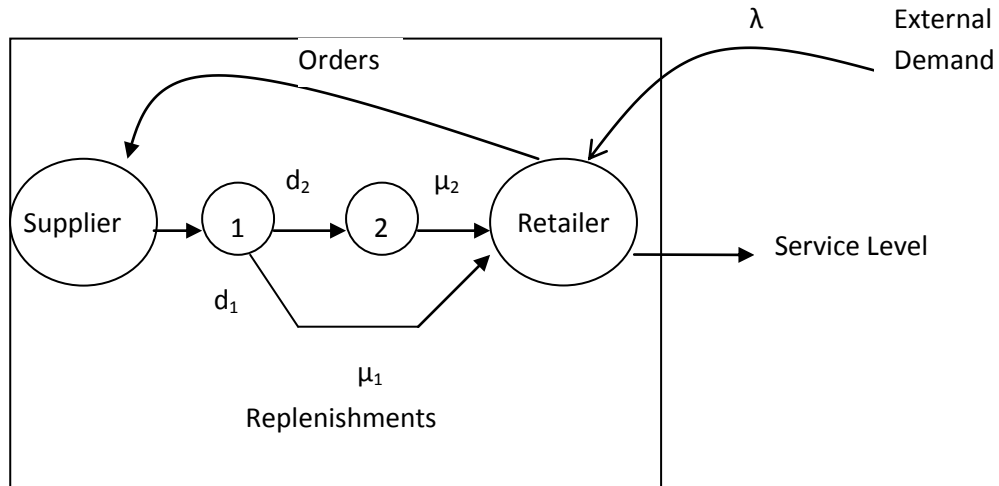
4.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το σύστημα περιλαμβάνει τα εξής συστατικά μέρη:

Παραγωγός με απεριόριστη χωρητικότητα (neverstarved)

Λιανοπωλητής: αντιμετωπίζει τυχαία ζήτηση με κατανομή Poisson, με μέσο λ . Έχει θέσει σημείο αναπαραγγελίας-απόθεμα ασφαλείας (s) και ποσότητα παραγγελίας $q=S-s$ όπου Στο μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στη μονάδα του λιανοπωλητή. Αν η εκδήλωση της ζήτησης δεν μπορεί να καλυφθεί από το απόθεμα, η ζήτηση δεν επανακάμπει (υπόθεση χαμένων πωλήσεων).

Δίαυλος Μεταφοράς: υπάρχει πάντα μία το πολύ εκκρεμούσα παραγγελία (ONEOUTSTANDINGORDER) . Ο χρόνος διεκπεραίωσης παραγγελίας ή ο χρόνος παραμονής μιας παραγγελίας στον δίαυλο μεταφοράς κατανέμεται σύμφωνα με την Coxian-2 κατανομή τύπου φάσης με d_1 ποσοστό παραγγελιών να ολοκληρώνεται με μέσο ρυθμό μ_1 και d_2 ποσοστό παραγγελιών να ολοκληρώνεται με μέσο ρυθμό μ_2 . Διαγραμματικά :



Εικόνα 14:ΤΟ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΥΟ ΣΤΟΙΒΑΔΩΝ

4.3.2. ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ο χώρος καταστάσεων αποτελείται από ζεύγη τιμών αποθέματος φάσης (I, p) . Πρόκειται για μαρκοβιανή διαδικασία διακριτών καταστάσεων. Οι διάφορες καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σύστημα περιγράφονται από τις παρακάτω μεταβάσεις:

Εκδήλωση ζήτησης σε χρόνο t : Το απόθεμα του λιανοπωλητή μεταβαίνει από I_t σε $I_t - 1$ ενώ η πιθανότητα ύπαρξης ενός μόνο πελάτη σε απειροελάχιστο χρονικό διάστημα Δt είναι $\lambda \Delta t$.

Αναπλήρωση αποθέματος σε μία φάση ολοκλήρωσης: Η ολοκλήρωση της αναπλήρωσης αυξάνει το επίπεδο αποθέματος κατά q . Η πιθανότητα ολοκλήρωσης με μία φάση (ομαλός ρυθμός αναπλήρωσης) σε απειροελάχιστο χρονικό διάστημα Δt είναι $d_1 \mu_1 \Delta t$.

Μη αναπλήρωση αποθέματος: Έχει ως αποτέλεσμα τη μη αύξηση του επιπέδου αποθέματος με την πιθανότητα εμφάνισης να είναι $d_2 \mu_1 \Delta t$.

Αναπλήρωση αποθέματος σε δύο φάσεις: Αυξάνει το επίπεδο αποθέματος κατά μία (1) μονάδα ενώ η πιθανότητα ολοκλήρωσης με δύο φάσεις (μη ομαλός ρυθμός αναπλήρωσης) σε απειροελάχιστο χρονικό διάστημα Δt είναι $\mu_2 \Delta t$.

Ο συνολικός αριθμός καταστάσεων για τις τιμές των s, S δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S^{(s,s)}=2(s+1) +S-s = S+s+2$$

Για $s=2$, $S=5$ έχουμε σύνολο καταστάσεων 9. Οι καταστάσεις φαίνονται αναλυτικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Inventory level I_t	Phase 1	Phase 2
0	01	02
1	11	12
2	21	22
3	3	
4	4	
5	5	

Πίνακας 3: Ο ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ (5,2)

4.3.3 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ

Η δομή του πίνακα μεταπήδησης επηρεάζεται από την πολιτική αναπλήρωσης του λιανοπωλητή, δηλαδή τα s , S . Ο πίνακας μεταπήδησης χαρακτηρίζεται ως τριγωνικός και αποτελείται από τρία είδη υποπίνακων:

- Τους D, που περιλαμβάνουν την κύρια διαγώνιο
- Τους K, που περιλαμβάνουν την κάτω διαγώνιο
- Τους A, που περιλαμβάνουν την άνω διαγώνιο

Η τριγωνική δομή του υποπίνακα οφείλεται στη συμπεριφορά του συστήματος, που περιγράφεται από τη διαδικασία «γέννησης-θανάτου». Συγκεκριμένα, η γέννηση αντιπροσωπεύει την αναπλήρωση του αποθέματος, που αυξάνει το απόθεμα κατά a , ενώ ο θάνατος αντιπροσωπεύει την εκδήλωση ζήτησης, που μειώνει το απόθεμα κατά μία μονάδα. Επίσης, οι υποπίνακες D αντιπροσωπεύουν τις πιθανότητες το σύστημα να είναι στάσιμο, οι υποπίνακες K τις πιθανότητες εκδήλωσης ζήτησης και οι υποπίνακες A τις πιθανότητες της ολοκλήρωσης της διαδικασίας αναπλήρωσης.

Οι υποπίνακες Δ,Α,Κέχουν τα παρακάτω πλήθη και διαστάσεις:

- Δ: s πίνακες διαστάσεων 2×2 και ένας πίνακας διαστάσεων $a \times a$
- Α: s πίνακες διαστάσεων 2×1
- Κ: s πίνακες διαστάσεων 2×2 και ένας πίνακας διαστάσεων 1×1

Τα βήματα του αλγόριθμου υπολογισμού του πίνακα μεταπήδησης παρουσιάζονται παρακάτω:

ΒΗΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Step 1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ.

Step 2: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ:

Step 2.1: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΑ D_0 (Rule 0).

Step 2.2: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ D_1, D_2, \dots, D_s (Rule 1).

Step 2.3: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ D_{s+1} (Rule 2).

Step 2.4: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ K_1, K_2, \dots, K_s (Rule 3).

Step 2.5: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ A_0, A_1, \dots, A_s (Rule 4).

Step 3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ π ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (Rule 5).

4.3.4 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Το σύστημα εξισώσεων μπορεί να διαχωριστεί σε δύο τάξεις: Στην πρώτη τάξη ανήκουν καταστάσεις στις οποίες η παραγγελία είναι σε εκκρεμότητα, δηλαδή $l \leq s$. Στη δεύτερη τάξη ανήκουν καταστάσεις όπου δεν υπάρχει παραγγελία σε εκκρεμότητα, δηλαδή $l > s$.

Οι εξισώσεις επηρεάζονται από τη σχέση της ποσότητας παραγγελίας (q) και του σημείου αναπαραγγελίας (s). Με $q > s$ ή $S > 2s$ η αφικνούμενη παραγγελία αυξάνει το απόθεμα σε επίπεδο πάνω από το s , με την κατάσταση να μετακινείται από την πρώτη στη δεύτερη τάξη εξισώσεων, ενώ με $q \leq s$ η αφικνούμενη ποσότητα παραγγελίας αυξάνει το απόθεμα σε επίπεδο μικρότερο ή ίσο του σημείου αναπαραγγελίας.

Με $\pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s, \pi_{s+1}, \dots, \pi_S]$: διάνυσμα στάσιμων πιθανοτήτων, οι εξισώσεις του συστήματος για την περίπτωση $S > 2s$ για υπόδειγμα (5,2) είναι οι εξής:

	State	Transition equation	Number of equation
1 st	01	$-\mu_1\pi_{01} + \lambda\pi_{11} = 0$	(1)
	02	$d_2\mu_1\pi_{01} - \mu_2\pi_{02} + \lambda\pi_{12} = 0$	(2)
C	11	$-(\lambda + \mu_1)\pi_{11} + \lambda\pi_{21} = 0$	(3)
L	12	$d_2\mu_1\pi_{11} - (\lambda + \mu_2)\pi_{12} + \lambda\pi_{22} = 0$	(4)
A	21	$-(\lambda + \mu_1)\pi_{21} + \lambda\pi_{31} = 0$	(5)

S	22	$d_2\mu_1\pi_{21}-(\lambda+\mu_2)\pi_{22}+\lambda\pi_{32}=0$	(6)
S
	s1	$-(\lambda+\mu_1)\pi_{s1}+\lambda\pi_{s+1}=0$	(2s+1)
	s2	$d_2\mu_1\pi_{s1}-(\lambda+\mu_2)\pi_{s2}=0$	$2s+2=2(s+1)$
2 nd	s+1	$d_1\mu_1\pi_{01}+\mu_2\pi_{02}-\lambda\pi_{s+1}+\lambda\pi_{s+2}=0$	$(2(s+1)+1)$
	s+2	$d_1\mu_1\pi_{11}+\mu_2\pi_{12}-\lambda\pi_{s+2}+\lambda\pi_{s+3}=0$	$2(s+2)$
C
L	q	$d_1\mu_1\pi_{11}+\mu_2\pi_{12}-\lambda\pi_q+\lambda\pi_{q+1}=0$	$(2(s+1)+q)$
A	q+1	$d_1\mu_1\pi_{11}+\mu_2\pi_{12}-\lambda\pi_{q+1}+\lambda\pi_{q+2}=0$	$(2(s+1)+q+1)$
S	q+2	$d_1\mu_1\pi_{11}+\mu_2\pi_{12}-\lambda\pi_{q+2}+\lambda\pi_{q+3}=0$	$(2(s+1)+q+2)$
S
	q+s-1=S-1	$d_1\mu_1\pi_{s-1,1}+\mu_2\pi_{s-1,2}-\lambda\pi_{s-1}+\lambda\pi_s=0$	$(2(s+1)+S-s-1)$
	q+s=S	$d_1\mu_1\pi_{s1}+\mu_2\pi_{s2}-\lambda\pi_s=0$	$(2(s+1)+S-s)$

Πίνακας 3: ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ (5,2)

Η εξίσωση $\pi_{XQ}=0$ μας δίνει το γραμμικό σύστημα εξισώσεων για το υπόδειγμα (5,2), όπως φαίνεται παρακάτω:

$$-\mu_1 \cdot \pi_{01} + \lambda \cdot \pi_{11} = 0(1)$$

$$d_2 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{01} - \mu_2 \cdot \pi_{02} + \lambda \cdot \pi_{12} = 0(2)$$

$$-(\lambda + \mu_1) \cdot \pi_{11} + \lambda \cdot \pi_{21} = 0(3)$$

$$d_2 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{11} - (\lambda + \mu_2) \cdot \pi_{12} + \lambda \cdot \pi_{22} = 0(4)$$

$$-(\lambda + \mu_1) \cdot \pi_{21} + \lambda \cdot \pi_{31} = 0(5)$$

$$d_2 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{21} - (\lambda + \mu_2) \cdot \pi_{22} = 0(6)$$

$$d_1 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{01} + \mu_2 \cdot \pi_{02} - \lambda \cdot \pi_3 + \lambda \cdot \pi_4 = 0(7)$$

$$d_1 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{11} + \mu_2 \cdot \pi_{12} - \lambda \cdot \pi_4 + \lambda \cdot \pi_5 = 0(8)$$

$$d_1 \cdot \mu_1 \cdot \pi_{21} + \mu_2 \cdot \pi_{22} - \lambda \cdot \pi_5 = 0(9)$$

$$\pi_{01} + \pi_{02} + \pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{21} + \pi_{22} + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 = 0(10)$$

Το διάνυσμα στάσιμων πιθανοτήτων του συστήματος, αν:

$S=5, s=2, \mu_1=\mu_2=\lambda=1, d_1=0.7, d_2=0.3$, παρουσιάζεται παρακάτω:

Πιθανότητες	π_{01}	π_{02}	π_{11}	π_{12}	π_{21}	π_{22}	π_3	π_4	π_5
Τιμή	0.073	0.0441	0.0735	0.0220	0.147	0.0220	0.2941	0.1985	0.12
	53	2	3	6	1	6	2	3	5

Πίνακας 5:ΟΙ ΣΤΑΣΙΜΕΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

4.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Τα σημαντικότερα μέτρα απόδοσης είναι το μέσο απόθεμα WIP (work in process), ο μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα (flow time), ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης (fill rate) και ο μέσος ρυθμός εξόδου από το σύστημα (throughput).

WIP: Υπολογίζεται ως το εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων:

$$WIP_{\text{retailer}} = v \cdot \pi$$

όπου v διάνυσμα που δηλώνει είτε τον αριθμό των μονάδων σε κάθε φάση ή τον αριθμό των μονάδων όταν το απόθεμα είναι μεγαλύτερο του s , και π το διάνυσμα των στάσιμων πιθανοτήτων.

Ο τύπος για το WIP του λιανοπωλητή για Coxian -2 είναι ο εξής:

$$WIP_{\text{retailer}} = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^2 i \cdot \pi_{ij} + \sum_{i=s+1}^S i \cdot \pi_i$$

Ο τύπος για το απόθεμα σε μεταφορά (WIP_{in transit}) είναι:

$$WIP_{\text{in transit}} = q \cdot \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^k \pi_{ij}$$

$$\text{Ενώσιχύει: } WIP_{\text{system}} = WIP_{\text{retailer}} + WIP_{\text{in transit}}$$

Βαθμός κάλυψης ζήτησης ονομάζεται το ποσοστό της ζήτησης που ικανοποιείται από τον λιανοπωλητή, δηλαδή το ποσοστό των περιπτώσεων στις οποίες υπάρχει διαθέσιμο απόθεμα όταν εκδηλώνεται σταθερή ζήτηση. Υπολογίζεται ως εξής:

$$FR = 1 - \sum_{j=0}^k \pi_{0j}$$

Συγγενική με τον βαθμό κάλυψης τη ζήτησης είναι η μέση έλλειψη (average stockout), η οποία προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Average Stock Out} = \lambda \cdot (1 - \text{FR}) = \lambda \cdot \sum_{j=0}^k \pi_{0j}$$

Ο μέσος ρυθμός εξόδου από το σύστημα προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Throughput} = \lambda \cdot \text{Fill_Rate}$$

Τέλος, ο μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι ίσος με:

$$\text{Cycle_Time} = \frac{\text{Average_Inventory}}{\text{Mean_Output_Rate}}$$

4.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

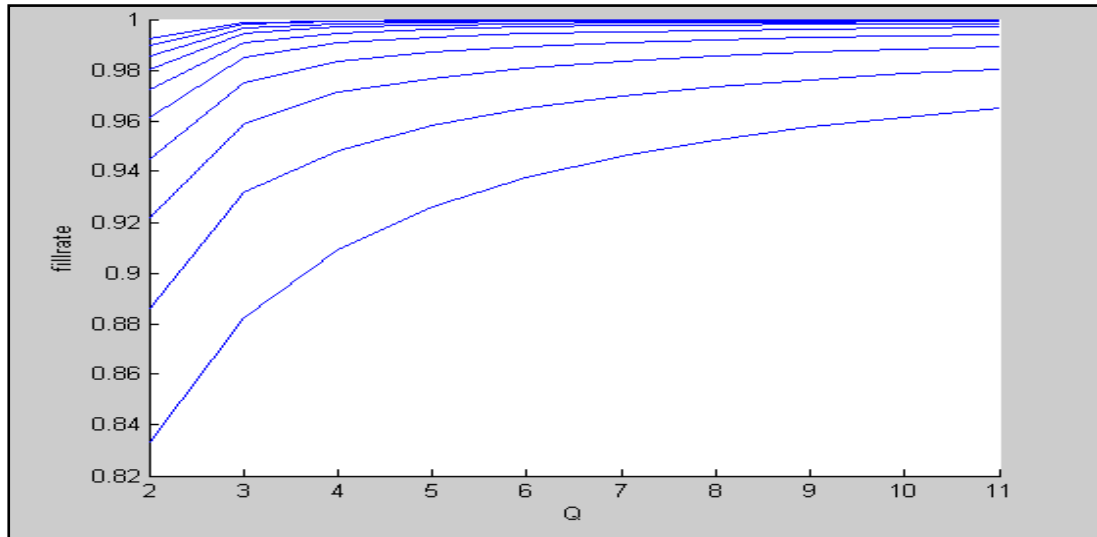
Στην ενότητα αυτή πραγματοποιούμε πειράματα για να εξετάσουμε την επίδραση των ελεγχόμενων μεταβλητών στα λειτουργικά μέτρα απόδοσης.

4.4.1 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ (s, S) ΣΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΚΑΛΥΨΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ

Εξετάζουμε την επίδραση του Q στο μέσο απόθεμα και στον βαθμό κάλυψης της ζήτησης (fill rate). Αν $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$, $d_1 = 0.7$, έχουμε μέσο χρόνο αναπλήρωσης = 1,3 και διακύμανση χρόνου αναπλήρωσης = 1,51, ενώ ο μέσος χρόνος μεταξύ δύο αφίξεων είναι ίσος με $1/1=1$. Τα αριθμητικά δεδομένα για το μέσο απόθεμα, τον βαθμό κάλυψης της ζήτησης και τον μέσο χρόνο ζωής για διάφορες τιμές των (s,S) δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

s\Q	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0.8333	0.8824	0.9091	0.9259	0.9375	0.9459	0.9524	0.9574	0.9615	0.9649
3	0.8861	0.9320	0.9481	0.9581	0.9648	0.9697	0.9734	0.9763	0.9786	0.9805
4	0.9219	0.9586	0.9712	0.9768	0.9806	0.9833	0.9854	0.9870	0.9883	0.9893
5	0.9451	0.9749	0.9835	0.9873	0.9894	0.9909	0.9921	0.9929	0.9936	0.9942
6	0.9612	0.9849	0.9906	0.9930	0.9943	0.9951	0.9957	0.9962	0.9966	0.9969
7	0.9723	0.9908	0.9947	0.9961	0.9969	0.9974	0.9977	0.9980	0.9982	0.9983
8	0.9802	0.9944	0.9970	0.9979	0.9983	0.9986	0.9988	0.9989	0.9990	0.9991
9	0.9857	0.9966	0.9983	0.9988	0.9991	0.9992	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995
10	0.9897	0.9980	0.9990	0.9994	0.9995	0.9996	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
11	0.9926	0.9988	0.9995	0.9997	0.9997	0.9998	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999

Πίνακας 6: ΟΙ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ FILLRATE ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ (S,s)



Εικόνα 15: ΤΟ FILLRATEΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ Q= S-s

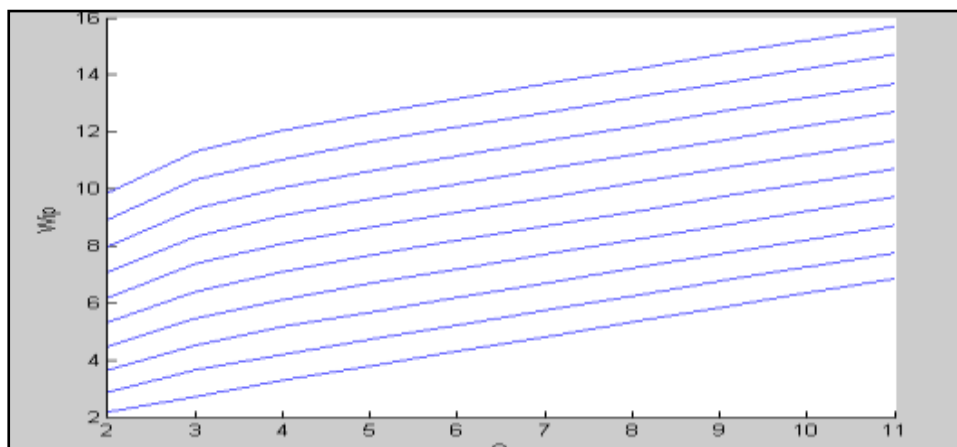
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι: όσο το αυξάνεται το Q, αυξάνεται ο βαθμός κάλυψης ζήτησης με φθίνοντα ρυθμό. Το Q μπορεί να μεταβληθεί με δύο τρόπους: είτε αυξάνοντας το σημείο μέγιστου αποθέματος S_{me} το s να παραμένει σταθερό, είτε αυξάνοντας ταυτόχρονα τα S, s . Η αύξηση του s αυξάνει τον βαθμό κάλυψης ζήτησης.

4.4.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ (s, S) ΣΤΟ WIP

Υποθέτοντας ότι $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$, $d_1 = 0.7$, παίρνουμε το WIP για διάφορες τιμές των (s,S), όπως φαίνεται στον πίνακα και το διάγραμμα παρακάτω:

s/Q	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	2.1667	2.7353	3.2727	3.7963	4.3125	4.8243	5.3333	5.8404	6.3462	6.8509
3	2.8757	3.6524	4.1896	4.7126	5.2281	5.7394	6.2479	6.7546	7.2599	7.7643
4	3.6653	4.5252	5.1654	5.6838	6.1961	6.7050	7.2117	7.7169	8.2211	8.7246
5	4.4742	5.4525	6.1073	6.6785	7.1873	7.6937	8.1984	8.7021	9.2051	9.7075
6	5.3226	6.4052	7.0781	7.6508	8.1875	8.6917	9.1949	9.6973	10.1993	10.7009
7	6.1955	7.3672	8.0624	8.6378	9.1739	9.6929	10.1950	10.6965	11.1978	11.6988
8	7.0932	8.3431	9.0525	9.6316	10.1677	10.6862	11.1961	11.6971	12.1979	12.6985
9	8.0102	9.3270	10.0449	10.6282	11.1649	11.6831	12.1927	12.6979	13.1983	13.6987
10	8.9439	10.3158	11.0407	11.6262	12.1636	12.6818	13.1911	13.6961	14.1989	14.6991
11	9.8911	11.3086	12.0382	12.6245	13.1629	13.6812	14.1904	14.6953	15.1980	15.6994

Πίνακας 7: ΤΟ WIP ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ (s,s)



Εικόνα 16: ΤΟ WIP ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ Q= S-s

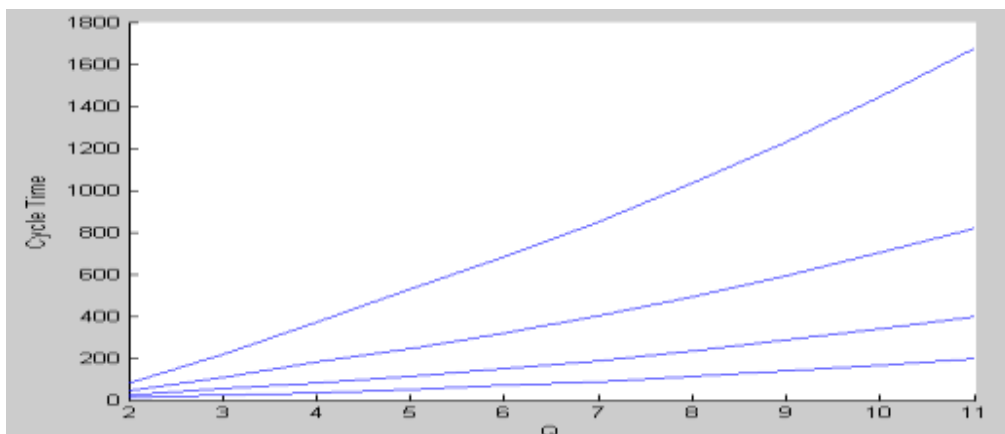
Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι:όταν αυξάνεται η παραγγελόμενη ποσότητα, αυξάνεται και το μέσο απόθεμα με σχεδόν γραμμικό ρυθμό. Η ταυτόχρονη αύξηση των s, μετατοπίζει την καμπύλη του μέσου αποθέματος προς τα πάνω.

4.4.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ (s,S) ΣΤΟΝ ΜΕΣΟ ΧΡΟΝΟ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Υποθέτοντας ότι $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$, $d_1 = 0.7$, παίρνουμε τιμές για τον μέσο χρόνο παραμονής στο σύστημα για τις διάφορες τιμές των s, Σόπως φαίνονται στον πίνακα και το διάγραμμα παρακάτω:

s/Q	Multiply values by 100									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	0.0130	0.0232	0.0360	0.0512	0.0690	0.0892	0.1120	0.1373	0.1650	0.1953
3	0.0252	0.0537	0.0808	0.1124	0.1486	0.1894	0.2347	0.2847	0.3391	0.3982
4	0.0469	0.1092	0.1792	0.2450	0.3193	0.4019	0.4931	0.5926	0.7005	0.8169
5	0.0816	0.2176	0.3697	0.5279	0.6803	0.8484	1.0320	1.2312	1.4461	1.6766

Πίνακας 8: ΤΟ CYCLETIME ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ(S,s)



Εικόνα 17: ΤΟ CYCLETIME ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ Q= S-s

Στο διάγραμμα βλέπουμε ότι:όταν αυξάνεται η παραγγελόμενη ποσότητα (Q) αυξάνεται και ο μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα, συμπεριφορά που υπακούει απόλυτα από τον νόμο του Little.

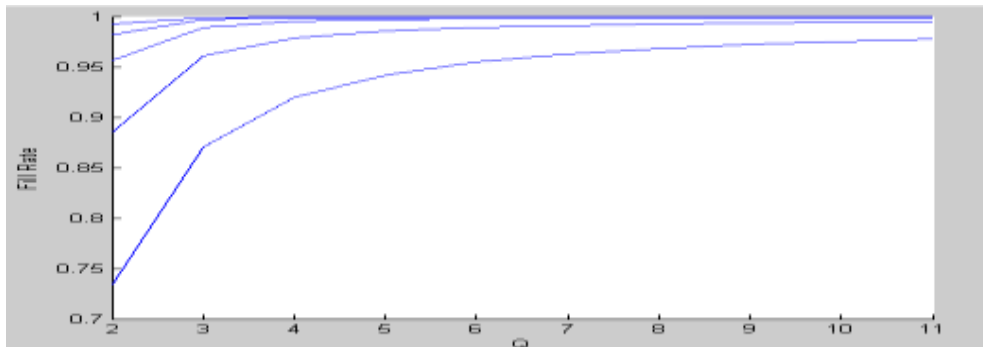
4.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Μεταβάλλοντας τις τιμές των μ_1 , μ_2 , d_1 παρατηρούμε ότι τα παραπάνω συμπεράσματα παραμένουν σταθερά, ενώ μεταβάλλοντας την τιμή του μ_2 παίρνουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

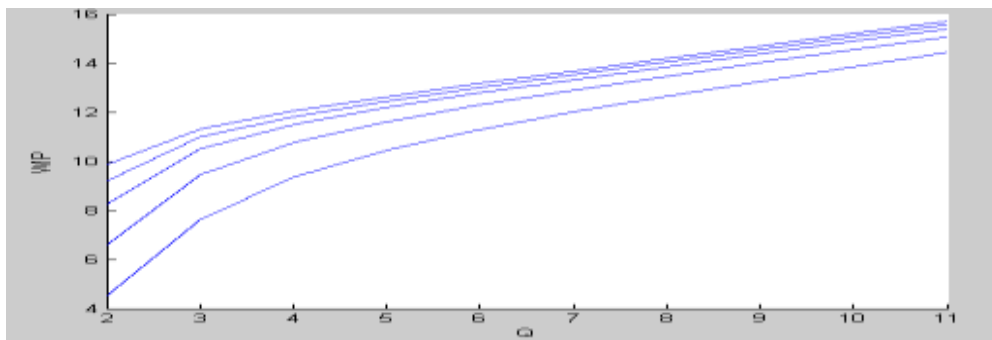
- Όσο αυξάνεται ο ρυθμός αναπλήρωσης μ_2 , ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης αυξάνεται με φθίνοντα ρυθμό.

- Για την επίτευξη ικανοποιητικού βαθμού κάλυψης της ζήτησης (πάνω από 90%) συνίσταται η αποστολή μεγάλου όγκου παραγγελιών σε αραιά χρονικά διαστήματα. Ωστόσο, η πολιτική αυτή έχει αρνητική επίδραση στο μέσο απόθεμα, το οποίο αυξάνεται.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στα διαγράμματα, για $\lambda = \mu_1 = \mu_2 = 1$, $d_1 = 0.7$.



Εικόνα 18: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ Q ΜΕ ΤΟ FILLRATE



Εικόνα 19: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ – Η ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ WIP

4.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΗΝ ΚΕΡΔΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα διερευνούμε την οικονομική απόδοση του συστήματος. Συγκεκριμένα, ορίζουμε μια συνάρτηση κέρδους η οποία λαμβάνει υπ' όψιν της τις παραμέτρους του μακροχρόνιου μέσου εσόδου, του μακροχρόνιου μέσου κόστους χαμένων πωλήσεων και του μακροχρόνιου μέσου κόστους διατήρησης αποθέματος, με το κέρδος να δίνεται από την εξίσωση:

$$\text{AverageProfit} = \text{Μέσο Έσοδο} - \text{Μέσο Κόστος Χαμένων Πωλήσεων} - \text{Μέσο κόστος διατήρησης αποθεμάτων} = \lambda * \text{FillRate} * C_p - (1 - \text{FillRate}) * \lambda C_s - \text{WIP} * C_h$$

Οι εξισώσεις για το μέσο έσοδο, μέσο κόστος χαμένων πωλήσεων, μέσο κόστος διατήρησης αποθεμάτων είναι οι εξής:

$$\text{AverageRevenue} = \lambda * \text{FillRate} * C_p, \text{ όπου } C_p \text{ η τιμή πώλησης του προϊόντος.}$$

$$\text{Average Stockout Cost} = (1 - \text{Fill Rate}) * \lambda * C_s$$

$$\text{Average Holding Cost} = \text{WIP} * C_h$$

Προκύπτει επομένως ότι το κέρδος εξαρτάται άμεσα από τις παραμέτρους fill rate, lost rate, WIP, C_p , C_s , C_h , και έμμεσα από τις παραμέτρους S , s , λ , μ_i και d_i , δεδομένου ότι οι τελευταίες σχετίζονται με τα μέτρα απόδοσης. Περαιτέρω, αφού το κέρδος εξαρτάται από τις βασικές μεταβλητές εισόδου S , και οι τελευταίες μεταβλητές είναι οι πλέον ελέγξιμες στο υπό εξέταση σύστημα, καθίσταται αναγκαία η διεξαγωγή πειράματος για τη σχέση των S , s με το κέρδος. Στόχος του πειράματος είναι να βρεθούν οι τιμές των μεταβλητών S , s που μεγιστοποιούν το κέρδος.

Συνοψίζουμε τη δομή των πειραμάτων παρακάτω:

Παράμετροι του συστήματος

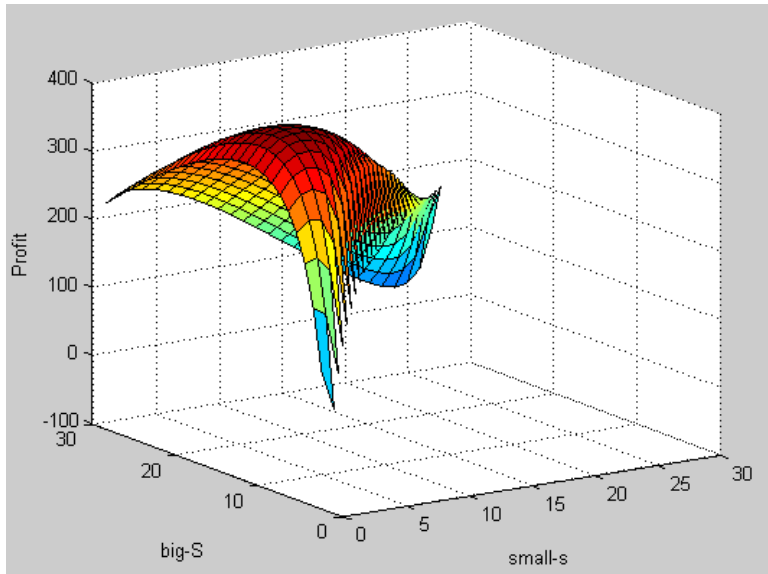
Ρυθμός ζήτησης	$\lambda = 5$
Ρυθμός αναπλήρωσης λιανοπωλητή στην πρώτη φάση	$\mu_1 = 5$
Ρυθμός αναπλήρωσης λιανοπωλητή στη δεύτερη φάση	$0.2 \leq \mu_2 \leq 5$
Πιθανότητα ολοκλήρωσης αναπλήρωσης σε μία φάση	$d_1 = 0.7$
Πιθανότητα ολοκλήρωσης αναπλήρωσης σε δύο φάσεις	$d_2 = 0.3$

Πίνακας 9: Παράμετροι σχετικοί με τα μέσα έσοδα και το μέσο κόστος

Κόστος διατήρησης αποθέματος	$20 \leq C_h \leq 60$
Κόστος χαμένων πωλήσεων	$50 \leq C_s \leq 170$
Τιμή	$120 \leq C_p \leq 180$
Ανώτερο επίπεδο αποθέματος	$S = ?$
Επίπεδο αναπαραγγελίας	$s = ?$

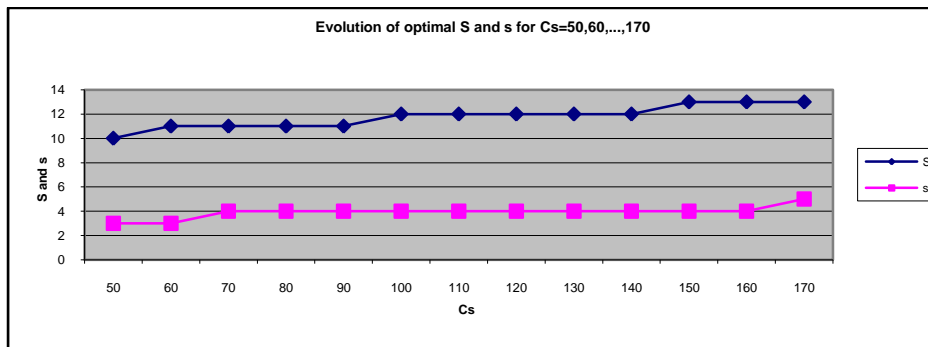
Πίνακας 20: Οι μεταβλητές απόφασης

Οι συνεχείς επιφάνειες των διαγραμμάτων που παρουσιάζονται παρακάτω υποδηλώνουν ότι οι βέλτιστες τιμές των (s, S) μπορούν να προσδιοριστούν με διαδικασία αναζήτησης.



Εικόνα 20: Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S, s ΜΕ ΤΟ ΚΕΡΔΟΣ

Α) Επίδραση του κόστους χαμένων πωλήσεων



Εικόνα21: Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ S, s ΜΕ ΤΟ C_s (ΚΟΣΤΟΣ ΧΑΜΕΝΩΝ ΠΩΛΗΣΕΩΝ)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει ότι το υψηλό κόστος χαμένων πωλήσεων συνεπάγεται υψηλότερες βέλτιστες τιμές των s, S και μείωση του κέρδους. Το μέγιστο κέρδος επιτυγχάνεται για μεγαλύτερες και αραιότερες παραγγελίες.

Β) Επίδραση του ρυθμού αναπλήρωσης μ_2

$C_s=170$				
μ_2	S	s	Max Profit	Q
5	8	4	548	4
4	8	4	540	4
3	8	4	522	4

2	10	5	488	5
1	13	5	396	8
0,5	17	4	270	13
0,2	23	2	70	21
$C_s=100$				
μ_2	S	s	Max Profit	Q
5	7	4	562	3
4	7	4	553	3
3	8	4	540	4
2	9	4	509	5
1	12	4	431	8
0,5	15	3	328	12
0,2	20	2	165	18
$C_s=50$				
μ_2	S	s	Max Profit	Q
5	7	4	562	3
4	7	4	553	3
3	7	3	540	4
2	8	4	509	4
1	10	3	431	7
0,5	13	2	328	11
0,2	17	1	165	16

Πίνακας 11: Τα μ_2, S, s ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΚΕΡΔΟΣ

Ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι καθώς το μ_2 (ρυθμός αναπλήρωσης με δύο φάσεις) αυξάνεται, το μέγιστο κέρδος επιτυγχάνεται με μεγαλύτερες και αραιότερες παραγγελίες.

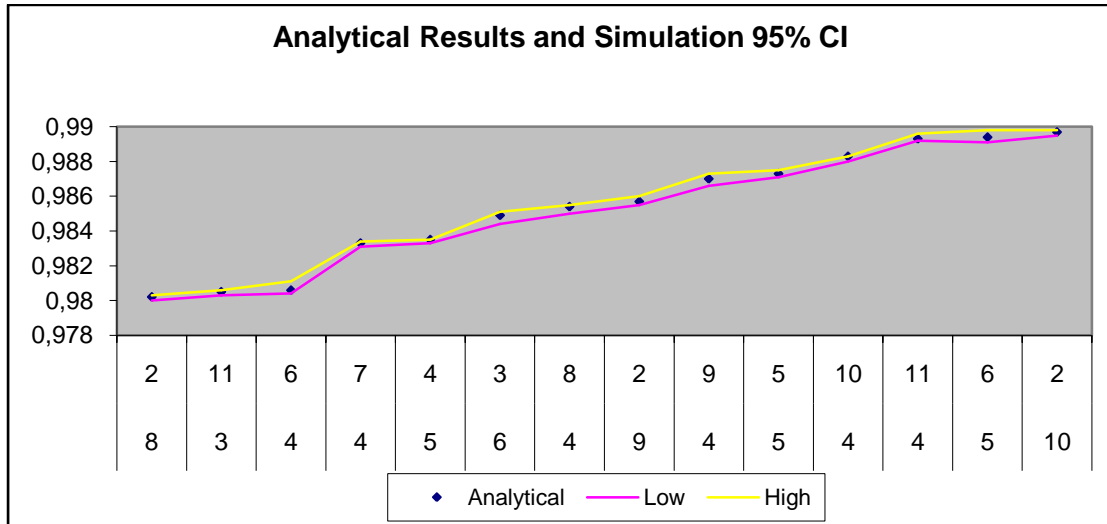
4.7 ΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Η ως τώρα ανάλυσή δεν θα μπορούσε να θεωρηθεί απόλυτα τεκμηριωμένη χωρίς προσομοίωση. Γι' αυτό το λόγο αναπτύσσουμε στο λογισμικό προσομοίωσης Arena 12 υπόδειγμα σειριακού εφοδιαστικού δικτύου με έναν παραγωγό και έναν λιανοπωλητή και υπολογίζουμε τα μέτρα απόδοσης WIP, fillrate. Τέλος, συγκρίνουμε τις τιμές των μέτρων απόδοσης του αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος.

Ενότητα πρώτη: FillRate

s	Q	Analytical	Fill Rate		
			Simulation 95% CI		
			Lower	Upper	Mean
8	2	0,9802	0,98	0,9803	0,9801
3	11	0,9805	0,9803	0,9806	0,9805
4	6	0,9806	0,9804	0,9811	0,9808
4	7	0,9833	0,9831	0,9834	0,9833
5	4	0,9835	0,9833	0,9835	0,9834
6	3	0,9849	0,9844	0,9851	0,9847
4	8	0,9854	0,985	0,9855	0,9852
9	2	0,9857	0,9855	0,986	0,9857
4	9	0,987	0,9866	0,9873	0,9870
5	5	0,9873	0,9871	0,9875	0,9873
4	10	0,9883	0,988	0,9883	0,9881
4	11	0,9893	0,9892	0,9896	0,9894
5	6	0,9894	0,9891	0,9898	0,9895
10	2	0,9897	0,9895	0,9898	0,9897

Πίνακας 12: Οι τιμές του fillrateσε αναλυτικό και προσομοιωτικό υπόδειγμα

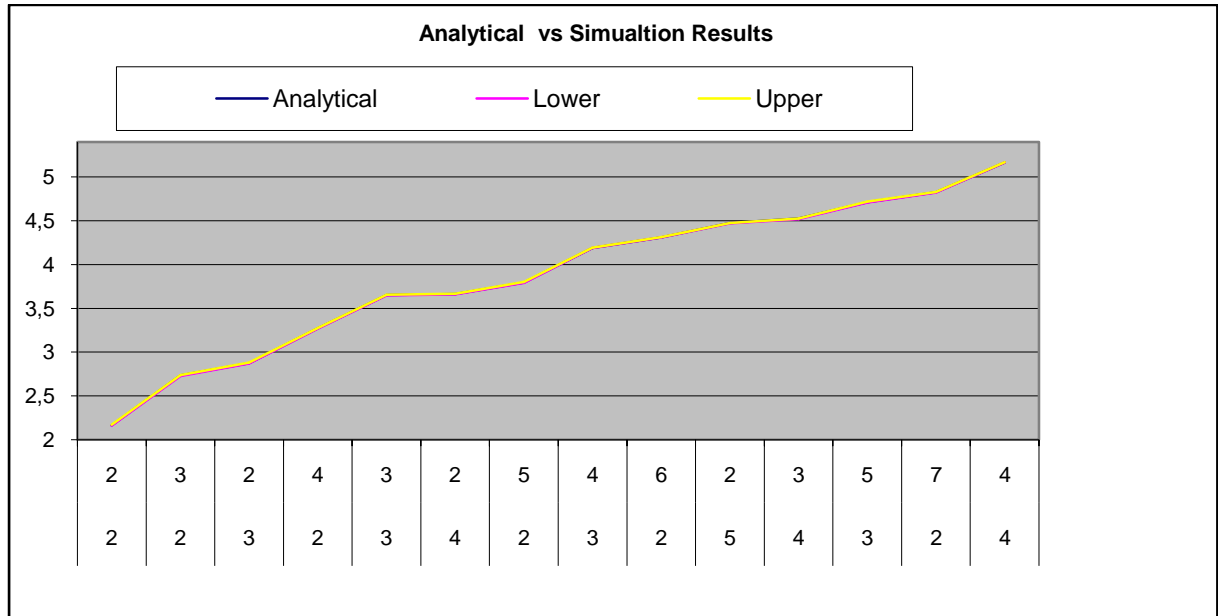


Εικόνα 23: Η διακύμανση του fill rate στα δυο υποδείγματα

Ενότητα δεύτερη:WIP

		WIP Retailer				
s	Q	Analytical	Simulation 95 % CI			%
			Lower	Upper	Mean	
2	2	2,1667	2,163	2,171	2,167	-0,014%
2	3	2,7353	2,73	2,74	2,735	0,011%
3	2	2,8757	2,871	2,881	2,876	-0,010%
2	4	3,2727	3,27	3,276	3,273	-0,009%
3	3	3,6524	3,648	3,655	3,651	0,038%
4	2	3,6653	3,662	3,667	3,664	0,035%
2	5	3,7963	3,793	3,801	3,797	-0,018%
3	4	4,1896	4,19	4,195	4,193	-0,081%
2	6	4,3125	4,31	4,315	4,313	-0,012%
5	2	4,4742	4,471	4,476	4,473	0,027%
4	3	4,5252	4,518	4,527	4,522	0,071%
3	5	4,7126	4,709	4,72	4,715	-0,051%
2	7	4,8243	4,821	4,831	4,826	-0,035%
4	4	5,1654	5,165	5,17	5,167	-0,031%

Πίνακας 13: Οι τιμές του WIPσε αναλυτικό και προσομοιωτικό υπόδειγμα



Εικόνα 224: Η διακύμανση του WIP στα δύο υποδείγματα

4.8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάσαμε ένα εφοδιαστικό δίκτυο δύοστοιβάδων με χρόνους αναπλήρωσης αποθεμάτων κατανομής τύπου φάσης Coxian-2, με συνεχή πολιτική αποθεμάτων τύπου (s,S). Χρησιμοποιώντας μαρκοβιανή ανάλυση υπολογίσαμε τις στάσιμες πιθανότητες του συστήματος και τα μέτρα απόδοσης WIP, fillrate, cycletime.

Τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης είναι :

- Κρίσιμη παράμετρος της απόδοσης του συστήματος είναι ο λόγος του μέσου χρόνου αναπλήρωσης και του μέσου χρόνου μεταξύ δύο αφίξεων.
- Για τιμές του λόγου ίσες ή σχεδόν ίσες με 1 παρατηρούμε τα εξής:
 - Για την επίτευξη συγκεκριμένου βαθμού κάλυψης της ζήτησης, προτείνεται αύξηση της παραγγελιόμενης ποσότητας, με ταυτόχρονη διατήρηση σταθερού σημείου αναπαραγγελίας.
 - Εναλλακτικά, για την επίτευξη συγκεκριμένου επιπέδου εξυπηρέτησης πελατών μπορεί να αυξηθεί η ποσότητα παραγγελίας, αυξάνοντας τις τιμές του σημείου αναπαραγγελίας (s) και του μέγιστου επιπέδου αποθέματος (S).
- Για τιμές του λόγου διάφορες του 1 (μη ισορροπημένα συστήματα) ισχύει ό,τι και για συστήματα με λόγο ίσο με 1 (ισορροπημένα).

Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να αφορά:

1. Ανάλυση σειριακών εφοδιαστικών δικτύων με περισσότερες από δύο στοιβάδες (π.χ. παραγωγός-χονδρέμπορος-λιανοπωλητής)

2. Μοντελοποίηση των χρόνων αναπλήρωσης κατανομής τύπου Coxian με περισσότερες από δύο φάσεις, όπως Coxian-3 ή Coxian-4.
3. Μοντελοποίηση σειριακών εφοδιαστικών δικτύων με ειδικές απαιτήσεις-περιορισμούς ως προς τον βαθμό κάλυψης ζήτησης και τον μέσο χρόνο παραμονής στο σύστημα.
4. Μοντελοποίηση σειριακών εφοδιαστικών δικτύων με απαιτήσεις για επίτευξη μέγιστου βαθμού κάλυψης ή ελάχιστου χρόνου παραμονής στο εφοδιαστικό σύστημα.

4.9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 4

1. Andersson, Jonas, Melchior & Philip, "A two-echelon inventory model with lost sales", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 69, 2001, σ. 307-315.
2. Axsater, S., "Optimization of Order-up-to-S Policies in Two-Echelon Inventory Systems with Periodic Review", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 40, 1993, σ. 245-253.
3. Axsater, S., "Recursive Evaluation of Order-up-to-S Policies for Two-Echelon Inventory Systems With Compound Poisson Demand", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 43, 1996, σ. 151-157.
4. Axsater, S., "Simple evaluation of echelon stock (R, Q) policies for two-level inventory systems", στο *IE Transactions*, Τόμος 29, 1997, σ. 661-669.
5. Boute, N. R., Disney, M. S., Lambrecht, R. M. & Van Houdt, B., "An integrated production and inventory model to dampen upstream demand variability in the supply chain", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 175, 2007, σ. 121-142.
6. Brandimarte, P. & Zotteri, G., *Introduction to Distribution Logistics*, Wiley and Sons inc. Publication, New Jersey, 2007, σ. 49.
7. Forsberg, R., "Optimization of order-up-to-S policies for two-level inventory systems with compound Poisson demand", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 81, 1995, σ. 143-153.
8. Forsberg, R., "Exact evaluation of (R, Q)-policies for two-level inventory systems with Poisson demand", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 96, 1996, σ. 130-138.
9. Johansen, S. G. & Thorstenson, A., "Optimal (r, Q) inventory policies with Poisson demands and lost sales: discounted and undiscounted cases", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 46-47, 1996, σ. 359-371.
10. Johansen, S. G., "Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 93-94, 2005, σ. 429-437.
11. Heavey, C., Papadopoulos, H. T. & Browne, J., "The Throughput Rate of Multi Station Unreliable Production Lines", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 68, 1993, σ. 69-89.
12. Hill, M. R., "Numerical analysis of a continuous review lost-sales inventory models where two orders may be outstanding", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 62, 1992, σ. 11-26.
13. Hill, M. R., "Continuous review lost sales inventory models where two orders may be outstanding", στο *International Journal of Production Research*, Τόμος 35, 1994, σ. 313-319.
14. Hill, M. R., "The single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 97, 1997, σ. 493-499.

15. Hill, M. R., "On the sub-optimality of $(S-1, S)$ lost sales inventory policies", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 59, 1999a, σ. 387-393.
16. Hill, M. R., "Optimal production and shipment policy for the single-vendor, single-buyer integrated production inventory problem", στο *International Journal of Production Research*, Τόμος 37, No 11, 1999b, σ. 2463-2475.
17. Hill, M. R., "Optimal and near optimal policies for lost sales inventory models with at most one replenishment order outstanding", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 169, 2006, σ. 111-132.
18. Hill, M. R., "Continuous review lost sales inventory models with Poisson demand, a fixed lead time and no fixed order cost", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 176, 2007, σ. 956-963.
19. Kalpakam, S. & Sapna, K.P., "A lost sales inventory system with supply uncertainty", στο *Computers & Mathematics with Applications*, Τόμος 33, Τεύχος 3, 1997, σ. 81-93.
20. Lee, H. S., "On continuous review stochastic (s, S) inventory systems with ordering delays", στο *Computers & Industrial Engineering*, Τόμος 28, Τεύχος 4, 1995, σ. 763-771.
21. Lee, J. E. & Hong, Y., "A stock rationing policy in a (s, S) -controlled stochastic production system with 2-phase Coxian processing times and lost sales", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 83, 2003, σ. 299-307.
22. Liberopoulos G. & Yves D., "Base stock versus WIP cap in a single-stage make-to-stock production inventory systems", στο *IIE Transactions*, Τόμος 34, 2002, σ. 624-636.
23. Mohebbi, E., "Supply interruptions in a lost-sales inventory system with random lead time", στο *Computers and Operations Research*, Τόμος 30, Τεύχος 3, 2003, σ. 411-426.
24. Mohebbi, E. & Daipeng, H., "When supplier's availability affects the replenishment lead time", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 175, 2006, σ. 992-1008.
25. Papadopoulos, H. T., *Mathematical Modelling of Reliable Production Lines*, Ph.D. Thesis in Industrial Engineering/Operations Research, Department of Industrial Engineering, National University of Ireland, Galway, Ireland, 1989.
26. Papadopoulos, H. T. & O' Kelly, M. E. J., "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrix of Multistation Series Production Lines", *Computers in Industry*, Τόμος 12, 1989, σ. 227-240.
27. Papadopoulos, H. T., Heavey, C. & O' Kelly, M. E. J., "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with inter station buffers (I) Exponential Case", στο *Computers in Industry*, Τόμος 13, 1989a, σ. 229-244.
28. Papadopoulos, H. T., Heavey, C. & O' Kelly, M. E. J., "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with inter station buffers (II) Erlang Case", στο *Computers in Industry*, Τόμος 13, 1989b, σ. 317-335.
29. Papadopoulos, H. T., Heavey, C. & Browne L., *Queuing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design*, Chapman and Hall, 1993.
30. Schmidt, P., Charles, P. & Nahmias, S., "Optimal Policy for a two stage assembly system under random demand", στο *Operations Research*, Τόμος 33, Τεύχος 5, 1985, σ. 1130-1145.
31. Vidalis, M. I., *Performance Evaluation and Optimal Buffer Allocation in Serial Production Lines*, Ph.D. Thesis in Operations Research, Department of Mathematics, University of the Aegean, Samos island, Greece, 1998.
32. Vidalis, M. I. & Papadopoulos, H. T., "Markovian analysis of production lines with Coxian-2 service times", στο *International Transactions in Operations Research*, Τόμος 6, 1999, σ. 495-524.
33. Vidalis, M. I. & Papadopoulos, H. T., "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrices of Multistation Multiserver Exponential Reliable Queueing Networks", στο *Computers & Operations Research*, Τόμος 28, Τεύχος 9, 2001, σ. 853-883.
34. Zipkin, H. P., *Foundations of Inventory Management*, McGrawHill, 2000, σ. 279.

4.10 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣΜΑΤLAB&ΜΟΝΤΕΛΟARENA

4.10.1 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΜΑΤLAB

ΜΕΡΟΣΑ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΚΑΙΠΛΗΡΩΣΗΠΙΝΑΚΑΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ

ΕΝΤΟΛΗ 1: Δημιούργησε πίνακα μεταπήδησης διαστάσεων $S_R+S_R+2 \times (S_R+S_R+2)$

ΕΝΤΟΛΗ 2: Δημιουργία πινάκων D.

ΕΝΤΟΛΗ 2.1: Δημιούργησε s πίνακες διαστάσεων $k \times k$ ($k=2$).

ΕΝΤΟΛΗ 2.2: Δημιούργησε έναν πίνακα διαστάσεων $q \times q$.

ΕΝΤΟΛΗ 3: Δημιουργία πινάκων A.

ΕΝΤΟΛΗ 3.1: Δημιούργησε s πίνακες διαστάσεων $K \times 1$ ($k=2$).

ΕΝΤΟΛΗ 4: Δημιουργία πινάκων K.

ΕΝΤΟΛΗ 4.1: Δημιούργησε s πίνακες διαστάσεων $k \times k$ ($k=2$).

ΕΝΤΟΛΗ 4.2: Δημιούργησε έναν πίνακα διαστάσεων $k \times 1$.

ΕΝΤΟΛΕΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΙΝΑΚΩΝ D, K, A

ΠΛΗΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ D

ΕΝΤΟΛΗ 5: Από το κελί (1,1) έως το κελί ($k \times k$) βάλε:

Στοιχείο $-\mu_1$ στο κελί (1,1)

Στοιχείο $d_2 \mu_1$ στο κελί (1,k)

Στοιχείο $-\mu_2$ στο κελί ($k \times k$)

ΕΝΤΟΛΗ 6: Επανάλαβε την εντολή 5 σφορές σε διαγώνια διάταξη.

ΕΝΤΟΛΗ 7: Από το κελί $[(s_R+1) \times k, (s_R+1) \times k]$ έως το κελί (S_R+S_R+2, S_R+S_R+2) βάλε στοιχείο $-l$ σε διαγώνια διάταξη.

ΕΝΤΟΛΗ 8: Από το κελί $[(s_R+1) \times k+1, (s_R+1) \times k]$ έως το κελί (S_R+S_R+2, S_R+S_R+1) βάλε στοιχείο l σε διαγώνια διάταξη.

ΠΛΗΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ K

ΕΝΤΟΛΗ 9: Από το κελί $(k+1,1)$ έως το κελί $(s_R \times k+1, s_R \times k+1)$ βάλε στοιχείο l σε διαγώνια διάταξη. Επανάλαβε s φορές.

ΕΝΤΟΛΗ 10: Βάλε στο κελί $[(s_R+1) \times k+1, s_R \times k+3]$ στοιχείο l .

ΠΛΗΡΩΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ Α

AN S=2s

ΕΝΤΟΛΗ 11: Βάλε στα κελιά $(1, s_R \chi_k + 1)$, $(2, s_R \chi_k + 1)$ διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$.

ΕΝΤΟΛΗ 12: Άφησε μία στήλη κενή.

ΕΝΤΟΛΗ 13: Επανέλαβε την εντολή 11 σε διαδοχικές γραμμές και στήλες s-1 φορές.

AN S>2s

ΕΝΤΟΛΗ 14: Βάλε στα κελιά $[1, (s_R+1)\chi_k + S-2s]$, $[2, (s_R+1)\chi_k + S-2s]$ διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$.

ΕΝΤΟΛΗ 15: Επανέλαβε την εντολή 14 σε διαδοχικές γραμμές και στήλες s-1 φορές.

AN S<2s

ΕΝΤΟΛΗ 16: Βάλε στα κελιά $(1, 2(S-s)\chi_k + 1)$, $(2, 2(S-s)\chi_k + 1)$ διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$.

ΕΝΤΟΛΗ 17: Επανέλαβε την εντολή 16 s-q φορές αφήνοντας μία στήλη κενή σε διαδοχικές γραμμές.

ΕΝΤΟΛΗ 18: Μετά τη στήλη $(s_R+1)\chi_k$ βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$ q φορές σε διαδοχικές στήλες και γραμμές.

ΜΕΡΟΣ Β: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

ΕΝΤΟΛΗ 19: Λύσε την εξίσωση πινάκων $AX=B$.

ΜΕΡΟΣ Γ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

ΕΝΤΟΛΗ 20: Υπολόγισε το $WIP_{retailer}$ με βάση τον τύπο:

$$WIP_{retailer} = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^2 i \cdot \pi_{ij} + \sum_{i=s+1}^S i \cdot \pi_i$$

ΕΝΤΟΛΗ 21: Υπολόγισε το $WIP_{transit}$ με βάση τον τύπο:

$$WIP_{in\ transit} = q \cdot \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^k \pi_{ij}$$

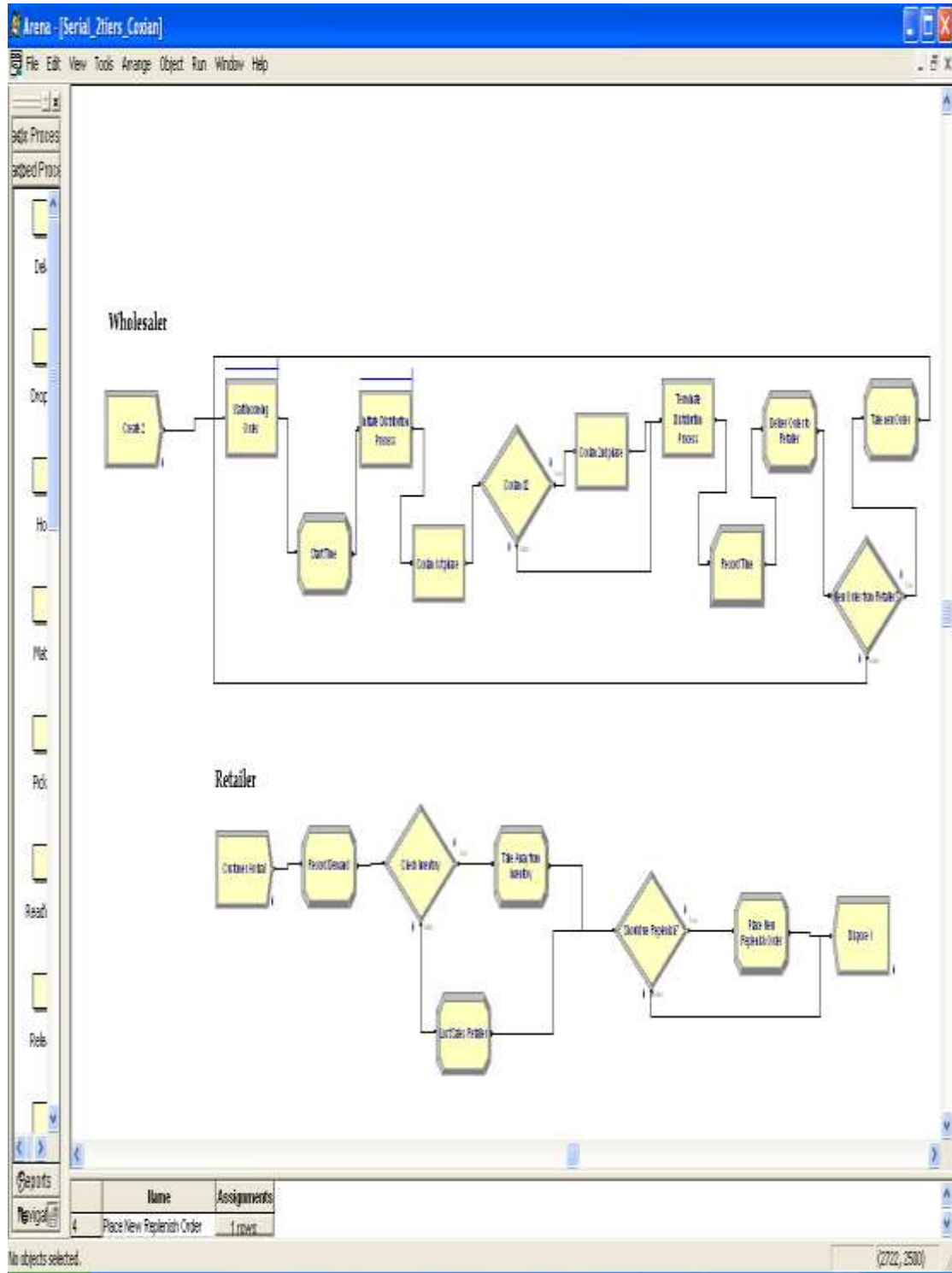
ΕΝΤΟΛΗ 22: Υπολόγισε το WIP_{system} με βάση τον τύπο:

$$WIP_{system} = WIP_{retailer} + WIP_{transit}$$

ΕΝΤΟΛΗ 23: Υπολόγισε το $fill\ rate$ με βάση τον τύπο:

$$FR=1-\sum_{j=0}^k \pi_{0j}$$

4.10.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ARENA



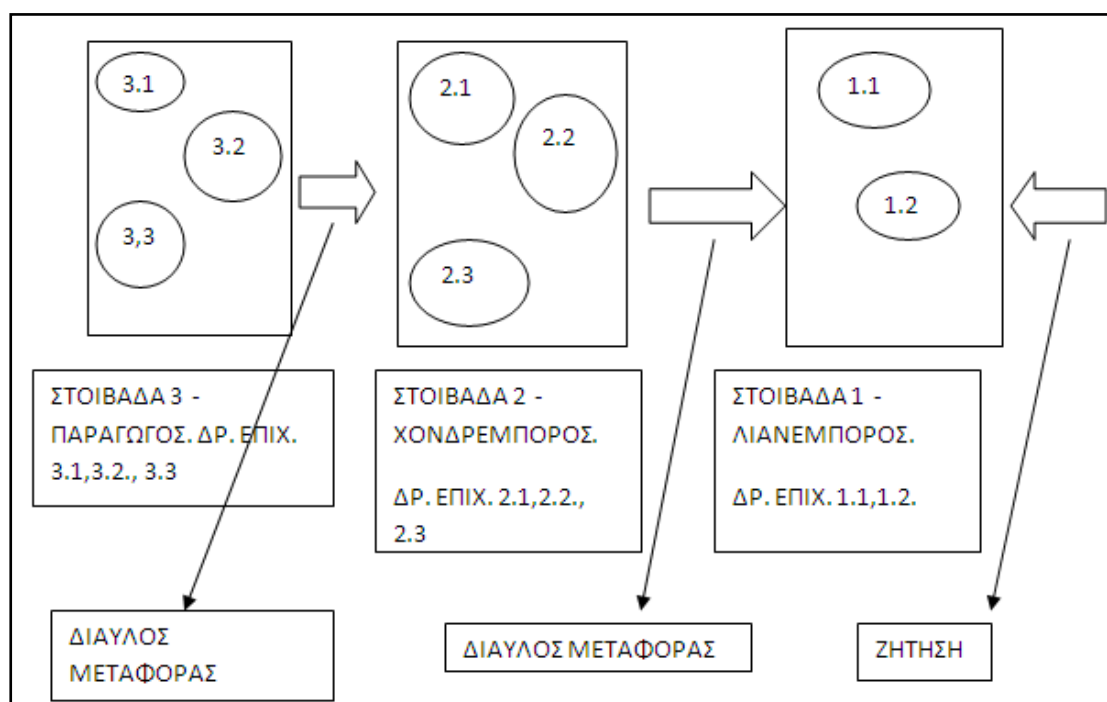
Εικόνα 25: Σχηματική αναπαράσταση του εφοδιαστικού δικτύου μέσω του ARENA

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕΙΡΙΑΚΟΥ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΡΙΩΝ ΣΤΟΙΒΑΔΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύουμε ένα σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο τριών στοιβάδων. Αρχικά, περιγράφουμε το σύστημα και κάνουμε μια βιβλιογραφική επισκόπηση. Στη συνέχεια, αναλύουμε το στοχαστικό υπόδειγμα (προσδιορισμός του χώρου καταστάσεων, δομή των υποπινάκων, προσδιορισμός των μέτρων απόδοσης) και εκτελούμε πειράματα σχετικά με την επίδραση των ελεγχόμενων μεταβλητών στα διάφορα μέτρα απόδοσης.

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο εφοδιαστικό δίκτυο που αναλύουμε σε αυτό το κεφάλαιο θα προσθέσουμε μία ακόμη στοιβάδα, τον χονδρέμπορο. Τα εφοδιαστικά δίκτυα τριών στοιβάδων αποτελούν την πιο συχνά εμφανιζόμενη μορφή καναλιών διανομής ή αλυσίδων προμηθειών, με την κάθε στοιβάδα να αποτελείται από πληθώρα δραστηριοποιούμενων επιχειρήσεων. Το σύστημά μας έχει την ακόλουθη σχηματική δομή:



Εικόνα 23: Το εφοδιαστικό σύστημα των τριών στοιβάδων

Σο εφοδιαστικό σύστημα που εξετάζουμε η ανωφερής στοιβάδα (παραγωγός) μπορεί να αποστείλει οποιαδήποτε ποσότητα ζητηθεί από το επόμενο κατωφές μέλος, τον χονδρέμπορο. Παρατηρούμε ότι ο χονδρέμπορος λειτουργεί στη βάση μιας συνεχούς πολιτικής αναθεώρησης-αναπλήρωσης αποθεμάτων, με $safetystock$ που δηλώνεται από την μεταβλητή (s_w) και ποσότητα παραγγελίας $q_w = S_w - s_w$, όπου S_w το ανώτερο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του χονδρέμπορου (orderuptolevel).

Θεωρούμε ότι ο χονδρέμπορος δεν μπορεί να καλύψει απευθείας την εξωτερική ζήτηση και ότι διοχετεύει τις ποσότητες στο επόμενο κατωφές μέλος, τον λιανοπωλητή. Ο λιανοπωλητής αποτελεί την τελευταία στοιβάδα του εφοδιαστικού δικτύου. Είναι το μέλος που αντιμετωπίζει εξωτερική ζήτηση. Και αυτός λειτουργεί με συνεχή πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων, με $safetystocks_R$ και ποσότητα παραγγελίας $q_R = S_R - s_R$, όπου S_R το ανώτερο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του.

Οι συνδέσεις-δίαυλοι μεταφοράς μεταξύ των στοιβάδων χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα ως προς τον χρόνο διεκπεραίωσης παραγγελιών, λόγω εξωγενών και ενδογενών παραγόντων. Λειτουργούν δύο τρόποι αποθήκευσης, κανονική αποθήκευση και cross-docking.

Στόχος μας είναι να υπολογίζουμε τα μέτρα απόδοσης και να διερευνήσουμε ποσοτικά τις επιδράσεις των ελεγχόμενων μεταβλητών σε αυτά. Πρακτικά, τα συμπεράσματα μπορούν να εφαρμοστούν σε εφοδιαστικές αλυσίδες που λειτουργούν με δύο τρόπους αποθήκευσης και διαχείρισης φορτίου.

5.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η βιβλιογραφική επισκόπηση πραγματοποιείται με πυρήνα τα παρακάτω στοιχεία:

1. Σειριακό σύστημα
2. Οι χρόνοι παραμονής οντότητων στον φυσικό δίαυλο μεταφοράς είναι στοχαστικοί, χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα και έχουν κατανομή τύπου φάσης Coxian-2.
3. Οι πολιτικές αποθεμάτων είναι συνεχούς αναπλήρωσης ή και basestock.
4. Η επίλυση γίνεται με μαρκοβιανή διαδικασία συνεχούς χρόνου και διακριτών καταστάσεων.

Σειριακό Σύστημα

- Οι Tsitsiklis & Moharremoglu (2008) αναλύουν ένα υπόδειγμα με στοχαστική ζήτηση και leadtimes. Στόχος της εργασίας είναι να βελτιστοποιήσουν πολιτικές αποθεμάτων basestock.
- Μια νέα θεώρηση ανάλυσης σειριακών δικτύων παρέχουν οι Kerbache & MacGregor (2004). Οι μελετητές αναλύουν τα σειριακά εφοδιαστικά δίκτυα ως δίκτυα ουρών και προσδιορίζουν βέλτιστα επίπεδα μέτρων απόδοσης για μια μελέτη περίπτωσης.

- Σειριακό στοχαστικό εφοδιαστικό δίκτυο αναλύει και ο Iida (2001). Βελτιστοποιεί τις λειτουργίες των δικτύων χάρη στη «μυωπική» πολιτική, η οποία αποδεικνύεται αποτελεσματική στα πλαίσια της εργασίας του.
- Σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο πραγματεύονται και οι Abdel –Malek και Ziegler (1988), το οποίο διαχειρίζεται ροές προϊόντων που υπόκεινται σε αλλοίωση και οικονομική απαξίωση.
- Οι Gallego&Ozer(2005)παρουσιάζουν ευρετική λύση δυναμικού προγραμματισμού για τη μοντελοποίηση στοχαστικού εφοδιαστικού δικτύου. Ο αλγόριθμος βοηθά τους λήπτες αποφάσεων σε αποφάσεις outsourcing.
- Οι Aharonetal(2009) προτείνουν μια προσομοιωτική λύση για τη μοντελοποίηση σειριακών δικτύων.
- Οι Chao&Zhou(2007) επιλύουν πιθανοθεωρητικά το πρόβλημα των βέλτιστων επιπέδων αποθεμάτων για πολιτικές αποθεμάτων basestock, προτείνοντας όρια επιπέδων αποθεμάτων.
- Οι Daniel&Rajendran(2005) αναλύουν σειριακό δίκτυο χρησιμοποιώντας γενετικούς αλγορίθμους. Υπολογίζουν βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων για basestock πολιτικές αποθεμάτων.
- Οι Chungetal(2001) επιλύουν το πρόβλημα της κατανομής αποθεμάτων στα μέλη του σειριακού εφοδιαστικού δικτύου με αλγόριθμους βελτιστοποίησης υπό περιορισμούς (convex constrained optimization).
- Όμοια, οι Shang&Shong(2006) ,χρησιμοποιώντας closed form approximation, επιλύουν το πρόβλημα της κατανομής αποθεμάτων σε σειριακό εφοδιαστικό δίκτυο.
- Τέλος, οι Daniel&Rajendran(2005) με ευρετικό γενετικό αλγόριθμο προσδιορίζουν βέλτιστο επίπεδο αποθέματος για installation basestock πολιτική αποθεμάτων σε σειριακά εφοδιαστικά δίκτυα.

Στοχαστικοί Χρόνοι Αναπλήρωσης

- Οι Snyder&Shen(2006) μοντελοποιούν και ποσοτικοποιούν την έννοια της διακοπής εφοδιασμού με τη βοήθεια της προσομοίωσης.
- Στο άρθρο των Chiang&Gutteriez(1996) η υψηλή μεταβλητότητα των lead times μοντελοποιείται με τη χρήση δύο ρυθμών εφοδιασμού, κανονικού και επείγοντος. Το αναλυτικό υπόδειγμα προσδιορίζει το σημείο του επιπέδου αποθέματος για το οποίο το κόστος είναι ίδιο και με τους δύο τρόπους εφοδιασμού.
- Οι Balcioglu&Gurler(2011) μοντελοποιούν τις διακοπές εφοδιασμού με τη χρήση κατανομών τύπου φάσης. Διαχωρίζουν τη διαδικασία εφοδιασμού σε ON και OFF περιόδους. Στις ON περιόδους ο χρόνος έχει κατανομή Coxian-2, ενώ στις OFF περιόδους ο χρόνος έχει υπερεκθετική κατανομή δύο φάσεων.
- Οι Ouyang&Wu(1997), σε μια εναλλακτική προσέγγιση της μεταβλητότητας των lead time, μοντελοποιούν ένα σύστημα αποθεμάτων με περιορισμούς στα επίπεδα εξυπηρέτησης.

Πολιτικές αποθεμάτων συνεχούς αναπλήρωσης ή basestock

- Οι Federgruen&Zipkin(1984),οι Feng&Rao(2007)συγκρίνουν τις πολιτικές αποθεμάτων (R, nT) και (r, nQ) ως προς το κόστος.
- Στην εργασία των Inderfurth&Minner (1998) εξετάζεται μείγμα περιοδικής και basestockπολιτικής.
- Παρατηρούμε ότι μεγάλο μέρος της βιβλιογραφίας ασχολείται με την πολιτική αποθεμάτων basestock.Επιπλέον,οιDekkeretal (2002) εφαρμόζουν basestockπολιτική αποθεμάτων σε κατηγορίες προτεραιοτήτων εξυπηρέτησης μέσω αναλυτικού στοχαστικού υποδείγματος.
- Basestock πολιτική αποθεμάτων πραγματεύεται και ο Johansen (2005), ο οποίος αναλύει ένα υπόδειγμα με χαμένες πωλήσεις, Poissonζήτηση και Erlang χρόνους υλοποίησης. Στη μελέτη αναζητάται το επίπεδο αποθέματος με το ελάχιστο κόστος.
- Οι Liu&Lee (2007)χρησιμοποιούν basestockπολιτική για σύστημα αποθεμάτων με διαμεταφορές.
- Τέλος, η συνεχής πολιτική αποθεμάτων έχει υιοθετηθεί στις εργασίες των Gallego&Ozer (2007)και στην εργασία του Eijs (1994),όπου ευρετικός αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες πλήρωσης μέσω μοναδοποίησης και αποστολής φορτίων.

Μαρκοβιανές διαδικασίες ως μεθοδολογία επίλυσης

- ΟιSchwarz&Daduna (2006)αναλύουν ένα σύστημα αποθεμάτων με backorderingως δίκτυο ουρών. Για το υπό εξέταση σύστημα υπολογίζονται οι στάσιμες πιθανότητες και τα μέτρα απόδοσης.
- Οι Smith&Dekker (1997)χρησιμοποιούν μια ημι-μαρκοβιανή διαδικασία για να υπολογίσουν στάσιμες πιθανότητες για ένα σύστημα αποθεμάτων.
- Ο Zipkin (1986)αναλύει υποδείγματα αποθεμάτων με στοχαστική ζήτηση και στοχαστικούς χρόνους αναπλήρωσης, τα οποία επιλύει με βάση τη θεωρία των μαρκοβιανών διαδικασιών.
- Ο Iida (2001)χρησιμοποιεί μαρκοβιανή διαδικασία απόδοσης (MarkovianDecisionProcess). Οι SmithκαιDekker(1997) καθώς και οι Balcioglu&Gurler (2011) υπολογίζουν στάσιμες πιθανότητές της.
- Οι Liu&Lee (2007)προσδιορίζουν χώρο καταστάσεων και μεταβάσεις πιθανοτήτων.
- Τέλος, ο Kochel (1996) υπολογίζει στάσιμες πιθανότητες σε productform υπόδειγμα, ώστε να γενικεύσει της λύσεις.

5.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

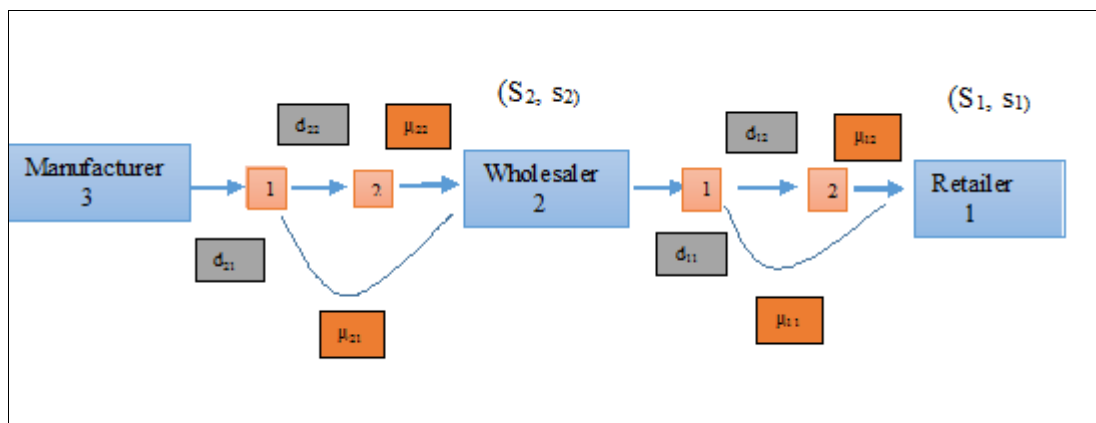
5.3.1 ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ

Παραθέτουμε ένα σύνολο υποθέσεων για κάθε μέλος και σύνδεση του δικτύου.

- Στοιβάδα Παραγωγός: Διαθέτει απεριόριστη χωρητικότητα (neverstarved).

- Δίαυλος μεταφοράς μεταξύ παραγωγού-χονδρέμπορου: Οι παραγγελίες που αποστέλλει ο παραγωγός χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα, γεγονός που προτρέπει να μοντελοποιήσουμε τον χρόνο παράδοσης (leadtime) σύμφωνα με την κατανομή Coxian-2. Έτσι, ένα ποσοστό των αποστολών του παραγωγού προς τον χονδρέμπορο διεκπεραιώνεται με χρονορυθμό εκθετικά κατανομημένο με μέσο μ_{w1} , ενώ ένα δεύτερο ποσοστό με χρονορυθμό εκθετικά κατανομημένο με μέσο μ_{w2} . Εναλλακτικά, το μ_{w2} αντιπροσωπεύει τον χρονορυθμό των παραγγελιών που φθάνουν με καθυστέρηση, ενώ το μ_{w1} τον χρονορυθμό των παραγγελιών χωρίς καθυστέρηση.
- Στοιβάδα Χονδρέμπορος: Η στοιβάδα του χονδρέμπορου λειτουργεί με συνεχή πολιτική αποθεμάτων (s_w, S_w), όπου:
 s_w : απόθεμα ασφαλείας για χονδρέμπορο
 S_w : μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του χονδρέμπορου.
 Ο χονδρέμπορος παραγγέλνει ποσότητα $q_w = S_w - s_w$ και δεν αντιμετωπίζει εξωτερική ζήτηση.
- Δίαυλος μεταφοράς μεταξύ χονδρέμπορου-λιανεμπόρου: Οι παραγγελίες που αποστέλλει ο χονδρέμπορος στον λιανέμπορο χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα, γεγονός που προτρέπει να μοντελοποιήσουμε τον χρόνο παράδοσης (leadtime) σύμφωνα με την κατανομή Coxian-2. Έτσι, ένα ποσοστό των αποστολών του χονδρέμπορου διεκπεραιώνεται με ρυθμό εκθετικά κατανομημένο με μέσο μ_{r1} , ενώ ένα δεύτερο ποσοστό με ρυθμό εκθετικά κατανομημένο με μέσο μ_{r2} . Εναλλακτικά το μ_{w2} αντιπροσωπεύει τον ρυθμό των παραγγελιών με καθυστέρηση, ενώ το μ_{w1} τον ρυθμό των παραγγελιών χωρίς καθυστέρηση.
- Στοιβάδα Λιανέμπορος: Η στοιβάδα του λιανεμπόρου λειτουργεί με συνεχή πολιτική αποθεμάτων (s_r, S_r) όπου:
 s_r : απόθεμα ασφαλείας για λιανέμπορο
 S_r : μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του λιανέμπορου.
 Ενώ ο λιανοπωλητής παραγγέλνει ποσότητα $q_r = S_r - s_r$. Ο λιανοπωλητής αντιμετωπίζει εξωτερική ζήτηση με ενδιάμεσους χρόνους άφιξης να έχουν κατανομή Poisson με μέσο λ . Τέλος, αν ο λιανοπωλητής δεν μπορεί να καλύψει την ζήτηση οι πελάτες αποχωρούν από το εφοδιαστικό σύστημα χωρίς να επανακάμπτουν (lostsalesassumption).

Διαγραμματικά:



Εικόνα 24: Το υπόδειγμα των τριών στοιβάδων

5.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ο χώρος καταστάσεων αποτελείται από δύο ζεύγη τιμών αποθέματος φάσης για τον χονδρέμπορο και τον λιανέμπορο $(I_w, p_w), (I_r, p_r)$. Δίνεται πίνακας καταστάσεων για υπόδειγμα με έναν χονδρέμπορο που λειτουργεί με πολιτική (2,1) και έναν λιανέμπορο που λειτουργεί με πολιτική (3, 1).

$I_1 p_1$	$I_2 p_2$	States	$I_1 p_1$	$I_2 p_2$	States	$I_1 p_1$	$I_2 p_2$	States	$I_1 p_1$	$I_2 p_2$	States
01	0	010	11	01	1101	12	01	1201	2	01	201
01	1	011	11	02	1102	12	02	1202	2	02	202
01	2	012	11	11	1111	12	11	1211	2	11	211
01	3	013	11	12	1112	12	12	1212	2	12	212
02	0	020	11	2	112	12	2	122	2	2	22
02	1	021	11	3	113	12	3	123	2	3	23
02	2	022									
02	3	023									

Πίνακας 3: Πίνακας καταστάσεων για υπόδειγμα (2,1 - 3,1)

Ο χώρος καταστάσεων για της διάφορες τιμών των s_w, S_w, s_r, S_r δίνεται από την παρακάτω συνάρτηση:

$$S_{k=3}^{sR,SR,sW,SW} = 2(S_R + 1) + (S_W + s_W)(S_R + s_R + 2) \quad (1)$$

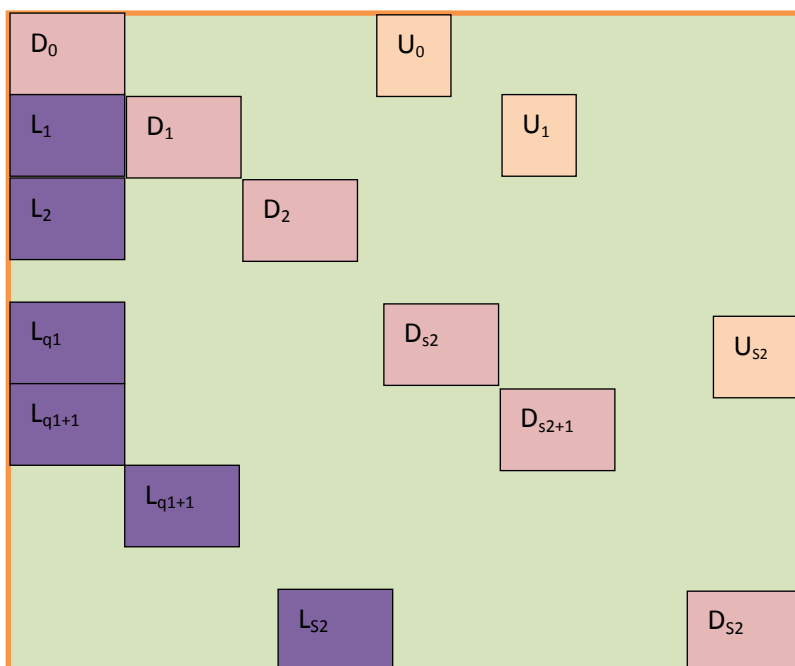
Όπου s_R , το απόθεμα ασφαλείας για λιανέμπορο και S_R το μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί στις εγκαταστάσεις του λιανέμπορου, s_W το απόθεμα ασφαλείας για χονδρέμπορο και S_W το μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί της εγκαταστάσεις του χονδρέμπορου.

5.3.3. ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι πίνακας μεταπήδησης έχει διαστάσεις:

$$2(S_R + 1) + (S_W + s_W)(S_R + s_R + 2) \times 2(S_R + 1) + (S_W + s_W)(S_R + s_R + 2)$$

Ο πίνακας μεταπήδησης, όπως και στο υπόδειγμα δύο στοιβάδων, αποτελείται από τρία είδη πινάκων D,A,K, ενώ χαρακτηρίζεται ως διαγώνιος (blockdiagonal). Η διαγώνια δομή του πίνακα οφείλεται στο γεγονός ότι οι διαδικασίες ζήτησης -αναπληρώσεων στο σύστημα αποτελούν ουσιαστικά διαδικασίες «γέννησης- θανάτου». Συγκεκριμένα, η αναπλήρωση του επίπεδου αποθέματος λόγω της ανάληψης του από την εκδήλωση της ζήτησης, αποτελεί τυπική περίπτωση «γέννησης» ενώ η εκδήλωση της ζήτησης αποτελεί χαρακτηριστική περίπτωση «θανάτου». Συνεπώς, η διαγώνια μορφή του πίνακα οφείλεται στην εκδήλωση της ζήτησης με κατανομή Poisson ανά μία οντότητα και στο γεγονός ότι οι διαδικασίες αναπληρώσεων γίνονται παλί ανά μία οντότητα (one outstanding order assumption). Με άλλα λόγια, σε μια εκδήλωση ζήτησης αντιστοιχεί μια διαδικασία αναπλήρωσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινίσουμε ότι οι ανά μία αναπληρώσεις αποθέματος δεν σημαίνει ότι η αναπληρωμένη ποσότητα είναι μία μονάδα αποθέματος τουναντίον οι αποθεματικοί όγκοι των αναπληρώσεων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από ένα. Βάση των παραπάνω οι μεταβάσεις περιορίζονται εντός του ίδιου επίπεδου τεκμηριώνοντας πλήρως την διαγώνια μορφή του πίνακα μεταπήδησης. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την δομή του πίνακα μεταπήδησης



Ανάλυση των υποπινάκων D, A, K

- Πίνακες D: Είναι οι πίνακες που περικλείουν την κύρια διαγώνιο. Περιλαμβάνουν τρία είδη υποπινάκων:
 - Έναν πίνακα D_0 διαστάσεων $2(S_R+1) \times 2(S_R+1)$ (τετραγωνικός)
 - s_W πίνακες $D_{1...s_W}$ διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$ (τετραγωνικός)
 - S_W-s_W πίνακες $D_{s_W...S_W}$ διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times (S_R+s_R+2)$ (τετραγωνικός)
- Πίνακες A: Οι πίνακες A αποτελούνται από:
 - Έναν πίνακα A_0 διαστάσεων $2(S_R+1) \times (S_R+s_R+2)$
 - s_W πίνακες $A_{1...s_W}$ διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times (S_R+s_R+2)$
- Για $q_r > 1$, οι πίνακες K αποτελούνται από:
 - s_W πίνακες διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$
 - $q_r - s_W$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$
 - $S_W - q_r$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$
- Για $q_r = 1$, οι πίνακες K αποτελούνται από:
 - Έναν πίνακα διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$
 - $s_W - 1$ πίνακες διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$
 - Έναν πίνακα διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$
 - $Q_W - 1$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times (S_R+s_R+2)$

5.3.4 ΔΙΑΝΥΣΜΑ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ Π

Το διάνυσμα των στάσιμων πιθανοτήτων αποτελεί τη βασική εκροή του συστήματος του στοχαστικού υποδείγματος. Η εξίσωση των στάσιμων πιθανοτήτων είναι:

$$\pi Q = 0$$

και επιλύοντας ως προς π βρίσκουμε το διάνυσμα των στάσιμων πιθανοτήτων. Η διαδικασία της επίλυσης ως προς π περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Αναστροφή του πίνακα Q
2. Αντικατάσταση της τελευταίας γραμμής με 1
3. Λύση των γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν

5.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Υπολογίζουμε δύο κατηγορίες μέτρων απόδοσης το WIP και το fillrate. Το WIP περιλαμβάνει τα WIP system, WIP in transit, WIP wholesaler, WIP retailer και το fillrate fillrates system και το fillrate wholesaler.

Κατηγορία WIP

WIPsystem: το μέσο απόθεμα που διατηρείται σε όλο το εφοδιαστικό δίκτυο και υπολογίζεται ως άθροισμα των WIPtransit, WIPwholesaler, WIPretailer:

$$WIPsystem = WIPtransit + WIPwholesaler + WIPretailer$$

WIPtransit: το απόθεμα που βρίσκεται εντός των διαύλων μεταφοράς και υπολογίζεται στα παρακάτω βήματα.

Βήμα 1 : Πολλαπλασίασε τις πρώτες $2x(S_R+1)$ πιθανότητες με q_w

Βήμα 2 : Πολλαπλασίασε τις επόμενες $2x(s_R+1)$ πιθανότητες με $(q_w + q_r)$

Βήμα 3 : Πολλαπλασίασε τις επόμενες q_r πιθανότητες με q_w

Βήμα 4 : Επανάλαβε τα βήματα 2,3 $2xS_w$ φορές

Βήμα 5 : Πολλαπλασίασε τις επόμενες $2x(S_R+1)$ πιθανότητες με q_r

Βήμα 6 : Επανάλαβε το βήμα 5 q_w φορές

WIPwholesaler: το απόθεμα που διατηρεί ο χονδρέμπορος και το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} WIPwholesaler = & 0 \chi \sum_1^{2(S_R+1)} \pi + 1 \sum_{2(S_R+1)}^{2(S_R+1)+2s_w(S_R+s_r+2)} \pi \\ & + \dots + S_w \sum_{2(S_R+1)+2(s_w-1)(S_R+s_r+2)}^{2(S_R+1)+2s_w(S_R+s_r+2)} \pi + (S_w+1) \sum_{2(S_R+1)+2s_w(S_R+s_r+2)}^{2(S_R+1)+(2s_w+1)(S_R+s_r+2)} \pi + \dots + \\ & S_w \sum_{2(S_R+1)+(S_w+s_w)(S_R+s_r+2)}^{2(S_R+1)+(S_w+s_w+1)(S_R+s_r+2)} \pi \end{aligned}$$

WIPretailer: το απόθεμα που διατηρεί ο λιανοπωλητής και το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} WIPretailer = & \sum (\sum_1^{(S_R+1)} \pi \chi[0 \ 1 \ \dots \ S_R] + \sum_{S_R+2}^{2(S_R+1)} \pi \chi[0 \ 1 \ \dots \ S_R] + \dots + \\ & 0 \sum_{2(S_R+1)}^{2(S_R+1)+2} \pi + 1 \sum_{2(S_R+1)+2}^{2(S_R+1)+4} \pi + \dots + S_R \sum_{2(S_R+1)+2s_R}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)} \pi + (S_R+1) \\ & \sum_{2(S_R+1)+2(s_R+1)}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)+1} \pi + \dots + S_R \sum_{2(S_R+1)+2(s_R+1)+q_R-1}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)+q_R} \pi) \\ & + \sum_{2s_w}^{q_w} (\sum_1^{(S_R+1)} \pi \chi[0 \ 1 \ \dots \ S_R] + \sum_{S_R+2}^{2(S_R+1)} \pi \chi[0 \ 1 \ \dots \ S_R] + \dots + \\ & 0 \sum_{2(S_R+1)}^{2(S_R+1)+2} \pi + 1 \sum_{2(S_R+1)+2}^{2(S_R+1)+4} \pi + \dots + S_R \sum_{2(S_R+1)+2s_R}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)} \pi + (S_R+1) \\ & \sum_{2(S_R+1)+2(s_R+1)}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)+1} \pi + \dots + S_R \sum_{2(S_R+1)+2(s_R+1)+q_R-1}^{2(S_R+1)+2(s_R+1)+q_R} \pi) \end{aligned}$$

FillRate_{system}: το ποσοστό της εξωτερικής ζήτησης που καλύπτεται. Ο τύπος υπολογισμού είναι ο εξής:

$$\text{FillRate}_{\text{system}} = 1 = \left(\sum_1^{2(SR+1)} \Pi + \sum_1^{SW+sw} \sum_{2(Sr+1)+1}^{2(Sr+1)+2} \pi \right)$$

5.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση τη λογική σχέση $H(\vartheta) = E_{\omega} [f(\vartheta, \omega)]$ (βλ. Κεφάλαιο 1), θεωρούμε ελεγχόμενες μεταβλητές από τον διαχειριστή του συστήματος τις μεταβλητές S_w, s_w, S_r, s_r , σε αντίθεση με τις μεταβλητές:

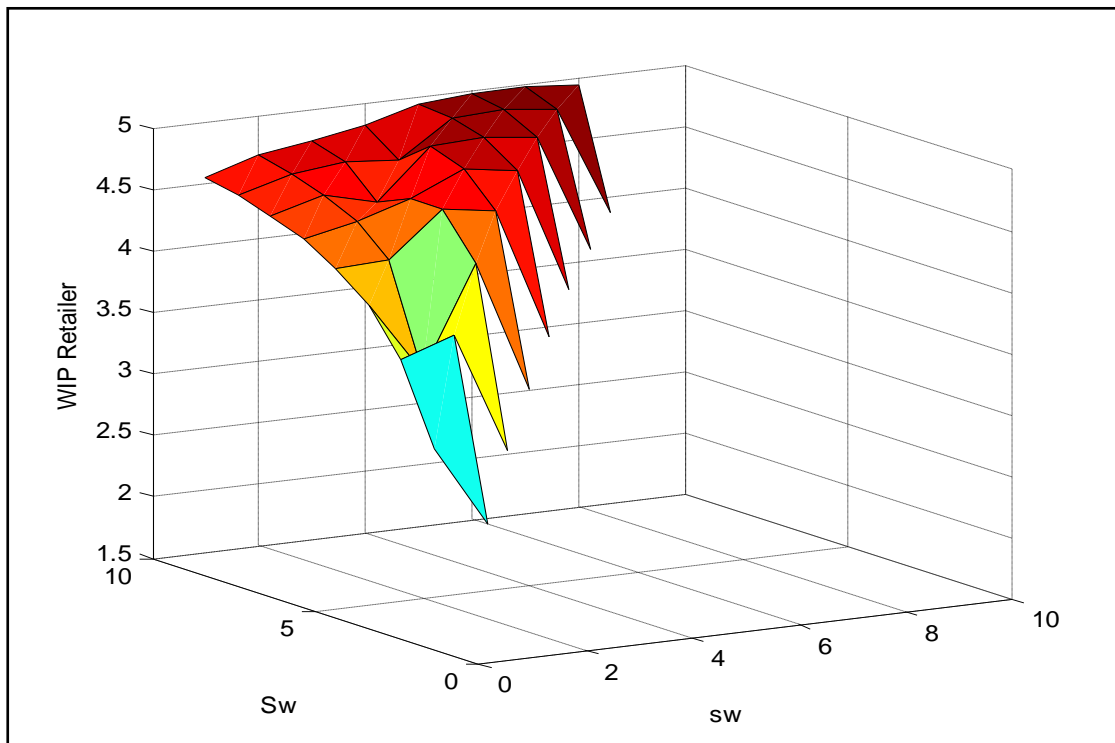
- των ποσοστών των παραγγελιών που ολοκληρώνονται με μία φάση καθυστέρησης d_{11}, d_{21} και των παραγγελιών που ολοκληρώνονται με δύο φάσεις d_{22}, d_{12}
- τους χρονορυθμούς ολοκλήρωσης παραγγελιών
- και τον μέσο ρυθμό αφίξεων με κατανομή Poisson

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Στη συνέχεια εξετάζουμε τη σχέση των ελεγχόμενων μεταβλητών με τα μέτρα απόδοσης. Για τις δε μη ελεγχόμενες μεταβλητές τις θεωρούμε σταθερές και ίσες $\mu_{11}=2, \mu_{12}=0,6, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, \mu_{21}=2, \mu_{22}=0,6, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$. Οι τιμές είναι υπολογισμένες ώστε το σύστημα να είναι ισορροπημένο (balanced).

5.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP_{RETAILER}

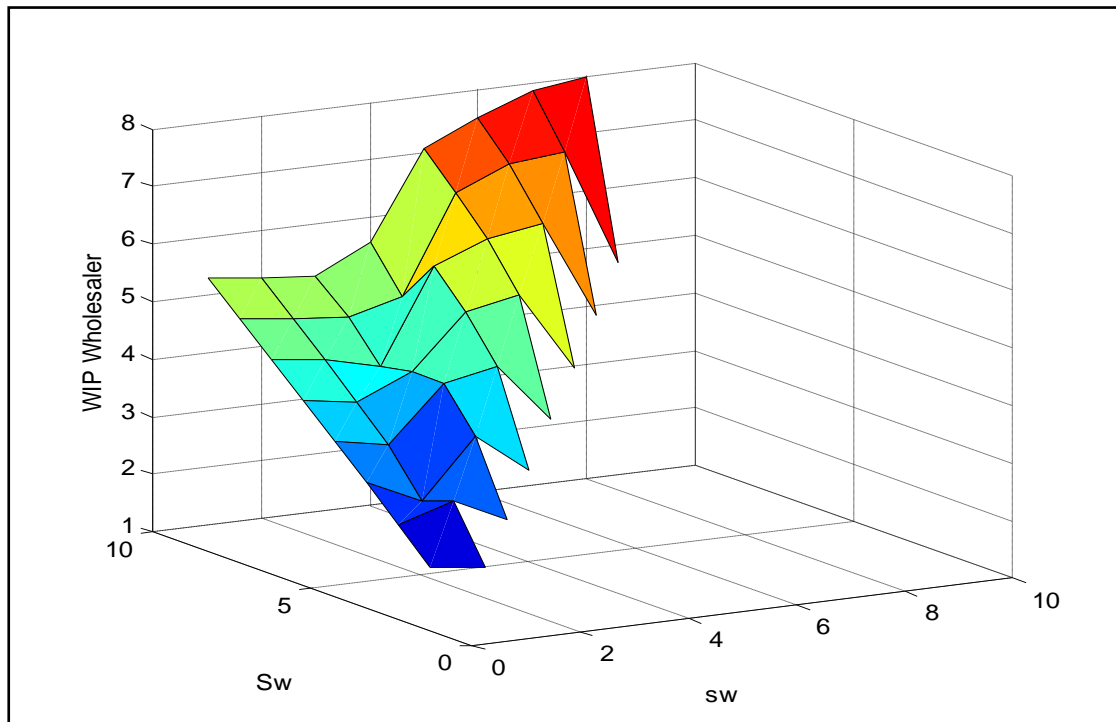
Αν $S_r=10, s_r=9$ και τα S_w, s_w κυμαίνονται στο διάστημα $[2, 10]$ και $[1, 9]$ αντίστοιχα, παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα. Βλέπουμε ότι καθώς τα S_w, s_w αυξάνονται, το WIP_{retailer} αυξάνεται, με τη μέγιστη τιμή του να προσεγγίζει το 5 για συνδυασμό τιμών $(10, 9)$.



Εικόνα 25: Το $WIP_{RETAILER}$ σε σχέση με τα S_w, s_w , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ $WIP_{WHOLESALE}$

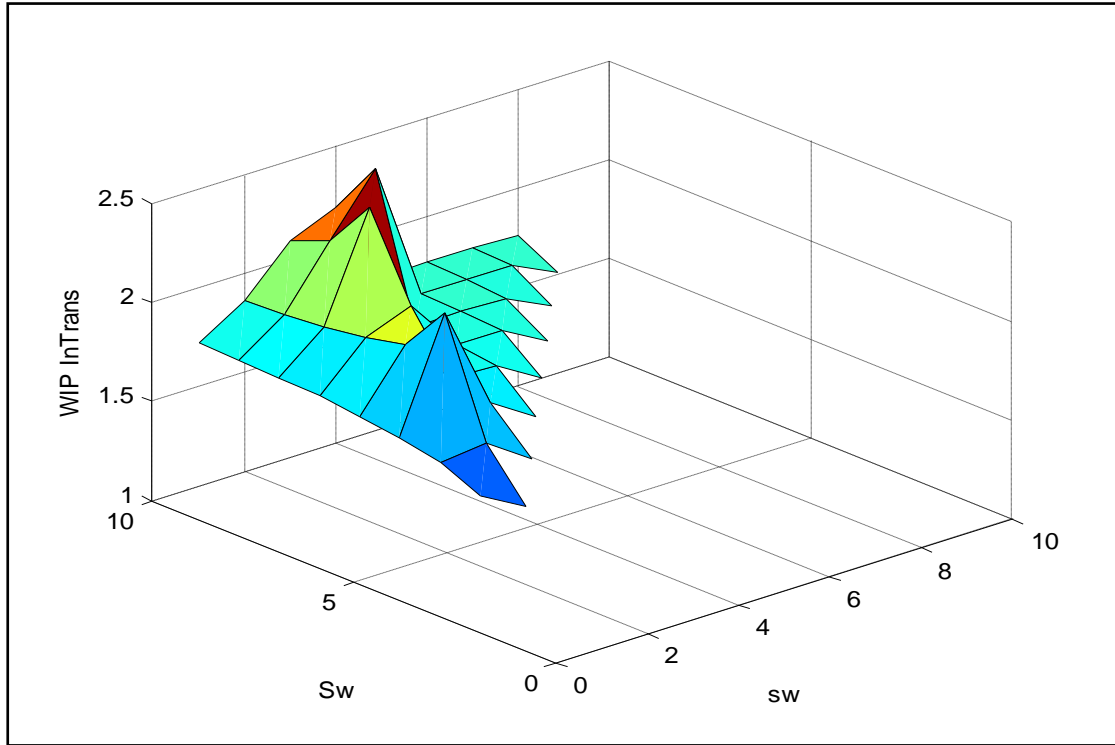
Αν $S_r=10, s_r=9$ και τα S_w, s_w κυμαίνονται στο διάστημα $[2, 10]$ και $[1, 9]$ αντίστοιχα, παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα. Βλέπουμε ότι καθώς τα S_w, s_w αυξάνονται, το $WIP_{wholesaler}$ αυξάνεται, με τη μέγιστη τιμή να αγγίζει το 8 για συνδυασμό τιμών (S_w, s_w) (10, 9).



Εικόνα 26: Το $WIP_{WHOLESALE}$ σε σχέση με τα S_w, s_w , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ $WIP_{TRANSIT}$

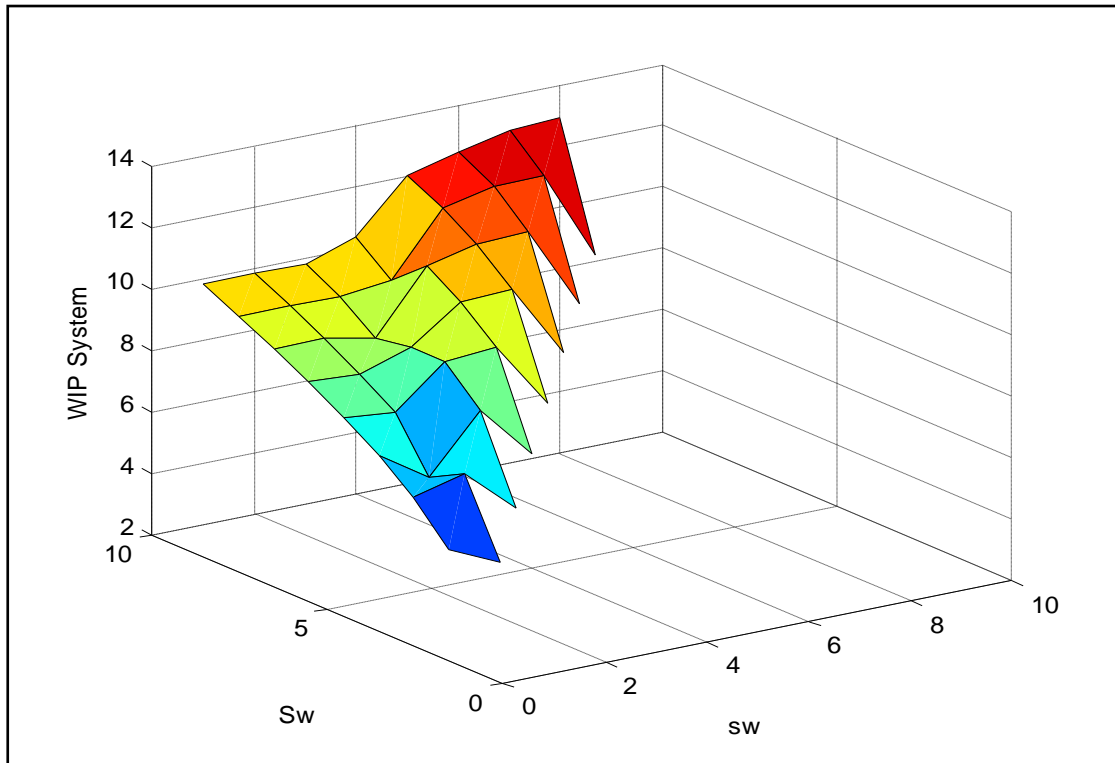
Αν $S_r=10, s_r=9$ και τα S_w, s_w κυμαίνονται στο διάστημα $[2, 10]$ και $[1, 9]$ αντίστοιχα, παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα. Βλέπουμε ότι καθώς τα S_w, s_w αυξάνονται, αυξάνεται το $WIP_{intransit}$ μέχρι τον συνδυασμό $S_w, s_w(10, 5)$, με τη μέγιστη τιμή να προσεγγίζει το 2,4. Μετά τον συνδυασμό (10, 5) το $WIP_{intransit}$ μειώνεται μέχρι την τιμή 1,5.



Εικόνα 27: Το $WIP_{transit}$ σε σχέση με τα S_w, s_w , αν $\mu_{11}=0,6$, $\mu_{12}=2$, $\mu_{21}=0,6$, $\mu_{22}=2$, $d_{11}=0,7$, $d_{12}=0,3$, $d_{21}=0,7$, $d_{22}=0,3$, $\lambda=1$

5.4.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ WIP_{SYSTEM}

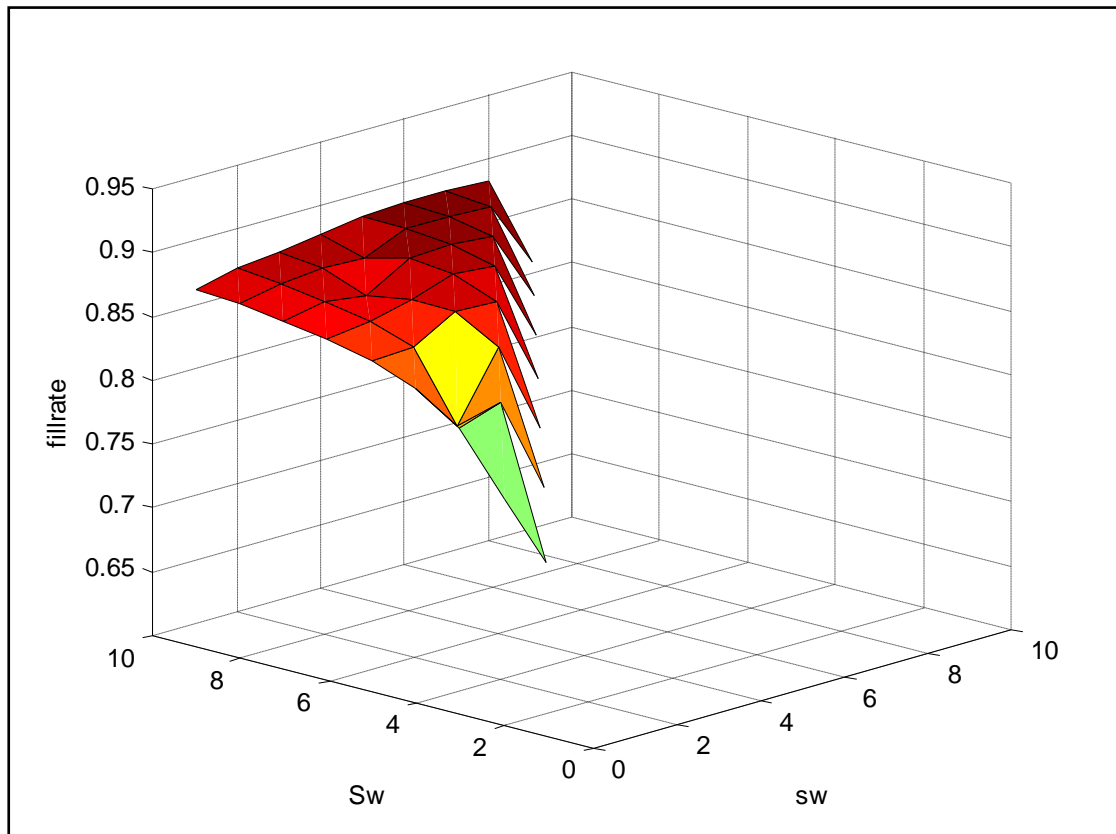
Αν $S_r=10$, $s_r=9$ και τα S_w, s_w κυμαίνονται στο διάστημα $[2,10]$ και $[1,9]$ αντίστοιχα, παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα. Βλέπουμε ότι καθώς τα S_w, s_w αυξάνονται, αυξάνεται το WIP_{system} με μέγιστη τιμή 14 στον συνδυασμό (10,9).



Εικόνα 28: Το WIP_{system} σε σχέση με τα S_w, s_w , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.5 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_w, s_w ΜΕ ΤΟ $FILL RATE_{SYSTEM}$

Αν $S_r=10, s_r=9$ και τα S_w, s_w κυμαίνονται στο διάστημα $[2, 10]$ και $[1, 9]$ αντίστοιχα παίρνουμε το παρακάτω διάγραμμα. Βλέπουμε ότι καθώς τα S_w, s_w αυξάνονται, το $FillRate_{system}$ αυξάνεται με μέγιστη τιμή 0,89 για συνδυασμό τιμών $S_w, s_w (10, 9)$.

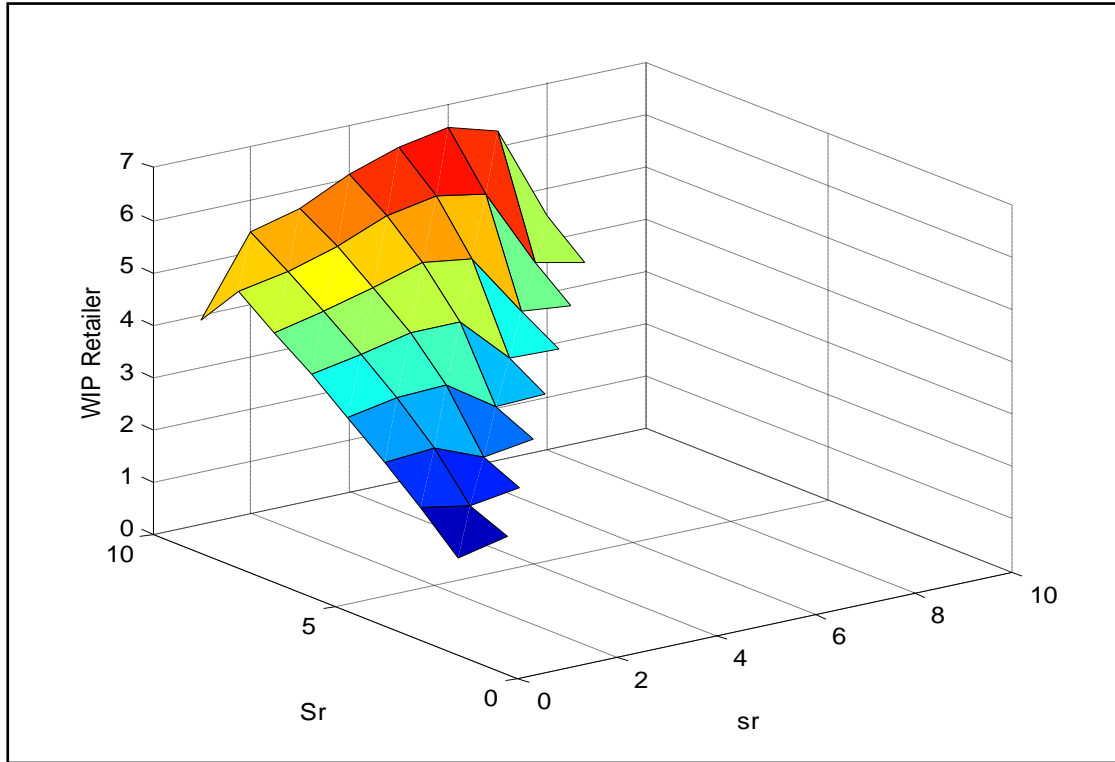


Εικόνα 29: Το $FillRate_{system}$ σε σχέση με τα S_w, s_w , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.6 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ $WIP_{RETAILER}$

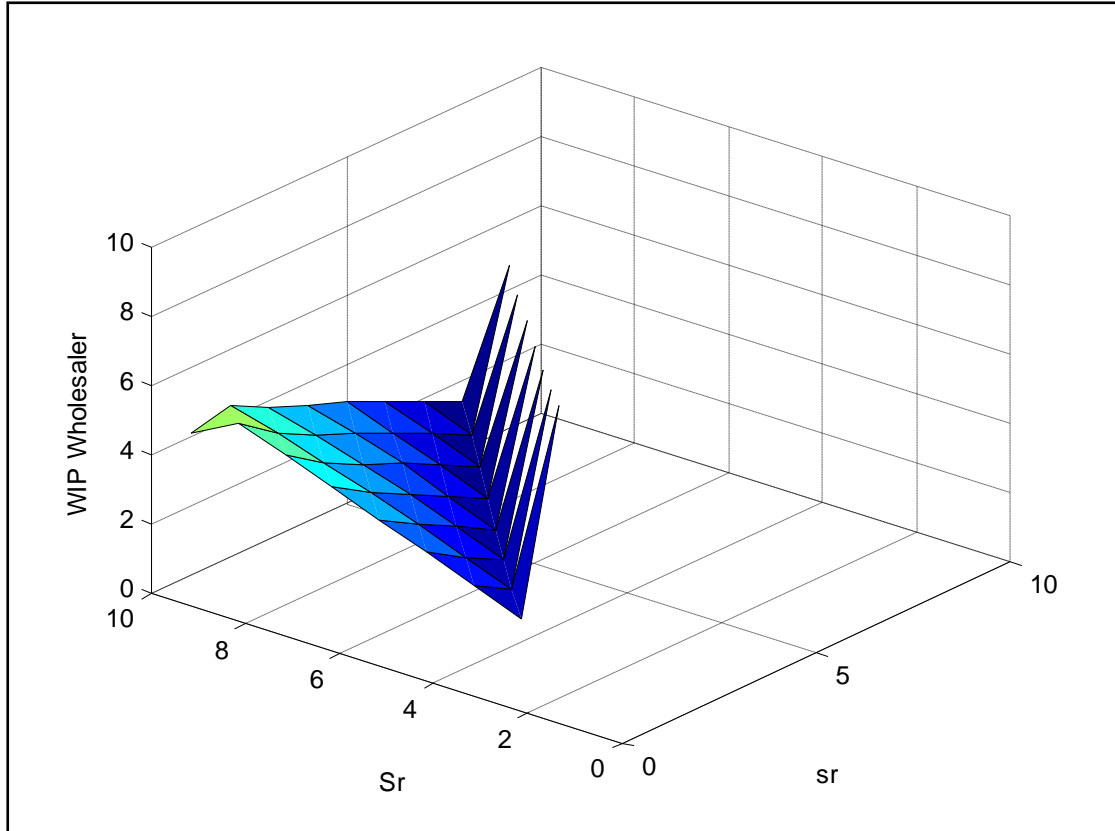
Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάσουμε την σχέση των S_r, s_r με τα διάφορα μέτρα απόδοσης. Με βασικές υποθέσεις πάλι για $\mu_{11}=2, \mu_{12}=0,6, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, \mu_{21}=2, \mu_{22}=0,6, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$, παρουσιάζουμε γραφήματα για τη συμπεριφορά των μέτρων απόδοσης σε σχέση με τις μεταβλητές S_r, s_r . Υποθέτουμε επίσης ότι S_w, s_w έχουν τιμές $(10, 9)$

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς τα (S_r, s_r) αυξάνονται, το $WIP_{retailer}$ αυξάνεται, φθάνοντας στη μέγιστη τιμή $(6, 5)$ για συνδυασμό τιμών $S_r, s_r (10, 7)$.



Εικόνα 30: Το $WIP_{Retailer}$ σε σχέση με τα S_r, s_r , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.7 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ $WIP_{Wholesaler}$

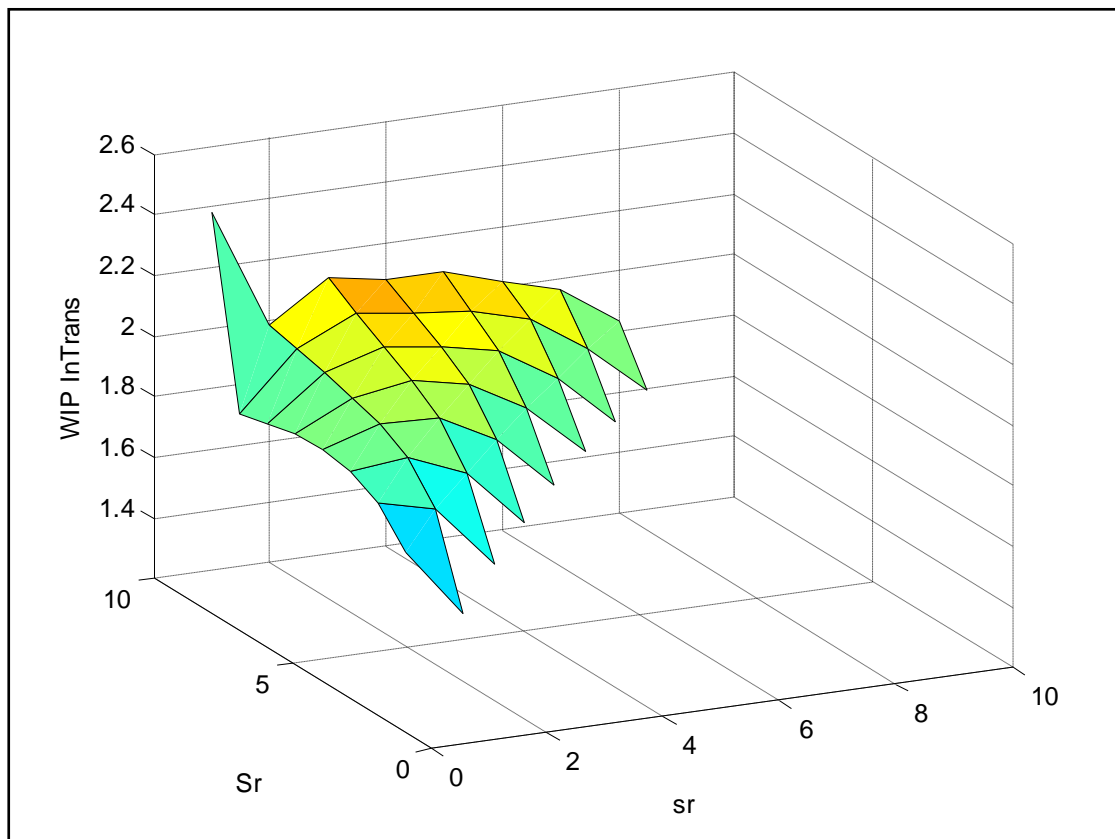


Εικόνα 31: Το $WIP_{\text{wholesaler}}$ σε σχέση με τα S_r, s_r , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς τα S_r, s_r αυξάνονται, το $WIP_{\text{wholesaler}}$ ξεκινώντας από μια αρχική μέγιστη τιμή 4 για συνδυασμό (10,1) μειώνεται, ενώ όταν η διαφορά των S_r, s_r γίνει ένα τότε $WIP_{\text{wholesaler}}$ αυξάνεται. Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζονται και μέγιστες τιμές ίσες με 7.

5.4.8 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ $WIP_{\text{INTRANSIT}}$

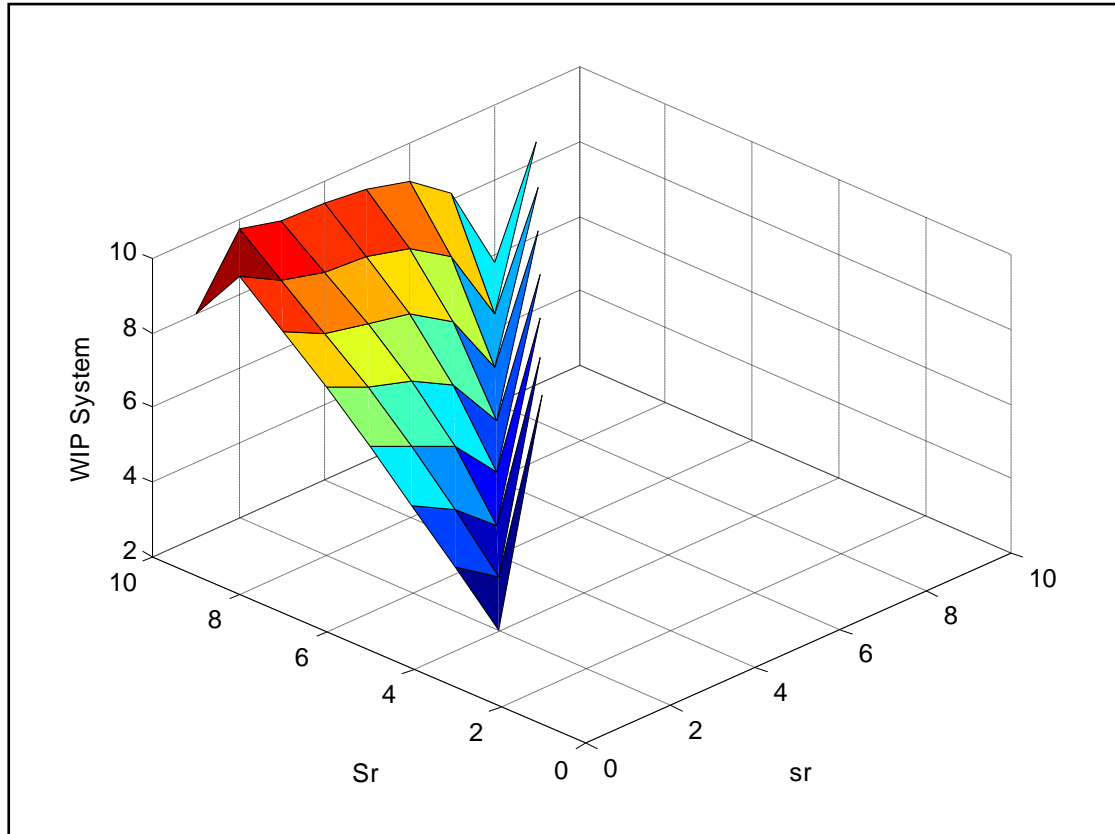
Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς τα (S_r, s_r) αυξάνονται, το $WIP_{\text{intransit}}$ παρουσιάζει μέγιστη τιμή 2,1 στο συνδυασμό τιμών (10, 3).



Εικόνα 32: Το $WIP_{\text{INtransit}}$ σε σχέση με τα S_r, s_r , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.9 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ WIP_{SYSTEM}

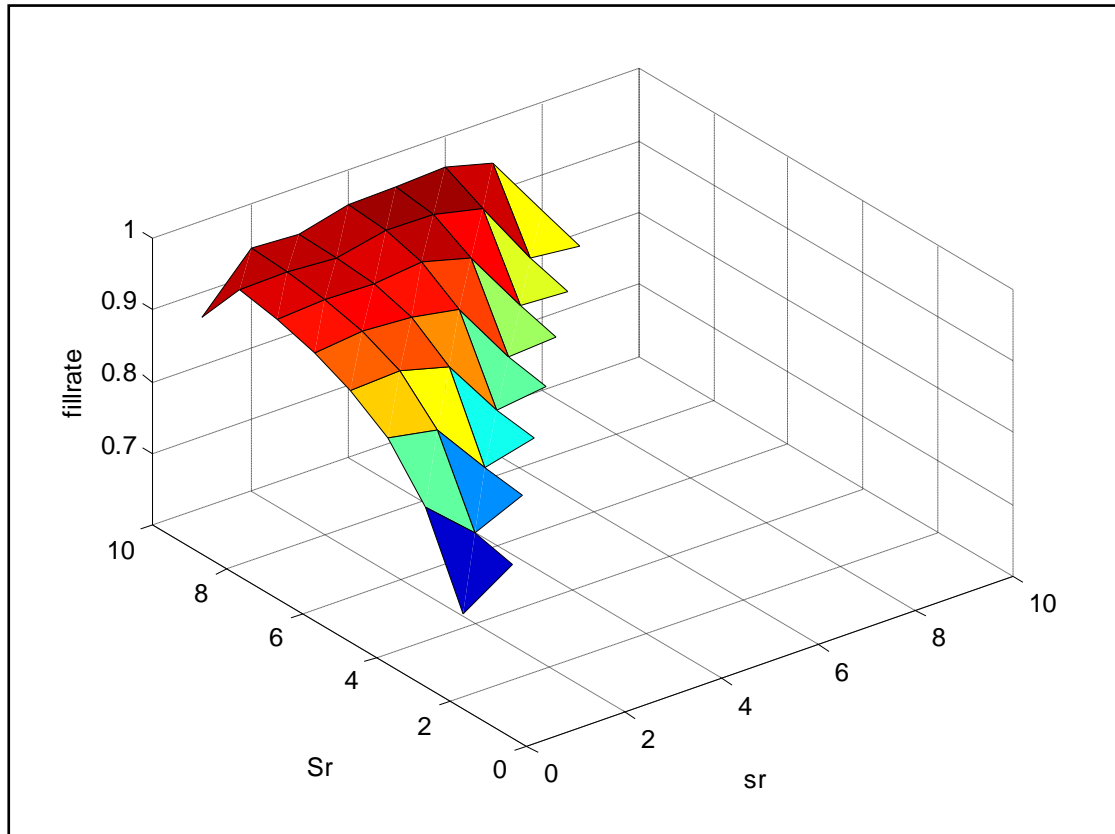
Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι από μια αρχική μέγιστη τιμή περίπου 8 για συνδυασμό τιμών (10,1) το WIP_{system} μειώνεται καθώς μειώνεται το S_r και αυξάνεται το s_r .



Εικόνα 33: Το WIP_{system} σε σχέση με τα S_r, s_r αν $\mu_{11}=0,6$, $\mu_{12}=2$, $\mu_{21}=0,6$, $\mu_{22}=2$, $d_{11}=0,7$, $d_{12}=0,3$, $d_{21}=0,7$, $d_{22}=0,3$, $\lambda=1$

5.4.10 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ S_r, s_r ΜΕ ΤΟ $FILL RATE_{SYSTEM}$

Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς τα (S_r, s_r) αυξάνονται το fill rate αυξάνεται μέχρι τον συνδυασμό τιμών (10,6), όπου παρουσιάζει μέγιστη τιμή που προσεγγίζει το 0,95.



Εικόνα 34: Το $FILLRATESYSTEM_{opt}$ σχέση με τα S_r, s_r , αν $\mu_{11}=0,6, \mu_{12}=2, \mu_{21}=0,6, \mu_{22}=2, d_{11}=0,7, d_{12}=0,3, d_{21}=0,7, d_{22}=0,3, \lambda=1$

5.4.11 ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ WIP SYSTEM, FILL RATE ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΟ $S_1+S_2=10$.

Δεδομένου ότι το υπό εξέταση εφοδιαστικό σύστημα έχει περιορισμούς χωρητικότητας, θέτουμε το συνολικό όριο χωρητικότητας ίσο με 10 και αναζητούμε το διάνυσμα (S_w, s_w, S_r, s_r) που:

A) Ελαχιστοποιεί το WIP_{SYSTEM}

Θεωρούμε ως βέλτιστο το ελάχιστο WIP_{SYSTEM} (MinimumWIPsystem), το οποίο παίρνουμε από τον παρακάτω συνδυασμό τιμών $S_w=8, s_w=1, S_r=2, s_r=1$.

B) Μεγιστοποιεί το $FillRate_{system}$

Θεωρούμε ως βέλτιστο το μέγιστο $Fillrate_{system}$ (Maximumfillrate), το οποίο παίρνουμε από τον παρακάτω συνδυασμό τιμών: $S_w=6, s_w=3, S_r=4, s_r=1$.

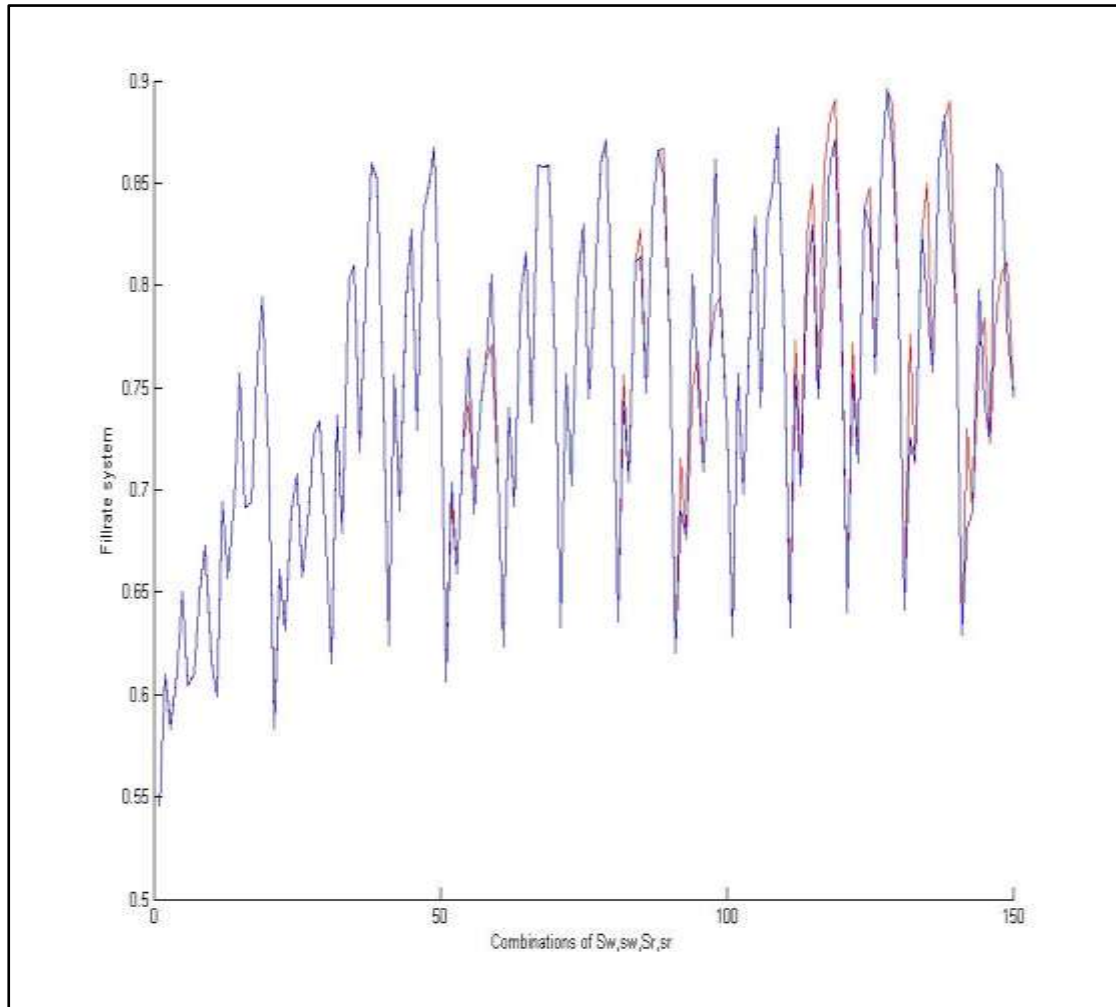
5.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων του αναλυτικού υποδείγματος, αναπτύσσουμε υπόδειγμα προσομοίωσης για το υπό εξέταση εφοδιαστικό σύστημα. Βασικό χαρακτηριστικό όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα είναι η ταύτιση των αποτελεσμάτων (τιμές WIP & Fillrate) μεταξύ προσομοιωτικού και αναλυτικού υποδείγματος, αποτελώντας την τεκμηρίωση της ορθότητας των αριθμητικών αποτελεσμάτων που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

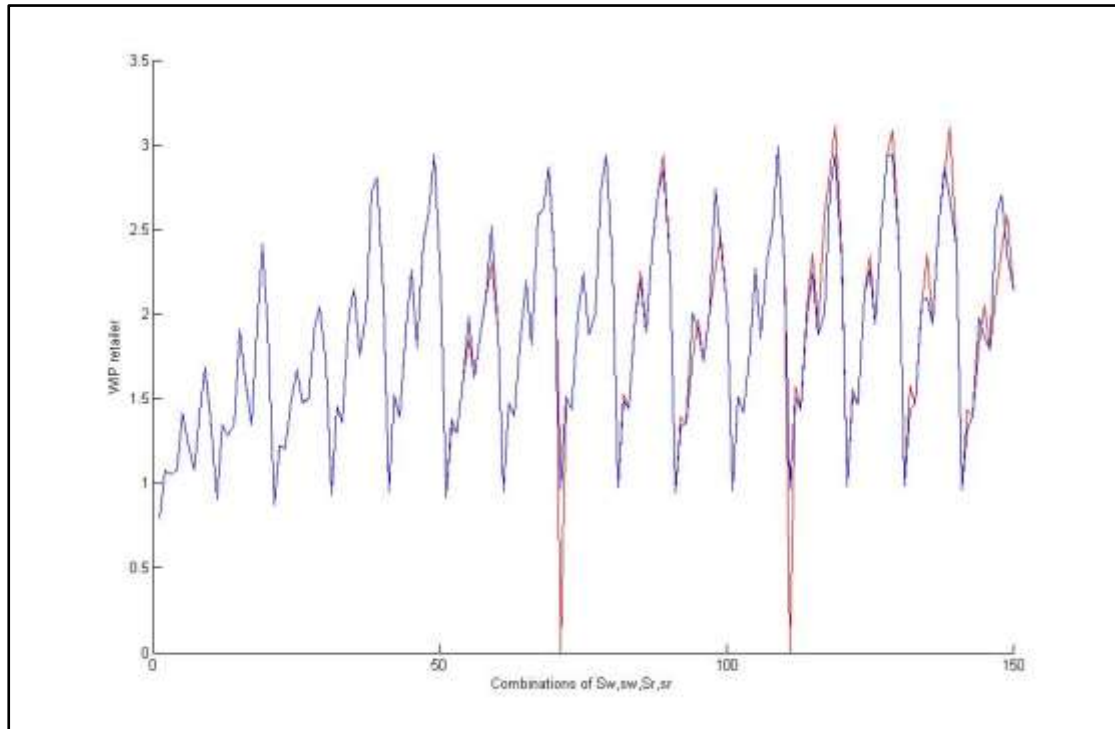
S ₂	s ₂	S ₁	s ₁	Fill Rate		WIP retailer	
				Analytic	Simulation	Analytic	Simulation
2	1	2	1	0,5459	0,546	0,7959	0,795
3	2	2	1	0,5845	0,583	0,8734	0,872
2	1	3	2	0,5849	0,583	1,0545	1,050
3	1	2	1	0,5994	0,600	0,9026	0,903
2	1	4	3	0,6052	0,604	1,2475	1,242
4	3	2	1	0,6065	0,607	0,9171	0,918
4	1	2	1	0,6161	0,615	0,9357	0,932
2	1	5	4	0,6168	0,616	1,389	1,386
5	4	2	1	0,6204	0,621	0,9444	0,945
5	1	2	1	0,6239	0,623	0,9512	0,950
4	2	2	1	0,6245	0,624	0,9527	0,951
6	1	2	1	0,6287	0,628	0,9606	0,959
6	5	2	1	0,6294	0,629	0,9622	0,962
3	2	3	2	0,6317	0,631	1,2088	1,208
5	3	2	1	0,6358	0,636	0,9751	0,975
6	3	2	1	0,6409	0,640	0,985	0,984
6	4	2	1	0,6418	0,642	0,9868	0,987
3	1	3	2	0,6572	0,657	1,2816	1,281
3	2	4	3	0,6575	0,658	1,4802	1,475
4	3	3	2	0,6591	0,660	1,2977	1,299

S_2	s_2	S_1	s_1	Fill Rate		WIP retailer	
				Analytic	Simulation	Analytic	Simulation
4	3	4	3	0,6886	0,690	1,6252	1,628
6	5	3	2	0,6896	0,690	1,3956	1,394
4	2	3	2	0,6898	0,691	1,3928	1,393
3	1	4	3	0,6914	0,691	1,6192	1,614
5	1	3	2	0,6917	0,693	1,3972	1,396
3	1	3	1	0,6941	0,694	1,3478	1,348
6	1	3	2	0,6982	0,698	1,419	1,416
5	3	3	2	0,705	0,704	1,4434	1,443
4	3	5	4	0,7071	0,707	1,9011	1,902
5	4	4	3	0,7093	0,709	1,722	1,720
6	3	3	2	0,713	0,714	1,4699	1,470
6	4	3	2	0,7134	0,713	1,4713	1,471
3	1	5	4	0,7138	0,714	1,9179	1,918
4	1	4	3	0,7195	0,718	1,7533	1,750
6	5	4	3	0,7239	0,723	1,7905	1,791

Τέλος για την ευκολότερη κατανόηση της ταύτισης των αποτελεσμάτων παραθέτουμε τα παρακάτω διαγράμματα



Εικόνα 40 Η σύγκριση των τιμών filtrate για το αναλυτικό και το προσομοιωτικό υπόδειγμα. Η κυανή γραμμή αφορά τα αποτελέσματα του αναλυτικού υποδείγματος ενώ η ερυθρή αφορά το προσομοιωτικό



Εικόνα 35 Η σύγκριση τιμών WIP total για το αναλυτικό και το προσομοιωτικό υπόδειγμα. Η κυανή γραμμή αφορά τα αποτελέσματα του αναλυτικού υποδείγματος ενώ η ερυθρή αφορά το προσομοιωτικό

5.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω, είναι δυνατή η μοντελοποίηση σειριακού εφοδιαστικού δικτύου τριών στοιβάδων με μεταβλητότητα των χρόνων αναμονής παραγγελιών, οι οποίοι έχουν κατανομή τύπου φάσης Coxian-2, μέσω στοχαστικών διαδικασιών διακριτών καταστάσεων. Η μοντελοποίηση επέτρεψε να εξαχθούν οι στάσιμες πιθανότητες και τα μέτρα απόδοσης, καθώς και η συμπεριφορά των μέτρων απόδοσης όταν μεταβάλαμε τις ελεγχόμενες μεταβλητές.

Ακόλουθη έρευνα θα μπορούσε να αφορά τη μοντελοποίηση σειριακού εφοδιαστικού συστήματος με περισσότερες από τρεις στοιβάδες ή σειριακού εφοδιαστικού δικτύου τριών στοιβάδων, αλλά με χρόνους ανομονής παραγγελιών με κατανομή τύπου φάσης Coxian-3, Coxian-4 ή παραπάνω φάσεων.

5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5

1. Abdel –Malek, L. & Ziegler, H., “Age dependent perishability in two-echelon serial inventory systems”, στο *Computers & Operational Research*, Τόμος 15, Τεύχος 3, 1988, σ. 227-238
2. Aharon, B.T., Boaz, G. & Shimrit, S., “Robust multi-echelon, multi-period inventory control”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 199, 2009, σ. 922-935.
3. Balcioglou, B. & Gurler G., “On the use of phase-type distributions for inventory management with supply disruptions”, στο *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 2011.
4. Chao, X. & Zhou, S.X., “Probabilistic Solutions and Bounds for Serial Inventory Systems with Discounted and Average Costs, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 54, 2007, σ. 623-631.
5. Chiang, C. & Guterriez, G., “A periodic review inventory system with two supply modes”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 94, 1996, σ. 527-547.
6. Chung, C. S., Flynn, J. & Stalinski, P., “A Single-Period Inventory Placement Problem for a Serial Supply Chain”, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 48, 2001, σ. 506-517.
7. Daniel, J.S.R. & Rajendran C., “A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain”, στο *Operational Transactions in Operational Research*, Τόμος 12, 2005, σ. 101-127.
8. Daniel, J.S. R. & Rajendran, C., “Heuristic approaches to determine base-stock levels in a serial supply chain with a single objective and with multiple objectives”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 175, 2006, σ. 566-592.
9. Dekker, R., Hill, R.M., Kleijn, M. J. & Teunter, R.H., “On the (S - 1, S) Lost Sales Inventory Model with Priority Demand Classes”, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 49, 2002, σ. 593-610.
10. Gallego, G. & Ozer, O., “A new algorithm and a new heuristic for serial supply systems”, στο *Operations Research Letters*, Τόμος 33, 2005, σ. 349-362.
11. Federgruen, A. & Zipkin, P., “Computational issues in a infinite-horizon, multi-echelon inventory model, στο *Operations Research*, Τόμος 32, Τεύχος 4, 1984, σ. 818-836.
12. Feng, K. & Rao, U.S., “Echelon-stock (R, nT) control in two-stage serial stochastic inventory systems”, στο *Operations Research Letters*, Τόμος 35, 2007, σ. 95-104.
13. Iida, T., “The infinite horizon of non-stationary stochastic multi-echelon inventory problem and near-myopic policies”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 134, 2001, σ. 525-539.
14. Inderfurth, K. & Minner, S., “Safety stocks in multi-stage inventory systems under different service measures”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 106, 1998, σ. 57-73.
15. Johansen, S.G., “Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 93-94, 2005, σ. 429-437.
16. Kerbache, L. & MacGregor, S. J., “Queueing networks and the topological design of supply chain systems”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 91, 2004, σ. 251-263.
17. Kochel, P., (1996), “On queueing models for some multi-location problems”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 45, 1996, σ. 429-433.
18. Liu, J. & Lee, C.G., “Evaluation of inventory policies with unidirectional substitutions”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 182, 2007, σ. 145-163.

19. Muharremoglu, A.&Tsitsiklis, J. N., "A Single-Unit Decomposition Approach to Multi-echelon Inventory Systems", στο *Operations Research*, Τόμος 56, Τεύχος 5, 2008, σ. 1089-1103.
20. Ouyang, L. Y. & Wu, K. S., "Mixture inventory model involving variable lead time with a service level constraint", στο *Computers Operations Research*, Τόμος 24, Τεύχος 9, 1997, σ. 875-882
21. Shang, S. H. & Song, J.S., "A Closed-Form Approximation for Serial Inventory Systems and Its Application to System Design", στο *Manufacturing, Service and Operations Management*, Τόμος 8, Τεύχος 4, 2006, σ. 394-406.
22. Smith, M.A.J. & Dekker, J., "On the (S-1,S) stock model for renewal demand process", στο *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, Τόμος 11, 1997, σ. 375-386.
23. Snyder, L. V. & Shen Z.-J. Max., *Supply and Demand Uncertainty in Multi-Echelon Supply Chains*, 2006.
24. Schwarz, M. & Daduna, H., "Queueing systems with inventory management with random lead times and with backordering", στο *Mathematical Methods on Operational Research*, Τόμος 64, 2006, σ. 383-414.
25. Van Eijs, M.J.G., "Multi-item inventory systems with joint ordering and transportation decisions", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 35, 1994, σ. 285-294.
26. Zipkin, P., "Stochastic Leadtimes in Continuous-Time Inventory Models", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 33, 1986, σ. 763-774.

5.8 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Κατασκευή Ψευδοκώδικα για το υπόδειγμα

Είσοδος $\ddot{\cdot}$: Διάβασε S_w , μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί της εγκαταστάσεις του χονδρέμπορου

s_w , απόθεμα ασφαλείας για χονδρέμπορο

μ_{w1} : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών με μία φάση ολοκλήρωσης για τον χονδρέμπορο

μ_{w2} , μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών με δύο φάσεις ολοκλήρωσης για τον χονδρέμπορο

d_{w1} : ποσοστό παραγγελιών του χονδρέμπορου που ολοκληρώνονται σε μία φάση

d_{w2} : ποσοστό παραγγελιών του χονδρέμπορου που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις

S_R , μέγιστο επίπεδο αποθέματος που μπορεί να αποθηκευτεί της εγκαταστάσεις του χονδρέμπορου

s_R , απόθεμα ασφαλείας για χονδρέμπορο

μ_{R1} : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών με μία φάση ολοκλήρωσης για τον χονδρέμπορο

μ_{R2} , μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών με δύο φάσεις ολοκλήρωσης για τον χονδρέμπορο

d_{R1} : ποσοστό παραγγελιών του χονδρέμπορου που ολοκληρώνονται σε μία φάση

d_{R2} : ποσοστό παραγγελιών του χονδρέμπορου που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις

λ : μέσος ρυθμός ζήτησης

Εντολές δημιουργίας πινάκων D

Πλήρωση D_0

Το συγκεκριμένο είδος υποπινάκων αποτελείται από 2 υποπίνακες σε διαγώνια διάταξη που έχουν στην κύρια διαγώνιο της ο μεν πρώτος τα στοιχεία $-\mu_{21}$, $-\lambda-\mu_{21}$, ό δε δεύτερος τα στοιχεία $-\mu_{22}$, $-\lambda-\mu_{22}$ με τα τελευταία στοιχεία να επαναλαμβάνονται S_R φορές

Στην υποδιαγώνιο και των δύο υποπινάκων υπάρχει το στοιχείο λ . Τέλος, ο πίνακας D_0 συμπληρώνεται με την διαγώνιο από την 1^n γραμμή και την S_R+2 στήλη έως την S_R+1 γραμμή και την $2(S_R+1)$ στήλη με το στοιχείο $\underline{d_{22}\mu_{21}}$. Οι εντολές του ψευδοκώδικα παρατίθενται παρακάτω

Εντολή 1 : Δημιούργησε 1 πίνακα D_0 διαστάσεων $2(S_R+1) \times 2(S_R+1)$

Εντολή 2 : Συμπλήρωση πίνακα D_0

Εντολή 2.1. Στο πρώτο στοιχείο της διαγωνίου βάλε στοιχείο $-\mu_{w1}$, $P(1,1) = -\mu_{w1}$

Εντολή 2.2. Στα επόμενα S_R στοιχεία της διαγωνίου βάλε στοιχεία $-\lambda - \mu_{w1}$

Εντολή 2.3. Βάλε αριστερά της διαγωνίου στοιχείο λ S_R φορές

Εντολή 2.4. Στο κελί του πίνακα (S_R+2, S_R+2) στην κύρια διαγώνιο βάλε στοιχείο $-\mu_{w2}$

Εντολή 2.5. Στα επόμενα S_R+1 στοιχεία της διαγωνίου βάλε στοιχείο $-\lambda - \mu_{w2}$. Εναλλακτικά : $i = \dim_0 + 2(1) \dots \dim_0$ $P(i,i) = -\lambda - \mu_{w2}$

Εντολή 2.6. Στα στοιχεία αριστερά της διαγωνίου βάλε στοιχείο λ $i = S_R+1 + 2(S_R+1)$ $P(i,i-1) = \lambda$

Εντολή 2.7. Βάλε στα υπόλοιπα στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο λ $i = 2(i) S_R$ $P(i,i-1) = \lambda$

Εντολή 2.8. Βάλε στοιχείο $d_{w2\mu w1}$ από το κελί $(1, S_R+2)$ διαγώνια S_R+1 φορές $i=1$ $(1) \dim_0$ $P(i, i + \dim_0) = d_{w2\mu w1}$

Εντολή 3 : Δημιουργία πινάκων $D_{1..s_w}$

Οι πίνακες συμπληρώνονται με 2 υποπίνακες σε διαγώνια διάταξη οι οποίοι είναι οι πίνακες μεταπήδησης εκτός των πινάκων A του σειριακού υποδείγματος των 2 στοιβάδων που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. . Επιπλέον της προαναφερθείσας διαδικασίας η συμπλήρωση της διαγωνίου γίνεται με την τοποθέτηση στην κύρια διαγώνιο του στοιχείου $-\mu_{w1}$ ενώ τα επόμενα S_R+S_R+2 στοιχεία συμπληρώνονται με την τοποθέτηση του στοιχείου $-\mu_{w2}$. Η συμπλήρωση της διαγωνίου με τα δύο στοιχεία επαναλαμβάνεται s_w φορές. Τέλος, από την $2(S_R+1) + (S_R+S_R+2)$ στήλη και την $2(S_R+1)+1$ συμπληρώνεται με στοιχείο $d_{w2\mu w1}$ S_R+S_R+2 φορές

Εντολή 3.1. Δημιούργησε s_w πίνακες διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times 2(S_R+S_R+2)$

Εντολή 3.2. Βάλε τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για 2 stages

Εντολή 3.3. Διέγραψε το διάνυσμα $\begin{bmatrix} d_{R1\mu R1} \\ \mu_{R2} \end{bmatrix}$

Εντολή 3.4. Πρόσθεσε σε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\mu_{w1}$

Εντολή 3.5. Από την γραμμή $i = 2(S_R+1)+1$ και την στήλη $i = 2(S_R+1)+S_R+S_R+2$ βάλε διαγώνιο στοιχείο $d_{w2\mu w1}$ επανέλαβε S_R+S_R+2

Εντολή 3.6. Από το στοιχείο $(2(S_R+1) + S_R+S_R+2, 2(S_R+1) + S_R+S_R+2)$ βάλε τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για 2 stages

Εντολή 3.7. Διέγραψε το διάνυσμα $\begin{bmatrix} d_{R1\mu R1} \\ \mu_{R2} \end{bmatrix}$

Εντολή 3.8. Πρόσθεσε σε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\mu_{w2}$

Εντολή 3.9. Επανέλαβε τις εντολές 3.2. έως 3.8. s_w φορές

Εντολή 4 : Δημιουργία q_w πινάκων $D_{s_w+1} \dots D_{s_w}$

Προκύπτουν από την τοποθέτηση σε διαγώνια διάταξη των πινάκων μεταπήδησης, εκτός των πινάκων A , του σειριακού υποδείγματος των 2 στοιβάδων που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι πίνακες Δαντιπροσωπεύουν την κατάσταση ισορροπίας του εφοδιαστικού συστήματος δηλαδή την κατάσταση μετά της αναπληρώσεις σε χονδρέμπορο και λιανέμπορο και την εκδήλωση ζήτησης

Εντολή 4.1. Βάλε τον πίνακα μεταπήδησης για το υπόδειγμα με 2 stages διαγώνια

Εντολή 4.2. Διέγραψε το διάνυσμα $\begin{bmatrix} dR1 \mu R1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$

Εντολές δημιουργίας πινάκων A (Ανω της διαγωνίου)

Εντολή 5 : Δημιουργία και συμπλήρωση A_0

Εντολή 5.1. Δημιούργησε 1 πίνακα A_0 $2(S_R+1) \times (S_R+S_R+2)$

Εντολή 5.2. Δημιούργησε s_w πίνακες διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times (S_R+S_R+2)$

Από την πρώτη γραμμή και την $2(S_R+1) + 2(q_w-1) (S_R+S_R+2)$ στήλη βάλε στοιχείο $d_{21\mu 21}$ ανα μία στήλη κενό μέχρι την στήλη $2(S_R+1) + 2(q_w-1) (S_R+S_R+2) + 2(S_R+1)$ και μετά από την συγκεκριμένη στήλη σε διαδοχικές στήλες. Ενώ το στοιχείο $d_{21\mu 21}$ συμπληρώνεται σε διαδοχικές γραμμές. Ύστερα από την δημιουργία A_0 ελέγχουμε αν είμαστε δεξιά ή αριστερά της στήλης ελέγχου $2(S_R+1) + 2 s_w (S_R+S_R+2)$ και διακρίνουμε της εξής περιπτώσεις.

1. Αριστερά της στήλης ελέγχου : αφήνουμε S_R+S_R+2 στήλες κενό και εγγράφουμε $2s_w+1-S_w$ πίνακες $A_{1 \dots s_w}$ διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times (S_R+S_R+2)$ με κενά μέχρι να φθάσουμε την στήλη ελέγχου. Οι πίνακες συμπληρώνονται με δυο διαγώνιους την μία κάτω από την άλλη με στοιχεία $d_{21\mu 21}$, μ_{22} και s_w φορές
2. Δεξιά της στήλης ελέγχου : Συμπληρώνουμε s_w πίνακες $A_{1 \dots s_w}$ διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times (S_R+S_R+2)$ με κενά μέχρι να φθάσουμε την στήλη ελέγχου. Οι πίνακες συμπληρώνονται με δυο διαγώνιους την μία κάτω από την άλλη με στοιχεία $d_{21\mu 21}$, μ_{22} χωρίς κενά μεταξύ της

Οι πίνακες A αντιπροσωπεύουν της καταστάσεις διαδικασιών αναπλήρωσης του χονδρέμπορου

Εντολή 6 : Δημιουργία πίνακα A_0

Από την γραμμή και την στήλη
 $\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2)αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2)αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$ βάλτε υποπίνακα A0

Εντολή 6.1. Βάλτε στοιχείο $d_{w1\mu_{w1}}$ στην πρώτη γραμμή και την
 $\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2)αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2)αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$ στήλη

Εντολή 6.2. Επανέλαβε σε διαγώνια διάταξη σε διαδοχικές γραμμές και ανά μία
 στήλη κενό μέχρι την στήλη
 $\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2) + 2(SR + 1)αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2) + 2(SR + 1)αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$

Εντολή 6.3. Από τις στήλες

$\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2) + 2(SR + 1) + 1αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2) + 2(SR + 1) + 1αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$ βάλτε
 στοιχείο $d_{w1\mu_{w1}}$ σε διαδοχικές γραμμές και στήλες

Εντολή 6.4. Επαναλαμβάνεις τις εντολές 6.2., 6.3. S_{R+1} φορές

Εντολή 6.5. Από την γραμμή S_{R+2} και τις στήλες
 $\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2)αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2)αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$ βάλτε στοιχείο μ_{w2} διαγώνια
 σε διαδοχικές γραμμές και ανα μία στήλη κενό μέχρι την στήλη
 $\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2) + 2(SR + 1)αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2) + 2(SR + 1)αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$

Εντολή 6.6. Από την στήλη

$\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2) + 2(SR + 1) + 1αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2) + 2(SR + 1) + 1αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$ βάλτε
 στοιχείο μ_{w2} σε διαδοχικές γραμμές και στήλες έως την στήλη

$$\left\{ \begin{array}{l} 2(SR + 1) + qw(SR + sR + 2) + 2(SR + sR + 2) + 1αν Sw > 2sw \\ 2(SR + 1) + (qw - 1)(SR + sR + 2) + 2(SR + sR + 2) + 1αν Sw \leq 2sw \end{array} \right\}$$

Εντολή 6.7. Βάλτε S_{R+1} στοιχεία μ_{w2} συνολικά

Εντολή 7. Εντολή ελέγχου

Εντολή 7.1. Μετά την ολοκλήρωση των εντολών 6.1.-6.7. να ελέγξεις αν οι στήλες
 είναι αριστερά της στήλης $2(S_{R+1}) + 2s_w (S_R + S_{R+2})$ ή δεξιά

Εντολή 7.2. Αν είσαι αριστερά της στήλης $2(S_{R+1}) + 2s_w (S_R + S_{R+2})$ άσε $S_R + S_{R+2}$ στήλες
 κενό

Εντολή 7.3. Αν είσαι δεξιά της στήλης ή ακριβώς στην στήλη $2(S_R+1) + 2s_w (S_R+S_R+2)$ μην αφήνεις κενό

Εντολή 8 : Δημιουργία πινάκων A_1, \dots, A_{s_w}

Εντολή 8.1. Δημιούργησε s_w πίνακες διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times 2(S_R+S_R+2)$

Εντολή 8.2. Βάλε στοιχείο $d_{w1\mu_{w1}}$ διαγώνια σε διαδοχικές γραμμές και στήλες.

Εντολή 8.3. Από την αρχική στήλη και την S_R+2 γραμμή βάλε διαγώνια σε διαδοχικές γραμμές και στήλες στοιχείο μ_{w2}

Εντολή 9. Εντολή Ελέγχου. Μετά την ολοκλήρωση των εντολών 8.1, 8.2., 8.3. να ελέγξεις αν είναι αριστερά της στήλης $2(S_R+1) + 2s_w (S_R+S_R+2)$ τότε άσε S_R+S_R+2 στήλες κενό.

Εντολή 9.1. Αν είναι δεξιά η επί της στήλης $2(S_R+1) + 2s_w (S_R+S_R+2)$ τότε να μην αφήνεις κενό

- Πίνακες K

Διακρίνουμε τις περιπτώσεις $q_R > 1$ και $q_R = 1$

Λόγω του ότι οι πίνακες αφορούν της αναπληρώσεις του λιανοπωλητή διακρίνουμε δύο περιπτώσεις πολιτικών αποθεμάτων που μπορεί να ακολουθεί ο λιανοπωλητής. Η πρώτη είναι συνεχής πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων τύπου (s,S) και η δεύτερη είναι βασεστοκπολιτική τύπου (S-1,S). Συνεπώς της υποπίνακες K διακρίνουμε δύο περιπτώσεις για $q_R = 1$, $q_R > 1$

Περίπτωση για $q_R > 1$

Συμπλήρωση πινάκων

Εντολή 10.1 s_w πίνακες διαστάσεων $2(S_R+S_R+2) \times 2(S_R+1)$: συμπληρώνονται με το διάνυσμα στήλη $\begin{bmatrix} d_{11} \mu_{11} \\ \mu_{12} \end{bmatrix}$ το οποίο εγγράφεται από την $2(S_R+1) + 1$ γραμμή και την 2^n στήλη και επαναλαμβάνεται s_R+1 . Η παραπάνω διαδικασία συμπλήρωσης επαναλαμβάνεται άλλη μια φορά . Σε κάθε επανάληψη από της s_w αυξάνεται η στήλη της αρχικής εγγραφής με την τερματική συνθήκη της διαδικασίας να είναι η q_R στήλη

Εντολή 10.2. $q_R - s_w$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+S_R+2) \times 2(S_R+1)$: η ίδια διαδικασία συμπλήρωσης ακολουθείται και σε αυτό το είδος υποπινάκων με την διαφορά ότι οι συγκεκριμένοι πίνακες ξεκινούν από την γραμμή $2(S_R+1) + 2 s_w (S_R+S_R+2) + 1$. Προκύπτει

από της παραπάνω διαδικασίες συμπλήρωσης ότι οι s_w και q_R s_w πίνακες είναι διατεταγμένοι

Εντολή 10.3 s_w - q_R πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$: οι πίνακες είναι σε διαγώνια διάταξη μεταξύ της . Συμπληρώνονται με το διάνυσμα στήλη $\begin{bmatrix} d_{11} & \mu_{11} \\ & \mu_{12} \end{bmatrix}$ σε διαγώνια διάταξη και σε διαδοχικές γραμμές και στήλες s_R+1 φορές

Αρχική γραμμή $2(S_R+1)+2 s_w (S_R+s_R+2) + (q_R - s_w) (S_R+s_R+2)$

Αρχική στήλη $2(S_R+1)+s_w+s_w+1$

Εντολή 11. Από την γραμμή $2(S_R+1)+1$ και την $1^{\text{η}}$ στήλη δημιούργησε s_w πίνακες διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$

Εντολή 12 Από την γραμμή $2(S_R+1)+2 s_w (S_R+s_R+2)$ και την πρώτη στήλη δημιούργησε q_R - s_w πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$

Εντολή 13 Οι πίνακες των εντολών 10,11 είναι διατεταγμένοι

Εντολή 14 Από την γραμμή $2(S_R+1)+2 s_w (S_R+s_R+2) + (q_R - s_w) (S_R+s_R+2)$ και την στήλη $2(S_R+1)+1$ δημιούργησε

Αν $q_w > q_R$ s_w πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$

$q_w - q_R$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times (S_R+s_R+2)$ σε διαγώνια διάταξη

Αν $q_w \leq q_R$ δημιούργησε $s_w + q_w - q_R$ πίνακες διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$ σε διαγώνια διάταξη.

Εντολή 15 : Από την γραμμή $2(S_R+1)+1$ και την $2^{\text{η}}$ στήλη βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} d_{r1} & \mu_{r1} \\ & \mu_{R2} \end{bmatrix}$ σε διαδοχικές γραμμές και στήλες S_R+1 φορές

Εντολή 16 Επανάλαβε την εντολή 14 για το τμήμα του πίνακα με

Αρχική γραμμή: $2(S_R+1)+ (S_R+s_R+2)$ αρχική στήλη S_R+1

Τελική γραμμή : $2(S_R+1)+ 2(S_R+s_R+2)$ τελική στήλη $2(S_R+1)$

Εντολή 17 : Επανάλαβε τις εντολές 15, 16 s_w φορές αυξάνοντας κατά μία την πρώτη στήλη εγγραφής του διανύσματος και με την τερματική συνθήκη q_R στήλη

Εντολή 18 Από την γραμμή $2(S_R+1)+ 2s_w(S_R+s_R+2)$ και την στήλη S_R+2 βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} d_{r1} & \mu_{r1} \\ & \mu_{R2} \end{bmatrix}$ σε διαγώνια διάταξη και s_R+1

Εντολή 19 : Σε κάθε επανάληψη να αυξάνεις την αρχική στήλη εγγραφής κατά 1 μέχρι την στήλη q_R

Εντολή 20 : Από την γραμμή $2(S_R+1)+ 2s_w(S_R+s_R+2) + (q_R-s_w) (S_R+s_R+2)$ και την στήλη $2(S_R+1) + S_R+s_R+1$ βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} dr1\mu r1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$ διαγώνια σε διαδοχικές γραμμές και στήλες $s_R +1$ φορές μέχρι την στήλη $2(S_R+1)+ (S_R+s_R+2)$

Εντολή 21 : Επανάλαβε την εντολή 19 σε διαγώνια διάταξη S_w-q_R φορές

Περίπτωση για $q_R=1$

Εντολή 22 Όλοι οι παραπάνω υποπίνακες είναι σε διαγώνια διάταξη , συμπληρώνονται από το διάνυσμα στήλη $\begin{bmatrix} d11\mu11 \\ \mu12 \end{bmatrix}$ διαγώνια σε διαδοχικές γραμμές και στήλες με εξαίρεση τα δύο τελευταία είδη υποπινάκων όπου συμπληρώνονται σε διαδοχικές γραμμές και ανά μία στήλη κενό.

Εντολή 23 : Δημιουργείς 1 πίνακα διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+1)$

Εντολή 24: Από την γραμμή $2(S_R+1)+1$ γραμμή και την $2^{\text{η}}$ στήλη βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} dr1\mu r1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$ διαγώνια σε διαδοχικές γραμμές και στήλες $s_R +1$ φορές

Εντολή 25 : Επανάλαβε την εντολή 22 σε τμήμα του πίνακα

Αρχική γραμμή : $2(S_R+1)+ S_R+s_R+2$ αρχική στήλη S_R+2

Τελική γραμμή: $2(S_R+1)+ 2(S_R+s_R+2)$ τελική στήλη $2(S_R+1)$

Εντολή 26 : Δημιουργείς s_w-1 πίνακες διαστάσεων $2(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$

Εντολή 27 : Από την γραμμή $2(S_R+1)+ 2(S_R+s_R+2) +1$ και την στήλη $2(S_R+1) +3$

Βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} dr1\mu r1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$ ανα μία στήλη κενό και σε διαδοχικές γραμμές $s_R +1$ φορές

Εντολή 28 : Επανάλαβε την εντολή 25 1 φορά για το τμήμα του πίνακα

Αρχική γραμμή : $2(S_R+1)+ 2(S_R+s_R+2) + S_R+s_R+3$ αρχική στήλη $2(S_R+1)+ (S_R+s_R+2)$

Τελική γραμμή : $2(S_R+1)+ 4(S_R+s_R+2)$ και τελική στήλη $2(S_R+1)+ 2(S_R+s_R+2)$

Εντολή 29 : Δημιούργησε 1 πίνακα διαστάσεων $(S_R+s_R+2) \times 2(S_R+s_R+2)$

Εντολή 30 "Από την γραμμή $2(S_R+1)+ 2s_w(S_R+s_R+2) +1$ και την στήλη $2(S_R+1)+ 2(s_w-1) (S_R+s_R+2) +3$ βάλε διάνυσμα $\begin{bmatrix} dr1\mu r1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$ διαγώνια $s_R +1$ φορές ανα μία στήλη κενό και σε διαδοχικές γραμμές

Εντολή 31. Δημιούργησε q_w-1 πίνακες $(S_R+s_R+2) \times (S_R+s_R+2)$ διαστάσεων

Εντολή 32 : Από την γραμμή $2(S_R+1)+ 2s_w(S_R+s_R+2) + S_R+s_R+2 +1$ και την στήλη $2(S_R+1)+ 2s_w(S_R+s_R+2) +3$ βάλε διαγώνια διάνυσμα $\begin{bmatrix} dr1\mu r1 \\ \mu R2 \end{bmatrix}$ ανα μία στήλη κενό και σε διαδοχικές γραμμές

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 5 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
(ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΤΡΩΝ ΑΠΟΔΟΣΗΣ)

WIP TRANSIT

- Εντολή 1 : Πολ/ασε της πρώτες $2(S_R+1)$ πιθανότητες με q_W
- Εντολή 2: Διάστημα πιθανοτήτων $2(S_R+1)+1$ εως $2(S_R+1)+2$ s_W (S_R+s_R+2)
 - Εντολή 2.1. : Πολ/ασε της πρώτες $2(s_R+1)$ πιθανότητες με q_W+q_R
 - Εντολή 2.2. : Πολ/ασε της επόμενες q_R πιθανότητες με q_W
 - Εντολή 2.3 : Επανέλαβε της εντολές 2.1. , 2.2. 2 s_W φορές
- Εντολή 3: Διάστημα πιθανοτήτων $2(S_R+1)+2$ s_W (S_R+s_R+2) εως $2(S_R+1)+ (S_W+ s_W)$ (S_R+s_R+2)
 - Εντολή 3.1 : πολ/ασε της επόμενες $2(s_R+1)$ πιθανότητες με q_R

WIPWholesaler

Εντολή 1 : Πολ./ασε της πρώτες $2 (S_R+1)$ πιθανότητες με 0

Εντολή 2 : Πολ./ασε της επόμενες $2(S_R+s_R+2)$ πιθανότητες με 1 και συνέχισε να πολ/αζεις ανά $2(S_R+s_R+2)$ πιθανότητες αυξάνοντας κατά 1 τον α όρο του γινομένου

Εντολή 3 : Επανέλαβε s_W φορές

Εντολή 4 : Πολ./ασε της επόμενες (S_R+s_R+2) πιθανότητες με s_W+1 και συνέχισε να πολ/αζεις ανά (S_R+s_R+2) πιθανότητες αυξάνοντας κατά 1 τον α όρο του γινομένου

Εντολή 5 : Επανέλαβε q_W φορές

Εντολή 6 : Άθροισε της εντολές 1-5

WIP λιανοπωλητή

1. Οι πρώτες $2(S_R+1)$ πιθανότητες

Εντολή 1 : Πολ/ασε της πρώτες (S_R+1) πιθανότητες με το διάνυσμα γραμμή $[0 1 \dots S_R]$

Εντολή 2 : Επανέλαβε 2 φορές την εντολή 1

2. Οι επόμενες $2s_W(S_R+s_R+2)$

Εντολή 1 : Πολ/ασε της πρώτες δύο πιθανότητες με 0

Εντολή 2 : Συνέχισε να πολ/αζεις ανά δύο πιθανότητες αυξάνοντας κατά 1 τον α όρο του γινομένου μέχρι την πιθανότητα s_R+1

Εντολή 3 : Πολ/ασε την s_R+1 την $2(s_R+1) +1$ πιθανότητα και επανέλαβε q_R αυξάνοντας κατά 1 του α όρου του γινομένου

Εντολή 4 : Επανέλαβε $2s_W$ της εντολές 2.1, 2.2., 2.3

3. Οι τελευταίες $q_w(s_R+s_R+2)$ πιθανότητες

3.1. Πολ/ασε της πρώτες δύο πιθανότητες με 0 (α όρος)

3.2. Συνέχισε να πολ/αζεις άνα δύο πιθανότητες αυξάνοντας τον α όρο του γινομένου μέχρι την πιθανότητα $2(s_R+1)$

3.3. Πολ/ασε με (s_R+1) την $2(s_R+1)$ πιθανότητα και επανέλαβε q_R φορές αυξάνοντας κατά ένα τον όρο του β γινομένου

3.4. Επανέλαβε q_w φορές της εντολές 3.1., 3.2., 3.3.

Εντολή 4 : άθροισε της εντολές 1.1., 1.2., 2.1,2.2.,2.3., 2.4., 3.1,3.2., 3.3., 3.4

FILLRATE

Οι εντολές του αλγορίθμου υπολογισμού είναι

Εντολή 1 : Άθροισε της πρώτες $2(SR+1)$ πιθανότητες

Εντολή 2 : Άθροισε της πιθανότητες $\pi_{2(SR+1)+1}$ και $\pi_{2(SR+1)+2}$

Εντολή 3: Άφησε S_R+s_R πιθανότητες κενό

Εντολή 4 : Επανέλαβε S_w+s_w φορές

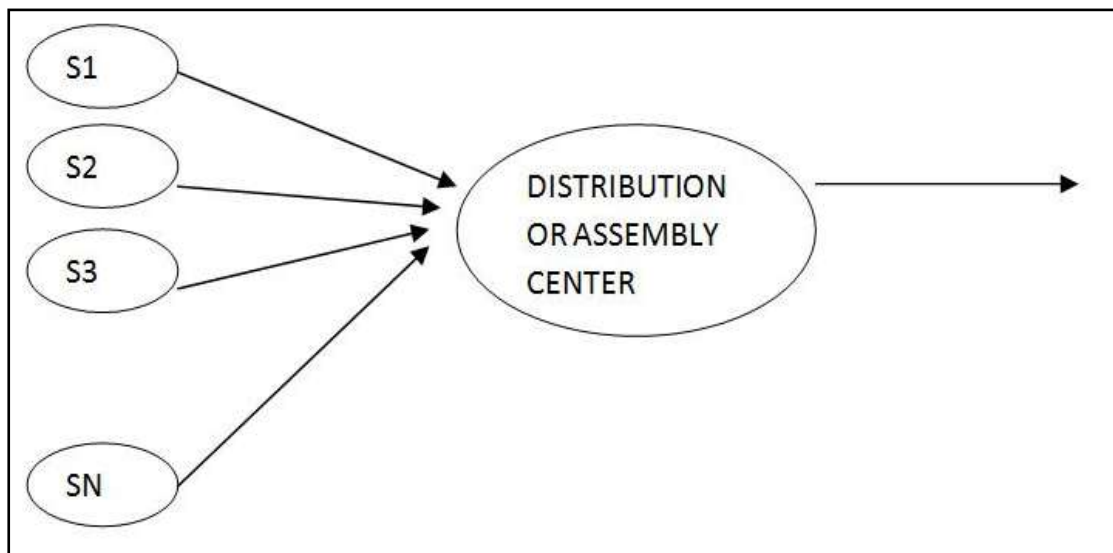
Εντολή 5 : Αφαίρεσε από την μονάδα το αποτέλεσμα της εντολής 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2

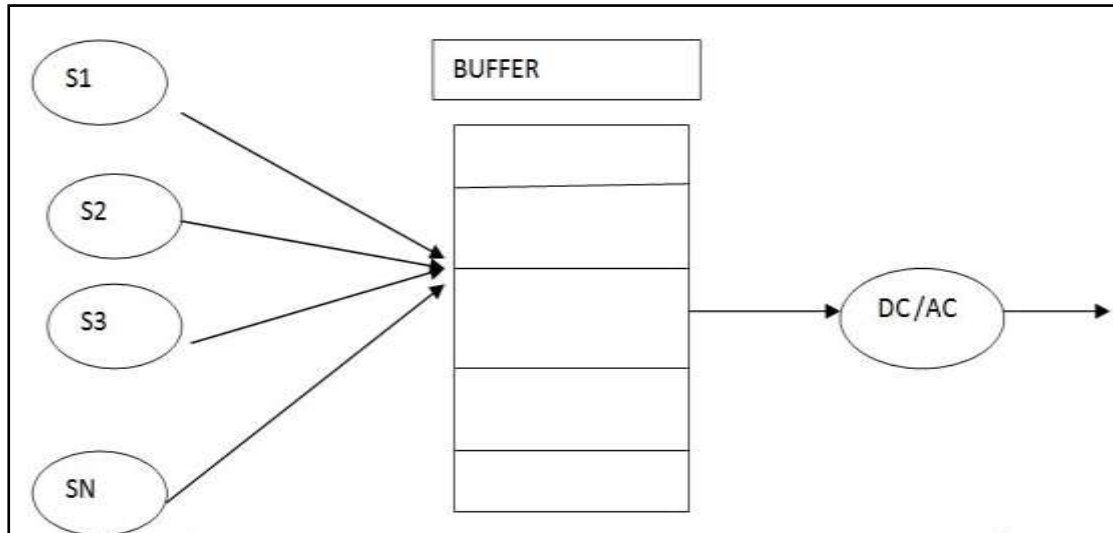
Έως τώρα έχουμε αναλύσει εφοδιαστικά συστήματα τύπου pull, όπου η ζήτηση ενεργοποιεί το σύστημα. Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε εφοδιαστικά συστήματα τύπου push και ειδικότερα συγκλίνοντα (merge-in) εφοδιαστικά δίκτυα. Αρχίζουμε περιγράφοντας το σύστημα και κάνουμε μια βιβλιογραφική επισκόπηση. Στη συνέχεια αναπτύσσουμε το αναλυτικό υπόδειγμα, παρουσιάζουμε τα αριθμητικά αποτελέσματα και προτείνουμε κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα. Στο παράρτημα παρατίθενται προσομοιωτικά υποδείγματα για τέσσερις και έξι προμηθευτές αντίστοιχα.

6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα αποτελείται από τους προμηθευτές (suppliers) και έναν κόμβο όπου γίνεται είτε η συναρμολόγηση των προϊόντων (παραγωγικό σύστημα) είτε η διεκπεραίωση των παραγγελιών (εφοδιαστικά συστήματα). Επιπλέον, τα συστήματα που εξετάζουμε μπορεί να έχουν χώρους αναμονής ή εναπόθεσης οντοτήτων, ημιέτοιμων προϊόντων ή παραγγελιών (buffers) ή όχι. Οι δύο τύποι συστημάτων απεικονίζονται διαγραμματικά παρακάτω:



Εικόνα 36: Σύγκλινον εφοδιαστικό δίκτυο χωρίς buffer



Εικόνα 37: Συγκλίνον εφοδιαστικό δίκτυο με buffer

Βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων merge-in:

- Αποτελούν εφοδιαστικά ή παραγωγικά συστήματα δύο στοιβάδων.
- Οι συνδέσεις ή τοπολογία του εφοδιαστικού δικτύου αποτελούνται από πολλούς ανωφερείς κόμβους (προμηθευτές), οι οποίοι συνδέονται με έναν κατωφερή. Αυτός στη συνέχεια παρέχει τα έτοιμα προϊόντα (περίπτωση συναρμολόγησης) ή τις έτοιμες παραγγελίες (περίπτωση της διανομής στο εξωτερικό περιβάλλον του συστήματος). Στην περίπτωση των συστημάτων με buffer οι ανωφερείς κόμβοι συνδέονται με ένα buffer η θέσεων αναμονής. Το buffer με τη σειρά του συνδέεται με το κέντρο διανομής ή συναρμολόγησης.
- Μετά τον κόμβο του κέντρου διανομής υπάρχει απειρία χώρου εναπόθεσης.
- Στην ανωφερή στοιβάδα μετά τους προμηθευτές υπάρχει απειρία υλικού.
- Οι χρόνοι επεξεργασίας σε όλους τους κόμβους εκτός του buffer χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα.
- Οι χρόνοι μεταφοράς μεταξύ προμηθευτών, buffer και τελικού σημείου συναρμολόγησης ή κέντρου διανομής θεωρούνται αμελητέοι.

6.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η συνθετότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας καθιστά τη διαδικασία μοντελοποίησης δύσκολη. Για τη μείωση της δυσκολίας διακρίνουμε δύο είδη εφοδιαστικών συστημάτων τα στοχαστικά και τα ντετερμινιστικά. Τα πρώτα αν και σύνθετα έχουν πολλές εφαρμογές στην πραγματικότητα λόγω της αβεβαιότητας που μπορούν να μοντελοποιήσουν για παράδειγμα μπορεί να μοντελοποιηθεί η αβεβαιότητα χρόνων αναπλήρωσης και παραγωγής, της ζήτησης. Η επίδραση του παράγοντα της αβεβαιότητας στην απόδοση των εφοδιαστικών συστημάτων προβάλλει την ανάγκη για τον υπολογισμό των μέτρων απόδοσης και την ανάπτυξη αναλυτικών υποδειγμάτων για την βελτιστοποίηση των συστημάτων.

Ακολουθεί σύντομη επισκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας ζήτησης μέσω στοχαστικών υποδειγμάτων.

- Οι ερευνητές Gurta & Maranas (2003), Bernstein & DeCroix (2006) και Bogataj & Horvat (1996) έχουν προτείνει σχετικά στοχαστικά υποδείγματα.
- Οι ερευνητές Pyke & Cohen (1993) ανέπτυξαν ένα μαρκοβιανό υπόδειγμα συστήματος παραγωγής και διανομής τριών επιπέδων με έναν σταθμό παραγωγής, έναν χώρο εναπόθεσης και έναν απλό λιανοπωλητή.
- Οι Nagar and Jain (2008) έχουν αναπτύξει ένα υπόδειγμα στοχαστικού προγραμματισμού για ένα εφοδιαστικό σύστημα δύο επιπέδων το οποίο μπορεί να επεκταθεί για περισσότερα επίπεδα.
- Παρόμοια μελέτη στοχαστικού προγραμματισμού για σειριακά παραγωγικά συστήματα πραγματοποίησαν οι ερευνητές Vidalis & Papadopoulos (1999). Στη μελέτη τους ανέπτυξαν υπόδειγμα με χρόνους επεξεργασίας με κατανομή τύπου φάσης Coxian και υπολόγισαν μέτρα απόδοσης του συστήματος μέσω μαρκοβιανής διαδικασίας.
- Ο Karlan (1970) και ο Sheffi (2005) έχουν ασχοληθεί με στοχαστικά υποδείγματα δυναμικής αναπλήρωσης αποθεμάτων.
- Οι Heijden, Diks & Kok (1999) ανέλυσαν συγκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα με τη βοήθεια στοχαστικών υποδειγμάτων. Προτείνουν ευρετικό αλγόριθμο για τον υπολογισμό των παραμέτρων ελέγχου στη διαχείριση αποθεμάτων, η αποτελεσματικότητα και ακρίβεια του οποίου ελέγχεται με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα.
- Οι Song & Zirkin (2009) αναλύουν ένα εφοδιαστικό σύστημα με πολλές πηγές προμηθειών. Η ζήτηση έχει κατανομή Poisson, ενώ οι χρόνοι αναπλήρωσης είναι στοχαστικοί.
- Τέλος, οι Arts και Kiesmuller (2010) παρατηρούν ότι παρόλο που τα συστήματα εφοδιασμού με έναν αγοραστή που προμηθεύεται από πολλούς εναλλακτικούς προμηθευτές έχουν πολλές εφαρμογές στην καθημερινή επιχειρηματική πραγματικότητα, δεν έχει αναπτυχθεί ικανός αριθμός σχετικών υποδειγμάτων.

6.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

6.3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Παρακάτω δίνονται τα χαρακτηριστικά κάθε μέλους του υποδείγματος:

Κόμβοι Προμηθευτών:

1. Δεδομένης της απειρίας του υλικού πίσω από τους προμηθευτές, οι καταστάσεις στις οποίες μπορούν να περιέλθουν είναι:
 - Απασχολημένος (busy) στην πρώτη φάση
 - Απασχολημένος (busy) στη δεύτερη φάση
 - Συμφορημένος (blocked)
2. Οι προμηθευτές είναι saturated.

3. Σε περίπτωση συμφόρησης των προμηθευτών η συμφόρηση έχει φορά από τον πρώτο προμηθευτή προς τον n -οστο προμηθευτή.
4. Οι προμηθευτές αποστέλλουν τις οντότητες είτε στο τελικό σημείο συναρμολόγησης ή στο κέντρο διανομής (συστήματα χωρίς buffer). Σε συστήματα με buffer οι εξαγόμενες οντότητες αποστέλλονται στο buffer και έπειτα προωθούνται στο τελικό σημείο συναρμολόγησης ή στο κέντρο διανομής.
5. Λόγω της υψηλής μεταβλητότητας των χρόνων ολοκλήρωσης εξαρτημάτων ή παραγγελιών επιλέγουμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2. Συγκεκριμένα:
 Προμηθευτές (N): θεωρούμε ότι ποσοστό παραγγελιών ή εργασιών d_{N1} ολοκληρώνεται σύμφωνα με μέσο χρονορυθμό μ_{N1} , ο οποίος κατανέμεται εκθετικά, και ότι δεύτερο ποσοστό $d_{N2} = 1 - d_{N1}$ παραγγελιών ή εργασιών ολοκληρώνεται σύμφωνα με μέσο χρονορυθμό μ_{N2} , με επίσης εκθετική κατανομή.

Κόμβοι buffer: Στους κόμβους buffer δεν γίνεται καμία διαδικασία παραγωγής ή διεκπεραίωσης παραγγελιών. Συμβολίζουμε με τη μεταβλητή b τις συνολικές διαθέσιμες θέσεις buffer. Η μεταβλητή b παίρνει τιμές φυσικών αριθμών, δηλαδή ισχύει: $b = 1, 2, 3, \dots, n$.

Κόμβος τελικού σημείου συναρμολόγησης ή κέντρου διανομής:

1. Δεδομένης της συνεχούς ροής υλικού από τους προμηθευτές, οι καταστάσεις στις οποίες μπορεί να περιέλθει το σύστημα είναι:
 - Μη απασχολημένος (idle)
 - Απασχολημένος (busy) στην πρώτη φάση
 - Απασχολημένος (busy) στη δεύτερη φάση
2. Χάρη στην απειρία χώρου εναπόθεσης μετά το κέντρο διανομής ή το τελικό σημείο συναρμολόγησης, ο συγκεκριμένος κόμβος δεν μπορεί να περιέλθει στην κατάσταση blocked.
3. Λόγω πάλι της υψηλής μεταβλητότητας του χρόνου ολοκλήρωσης έτοιμων προϊόντων ή παραγγελιών, εφαρμόζουμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2. Όπως και στην περίπτωση των προμηθευτών, θεωρούμε ότι ποσοστό παραγγελιών ή εργασιών d_1 ολοκληρώνεται σύμφωνα με τον χρονορυθμό μ_1 και ότι ένα δεύτερο ποσοστό $d_2 = 1 - d_1$ ολοκληρώνεται με χρονορυθμό μ_2 .

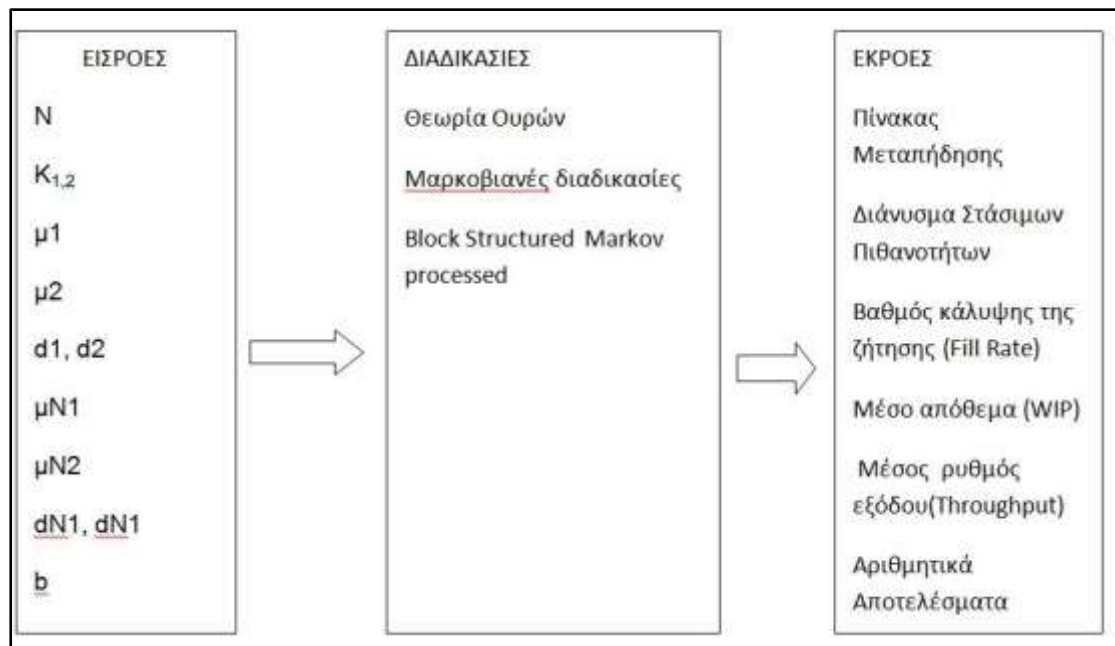
Η διαφορά των χρονορυθμών, και ειδικότερα το γεγονός ότι ο δεύτερος χρονορυθμός είναι μεγαλύτερος του πρώτου, μας δίνει την πρακτική διάσταση της υψηλής μεταβλητότητας στους χρόνους παραγωγής προϊόντων ή διεκπεραίωσης παραγγελιών. Αναλυτικότερα, τα ποσοστά d_{N1} , d_1 για προμηθευτές και κέντρο διανομής ή σημείο τελικής συναρμολόγησης αντίστοιχα αφορούν παραγγελίες ή εργασίες που ολοκληρώνονται ομαλά. Αντίθετα, τα ποσοστά d_{N2} , d_2 αφορούν παραγγελίες ή εργασίες που δεν ολοκληρώνονται λόγω εξωγενών παραγόντων.

Η μεταβλητότητα των χρόνων συναρμολόγησης ή διεκπεραίωσης παραγγελιών μπορεί να οφείλεται και σε ενδογενείς παράγοντες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η λειτουργία των αποθηκευτικών εγκαταστάσεων ενός εφοδιαστικού συστήματος με δύο είδη αποθηκευτικών ροών: ροές διαμεταφοράς (crossdocking) και ροές συμβατικής αποθήκευσης. Το πρώτο είδος ροών χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα και διέρχεται μόνο μία φάση ροής, επομένως τα ποσοστά d_{N1} , d_1 των παραγγελιών θα έχουν μέσο χρονορυθμό, ο οποίος θα κατανέμεται εκθετικά, με μέσους μ_{N1}, μ_1 αντίστοιχα. Αντίθετα, η δεύτερη ροή είναι πιο αργή, αφού στην αρχική ροή crossdocking προστίθεται και η δεύτερη φάση της αποθήκευσης πριν την ολοκλήρωση. Επομένως, τα ποσοστά d_2 , d_{N2} θα έχουν μέσους χρονορυθμούς μ_{N2}, μ_2 , οι οποίοι θα κατανέμονται εκθετικά.

Στη συνέχεια περιγράφουμε τα μέτρα απόδοσης του συστήματος:

- Το μέσο απόθεμα (WIP) του συστήματος
- Τον μέσο ρυθμό εξόδου (throughput) του συστήματος
- Τον βαθμό απασχόλησης (utilization) στο κέντρο διανομής
- Το μέσο απόθεμα στο buffer

Δίνεται σχηματικά η αναπαράσταση του αλγορίθμου:



Εικόνα 38: Ο Αλγόριθμος ως σύστημα

Όπου:

N: ο αριθμός προμηθευτών του συστήματος

$K_{1,2}$: ο αριθμός φάσεων κατανομής τύπου φάσης Coxian-2

μ_1 : ο μέσος ρυθμός ολοκλήρωσης παραγγελιών που εκτελούνται σε μία φάση στο κέντρο διανομής

μ_2 : ο μέσος ρυθμός ολοκλήρωσης παραγγελιών που εκτελούνται σε δύο φάσεις στο κέντρο διανομής

d_1 : το ποσοστό παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε μία φάση στο κέντρο διανομής

d_2 : το ποσοστό παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις στο κέντρο διανομής

μ_{N1} : ο μέσος ρυθμός ολοκλήρωσης παραγγελιών που εκτελούνται σε μία φάση στον κόμβο του N-οστού προμηθευτή

μ_{N2} : ο μέσος ρυθμός ολοκλήρωσης παραγγελιών που εκτελούνται σε δύο φάσεις στον κόμβο του N-οστού προμηθευτή

d_{N1} : το ποσοστό παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε μία φάση στον κόμβο του προμηθευτή

d_{N2} : ποσοστό παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις στον κόμβο του προμηθευτή.

B: αριθμός θέσεων στο buffer

6.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Το σύστημα μας μοντελοποιείται σύμφωνα με μαρκοβιανές αλυσίδες συνεχούς χρόνου και διακριτών καταστάσεων, με μία κατάσταση του συστήματος να δηλώνεται από το διάνυσμα (r_t, N_t, b, DC_t) , όπου:

- r_t : οι δύο φάσεις του συστήματος κατά τη διάρκεια επεξεργασίας
- N_t : ο αριθμός προμηθευτών του συστήματος
- DC_t : ο αριθμός κέντρων διανομής που λαμβάνουν παραγγελίες από τους προμηθευτές
- b : ο αριθμός θέσεων στο buffer, όπου $b=0,1,2,\dots$

Ενώ το διάνυσμα (r_t, N_t, b, DC_t) καθορίζει τη μαρκοβιανή διαδικασία διακριτών καταστάσεων στον χώρο καταστάσεων που δίνεται από τα σύνολα $\{S_1, S_2, \dots, S_N, DC\} \times \{1, 2\} \times \{B\}$

$$S_i = \begin{cases} 1 : \text{busy στην 1η φάση} \\ 2 : \text{busy στην 2η φάση} \\ 0 : \text{blocked} \end{cases} \text{ και } DC = \begin{cases} 0 : \text{idle} \\ 1 : \text{busy στην 1η φάση} \\ 2 : \text{busy στην 2η φάση} \end{cases}$$

Έτσι, προκύπτει η εξίσωση του αριθμού των συνολικών καταστάσεων του υποδείγματος:

$$S^{N,b,1} = (k+1)^{N+1} - \sum_{i=1}^N (k+1)^{N-i} x 2^{i-1} + bk^{N+1}$$

όπου N: ο αριθμός προμηθευτών

k: ο αριθμός φάσεων (k=2)

b: αριθμός θέσεων στο buffer

Παρουσιάζεται αναλυτικός πίνακας καταστάσεων για δύο υποδείγματα, συγκεκριμένα για 1) τουπόδειγμα (2, 0, 1) με δύο προμηθευτές, μηδέν θέσεις buffer και ένα κέντρο διανομής και 2) το υπόδειγμα (Nb,1);(2, 4, 1) με δύο προμηθευτές, τέσσερις θέσεις buffer και ένα κέντρο διανομής.

Παράδειγμα 1: Υπόδειγμα (2, 0, 1).Συνολικός αριθμός καταστάσεων: 22.

Καταστάσεις 1 ^ο Προμηθευτή	Καταστάσεις 2 ^ο Προμηθευτή	Κατάστασ η κέντρου διανομής	Κατάσταση Συστήματο ς	Φυσική Ερμηνεία
1	1	0	1 1 0	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό
1	1	1	1 1 1	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησηςστην 1 ^η φάση
1	1	2	1 1 2	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση κέντρο συναρμολόγησης στη 2 ^η φάση
1	2	0	1 2 0	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στη2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό
1	2	1	1 2 1	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στη 2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησηςστην 1 ^η φάση
1	2	2	1 2 2	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στη2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησηςστη 2 ^η φάση
1	Blocked	1	1 B 1	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτήςμπλοκαρισμένος, κέντρο συναρμολόγησηςστην 1 ^η φάση
1	Blocked	2	1 B 2	1 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτήςμπλοκαρισμένος, κέντρο συναρμολόγησης στη2 ^η φάση
2	1	0	2 1 0	1 ^ο προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^ο προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό

2	1	1	2 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησηςστην 1 ^η φάση
2	1	2	2 1 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησηςστη 2 ^η φάση
2	2	0	2 2 0	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό
2	2	1	2 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
2	2	2	2 2 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στη 2 ^η φάση
2	Blocked	1	2 B 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτήςμπλοκαρισμένος, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
2	Blocked	2	2 B 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος το κέντρο συναρμολόγησης στη 2 ^η φάση
Blocked	1	1	B 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
Blocked	1	2	B 1 2	1 ^{ος} προμηθευτήςμπλοκαρισμένος,2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στη 2 ^η φάση
Blocked	2	1	B 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
Blocked	2	2	B2 2	1 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
Blocked	Blocked	1	B B 1	1 ^{ος} και2 ^{ος} προμηθευτήςμπλοκαρισμένοι, κέντρο συναρμολόγησης στην 1 ^η φάση
Blocked	Blocked	2	B B 2	1 ^{ος} και 2 ^{ος} προμηθευτήςμπλοκαρισμένοι, κέντρο συναρμολόγησης στη 2 ^η φάση

Πίνακας 15: Οι καταστάσεις για το υπόδειγμα 201

Παράδειγμα 2: Υπόδειγμα 241. Συνολικός αριθμός καταστάσεων: 54.

Καταστάσεις 1 ^{ου} Προμηθευτή	Καταστάσεις 2 ^{ου} Προμηθευτή	Οντότητες στο buffer	Καταστάσεις κέντρου συναρμολόγησης	Καταστάσεις	Φυσική Ερμηνεία
1	1	0	0	1 1 0 0	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer είναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι ανενεργό
1	1	0	1	1 1 0 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer είναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	1	0	2	1 1 0 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer είναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	1	1	1	1 1 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	1	1	2	1 1 1 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	1	2	1	1 1 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση

1	1	2	2	1 1 2 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	1	3	1	1 1 3 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	1	3	2	1 1 3 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	1	4	1	1 1 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	1	4	2	1 1 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	2	0	0	1 2 0 0	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το buffereίναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι ανενεργό
1	2	0	1	1 2 0 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το buffereίναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην

					1 ^η φάση
1	2	0	2	1 2 0 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, το buffer είναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	2	1	1	1 2 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	2	1	2	1 2 1 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	2	2	1	1 2 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής είναι στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	2	2	2	1 2 2 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	2	3	1	1 2 3 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	2	3	2	1 2 3 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 3

					οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	2	4	1	1 2 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	2	4	2	1 2 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, το buffer έχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
1	Blocked	4	1	1 b 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
1	Blocked	4	2	1 b 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	1	0	0	2 1 0 0	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στην 1 ^η φάση, το bufferείναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό
2	1	0	1	2 1 0 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferείναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	1	0	2	2 1 0 2	1 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι

					στην 1 ^η φάση, το buffer είναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	1	1	1	2 1 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής στην 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	1	1	2	2 1 1 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	1	2	1	2 1 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	1	2	2	2 1 2 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	1	3	1	2 1 3 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	1	3	2	2 1 3 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το buffer έχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση

2	1	4	1	2 1 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	1	4	2	2 1 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στην 1 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	2	0	0	2 2 0 0	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferείναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης ανενεργό
2	2	0	1	2 2 0 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferείναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	2	0	2	2 2 0 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferείναι κενό και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	2	1	1	2 2 1 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	2	1	2	2 2 1 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 1 οντότητα και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη

2 ^η φάση					
2	2	2	1	2 2 2 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	2	2	2	2 2 2 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 2 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	2	3	1	2 2 3 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	2	3	2	2 2 3 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 3 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	2	4	1	2 2 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	2	4	2	2 2 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
2	Blocked	4	1	2 b 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος, το

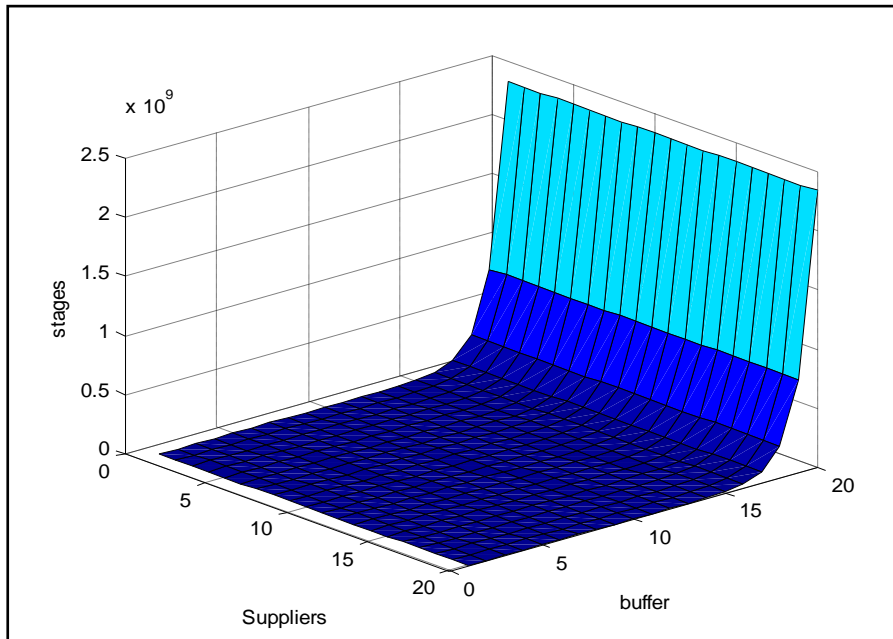
					bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
2	Blocked	4	2	2 b 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένος το bufferέχει 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
Blocked	1	4	1	B 1 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής είναι μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, υπάρχουν 4 οντότητες στο bufferκαι το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
Blocked	1	4	2	B 1 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής είναι μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής στην 1 ^η φάση, υπάρχουν 4 οντότητες στο bufferκαι το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
Blocked	2	4	1	B 2 4 1	1 ^{ος} προμηθευτής είναι μπλοκαρισμένος ο 2 ^{ος} προμηθευτής στη 2 ^η φάση, υπάρχουν 4 οντότητες στο bufferκαι το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
Blocked	2	4	2	B 2 4 2	1 ^{ος} προμηθευτής είναι μπλοκαρισμένος, 2 ^{ος} προμηθευτής είναι στη 2 ^η φάση, υπάρχουν 4 οντότητες στο bufferκαι το κέντρο συναρμολόγησης είναι στη 2 ^η φάση
Blocked	Blocked	4	1	B B 4 1	1 ^{ος} & 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένοι, στο buffer υπάρχουν 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης

είναι στην 1^η φάση

Blocked	Blocked	4	2	B B 4 2	1 ^{ος} & 2 ^{ος} προμηθευτής μπλοκαρισμένοι, στο buffer υπάρχουν 4 οντότητες και το κέντρο συναρμολόγησης είναι στην 1 ^η φάση
---------	---------	---	---	---------	---

Πίνακας 46: Οι καταστάσεις για το υπόδειγμα (N,b,1) (2, 4, 1)

Στη συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα που απεικονίζει τη σχέση της συμπεριφορά του αριθμού των states με τον αριθμό θέσεων στο buffer (b) και τον αριθμό προμηθευτών (N):



Εικόνα 39: Η συμπεριφορά του αριθμού των states σε σχέση με τον αριθμό των προμηθευτών και του buffer

Βλέπουμε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των προμηθευτών και οι θέσεις του buffer, αυξάνεται εκθετικά και ο αριθμός των states. Τα γεγονότα που πυροδοτούν μετάβαση από μία κατάσταση σε άλλη είναι:

- Άφιξη χωρίς φάση καθυστέρησης αποστολής εμπορευμάτων στο τελικό σημείο συναρμολόγησης ή στο κέντρο διανομής. Η συγκεκριμένη κατάσταση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση κατά μία οντότητα των ποσοτήτων στους προμηθευτές και αύξηση κατά μία οντότητα των ποσοτήτων στο τελικό σημείο συναρμολόγησης ή στο κέντρο διανομής. Ο ρυθμός άφιξης είναι $d_1\mu_1$.
- Η εμφάνιση της φάσης καθυστέρησης λόγω εξωγενών ή ενδογενών παραγόντων αφήνει την ποσότητα των οντοτήτων αμετάβλητη. Η εμφάνιση ενός τέτοιου ενδεχομένου γίνεται με ρυθμό $d_2\mu_1$.

- Ολοκλήρωση συναρμολόγησης στο κέντρο συναρμολόγησης ή διεκπεραίωσης της παραγγελίας στο κέντρο διανομής χωρίς φάση καθυστέρησης. Η κατάσταση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού των οντοτήτων στους προμηθευτές κατά ένα και την αύξηση του αριθμού κατά ένα στο τελικό σημείο συναρμολόγησης ή στο κέντρο διανομής. ο ρυθμός άφιξης παραγγελιών χωρίς καθυστέρηση είναι $d_{\text{supplier1}} \mu_{\text{supplier1}}$.
- Ολοκλήρωση της κατασκευής ή της παραγγελίας σε έναν από τους προμηθευτές με βλάβη ή καθυστέρηση. Ο αριθμός των οντοτήτων στους προμηθευτές παραμένει σταθερός, ενώ το ενδεχόμενο εμφανίζεται με ρυθμό $d_{\text{supplier2}} \mu_{\text{supplier1}}$.
- Αν η διαδικασία συναρμολόγησης ή διεκπεραίωσης παραγγελιών στους N προμηθευτές δεν έχει ολοκληρωθεί και υπάρξει άφιξη μιας επιπλέον οντότητας, το σύστημα μπλοκάρει με ρυθμό $d_{\text{supplier1}} \mu_{\text{supplier1}}$.
- Τέλος, η διαδικασία συναρμολόγησης ή διεκπεραίωσης παραγγελίας στους προμηθευτές N μπορεί επίσης να μπλοκάρει με ρυθμό $\mu_{\text{supplier2}}$, αν οι ανωτέρω διαδικασίες επηρεαστούν από βλάβες ή βρεθούν σε φάση καθυστέρησης.

6.3.3 Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ

Η δομή του πίνακα μεταπήδησης επηρεάζεται από τον αριθμό των προμηθευτών, τον αριθμό των θέσεων στο buffer και των φάσεων χρόνων μεταξύ διαδοχικών αφίξεων στο κέντρο διανομής ή στο σημείο τελικής συναρμολόγησης (k_1). Ο πίνακας μεταπήδησης είναι διαγώνιος και αποτελείται από τρία είδη υποπινάκων:

- Υποπίνακες Δ που περιλαμβάνουν την κύρια διαγώνιο με πλήθος $k+1$
- Υποπίνακες K που βρίσκονται κάτω και αριστερά από την κύρια διαγώνιο με πλήθος k
- Υποπίνακες A που βρίσκονται πάνω και δεξιά από την κύρια διαγώνιο με πλήθος $k+1$

όπου k : ο αριθμός των φάσεων της κατανομής τύπου φάσης Coxian. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, $k=2$.

Σχηματικά:

Δ1	A1	A2
K1	D2	A3
K2		D3

Πίνακας 17: Η δομή του πίνακα μεταπήδησης

Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός των διαστάσεων των υποπίνακων. Συγκεκριμένα:

- Υποπίνακες Δ1, Δ2: $2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2} \times 2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2}$
- Υποπίνακας Δ3: $k_2 (k_2 + 1)^{N-1} \times k_2 (k_2 + 1)^{N-1}$
- Υποπίνακας K1: $2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2} \times 2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2}$
- Υποπίνακας K2: $k_2 (k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2}$
- Υποπίνακες A1: $2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2} \times 2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2}$
- Υποπίνακες A2, A3: $2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2} \times k_2 (k_2 + 1)^{N-1}$

Όπου a_{N-1} : οι διαστάσεις του πίνακα μεταπήδησης για το υπόδειγμα με N-1 προμηθευτές .

6.3.4 Η ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Τα βήματα της μεθόδου επίλυσης είναι παρόμοια με εκείνα των εργασιών Papadopoulos (1989), Papadopoulos & O'Kelly (1989), Papadopoulos, Heavey & O'Kelly (1989a, 1989b), Heavey, Papadopoulos & Browne (1993), Vidalis (1998), Vidalis & Papadopoulos (1999) and Vidalis & Papadopoulos (2001). Δίνονται σχηματικά παρακάτω:

Βήμα 1: Υπολογισμός διαστάσεων πίνακα μεταπήδησης

Βήμα 2: Δημιουργία πίνακα μεταπήδησης

Βήμα 2.1: Δημιουργία υποπίνακων Δ1, Δ2.

Βήμα 2.2: Δημιουργία υποπίνακων Δ3

Βήμα 2.3: Δημιουργία υποπίνακων K1, K2

Βήμα 2.4: Δημιουργία υποπίνακων A1, A2, A3.

Βήμα 3: Υπολογισμός διανύσματος στάσιμων πιθανοτήτων και μέτρων απόδοσης (Rule 4).

Ο αριθμός των εξισώσεων του υποδείγματος είναι συνάρτηση του αριθμού των προμηθευτών (N) των φάσεων (1, 2) του συστήματος.

6.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Τα πιο σημαντικά μέτρα απόδοσης είναι το μέσο απόθεμα (WIP), ο μέσος χρόνος ροής (averageflowtime-cycletime) και ο μέσος ρυθμός εξόδου (throughput).

WIP: Υπολογίζεται με βάση τους δύο παρακάτω τύπους ανάλογα με το αν υπάρχει buffer ή όχι:

$$\text{Υποδείγματα χωρίς buffer: } WIP = \sum_1^{SN01} \pi_0 + (N + 1) \sum_1^{SN01} (1 - \sum_1^{SN01} \pi_0)$$

$$\text{Υποδείγματα με buffer: } WIP = N\pi_0 + (N+1) (\pi_1+\pi_2) + \dots+(N+b+1) (\pi_{Av-1-1} +\pi_{Av-1}) + N\pi_{av-1+1} + (N+1)(\pi_{Av-1+2} +\pi_{av-1+3}) + \dots+(N+b+1)(\pi_{2av-1-1} +\pi_{2av-1}) + (N+b+1) \sum_{2AN-1}^{2AN-1+k1(K1+1)^{N-2}} \pi,$$

όπου N ο αριθμός των προμηθευτών και \sum_1^{SN01} το άθροισμα πιθανοτήτων το κέντρο διανομής να είναι ανενεργό.

Throughput: Υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

$$THROUGHPUT = d_1 \mu_1 + \mu_2$$

Cycletime: Υπολογίζεται με τον εξής τύπο:

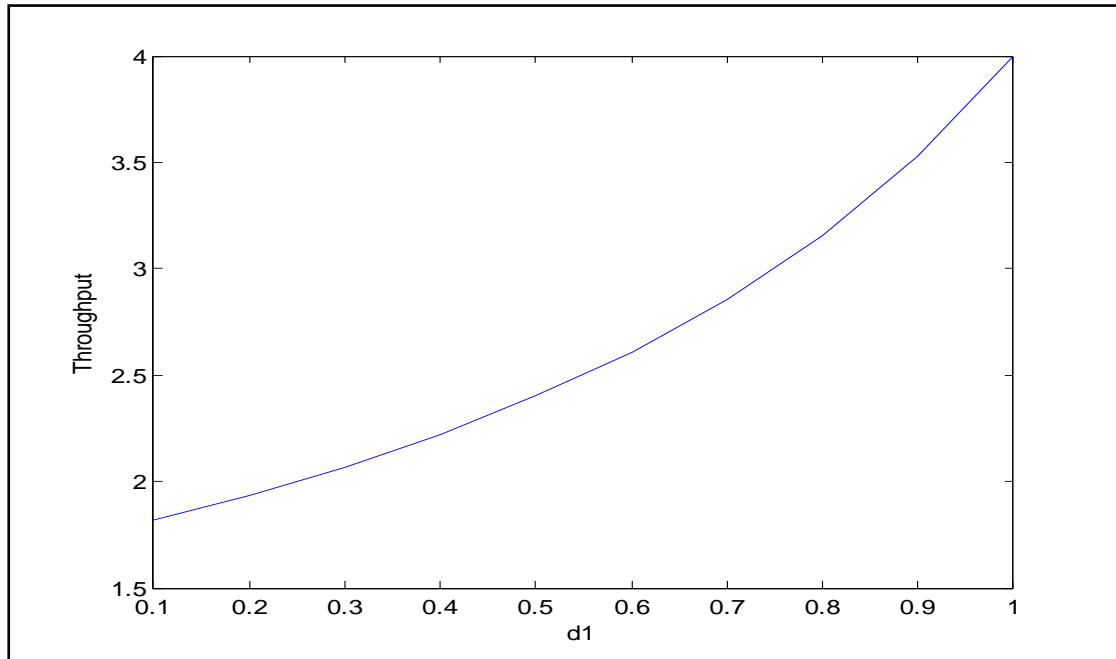
$$\text{CycleTime} = \frac{WIP}{THROUGHPUT}$$

6.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζουμε τη μεταβολή των μέτρων απόδοσης σε σχέση με τη μεταβολή συγκεκριμένων μεταβλητών εισόδου:

- Η σχέση του throughput με τα ποσοστά παραγγελιών ή παραγωγής, με ή χωρίς καθυστέρηση (d_1, d_2).
- Η σχέση throughput με τους ρυθμούς ολοκλήρωσης παραγγελιών ή παραγωγής (μ_1, μ_2).
- Η σχέση του WIP με τον αριθμό των προμηθευτών (N).
- Η σχέση WIP με τους ρυθμούς ολοκλήρωσης παραγγελιών ή παραγωγής (μ_1, μ_2).
- Η σχέση WIP με τα ποσοστά παραγγελιών ή παραγωγής με ή χωρίς καθυστέρηση (d_1, d_2).

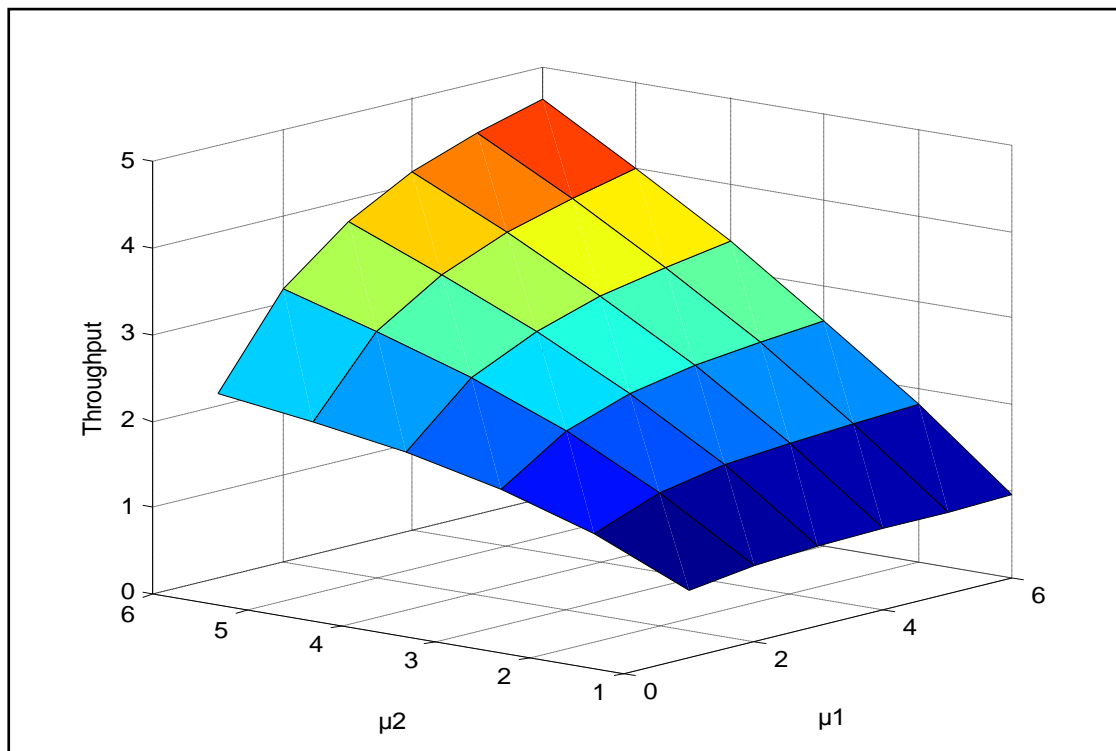
6.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ THROUGHPUT ΜΕ ΤΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΧΩΡΙΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ (d_1) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ BUFFER



Εικόνα 40: Το throughput σε σχέση με το d_1 , αν $\mu_1 = \mu_2 = 6$

Παρατηρούμε ότι υπάρχει θετική εκθετική συσχέτιση των δύο μεγεθών, η οποία είναι λογική: όσο αυξάνεται το ποσοστό των παραγγελιών που φθάνουν χωρίς καθυστέρηση, τόσο αυξάνεται και το throughput.

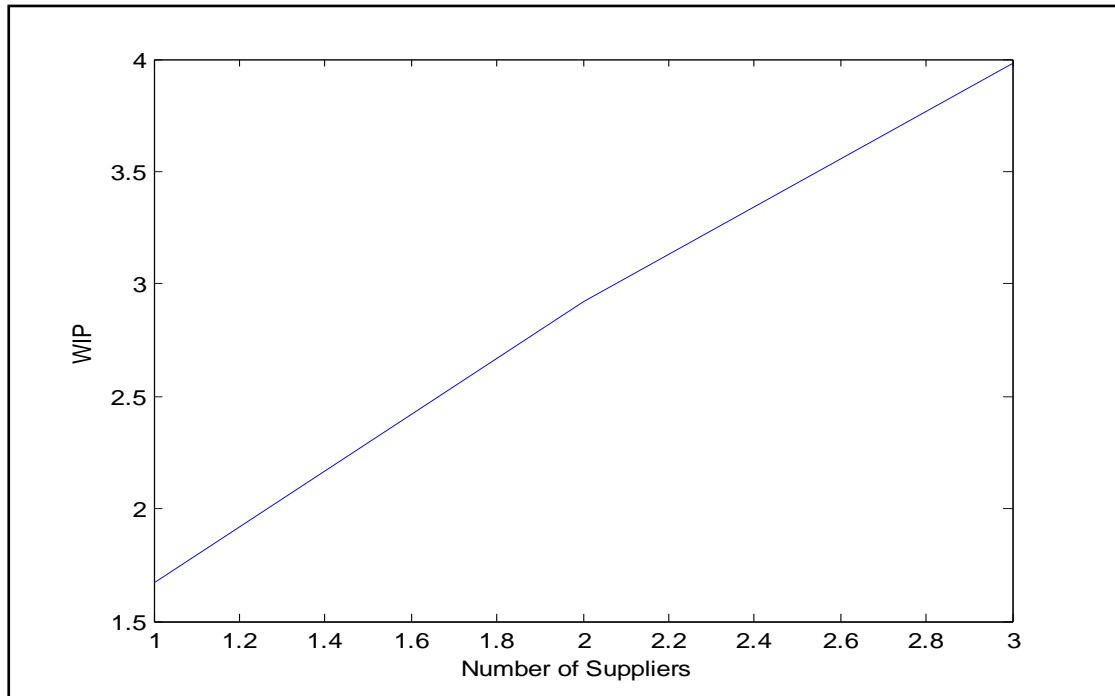
6.4.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ THROUGHPUT ΜΕ ΤΟΥΣ ΡΥΘΜΟΥΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ Η ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (μ_1, μ_2) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ BUFFER



Εικόνα 41: Το throughput σε σχέση με τα μ_1, μ_2 αν $d_1=0,7, d_2=0,3$

Παρατηρούμε ότι το throughput αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι ρυθμοί παραγωγής ή διεκπεραίωσης παραγγελιών. Ταχύτερη ολοκλήρωση παραγγελιών οδηγεί αναπόφευκτα σε αυξημένο ρυθμό εξόδου.

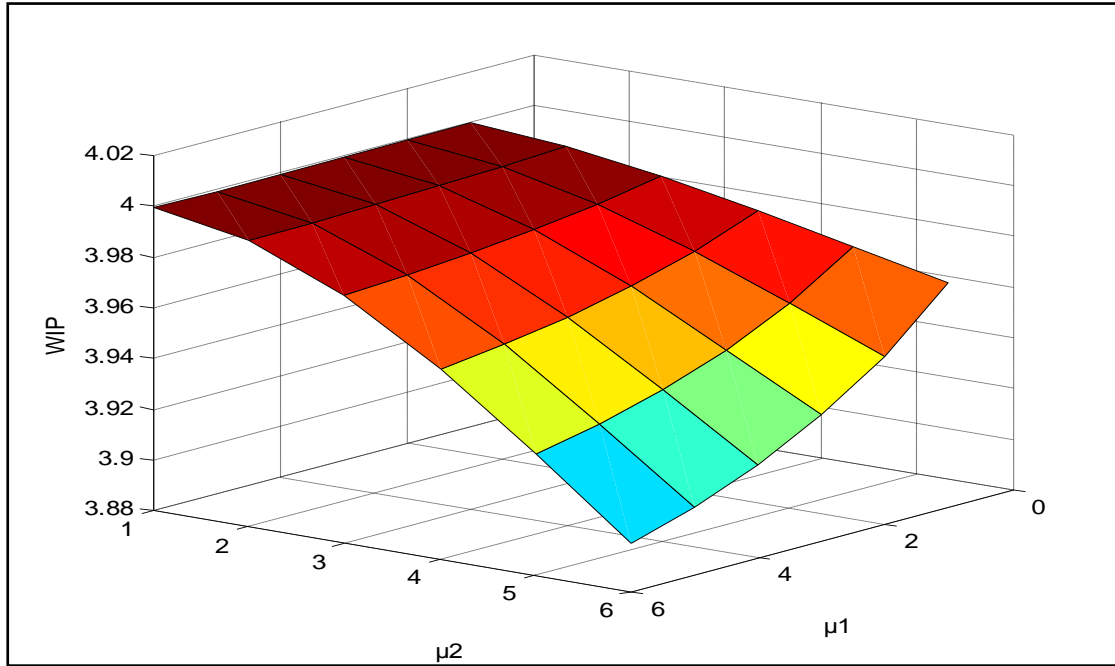
6.4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ(N)ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ BUFFER



Εικόνα 42: Το WIP σε σχέση με τον αριθμό προμηθευτών (N)

Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των saturated προμηθευτών, τόσο αυξάνεται το WIP.

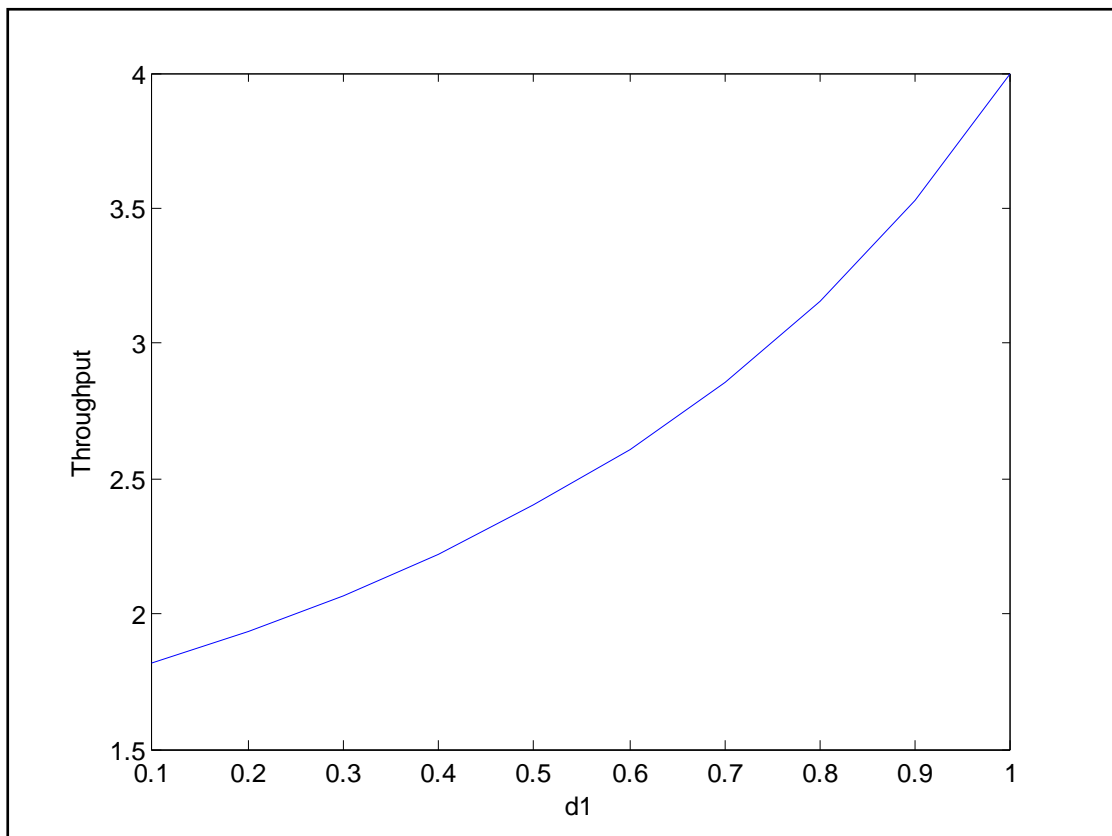
6.4.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP ΜΕ ΤΟΥΣ ΡΥΘΜΟΥΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ Ή ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (μ_1, μ_2) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ BUFFER



Εικόνα 43: Το WIP σε σχέση με τα μ_1, μ_2 , αν $d_1=0,7, d_2=0,3$

Παρατηρούμε ότι καθώς μειώνονται οι ρυθμοί ολοκλήρωσης παραγγελιών ή παραγωγής, αυξάνεται το WIP. Η παρατήρηση είναι απόλυτα αναμενόμενη, αφού πιο αργή παραγωγή είναι λογικό να οδηγεί σε περισσότερες οντότητες εντός του συστήματος.

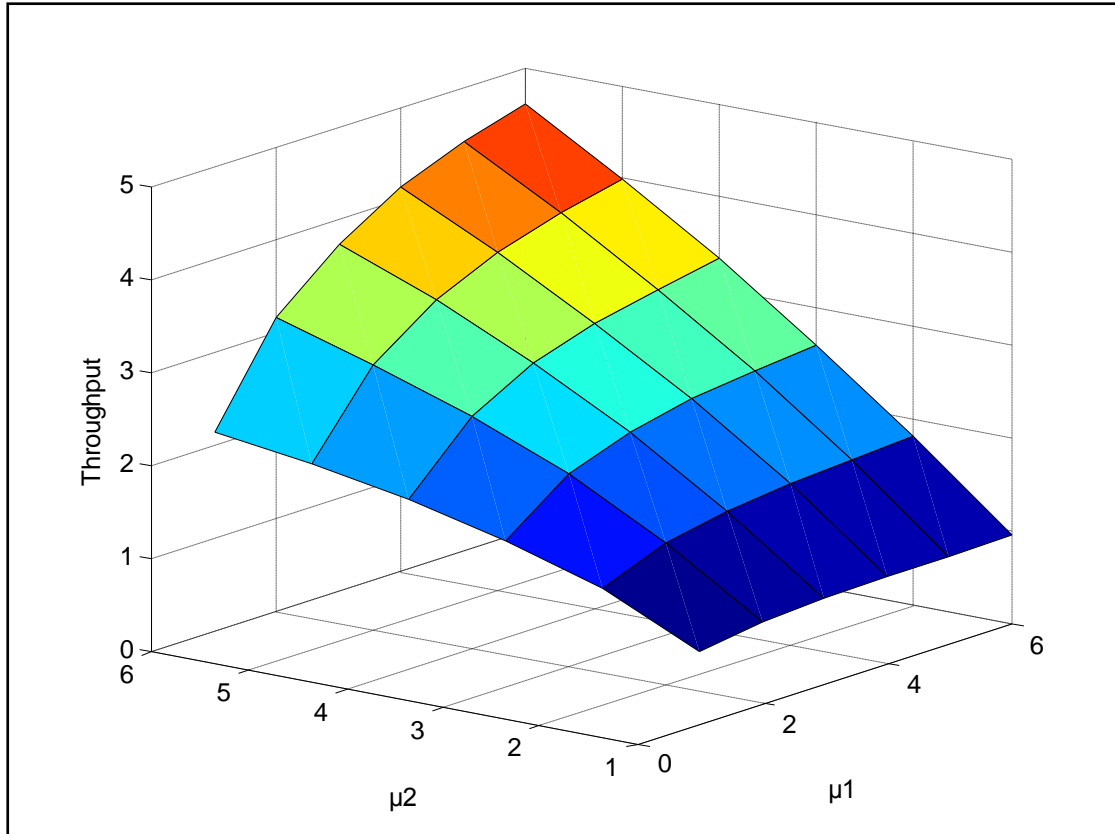
6.4.5 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΜΕ ΜΙΑ ΦΑΣΗ (d_1) ΜΕ ΤΟ THROUGHPUT ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ BUFFER



Εικόνα 44: Το throughput σε σχέση με το d_1 , αν $\mu_1=6, \mu_2 = 6, b=2, N=6$

Όπως και στην περίπτωση των υποδειγμάτων χωρίς buffer, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια εκθετική θετική συσχέτιση των δύο μεγεθών, αφού όσο αυξάνεται το ποσοστό των παραγγελιών που φθάνουν χωρίς καθυστέρηση είναι λογικό να αυξάνεται και ο ρυθμός εξόδου.

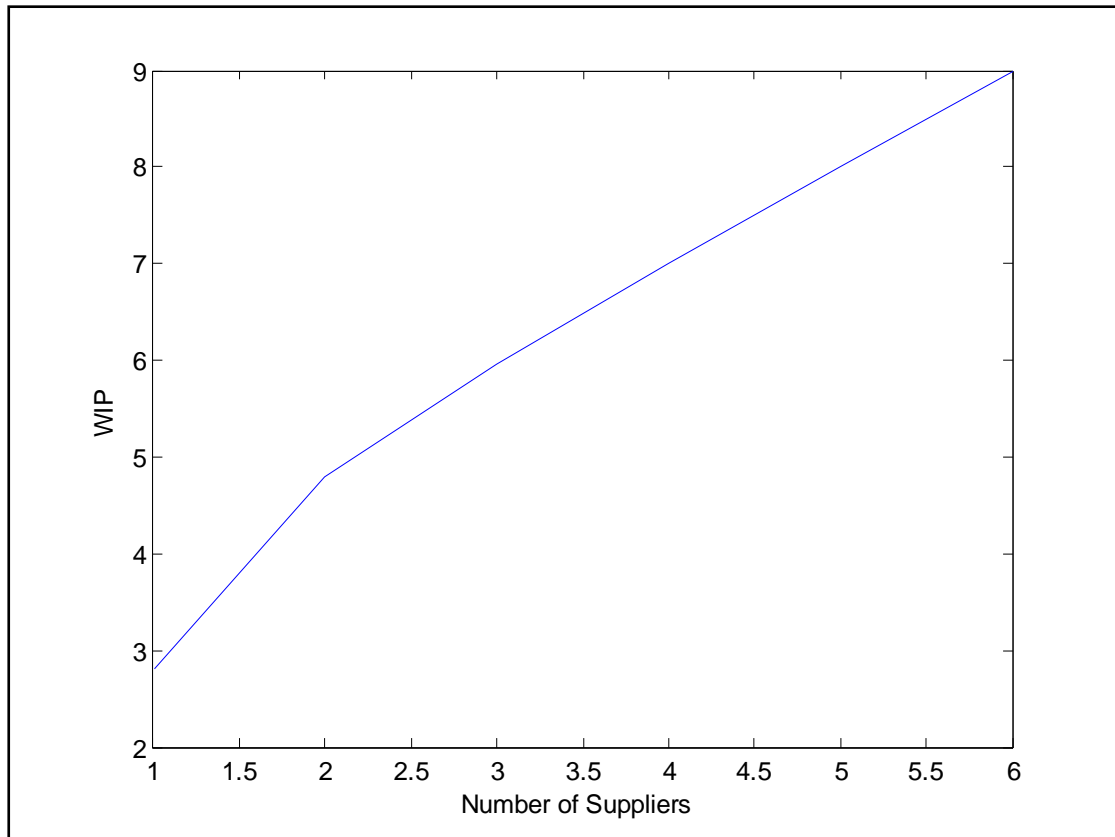
6.4.6 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ THROUGHPUT ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΕΣΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΡΥΘΜΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ Ή ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ (μ_1, μ_2) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ BUFFER



Εικόνα 45: Το throughput σε σχέση με μ_1, μ_2 , αν $d_1=0,7, d_2=0,3 b=2, N=6$

Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνονται οι ταχύτητες διεκπεραίωσης παραγγελιών ή συναρμολόγησης προϊόντων, αυξάνεται και το throughput.

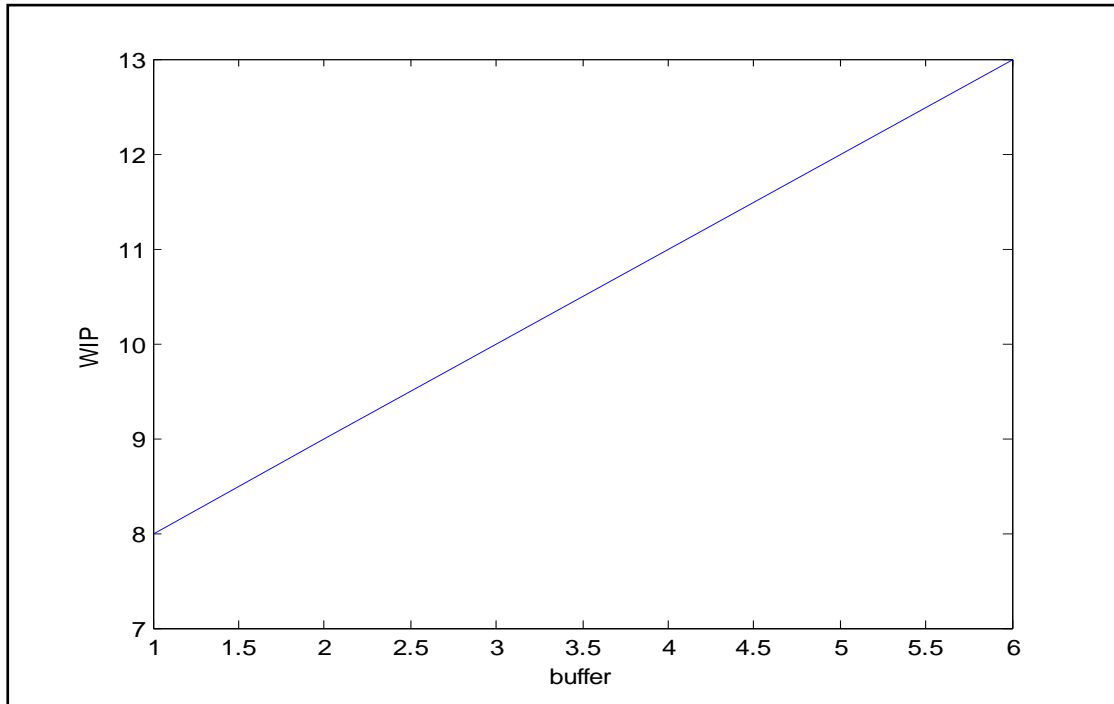
6.4.7 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ (N) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ BUFFER



Εικόνα 46: Το WIP σε σχέση με το N, αν $\mu_1=\mu_2=6$, $d_1=0,7$, $d_2=0,3$, $b=2$

Παρατηρούμε ότι το WIP αυξάνεται με γραμμικό ρυθμό για έως και δύο προμηθευτές, ενώ συνεχίζει να αυξάνει με διαφορετικό ρυθμό από τους δύο προμηθευτές και πάνω.

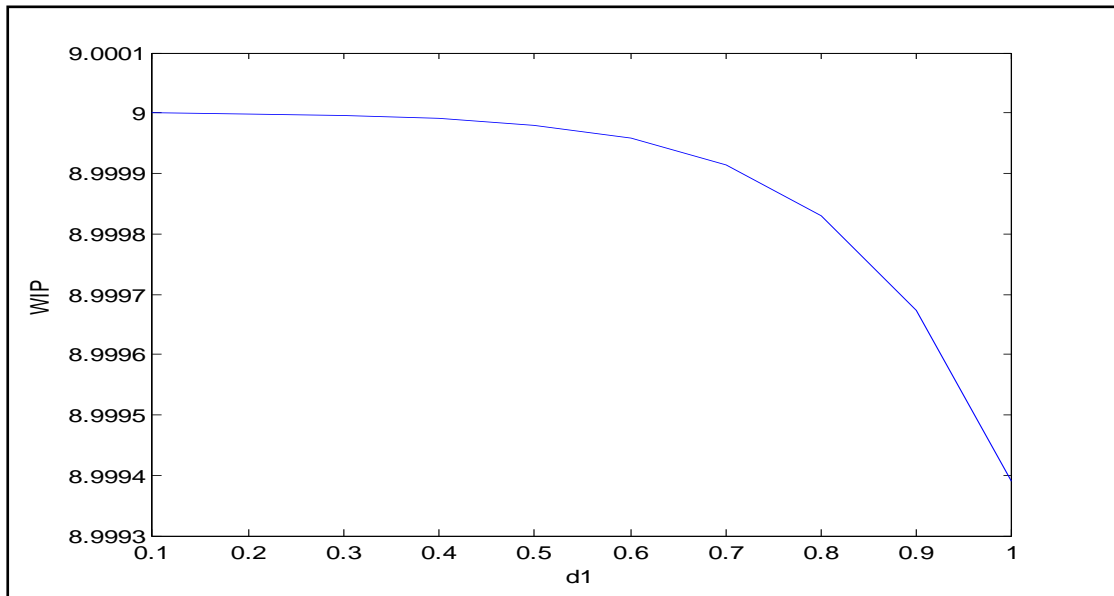
6.4.8 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΕΣΕΩΝ BUFFER



Εικόνα 47: Το WIP σε σχέση με το b , αν $\mu_1=\mu_2=6$, $d_1=0,7$, $d_2=0,3$

Παρατηρούμε ότι καθώς το $buffer$ αυξάνεται και το WIP αυξάνεται γραμμικά. Η συμπεριφορά είναι λογική, αφού η αύξηση των οντοτήτων στο $buffer$ συνεπάγεται και αύξηση των οντοτήτων εντός συστήματος.

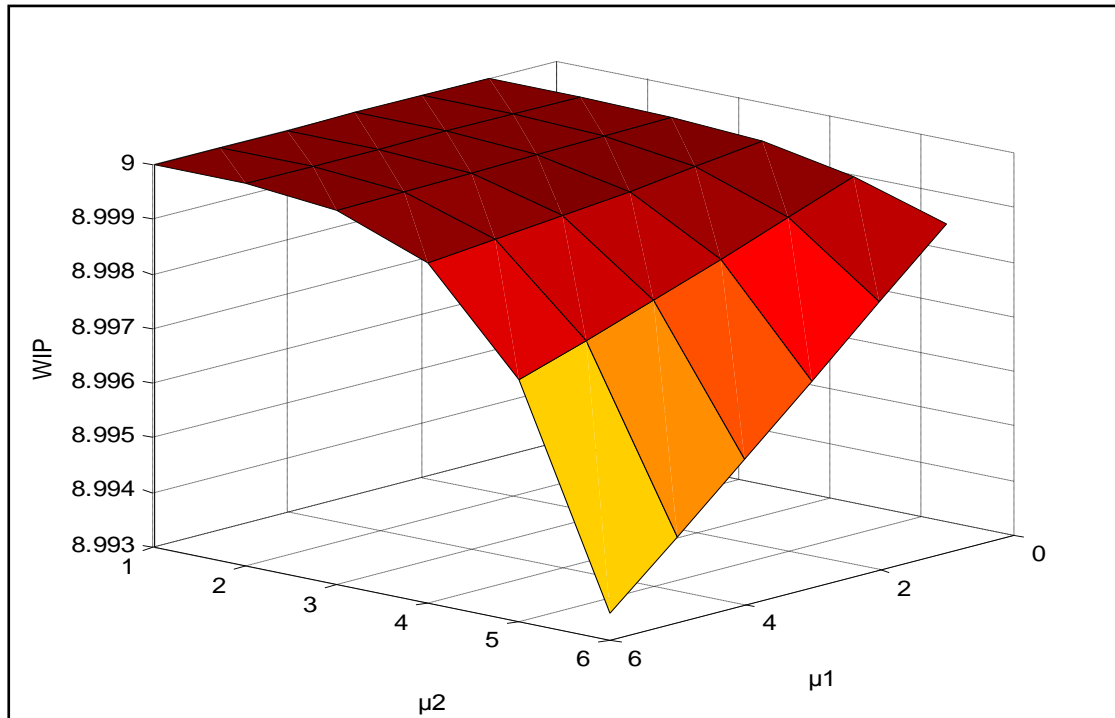
6.4.9 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΩΝ ΜΕ ΜΙΑ ΦΑΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ (d_1) ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ BUFFER



Εικόνα 48: Το WIP σε σχέση με το d_1 , αν $\mu_1=\mu_2=6$, $b=2$, $N=6$

Παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται το ποσοστό των παραγγελιών με μία φάση ολοκλήρωσης, το WIP μειώνεται. Η αύξηση του ποσοστού των παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε μία φάση οδηγεί στην ταχύτερη έξοδο τους από το σύστημα.

6.4.10 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP ΜΕ ΤΟΥΣ ΜΕΣΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΡΥΘΜΟΥΣ ΓΙΑ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Ή ΤΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ μ_1, μ_2 ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ BUFFER



Εικόνα 49: Το WIP σε σχέση με τα μ_1, μ_2 , αν $d_1=0,7, d_2=0,3, b=2, N=6$

Η αύξηση των χρονορυθμών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του WIP. Όσο συντομότερα διέρχονται το σύστημα τα δύο είδη ροών (εργασίες με μία φάση εξυπηρέτησης, εργασίες με δύο φάσεις εξυπηρέτησης), τόσο λιγότερες οντότητες παραμένουν στο σύστημα.

6.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων του αναλυτικού υποδείγματος αναπτύξαμε και υπόδειγμα προσομοίωσης. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

		Analytical Model			Simulation	
mean cross docking processing rate DC	mean traditional warehousing processing rate for DC	Buffer	WIP	Throughput	WIP	Throughput
1	1	0	7	0,769230769	7.000	0.769
1	4	0	7	0,930232558	7.000	0.930
2	2	0	6,999995	1,538461538	7.000	1.539
4	1	0	6,999904	1,818181818	7.000	1.818
8	10	0	6,986525	6,451612903	6.984	6.343
10	10	0	6,971728	7,692307692	6.965	7.419
2	1	0	6,999997	1,25	7.000	1.251

Πίνακας 5: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος χωρίς buffer

		Analytical Model			Simulation	
mean cross docking processing rate DC	mean traditional warehousing processing rate for DC	Buffer	WIP	Throughput	WIP	Throughput
1	1	1	8	0,769230769	8.000	0.769
2	5	1	7,999989	1,785714286	8.000	1.786
1	2	2	9	0,869565217	9.000	0.869
3	1	2	8,999965	1,578947368	9.000	1.581
3	6	3	9,999848	2,608695652	10.000	2.609
4	1	3	9,999843	1,818181818	10.000	1.818
2	2	4	10,99999	1,538461538	11.000	1.539

Πίνακας 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος με buffer

6.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στο συγκλίνον σύστημα παραγωγής αποθεμάτων που μελετήσαμε, και για την ανάπτυξη του υποδείγματος mergein, χρησιμοποιήσαμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2 για να μοντελοποιήσουμε την υψηλή εξωγενή και ενδογενή μεταβλητότητα των χρόνων παραγωγής και αναπλήρωσης. Αναλύσαμε το υπόδειγμα με τη βοήθεια μαρκοβιανών διαδικασιών διακριτών καταστάσεων. Προσδιορίσαμε ποσοτικά τον πίνακα μεταπήδησης, το διάλυμα των στάσιμων πιθανοτήτων και τα μέτρα απόδοσης του συστήματος. Τέλος, πραγματοποιήσαμε πειράματα για τον εντοπισμό της επίδρασης των μεταβλητών εισόδου μέτρα απόδοσης. Μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στη μοντελοποίηση των χρόνων παραγωγής-αναπλήρωσης μέσω της χρήσης κατανομών τύπου φάσης Coxian με περισσότερες από δύο φάσεις και στην ανάλυση συστημάτων με παραπάνω από ένα κέντρα διανομής και κέντρα τελικής συναρμολόγησης.

6.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 6

1. Arts, J.J.&Kiesmuller, G.P., "Analysis of a two-echelon inventory system with two supply modes", στο *BETA publicatie: Working papers*, Τεύχος 339, Technische Universiteit Eindhoven, 2010, διαθέσιμο στη σελίδα: http://cms.ieis.tue.nl/Beta/Files/orkingPapers/wp_339.pdf.
2. Bernstein, F.&DeCroix, G.A., "Inventory Policies in a Decentralized Assembly System Operations Research", στο *Operations Research*, Τόμος 54, Τεύχος 2, 2006, σ. 324-336.
3. Bogataj, L. &Horvsat, L., "Stochastic considerations of Grubbstrom-Molinder model of MRP, input-output and multi-echelon inventory systems", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 45, 1996, σ. 329-336.
4. Boucherie, R.B., Heidevelt, M.C.&Van Houtum, G., *A product-form solution for two-echelon spare parts networks with emergency shipments*, working paper, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, NL, 2007.
5. Gupta, A.& Maranas, C.D. (2003), "Managing demand uncertainty in supply chain planning", στο *Computers and Chemical Engineering*, Τόμος 27, Τεύχος 8, 2003, pp. 1219-27.
6. Heavey, C., Papadopoulos, H.T. & Browne, J., "The Throughput Rate of Multi-Station Unreliable Production Lines", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 68, 1993, σ. 69-89.
7. Heijden, M.C., Van der Diks, E. B. & De Kok, A.G. (1999), "Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times", στο *Operational Research (OR) Spektrum*, Τόμος 21, 1999, σ. 331-359.
8. Kaplan, R. (1970), "Dynamic Inventory Model with Stochastic Lead Times", στο *Management Science, Theory Series*, Τόμος 16, Τεύχος 7, 1970, σ. 491-507.
9. Nagar, L. & Jain, K., "Supply chain planning using multi-stage stochastic programming", στο *Supply Chain Management: An International Journal*, Τόμος 13, Τεύχος 3, 2008, σ. 251- 256.
10. Papadopoulos, H.T., *Mathematical Modelling of Reliable Production Lines*, Ph.D. Thesis in Industrial Engineering/Operations Research, Department of Industrial Engineering, National University of Ireland, Galway, Ireland, 1989.
11. Papadopoulos, H.T. & O' Kelly, M.E.J., "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrix of Multistation Series Production Lines", στο *Computers in Industry*, Τόμος 12, 1989, σ. 227-240.
12. Papadopoulos, H.T., Heavey, C. & O' Kelly, M.E.J., "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with Inter Station Buffers (I) Exponential Case", στο *Computers in Industry*, Τόμος 13, 1989a, σ. 229-244.
13. Papadopoulos, H.T., Heavey, C. & O' Kelly, M.E.J., "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with Inter Station Buffers (II) Erlang Case", στο *Computers in Industry*, Τόμος 13, 1989b, σ. 317-335.
14. Papadopoulos, H.T., Heavey, C. & Browne, L., *Queuing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design*, Chapman and Hall, London Uk, 1993.
15. Pyke, D. E. & Cohen, M.A., "Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 68, 1993, σ. 23-48.
16. Sheffi, Y., *The Resilient Enterprise*, MIT Press, Cambridge, MA, 2005.

17. Song, J.S. & Zipkin, P., "Inventories with multiple supply sources and networks of queues with overflow bypasses", στο *Management Science*, Τόμος 55, Τεύχος 3, 2009, σ.362-372.
18. Vidalis, M.I., *Performance Evaluation and Optimal Buffer Allocation in Serial Production Lines*, Ph.D. Thesis in Operations Research, Department of Mathematics, University of the Aegean, Samos, Greece, 1998.
19. Vidalis, M.I. & Papadopoulos, H.T., "Markovian analysis of production lines with Coxian-2 service times", στο *International Transactions in Operations Research*, Τόμος 6, 1999, σ. 495-524.
20. Vidalis, M.I. & Papadopoulos, H.T., "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrices of Multistation Multiserver Exponential Reliable Queueing Networks", στο *Computers & Operations Research*, Τόμος 28, Τεύχος 9, 2001, σ.853–883.

6.8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

6.8.1 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ BUFFER

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΙΣΟΔΟΣ

Διάβασε:

N : αριθμός προμηθευτών

μ_{N1} : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

μ_{N2} : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

d_{N1} : ποσοστό παραγγελιών του προμηθευτή N που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

d_{N2} : ποσοστό παραγγελιών του προμηθευτή N που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

μ_1 : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

μ_2 : μέσος χρονορυθμός διεκπεραίωσης παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

d_1 : ποσοστό παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

d_2 : ποσοστό παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

ΜΕΡΟΣ Β: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εντολή 1: Δημιούργησε K_1 υποπίνακες διαστάσεων:

$$S = 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2}$$

όπου a_{N-1} : διαστάσεις υποδείγματος για $N-1$ προμηθευτές

Εντολή 2: Δημιούργησε πίνακα D_N διαστάσεων:

$$S = k_2 (k_2 + 1)^{N-1} \times k_2 (k_2 + 1)^{N-1}$$

Εντολή 3: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων:

$$S = 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2}$$

Εντολή 4: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} \times k_2 (k_2 + 1)^{N-1}$$

Εντολή 5: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} \times k_2 (k_2 + 1)^{N-1}$$

Εντολή 6: Δημιούργησε πίνακα k_1 διαστάσεων:

$$k_2 (k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2 (k_2 + 1)^{N-2}$$

Εντολή 7: Συμπλήρωση πίνακα D

Εντολή 7.1: Δημιούργησε τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές

Εντολή 7.2: Ανά δύο γραμμές, ξεκινώντας από την πρώτη γραμμή, να προσθέτεις δίπλα στα κελιά της διαγωνίου στοιχείο $d_{N_1 \mu_{N_1}}$ ανά k_1 στήλες και ανά k_1+k_2+1 στήλες.

Εντολή 7.3: Τερμάτισε την εντολή 7.2 στην 2 a_{N-1} η στήλη.

Εντολή 7.4: Στα υπόλοιπα κελιά δεξιά της διαγωνίου να αντικαταστήσεις με στοιχεία των οποίων οι δείκτες είναι αυξημένοι κατά ένα.

Εντολή 7.5: Σε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου να προσθέτεις στοιχείο $-d_{N_1 \mu_{N_1}}$.

Εντολή 7.6: Δημιούργησε τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές.

Εντολή 7.7: Αντικατάστησε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου μ_{N_2}

Εντολή 7.8: Ανά δύο γραμμές, ξεκινώντας από την 1^η γραμμή, να προσθέτεις δίπλα στα κελιά της διαγωνίου στοιχείο μ_{N_2} ανά k_1 στήλες και ανά k_1+k_2+1 στήλες.

Εντολή 7.9: Τερμάτισε την εντολή 7.8 στην 4 a_{N-1} η στήλη.

Εντολή 7.10: Στα υπόλοιπα στοιχεία δεξιά της διαγωνίου αντικατέστησε με στοιχεία των οποίων οι δείκτες είναι αυξημένοι κατά ένα.

Εντολή 7.11: Σε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου να προσθέτεις στοιχείο $d_{N_2 \mu_{N_2}}$.

Εντολή 8: Δημιουργία πινάκων D_3

Εντολή 8.1: Τοποθέτησε στοιχείο $d_{22 \mu_{21}}$ διαγώνια από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}]$ έως τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + D_3(N-1) \times (k_2+1)$ και στοιχείο $d_{22 \mu_{21}}$ διαγώνια k_2+1 φορές.

Όπου $D_{3(N-1)}$: ο πίνακας D_3 για υπόδειγμα με N-1 προμηθευτές

Εντολή 8.2: Τοποθέτησε στοιχεία $d_{21 \mu_{21}}$ από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}]$ έως τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + D_3(N-1) \times (k_2+1)$ και στοιχεία $d_{21 \mu_{21}}$ k_2+1 φορές.

Εντολή 8.3: Τοποθέτησε στοιχεία μ_{22} από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + (k_2+1) D_3(N-1)$ έως τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2(k_2+1) D_3(N-1)$ και από τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + (k_2+1) D_3(N-1)$ έως τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2(k_2+1) D_3(N-1)$ και στοιχείο μ_{22} διαγώνια.

Εντολή 8.4: Δημιούργησε υποπίνακες D_3 Από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 1$ έως τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + D_3(N-1)$ και από τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}]$ έως τη στήλη $(k + 1)^{N+1} - \sum_1^N (k + 1)^{N-l} x 2^{i-1}$ και $D_3(N-1)$.

8.5: Από τα διαγώνια στοιχεία αφάιρесе παράσταση $\sum_2^{N-1} (\mu N 1, \mu N - 11, \dots, \mu 11)$.

8.6: Αντικατάστησε όλα τα στοιχεία του υποδείγματος με στοιχεία που αντιστοιχούν σε $N+1$ προμηθευτές.

8.7: Δημιουργία υποπινάκων D_{3b} : Από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + D_3(N-1)$ έως τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2D_3(N-1)$ και από τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + D_3(N-1) + 1$ έως τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2D_3(N-1)$ βάλε υποπίνακα $D_3(N-1)$.

8.8: Από τα διαγώνια στοιχεία αφάιρесе παράσταση $\sum_2^{N-1} (\mu N 2, \mu N - 12, \dots, \mu 22)$.

8.9: Αντικατάστησε όλα τα στοιχεία του υποδείγματος με στοιχεία που αντιστοιχούν σε $N+1$ προμηθευτές.

8.10: Δημιουργία υποπινάκων D_{3c} : Από τη γραμμή $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2(k_2+1) D_3(N-1)$ έως τη γραμμή $(k + 1)^{N+1} - \sum_1^N (k + 1)^{N-l} x 2^{i-1}$ και από τη στήλη $k_1 [2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}] + 2(k_2+1) D_3(N-1) + 1$ έως τη στήλη $(k + 1)^{N+1} - \sum_1^N (k + 1)^{N-l} x 2^{i-1}$ βάλε υποπίνακα $D_3(N-1)$.

8.11: Αντικατάστησε όλα τα στοιχεία του υποδείγματος με στοιχεία που αντιστοιχούν σε $N+1$ προμηθευτές.

Εντολή 9: Δημιουργία πινάκων K_i .

Εντολή 9.1: Από τη γραμμή a_{N-1} και την πρώτη στήλη δημιούργησε K_2 πίνακες διαστάσεων $(k_2+1) \times (k_2+1)$ σε διαγώνια διάταξη.

Εντολή 9.2: Ξεκινώντας από τη δεύτερη στήλη και $a_{N-1}+1$ γραμμή βάλε στοιχείο μ_{12} ανά δύο στήλες.

Εντολή 10: Δημιουργία πινάκων K_2 .

Εντολή 10.1: Από τη γραμμή $2a_{N-1}$ και την πρώτη στήλη δημιούργησε k_2 πίνακες διαστάσεων $k_2 \times (k_2+1)$ και ένα πίνακα διαστάσεων $k_2 \times k_2$.

Εντολή 10.2: Βάλε ανά δύο στήλες κενό ξεκινώντας από τη δεύτερη στήλη διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$.

Εντολή 10.3: Βάλε στη 2 $a_{N-1} - 2$ στήλη και στην $(k + 1)^{N+1} - \sum_1^N (k + 1)^{N-i} x 2^{i-1}$ γραμμή διάνυσμα $\begin{bmatrix} d1\mu1 \\ \mu2 \end{bmatrix}$

Εντολή 11: Μοντελοποίηση πινάκων A_1 .

Εντολή 11.1: Βάλε πίνακες A_1 για το υπόδειγμα με N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Εντολή 11.2: Βάλε διαγώνια στοιχεία $d_{11}\mu_{11}$.

Εντολή 12: Μοντελοποίηση πινάκων A_2 .

Εντολή 12.1: Βάλε πίνακες A_2 για το υπόδειγμα με N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Εντολή 12.2: Βάλε διαγώνια στοιχείο μ_{22} .

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΡΧΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΝΑΝ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΗ

Εντολή 1: Δημιούργησε πίνακα 8x8.

Εντολή 2: Δημιουργία πίνακα D_1 .

Εντολή 2.1: Από τη γραμμή 1 έως τη γραμμή 3 και από τη στήλη 1 έως τη στήλη 3 δημιούργησε πίνακα 2x2.

Εντολή 2.2: Συμπλήρωση στοιχείων διαγωνίου: $D_1(1,1) = -\mu_{11}$, $D_1(2,2) = -\mu_{11}-\mu_1$, $D_1(3,3) = -\mu_{11}-\mu_2$

Εντολή 2.3: Συμπλήρωση στοιχείων δεξιά της διαγωνίου $D_1(1,2)=d_{11}\mu_{11}$, $D_1(2,3)=d_2\mu_1$.

Εντολή 2.4: Συμπλήρωση στοιχείων αριστερά της διαγωνίου $D_1(1,2)=d_1\mu_1$, $D_1(1,3)=\mu_2$.

Εντολή 3: Δημιουργία πίνακα D_2 .

Εντολή 3.1: Από τη γραμμή $k_1 + 2$ έως τη γραμμή $k_1(k_1 + 2)$ και από τη στήλη $k_1 + 2$ έως τη στήλη $k_1(k_1 + 2)$ φτιάξε πίνακα διαστάσεων $(k_1 + 1) \times (k_1 + 1)$.

Εντολή 3.2: $D_2(4,4) = -\mu_{12}$, $D_2(5,5) = -\mu_{12}-\mu_1$ και $D_2(6,6) = -\mu_{12}-\mu_2$.

Εντολή 3.3: $D_2(4,5) = \mu_{12}$, $D_2(5,6) = d_2\mu_1$, $D_2(4,6) = \mu_{12}$, $D_2(5,7) = d_2\mu_1$.

Εντολή 4: Δημιουργία πίνακα D_3 .

Εντολή 4.1: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων 2x2.

Εντολή 4.2: Από τη γραμμή 6 έως τη γραμμή 8 και από τη στήλη 6 έως τη στήλη 8 βάλε στοιχεία $D_3(7,7) = -\mu_1$, $D_3(8,8) = -\mu_2$.

Εντολή 4.3: $D_3(7,8) = d_2\mu_1$.

Εντολή 5: Δημιουργία πίνακα A_{01} .

Εντολή 5.1: Από τη γραμμή 1 έως τη γραμμή 3 και από τη στήλη 3 έως τη στήλη 6 φτιάξε πίνακα διαστάσεων 3×3 .

Εντολή 5.2: Βάλε διαγώνιο στοιχείο $d_{12\mu_{11}k_2+1}$ φορές.

Εντολή 6: Δημιουργία πίνακα A_1 .

Εντολή 6.1: Από τη γραμμή 1 έως τη γραμμή 3 και από τη στήλη 6 έως τη στήλη 8 δημιούργησε πίνακα διαστάσεων 3×2 .

Εντολή 6.2 : Βάλε διαγώνια στοιχείο $d_{11\mu_{11}}$.

Εντολή 7: Δημιουργία πίνακα A_2 .

Εντολή 7.1: Από τη γραμμή 4 έως τη γραμμή 6 και από τη στήλη 6 έως τη στήλη 8 δημιούργησε πίνακα διαστάσεων 3×6 .

Εντολή 7.2: Βάλε στον πίνακα σε διαγώνια διάταξη στοιχείο μ_{12} .

6.8.2 ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ BUFFER (N,B,1)

ΜΕΡΟΣ Α: ΕΙΣΟΔΟΣ

Διάβασε N: αριθμός προμηθευτών

μ_{N1} : μέσος χρόνος διεκπεραίωσης παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

μ_{N2} : μέσος χρόνος διεκπεραίωσης παραγγελιών που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

d_{N1} : ποσοστό παραγγελιών του προμηθευτή N που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

d_{N2} : ποσοστό παραγγελιών του προμηθευτή N που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

μ_1 : μέσος χρόνος διεκπεραίωσης παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

μ_2 : μέσος χρόνος διεκπεραίωσης παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

d_1 : ποσοστό παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε μία φάση εξυπηρέτησης

d_2 : ποσοστό παραγγελιών στο κέντρο διανομής ή στο κέντρο συναρμολόγησης που ολοκληρώνονται σε δύο φάσεις εξυπηρέτησης

ΜΕΡΟΣ Β: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Εντολές δημιουργίας αρχικού πίνακα 1b1

Εντολή 1: Δημιουργία πίνακα D_1 .

Εντολή 1.1: Βάλε σε $D_1(1, 1)$: $-\mu_{11}D_1(1,2)$: $d_{11}\mu_{11}$.

Εντολή 1.2: Από το κελί $(2, k_1+2)$ βάλε διαγώνια στοιχείο $d_{11}\mu_{11}$ 2bφορές.

Εντολή 1.3: $D_1(k_1+1,1)$: $d_{11}\mu_{11} D_1(k_1,1)$: $\mu_2 D_1(k_1+1,2)$: $d_{11}\mu_{11}D_1(k_1+2,2)$: μ_2 .

Εντολή 1.4: Επανέλαβε την εντολή 1.3 b+1 φορές αφήνοντας μία στήλη κενό.

Εντολή 2: Διαγώνια στοιχεία

Εντολή 2.1: $D_1(1, 1)$: $-\mu_{11}$, $D_1(2, 2)$: $-\mu_{11}-\mu_1D_1(3, 3)$: $-\mu_{11}-\mu_2$.

Εντολή 2.2: Επανέλαβε b φορές διαγώνια.

Εντολή 3: Δημιουργία πίνακα D_2 .

Εντολή 3.1: Επανέλαβε εντολές 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.2 αντικαθιστώντας τα διαγώνια στοιχεία με μ_{12} , $-\mu_{12}-\mu_1$, $-\mu_{12}-\mu_2$ αντίστοιχα.

Εντολή 4: Δημιουργία πίνακα D_3 .

Εντολή 4.1: Στα κελιά $D_3 [k_1 (k_1 +2b+1)+ 1, k_1 (k_1 +2b+1)+1]$, $D_3 [k_1 (k_1 +2b+1)+2, k_1 (k_1 +2b+1)+2]$ βάλε διαγώνια στοιχεία $-\mu_1, -\mu_2$.

Εντολή 4.2: Στο κελί $D_3 [k_1 (k_1 +2b+1)+ 1, k_1 (k_1 +2b+1)+2]$ βάλε στοιχείο $d_2\mu_1$.

Εντολή 5: Δημιουργία πινάκων K.

Εντολή 5.1: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων $k_1 \times (k_1 +2b+1)$.

Εντολή 5.2: Βάλε σε $K[k_1 (k_1 +2b+1)+1, k_1 + 2]$: $d_1\mu_1$ και σε $K[k_1 (k_1 +2b+1)+2, k_1 +2]$: μ_2

Εντολή 6: Δημιουργία πίνακα A_{01} .

Εντολή 6.1: Δημιούργησε πίνακα διαστάσεων $k_1 +2b+1 \times k_1 +2b+1$.

Εντολή 6.2: Βάλε διαγώνια στοιχείο $d_{12}\mu_{11}k_1 +2b+1$ φορές.

Εντολή 7: Δημιουργία πίνακα A_1 .

Εντολή 7.1: Δημιούργησε πίνακα A_1 διαστάσεων $k_1 +2b+1 \times k_1$.

Εντολή 7.2: Βάλε στο κελί $A_1[(k_1 +2b+1), k_1(k_1 +2b+1)+1]$: $d_{11}\mu_{11}$.

Εντολή 7.3: Βάλε στο κελί $A_1[(k_1 +2b+2), k_1(k_1 +2b+1)+ 2]$: $d_{11}\mu_{11}$.

Εντολή 8: Δημιουργία πίνακα A_2 .

Εντολή 8.1: Δημιούργησε πίνακα A_1 διαστάσεων $k_1 + 2b + 1 \times k_1$.

Εντολή 8.2: Βάλε στο κελί $A_1[(k_1 + 2b + 1) + k_1 + 2b + 1, k_1(k_1 + 2b + 1) + 1]$: μ_{12} .

Εντολή 8.3: Βάλε στο κελί $A_1[(k_1 + 2b + 2) + k_1 + 2b + 2, k_1(k_1 + 2b + 1) + 2]$: μ_{12} .

Γενικό υπόδειγμα (N,b,1)

Συνολικός αριθμός καταστάσεων: $2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} + Cb (k_1)^{N+1}$.

Διαστάσεις πίνακα μεταπήδησης:

$$S^{N,b,1} = 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} + Cb (k_1)^{N+1} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} + Cb (k_1)^{N+1}.$$

Εντολές δημιουργίας υπόπινάκων D

Εντολή 1: Δημιούργησε k_1 υποπίνακες διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολή 2: Δημιούργησε πίνακα D_n διαστάσεων:

$$k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολές δημιουργίας υποπινάκων A.

Εντολή 3: Δημιούργησε πίνακα A_{01} διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολή 4: Δημιούργησε πίνακα A_1 διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολή 5: Δημιούργησε πίνακα A_2 διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολή 6: Βάλε πίνακες A_1, A_2 σε διατεταγμένη θέση.

Εντολή 7: Βάλε υποπίνακες A_1, A_{01} σε διπλανές θέσεις.

Εντολές δημιουργίας υποπινάκων K

Εντολή 8: Από τη γραμμή $2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} + 1$ έως τη γραμμή $2[2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}]$ δημιούργησε πίνακα διαστάσεων:

$$2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Εντολή 9: Από τη γραμμή $2[2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}]$ έως τη γραμμή $2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-2} + Cb (k_1)^{N+1}$ δημιούργησε πίνακα k_2 διαστάσεων:

$$k_2(k_2 + 1)^{N-1} \times 2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}.$$

Διαδικασία Αναδρομής

Υποπίνακες A_{01} : Βάλε διαγώνια $2 a_{N-1} + k_2(k_2 + 1)^{N-1}$ στοιχεία $d_{12}\mu_{11}$.

Υποπίνακες A_1 :

Εντολή 1: Βάλε υποπίνακα A_1 του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Εντολή 2: Βάλε διαγώνια στοιχεία $d_{11}\mu_{11}$.

Υποπίνακες A_2 :

Εντολή 3: Βάλε υποπίνακα A_2 του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Εντολή 4: Βάλε διαγώνια στοιχεία μ_{12} .

Υποπίνακες K_1 :

Εντολή 5: Βάλε υποπίνακα K_1 του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Υποπίνακες K_2 :

Εντολή 6: Βάλε υποπίνακα K_2 του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές k_2 φορές διαγώνια.

Εντολή 7: Βάλε ανά μία στήλη κενό διάνυσμα $\begin{bmatrix} d_{1\mu_1} \\ \mu_2 \end{bmatrix}$.

Υποπίνακες D_3 :

Εντολή 9: Βάλε τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για N-1 προμηθευτές.

Εντολή 10: Αντικατάστησε όλα τα στοιχεία των προμηθευτών με το αντίστοιχο στοιχείο για το υπόδειγμα με N+1 προμηθευτές.

Υποπίνακες D_1 :

Εντολή 11: Βάλε τον πίνακα μεταπήδησης για το υπόδειγμα με N-1 προμηθευτές.

Εντολή 12: Αντικατέστησε όλα τα στοιχεία των προμηθευτών με τα αντίστοιχα για N+1 προμηθευτές.

Εντολή 13: Ξεκινώντας από τη γραμμή 1 να προσθέτεις στοιχείο $d_{11}\mu_{11}$ σε κελιά στη διαγώνιο ανά $k_1 + 2b + 1$ στήλες και γραμμές μέχρι τη στήλη $2 a_{N-1}$.

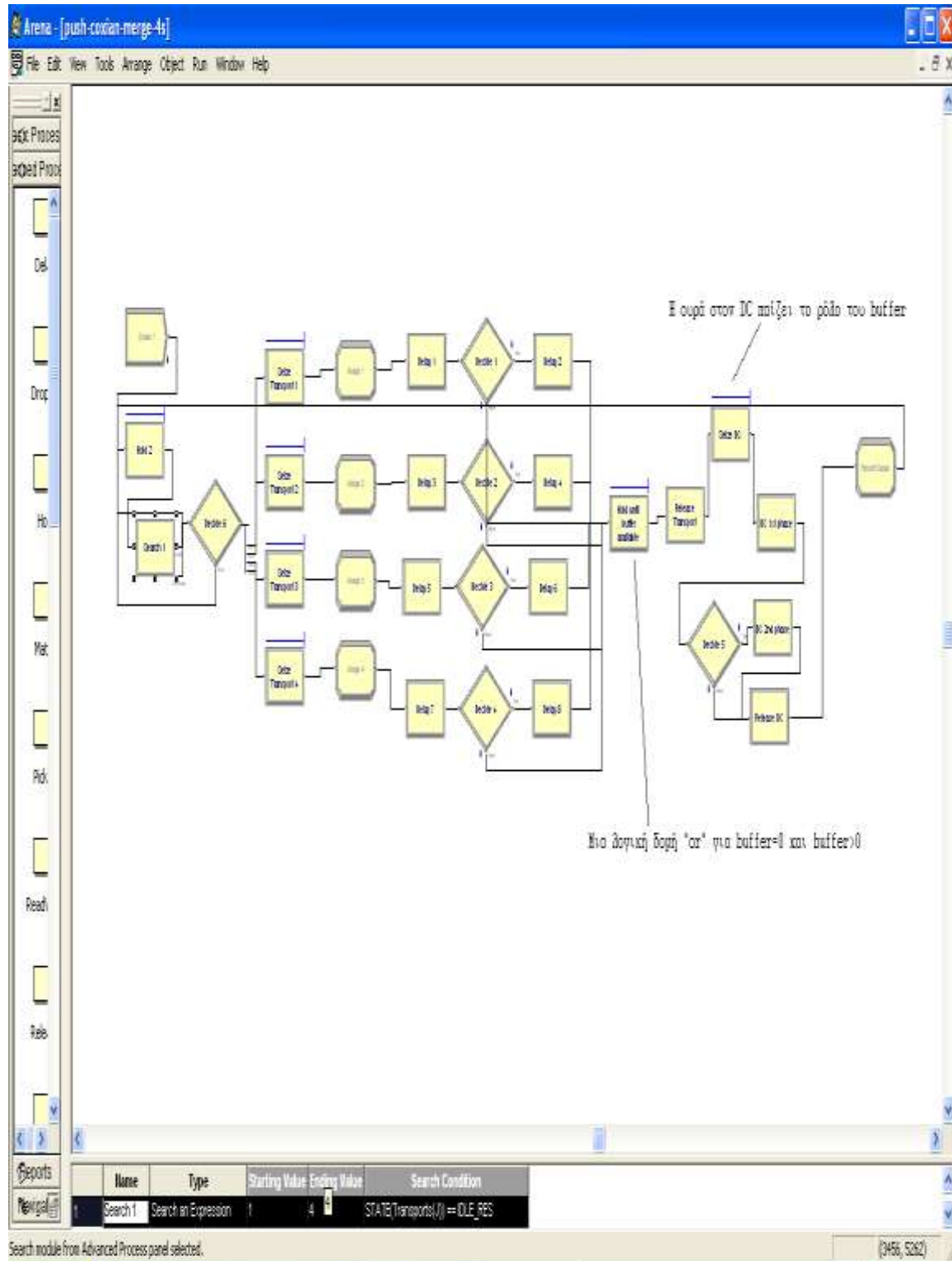
Εντολή 14: Ξεκινώντας από τα κελιά (2,4), (3,5) να προσθέτεις στοιχείο $d_{11}\mu_{11}$ ανά $k_2 + 1$ γραμμές και $k_2 + 2b + 1$ στήλες και γραμμές κενό σε διαγώνια διάταξη μέχρι τη στήλη $2 a_{N-1}$.

Υποπίνακες D_2 :

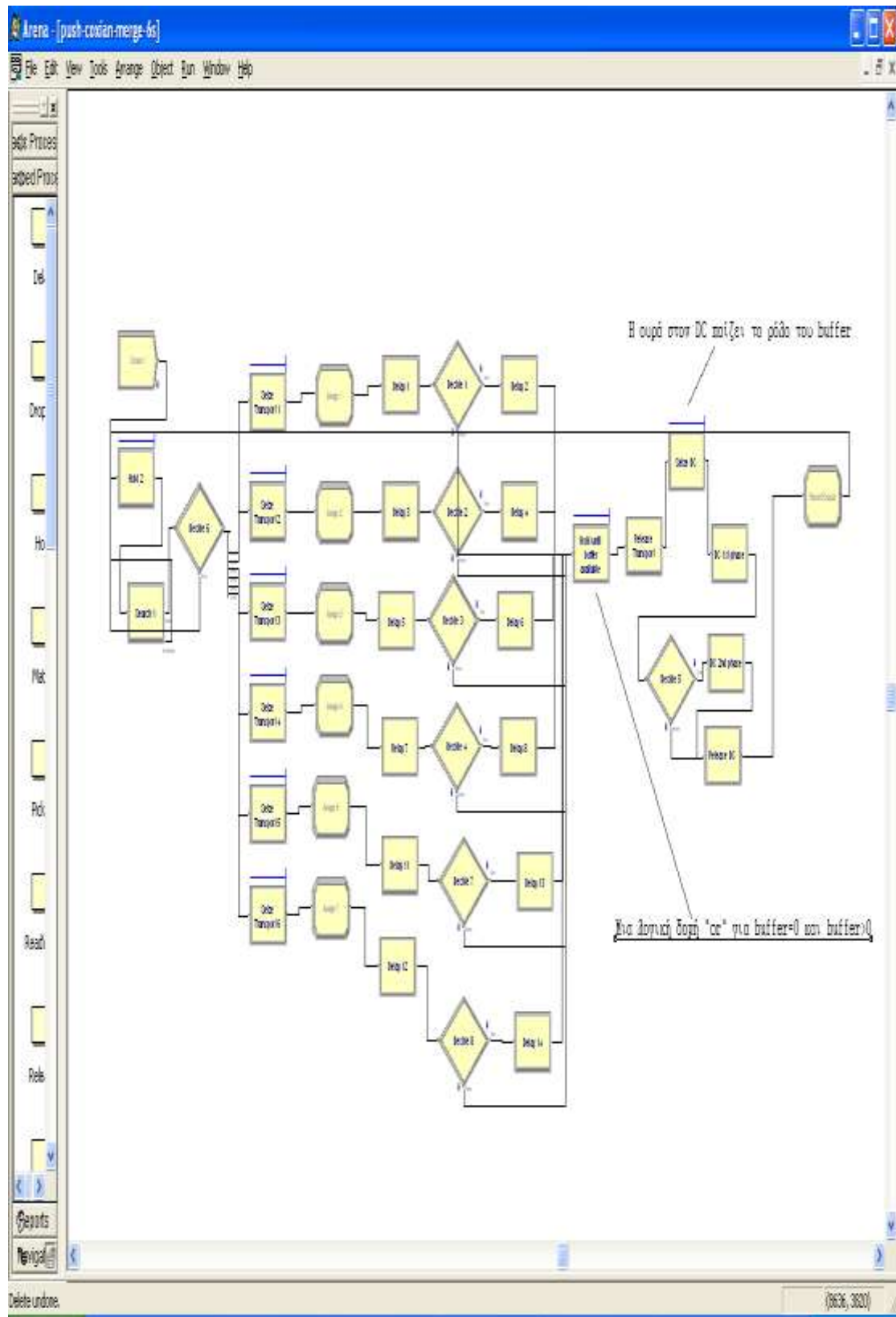
Εντολή 15: Επανάλαβε τις εντολές 11-15 αντικαθιστώντας στοιχείο $d_{11}\mu_{11}$ με στοιχείο μ_{12} .

6.8.3 ΠΡΟΣΟΜΙΩΤΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ARENA

ΜΕΡΟΣ Α: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ = 4



ΜΕΡΟΣ Β: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΟΜΗΘΕΥΤΩΝ = 6



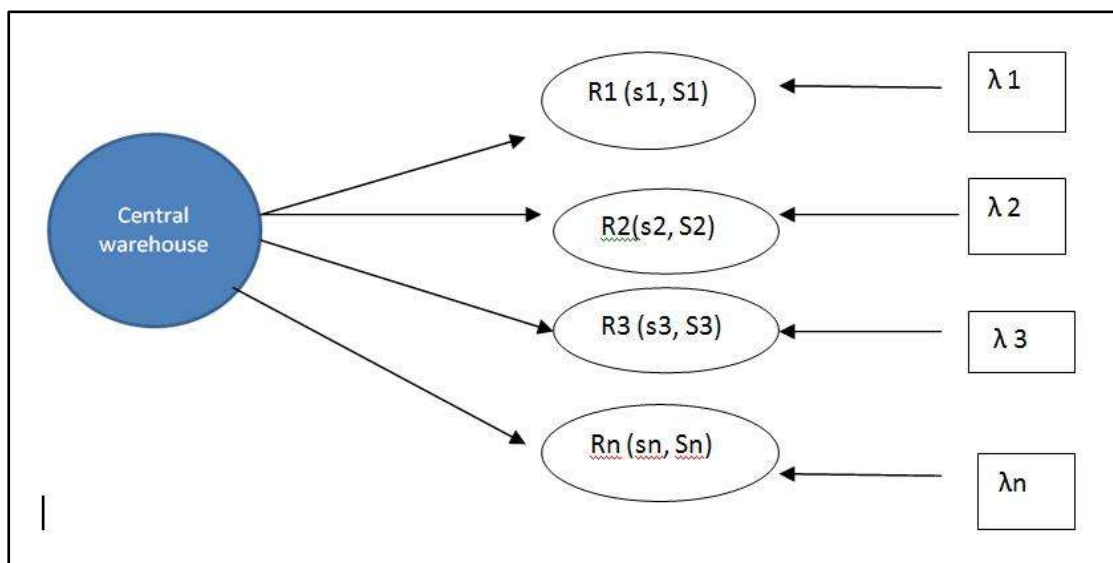
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΟΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (SPLITOUT) ΜΕ ΧΡΟΝΟΥΣ ΑΝΑΠΛΗΡΩΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ ΦΑΣΗΣ COXIAN-2

Στο τελευταίο κεφάλαιο της μελέτης αναλύουμε ένα αποκλίνον εφοδιαστικό δίκτυο. Στο πρώτο μέρος περιγράφουμε το σύστημα και κάνουμε μια βιβλιογραφική επισκόπηση, ενώ στο δεύτερο μέρος αναλύουμε το στοχαστικό υπόδειγμα (χώρος καταστάσεων, δομή υποπινάκων, μέτρα απόδοσης). Στο τρίτο μέρος εκτελούμε πειράματα για να εξακριβώσουμε την επίδραση των ελεγχόμενων μεταβλητών στα μέτρα απόδοσης. Στόχος μας είναι να μελετήσουμε την επίδραση των μεταβολών των ελεγχόμενων μεταβλητών στη λειτουργία του συστήματος, και συγκεκριμένα στα μέτρα απόδοσης όλου του συστήματος και επιμέρους τμημάτων του

7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το υπό εξέταση σύστημα αποτελείται από μία κεντρική αποθήκη (centralwarehouse) και έναν αριθμό (R) λιανεμπόρων. Πρόκειται δηλαδή ένα εφοδιαστικό δίκτυο δύο στοιβάδων. Οι δίαυλοι μεταφοράς χαρακτηρίζονται από υψηλή μεταβλητότητα στον χρόνο ολοκλήρωσης λόγω εξωγενών και ενδογενών αιτιών.

Ο βασικός κόμβος διαθέτει απεριόριστη χωρητικότητα: δηλαδή μπορεί να αποστείλει όποια ποσότητα απαιτηθεί από τον κάθε λιανέμπορο. Οι λιανέμποροι έχουν πεπερασμένη χωρητικότητα και δέχονται ζήτηση από το εξωτερικό περιβάλλον του συστήματος οι οποίες ζητήσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τέλος, οι λιανέμποροι εφαρμόζουν συνεχή πολιτική παρακολούθησης αποθεμάτων με απόθεμα ασφάλειας και παραγγελιόμνη ποσότητα q , που προκύπτει ως διαφορά μεταξύ του σημείου αναπαραγγελίας και του μέγιστου επίπεδου αποθέματος S : $q = S - s$. Σχηματικά:



Εικόνα 50: Το υπόδειγμα του αποκλίνοντος εφοδιαστικού συστήματος

Τα συμπεράσματα της μελέτης μπορούν να εφαρμοστούν σε εφοδιαστικά δίκτυα με υψηλή μεταβλητότητα στους διαύλους μεταφοράς, όπως αμυντικά εφοδιαστικά συστήματα (defense logistics), εφοδιαστικά συστήματα ανθρωπιστικών αποστολών (humanitarian logistics) ή σε εφοδιαστικά συστήματα με αναξιόπιστους προμηθευτές.

7.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Σχετική με τα αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: η πρώτη αφορά μη εφαρμοσμένα υποδείγματα και η δεύτερη εφαρμοσμένα υποδείγματα στον τομέα της άμυνας. Βασικό χαρακτηριστικό των μη εφαρμοσμένων υποδειγμάτων είναι η ανάλυση της διαδικασίας των μεταχρονολογημένων διαμεταφορών (lateral transshipments).

Μη εφαρμοσμένα υποδείγματα για αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα

- Οι Anderson & Melchior (2001) πραγματεύονται αποκλίνον εφοδιαστικό δίκτυο με λιανοπωλητές που ακολουθούν base stock πολιτική αποθεμάτων και αντιμετωπίζουν ανεξάρτητη ζήτηση με κατανομή Poisson. Οι χρόνοι αναπλήρωσης είναι ντετερμινιστικοί, ενώ ισχύει η υπόθεση των «χαμένων πωλήσεων».
- Οι Moutqatirkul & Yerandee (2008) αναλύουν αποκλίνον εφοδιαστικό δίκτυο με περιοδική πολιτική τύπου (s, S) .
- Ο Axsater (2003) εξετάζει τον ίδιο τύπο δικτύου με λιανοπωλητές που ακολουθούν συνεχή πολιτική αποθεμάτων. Ο ίδιος συγγραφέας, μαζί με άλλους ερευνητές, Axsater et al. (2004) παρέχουν ευρετικούς αλγόριθμους για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων του εφοδιαστικού δικτύου.
- Οι Ahire & Schimdt (1996) προτείνουν ένα αναλυτικό υπόδειγμα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος για διάφορες καταστάσεις λειτουργίας.
- Οι Jokar & Zangeneh (2006) αναπτύσσουν έναν ευρετικό αλγόριθμο για την εξοικονόμηση κόστους για base stock πολιτική αποθεμάτων.
- Υπόδειγμα για τον υπολογισμό του κόστους διατήρησης αποθεμάτων και του κόστους κάλυψης παραγγελιών σε δεύτερο χρόνο παρέχει ο Marklund (2002).
- Οι Alrifai & Rossetti (2007) αναλύουν έναν ευρετικό αλγόριθμο για την ελαχιστοποίηση του συνολικά δεσμευμένου κεφαλαίου σε απόθεμα για αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα, με τους περιορισμούς της μέσης ετήσιας συχνότητας παραγγελιών και της μερικής ικανοποίησης της ζήτησης σε δεύτερο χρόνο (backorder).
- Τέλος, οι Thangam & Uthayakumar (2008) προσδιορίζουν πιθανά ζεύγη (s, S) και τη συνάρτηση συνολικού κόστους για αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα με ανεξάρτητη, τυχαία ζήτηση στους λιανοπωλητές και σταθερούς χρόνους αναπλήρωσης.

ΣΥΝΕΧΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗ	ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ	BASE STOCK ΠΟΛΙΤΙΚΗ
Anderson&Melchior	Moutqatipkul & Yerandee (τύπου (s,S))	Jokar&Zangeneh
Axsater	Ahire &Schimdt (μικτήπολιτική)	
Rifai & Rossetti		
Thangam & Uthayakuma		

Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση υποδειγμάτων αποκλίνοντων εφοδιαστικών δικτύων

Εφαρμοσμένα υποδείγματα για αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα

- Οι Besaler&Veinott (1977) αναλύουν αποκλίνον εφοδιαστικό δίκτυο αποτελούμενο από μια κεντρική αποθήκη και έναν αριθμό αεροπορικών επισκευαστικών βάσεων. Στην ίδια εργασία εξετάζεται πολιτική παραγγελιών που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος.
- Παρόμοια ως προς τα χαρακτηριστικά του συστήματος μελέτη είναι εκείνη των Lauetal. (2006), οι οποίοι επιλύουν το πρόβλημα με την εφαρμογή MonteCarloπροσομοίωσης.
- Ο Muckstadt(1975) αναπτύσσει μαθηματικό υπόδειγμα για τον προσδιορισμό των επιπέδων αποθεμάτων σε κάθε αεροπορική επισκευαστική βάση του αποκλίνοντος δικτύου.
- Οι Rappold&VanRoo(2009) εξετάζουν τον συνδυασμό των προβλημάτων της χωροθέτησης επισκευαστικής υποδομής, της διανομής αποθέματος και της βέλτιστης επένδυσης σε χωρητικότητα.
- Τέλος, οιGurta&Albright(1992) επιλύουν ένα υπόδειγμα αποκλίνοντος εφοδιαστικού δικτύου με την εφαρμογή στοχαστικών διαδικασιών, προσδιορίζοντας χαρακτηριστικά λειτουργίας του δικτύου μέσω των στάσιμων πιθανοτήτων.

Lateral trans-shipments

- Βασικές πληροφορίες για τη διαδικασία λαμβάνουμε στο εγχειρίδιο των Brandimarte&Zotteri(2007).
- Στην εργασία των Xuetal. (2003) αναπτύσσεται στοχαστικό αναλυτικό υπόδειγμα για να αναλυθεί η συμβολή των lateraltrans-shipmentsστην επίτευξη ικανοποιητικών βαθμών κάλυψης ζήτησης. Τα αποτελέσματα του αναλυτικού υποδείγματος συγκρίνονται με αποτελέσματα προσομοιωτικού.
- ΟιHuetal. (2005) αλλάζουν τη μεθοδολογία επίλυσης, συγκεκριμένα αντί στοχαστικής διαδικασίας χρησιμοποιούν υπόδειγμα δυναμικού προγραμματισμού. Στόχος των ερευνητών είναι η εύρεση του επιπέδου κόστους διανομής που κάνει την υιοθέτηση της διαδικασίας lateraltrans-shipmentsσυμφέρουσα σε περιβάλλον περιοδικής αναπλήρωσης αποθεμάτων.
- ΟιHereret al.(2002) προσπαθούν να μοντελοποιήσουν το ποιοτικό χαρακτηριστικό της λιτότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα με χρήση των lateraltrans-shipments.

- Οι Burton&Banerjee(2005)αναλύουν το κόστος των lateraltrans-shipments μέσω υποδείγματος προσομοίωσης και εξάγουν πολύτιμα συμπεράσματα για τη διαδικασία.
- Οι Leeetal.(2007)προτείνουν μια νέα πολιτική lateraltrans-shipments την S.L.A. (ServiceLevelAdjustment) εστιαζόμενη στην πρόληψη των ελλείψεων και αποδεικνύουν την ορθότητα της πολιτικής μέσω προσομοίωσης.
- Ο Olsson (2010)προτείνει γιατην μοντελοποίηση των lateraltransshipments στοχαστικές διαδικασίες σε υποδείγματα με συνεχή πολιτική αναπλήρωσης αποθεμάτων , Poissonζήτηση και σταθερούς χρόνους παράδοσης.
- Οι Jungetal.(2003)εξετάζουν τη διαδικασία των lateraltrans-shipmentsσε αμυντική εφαρμογή αναπτύσσοντας ένα στοχαστικό υπόδειγμα.
- Οι Minneretal.(2003)αναπτύσσουν έναν ευρετικό αλγόριθμο για τη λήψη αποφάσεων επειγόντων lateraltrans-shipments, του οποίου την ακρίβεια τεκμηριώνουν και μέσω προσομοίωσης.

Το υπόδειγμα που αναλύουμε στην παρούσα εργασία έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το υπόδειγμα του Axsater, ενώ η μεθοδολογία επίλυσης παραπέμπει στη μελέτη των Gurta&Albright, λόγω της χρήσης στοχαστικών διαδικασιών.

7.3 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

7.3.1 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το υπόδειγμα που εξετάζουμε είναι μαρκοβιανής διαδικασίας συνεχούς χρόνου και διακριτών καταστάσεων. Υποθέτουμε τα εξής για τα συστατικά μέρη του συστήματος:

- Centralwarehouse: neverstarved
- Λιανέμποροι (R):
 - Αντιμετωπίζουν τυχαία και ανεξάρτητη μεταξύ τους ζήτηση η οποία έχει κατανομή Poisson με μέσο $\lambda_i = 1, \dots, R$.
 - Η εμφάνιση των ελλείψεων ισοδυναμεί με απώλεια της ζήτησης (lostsalesassumption).
 - Κάθε λιανοπωλητής έχει ορίσει ένα επίπεδο αποθέματος ασφάλειας s . Αν λόγω ζήτησης το απόθεμα μειωθεί, τότε ενεργοποιούνται διαδικασίες αναπλήρωσης. Η ποσότητα που παραγγέλλεται είναι $q = S - s$, όπου S το σημείο μέγιστης χωρητικότητας αποθέματος για κάθε λιανέμπορο. Οι λιανοπωλητές ακολουθούν δηλαδή συνεχή πολιτική αναπλήρωσης αποθέματος (continuousreviewandrefillmentpolicy).
- Δίαυλοι Μεταφοράς:
 - Οι δίαυλοι μεταφοράς λόγω της υψηλής μεταβλητότητας στον χρόνο ολοκλήρωσης χαρακτηρίζονται από ιδιόμορφες κατανομές χρόνου. Για τον προσδιορισμό και τη μελέτη των ροών αναπλήρωσης εφαρμόζουμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2.

- Σύμφωνα με την Coxian-2, για κάθε δίαυλο μεταφοράς μεταξύ κεντρικής αποθήκης και λιανεμπόρων υπάρχει ένα ποσοστό παραγγελιών-αναπληρώσεων (d_{1i}) που ολοκληρώνεται με ένα μέσο χρονορυθμό μ_{1i} εκθετικά κατανομημένο. Ουσιαστικά, πρόκειται για το ποσοστό των παραγγελιών που διεκπεραιώνονται ομαλά.
- Επιπλέον, υπάρχει δεύτερο ποσοστό παραγγελιών-αναπληρώσεων d_{2i} το οποίο ολοκληρώνεται με ένα μέσο εκθετικά κατανομημένο χρονορυθμό μ_{2i} . Ουσιαστικά, πρόκειται για το ποσοστό των παραγγελιών που διεκπεραιώνονται με καθυστέρηση.

7.3.2 ΧΩΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ο χώρος καταστάσεων αποτελείται από Rζεύγη τιμών αποθέματος φάσης (l, p). Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο χώρος καταστάσεων για υπόδειγμα δύο λιανοπωλητών που λειτουργούν με πολιτική (2,1), (2,1):

l1 p1	l2 p2	States	l1 p1	l2 p2	States	l1 p1	l2 p2	States
01	01	0101	11	01	1101	2	01	2 01
01	02	0102	11	02	1102	2	02	202
01	11	0111	11	11	1111	2	11	211
01	12	0112	11	12	1112	2	12	212
01	2	012	11	2	112	2	2	22
02	01	0201	12	01	12 01			
02	02	0202	12	02	1202			
02	11	02 11	12	11	1211			
02	12	0212	12	12	1212			
02	2	022	12	2	122			

Πίνακας 72: Οι καταστάσεις του υποδείγματος (S_1, s_1, S_2, s_2) (2, 1), (2, 1)

Η συνάρτηση του αριθμού καταστάσεων για τις διάφορες τιμές των (S_i, s_i) προκύπτει από τον παρακάτω αναδρομικό τύπο:

$$s^{(S_R, s_R)(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} = [(s_R + 1)k_R + q_R s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}] \chi \{ (s_{R-1} + 1)k_{R-1} + q_{R-1} s^{(S_{R-2}, s_{R-2}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \} \dots \chi \{ (s_1 + 1)k_1 + q_1 s^{(S_1, s_1)} \} \quad (1),$$

όπου:

s_R : απόθεμα ασφάλειας-σημείο αναπαραγγελίας του R-οστού λιανοπωλητή

S_R : μέγιστο επίπεδο αποθέματος του R-οστού λιανοπωλητή

k_R : αριθμός φάσεων αναπλήρωσης του R-οστού λιανοπωλητή με $k_R = 2$.

$s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$: αριθμός καταστάσεων υποδείγματος για R-1 λιανοπωλητές

$q_R = S_R - s_R$: παραγγελλόμενη ποσότητα του R-οστού λιανοπωλητή

S_1 : μέγιστο επίπεδο αποθέματος του πρώτου λιανοπωλητή

s_1 : απόθεμα ασφάλειας-σημείο αναπαραγγελίας του πρώτου λιανοπωλητή

k_R : αριθμός φάσεων αναπλήρωσης του πρώτου λιανοπωλητή με $k_R=2$

$q_1 = S_1 - s_1$: παραγγελλόμενη ποσότητα του πρώτου λιανοπωλητή

$S^{(S_1, s_1)}$: αριθμός καταστάσεων υποδείγματος για ένα λιανοπωλητή, ισχύει: $(s_1+1)k_1 + (S_1 - s_1)$.

Εφαρμόζοντας τον τύπο 1 για $R=2$ και $(S_1, s_1) (2,1)$ και $(S_2, s_2) (2,1)$ έχουμε:

$$S^{(2,1),(2,1)} = [(1 + 1) \times 2 + 1] \times [(1 + 1) \times 2 + 1] = 25 \text{ καταστάσεις.}$$

Προκύπτει ότι οι διαστάσεις του πίνακα μεταπήδησης είναι:

$$[s^{(S_R, s_R)(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}] \times [s^{(S_R, s_R)(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}]$$

7.3.3 ΔΟΜΗ ΠΙΝΑΚΑ ΜΕΤΑΠΗΔΗΣΗΣ

Ο πίνακας μεταπήδησης αποτελείται από τρεις υποπίνακες D, A, K και χαρακτηρίζεται ως διαγώνιος (blockdiagonal), αφού οι μεταβάσεις γίνονται εντός του ίδιου επιπέδου. Η συμπεριφορά του υποδείγματος οφείλεται στο φαινόμενο των διαδικασιών «γέννησης-θανάτου». Σχηματικά:

$$\begin{bmatrix} D1 & A1 & \\ K1 & D2 & An \\ & K2 & Dn \end{bmatrix}$$

Οι πίνακες D αντιπροσωπεύουν την κατάσταση ισορροπίας, όπου δεν υπάρχουν εκδηλώσεις ζήτησης και αναπληρώσεις αποθεμάτων.

Οι πίνακες K περιλαμβάνουν τρία είδη υποπινάκων:

1. s_r πίνακες διαστάσεων $kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \times kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$
2. Έναν πίνακα διαστάσεων $s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \times s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$
3. q_r πίνακες διαστάσεων $s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \times kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$

Όλοι οι παραπάνω υποπίνακες συμπληρώνονται με διαγώνια τοποθέτηση του στοιχείου λ_1 . Οι πίνακες K επομένως αντιπροσωπεύουν τις καταστάσεις του εφοδιαστικού συστήματος όπου υπάρχει εκδήλωση ζήτησης στον πρώτο λιανοπωλητή, χωρίς αναπλήρωση αποθέματος.

Οι πίνακες A περιλαμβάνουν δύο είδη υποπινάκων:

1. s_r πίνακες διαστάσεων $kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \times kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$
2. Έναν πίνακα διαστάσεων $kR s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)} \times s^{(S_{R-1}, s_{R-1}) \dots (S_2, s_2)(S_1, s_1)}$

Οι παραπάνω υποπίνακες συμπληρώνονται με δύο διαγωνίους των στοιχείων $d_{11}\mu_{11}$ και μ_{12} αR-1 μήκους. Οι πίνακες A αντιπροσωπεύουν τις καταστάσεις του συστήματος όπου λαμβάνει χώρα διαδικασία αναπλήρωσης δύο φάσεων στον πρώτο λιανοπωλητή.

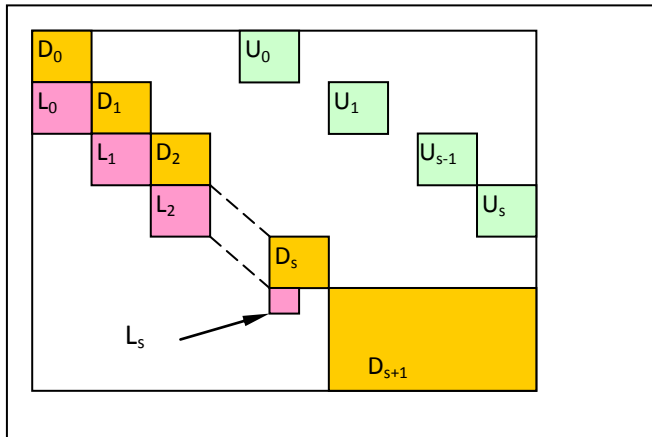
Περαιτέρω, η δομή του πίνακα μεταπήδησης αποτελεί συνάρτηση των παραμέτρων:

1. Αριθμός λιανοπωλητών (R)
2. S_R, s_R , όπου S_R : μέγιστο επίπεδο αποθέματος, s_R : απόθεμα ασφάλειας
3. $s^{(S_{R-1}, S_{R-1}) \dots (S_2, S_2)}(S_1, S_1)$: διαστάσεις πίνακα μεταπήδησης για R-1 λιανοπωλητές

Το απλούστερο υπόδειγμα περιλαμβάνει έναν λιανοπωλητή και μια κεντρική αποθήκη, με τις καταστάσεις να δίνονται από τον τύπο:

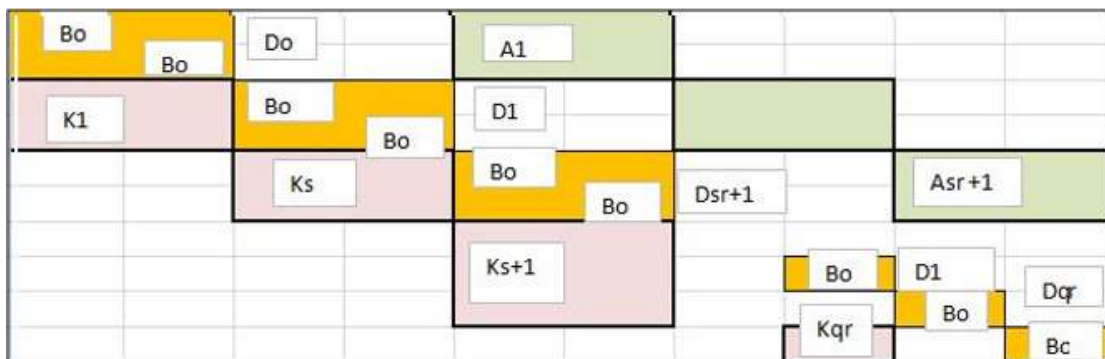
$$S^{(S_1, s_1)} = 2(s_1 + 1) + (S_1 - s_1) = S_1 + s_1 + 2$$

Ο πίνακας μεταπήδησης της απλούστερης μορφής αποκλίνοντος εφοδιαστικού δικτύου ονομάζεται βασικός πίνακας μεταπήδησης (BO). Η δομή του δίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 58: Δομή πίνακα μεταπήδησης για μία κεντρική αποθήκη και έναν λιανοπωλητή

Η προσθήκη λιανοπωλητών έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων πινάκων μεταπήδησης, οι οποίοι εδραιώνονται στον βασικό πίνακα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 51: Η συνολική δομή του πίνακα μεταπήδησης για το υπόδειγμα του αποκλίνοντος εφοδιαστικού δικτύου

Οι πίνακες μεταπήδησης των αποκλινόντων εφοδιαστικών δικτύων αποτελούν, λοιπόν, επαυξημένες και τροποποιημένες «ρεπλικές» του βασικού πίνακα μεταπήδησης (Bo). Οι τροποποιήσεις για κάθε είδος υποπινάκων D,A,Kδίνονται παρακάτω:

Πίνακες D

1. Όλοι οι δείκτες των στοιχείων των υποπινάκων D αυξάνονται κατά ένα.
2. Προστίθεται σε όλα τα στοιχεία διαγωνίου στοιχείο $-\mu_{11}$ και στοιχείο $-\mu_{12}$ εναλλάξ.
3. Στα στοιχεία της διαγωνίου προστίθεται στοιχείο $-\lambda_1$ μετά τα πρώτα $s^{(s_{R-1},s_{R-1})\dots(s_2,s_2)(s_1,s_1)}$ στοιχεία.
4. Σε 2×2 κάθε πίνακα Διαστάσεων $s^{(s_{R-1},s_{R-1})\dots(s_2,s_2)(s_1,s_1)} S^{(s_1,s_1),(s_2,s_2),\dots,(s_R,s_R)}$ προστίθεται μια διαγώνια διάταξη στοιχείων $d_{12}\mu_{11}$.

Πίνακες A

Αποτελούν διαγώνιες διατάξεις των στοιχείων $d_{11}\mu_{11},\mu_{12}$ του βασικού πίνακα μεταπήδησης.

Πίνακες K

Δημιουργούνται διαγώνιοι πίνακες με το στοιχείο λ_1 του βασικού πίνακα μεταπήδησης.

7.3.4 ΟΙ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Αφού διαμορφώσαμε τον πίνακα μεταπήδησης, μπορούμε να προσδιορίσουμε το διάνυσμα των στάσιμων πιθανοτήτων, τη βασική εκροή του συστήματος του στοχαστικού υποδείγματος. Υποθέτουμε την εξίσωση των πινάκων:

$$\pi Q = 0$$

και επιλύοντας ως προς π παίρνουμε το διάνυσμα των στάσιμων πιθανοτήτων. Η διαδικασία της επίλυσης ως προς π περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Αναστροφή του πίνακα Q .
2. Αντικατάσταση της τελευταίας γραμμής με 1.
3. Λύση των γραμμικών εξισώσεων που προκύπτουν.

7.3.5 ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ο υπολογισμός του διανύσματος π των στάσιμων πιθανοτήτων μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τα μέτρα απόδοσης. Θα ασχοληθούμε με το WIP και το $fill\ rate$, για ολόκληρο το σύστημα καθώς και για κάθε λιανοπωλητή ξεχωριστά.

WIP

WIP_{system} : ο σταθμισμένος μέσος όρος της κατανομής του αποθέματος για όλες τις καταστάσεις του συστήματος

WIP_i , $i=1,2,\dots,R$ μέσο απόθεμα στον λιανοπωλητή $i=1,2,\dots,R$

Fill Rate

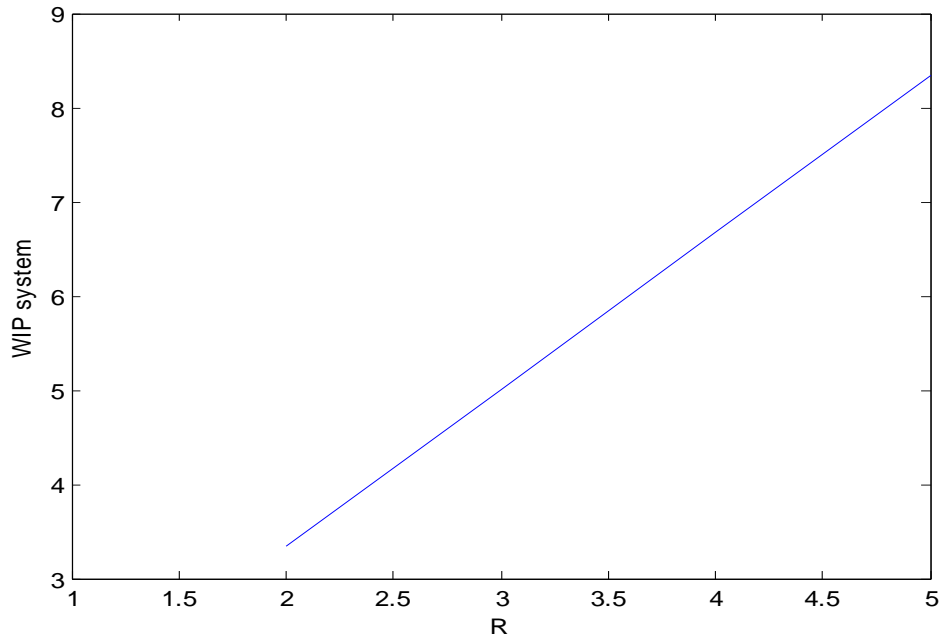
$Fill\ Rate_{system}$: το ποσοστό της ζήτησης που καλύπτεται από το σύνολο του εφοδιαστικού συστήματος

$Fill\ Rate_{\text{Νου λιανοπωλητή}}$: το ποσοστό της ζήτησης που καλύπτεται από έναν μόνο από τους N λιανοπωλητές

7.4 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

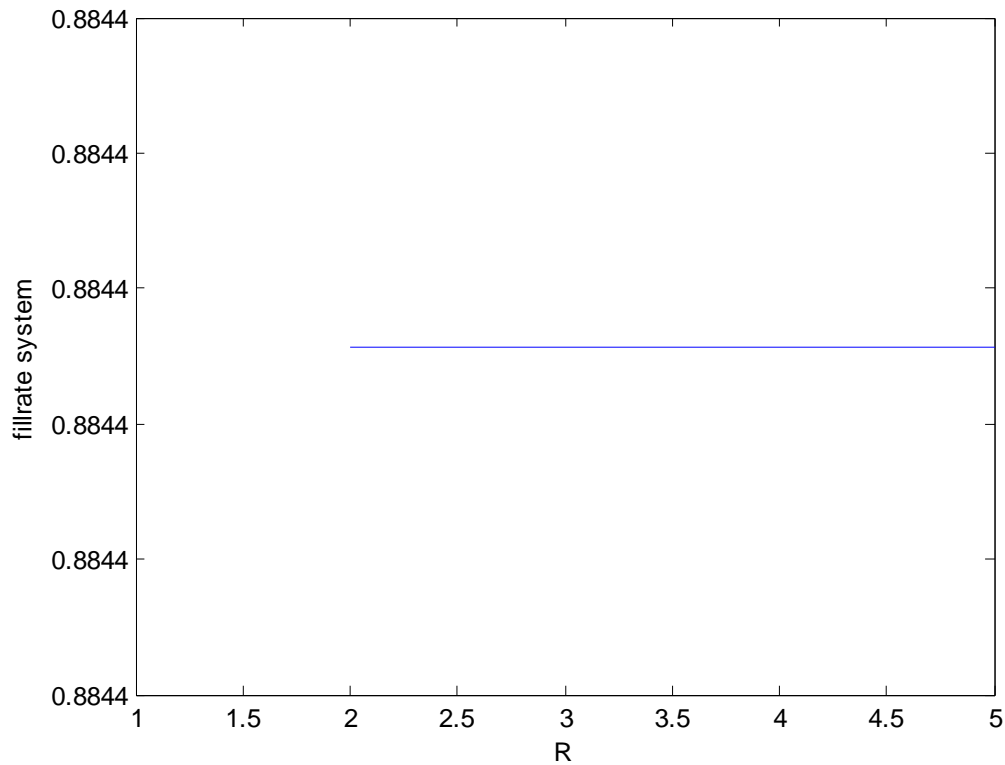
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα αριθμητικά αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση των ελεγχόμενων μεταβλητών στα μέτρα απόδοσης. Συγκεκριμένα, τα αριθμητικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τη σχέση των R , λ_i , μ_{i1} , μ_{i2} , d_{i1} , d_{i2} , S_i , s_i με το WIP_{system} , $WIP_{retailer}$, $fill\ rate_{system}$, $fill\ rate_{retailer}$.

7.4.1 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ WIP_{SYSTEM} ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΩΝ (R)



Εικόνα 52: Η σχέση του αριθμού λιανοπωλητών (R) με το WIP_{system} , αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των λιανοπωλητών, αυξάνεται και το μέσο απόθεμα σε όλο το εφοδιαστικό σύστημα. Η παραπάνω συμπεριφορά είναι λογική, αφού όλοι οι λιανοπωλητές διατηρούν απόθεμα.

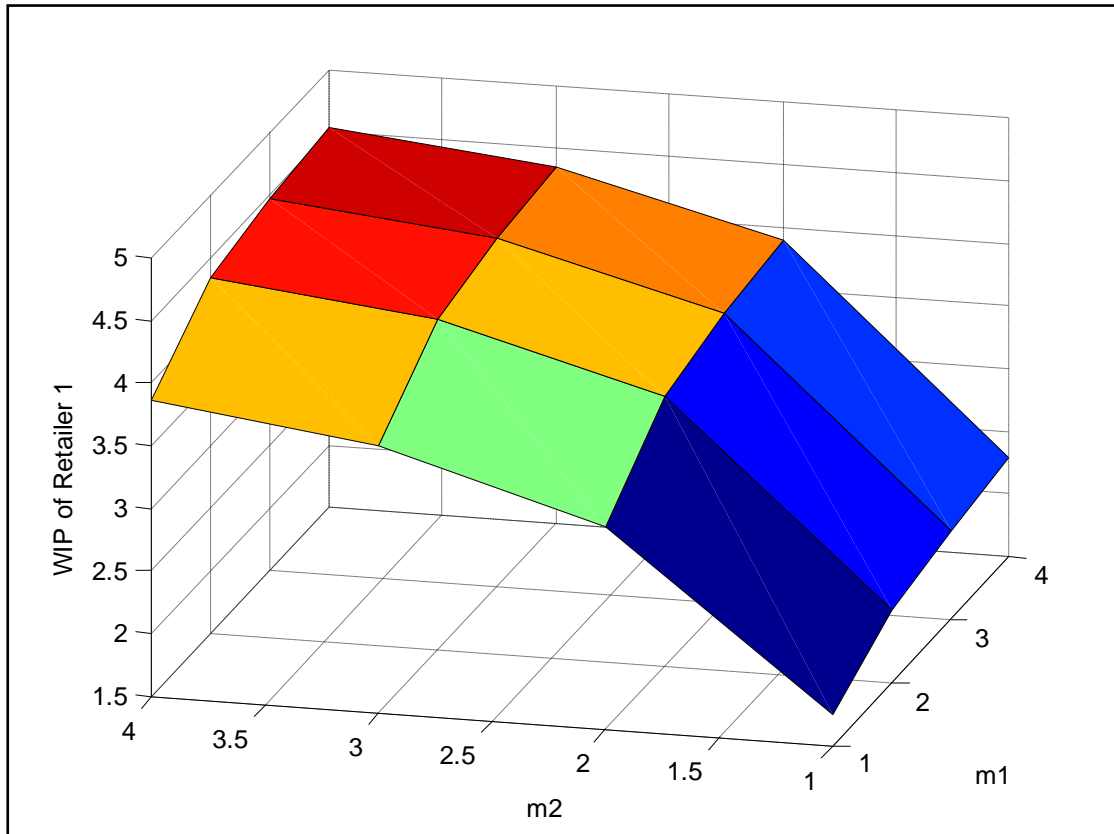
7.4.2 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ $\text{FILLRATE}_{\text{SYSTEM}}$ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΩΝ (R)

Εικόνα 53: Η σχέση του αριθμού λιανοπωλητών (R) με το $\text{fillrate}_{\text{system}}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$

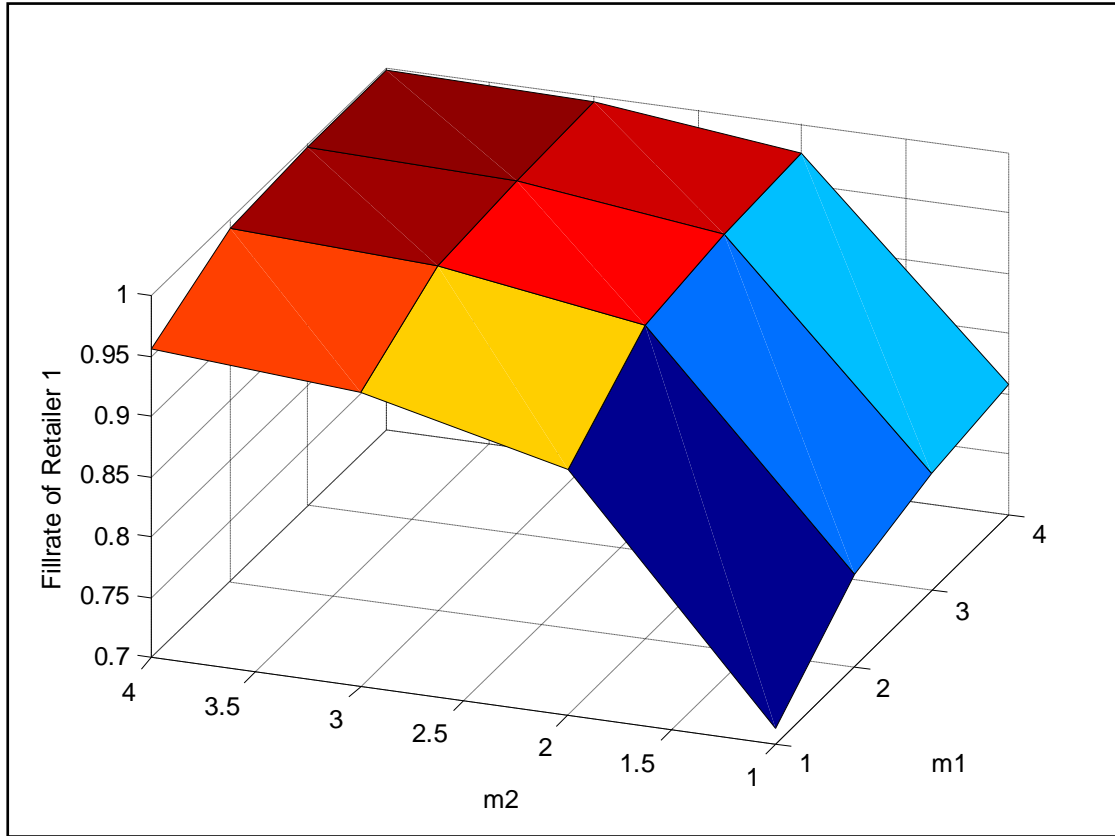
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο αριθμός των λιανοπωλητών, ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης αυξάνεται γραμμικά μέχρι την προσθήκη του δεύτερου λιανοπωλητή. Η προσθήκη πέραν των δύο λιανοπωλητών αυξάνει σε πολύ μικρό ποσοστό τον βαθμό κάλυψης. Η συμπεριφορά είναι αναμενόμενη λογική, αφού η προσθήκη λιανοπωλητών λογικά μειώνει την πιθανότητα ελλείψεων, αλλά μέχρι κάποιο σημείο, πέραν του οποίου η ζήτηση είναι κορεσμένη.

7.4.3 Η ΣΧΕΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΥΡΥΘΜΩΝ μ_{1i} , μ_{2i} ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΑΠΟΘΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΒΑΘΜΟ ΚΑΛΥΨΗΣ

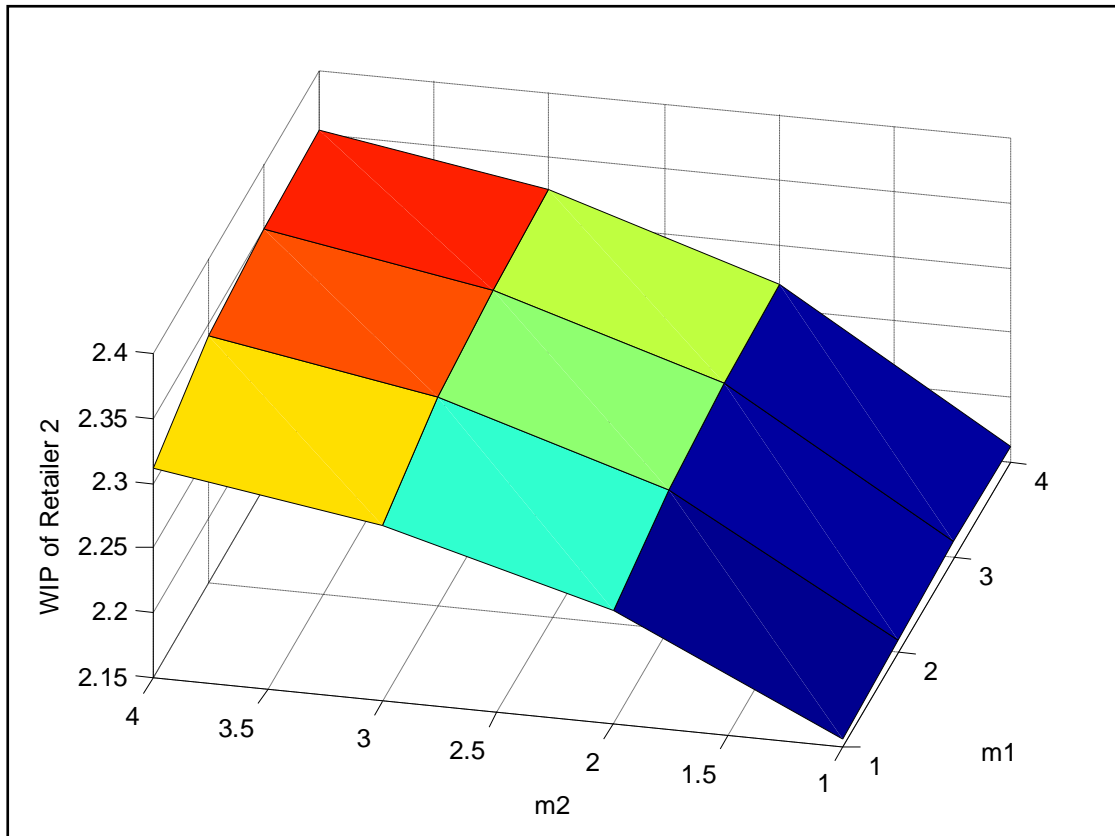
Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο χρονορυθμός των παραγγελιών αυξάνεται και το μέσο απόθεμα. Η συμπεριφορά αυτή είναι λογική, αφού η αύξηση της ταχύτητας παράδοσης των παραγγελιών έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αποθέματος στους κατωφερείς κόμβους του εφοδιαστικού δικτύου. Ως αποτέλεσμα επηρεάζεται και το fillrate. Συγκεκριμένα, λόγω της συσσώρευσης αποθέματος εκμηδενίζεται η πιθανότητα ελλείψεων.



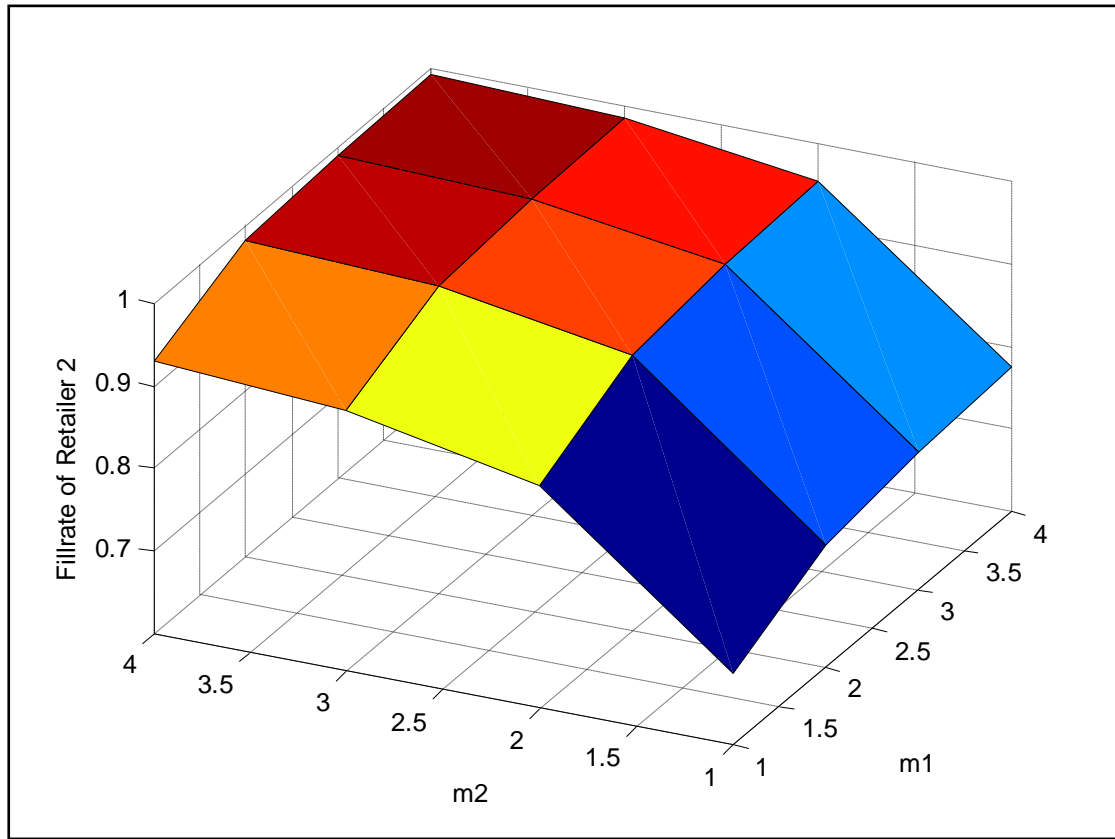
Εικόνα 54: Η σχέση των μ_{11}, μ_{12} με το $WIP_{\text{retailer1}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = 0,3 = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$



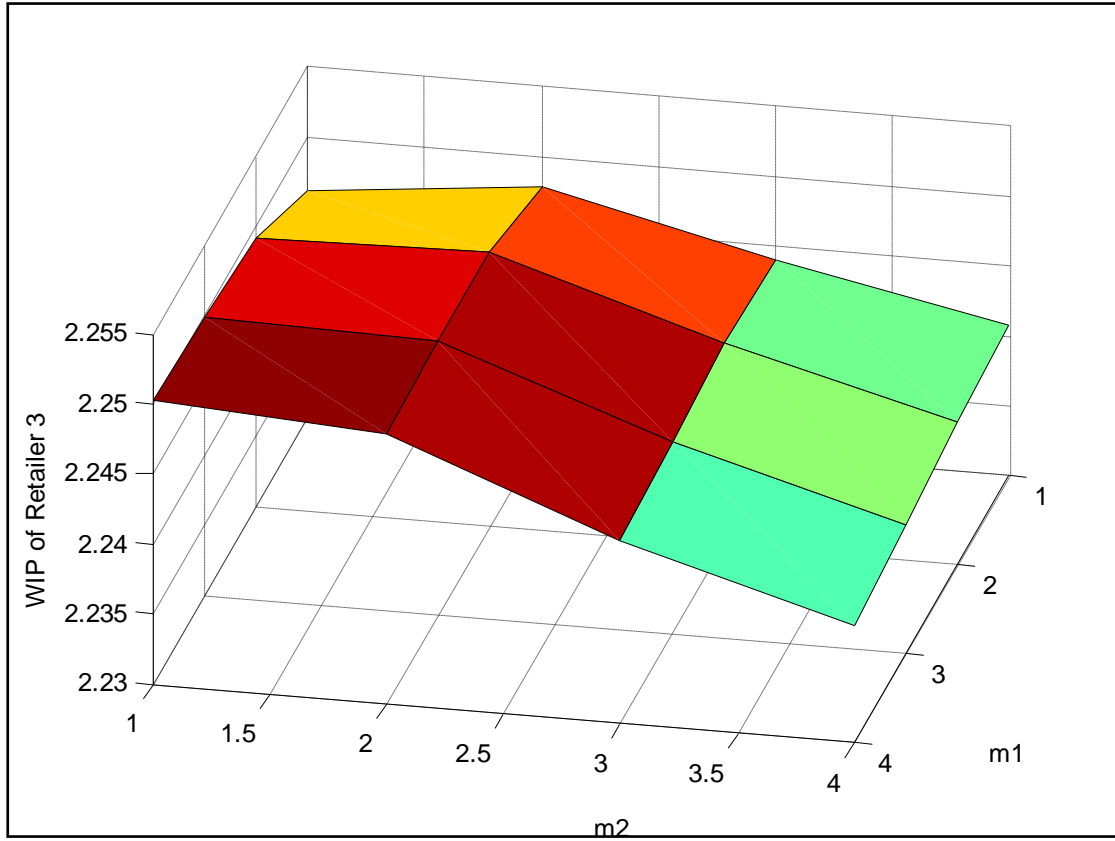
Εικόνα 55: Η σχέση των μ_{11} , μ_{12} με το $fillrate_{retailer1}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



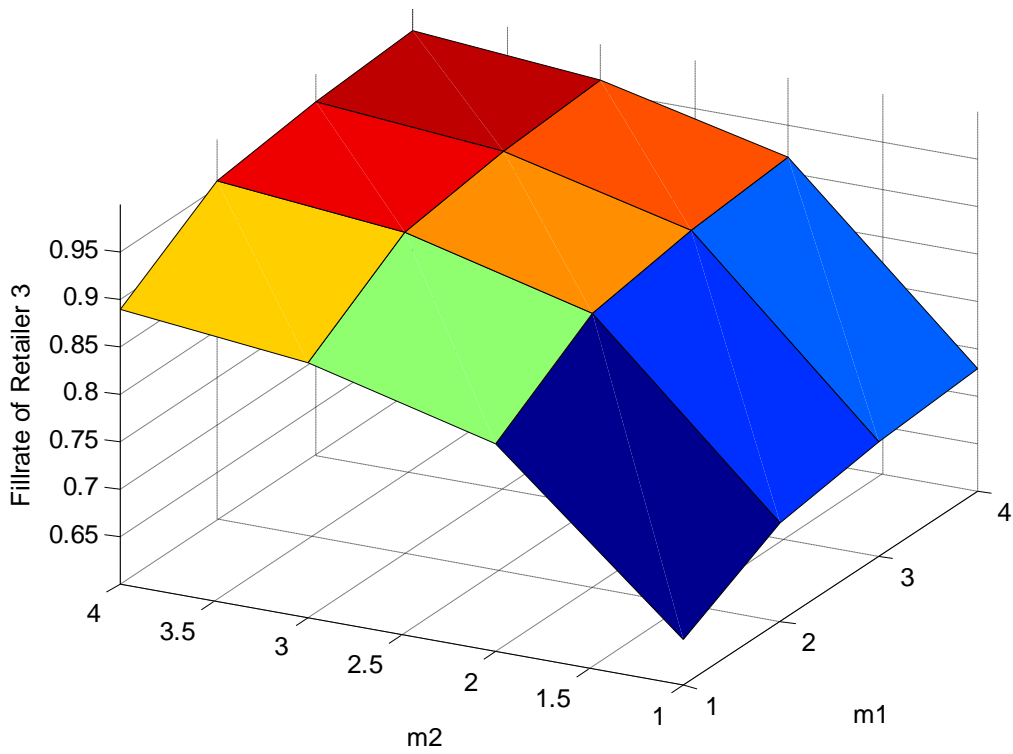
Εικόνα 56: Η σχέση των μ_{21} , μ_{22} με το $WIP_{retailer2}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



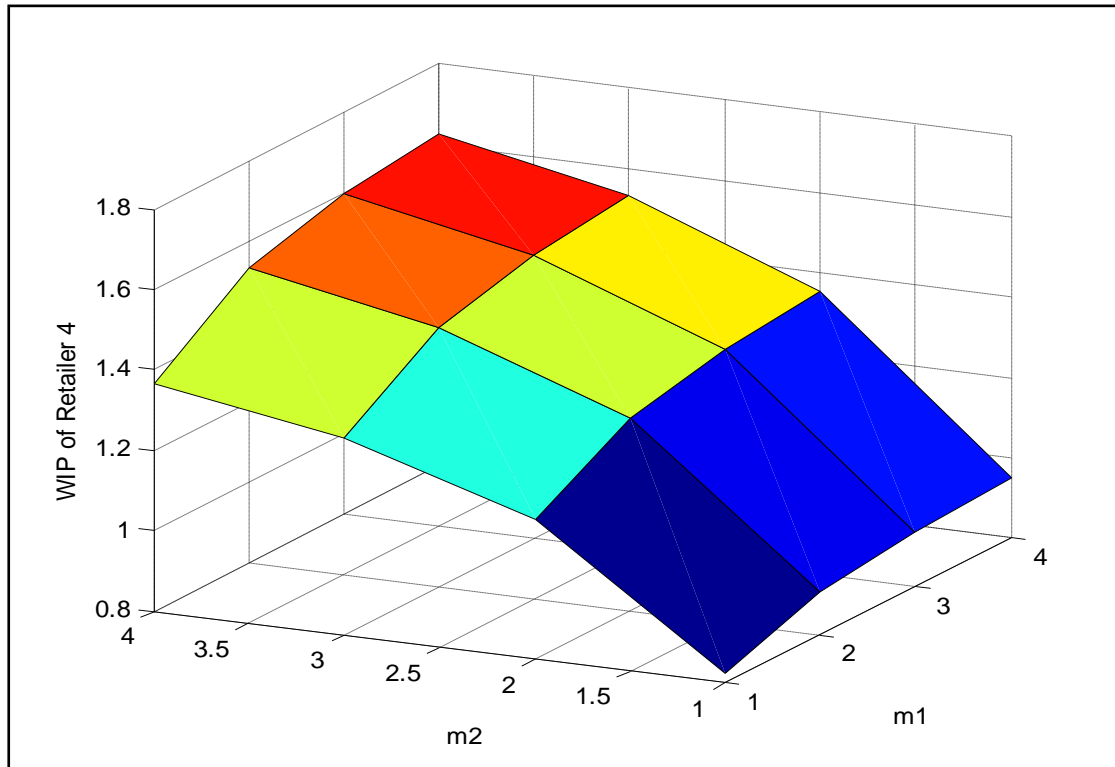
Εικόνα 57: Η σχέση των μ_{21} , μ_{22} με το $fillrate_{retailer2}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



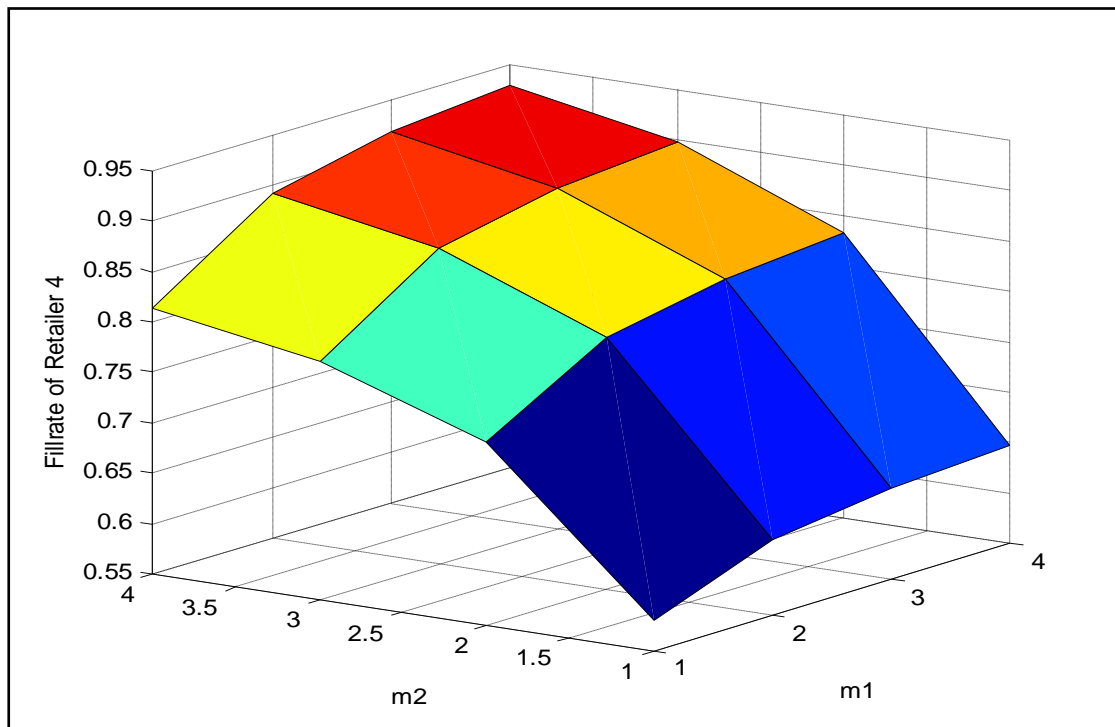
Εικόνα 58: Η σχέση των μ_{31} , μ_{32} με το $WIP_{\text{retailer3}}$, αν $\lambda_1-\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{24}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



Εικόνα 59: Η σχέση των μ_{31} , μ_{32} με το $\text{fillrate}_{\text{retailer3}}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1, \mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{24}=1, d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



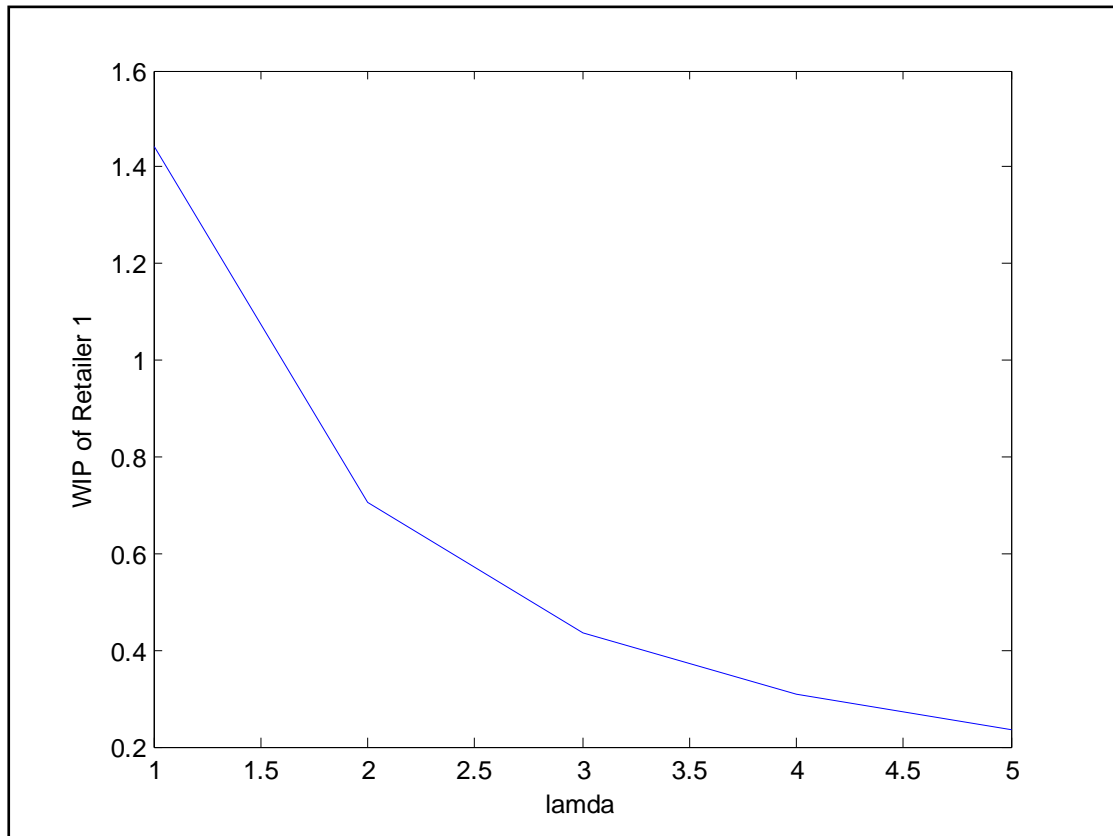
Εικόνα 60: Η σχέση των μ_{41} , μ_{42} με το $\text{WIP}_{\text{retailer4}}$, αν $\lambda_1-\lambda_2=\lambda_3-\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{24}=1, d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



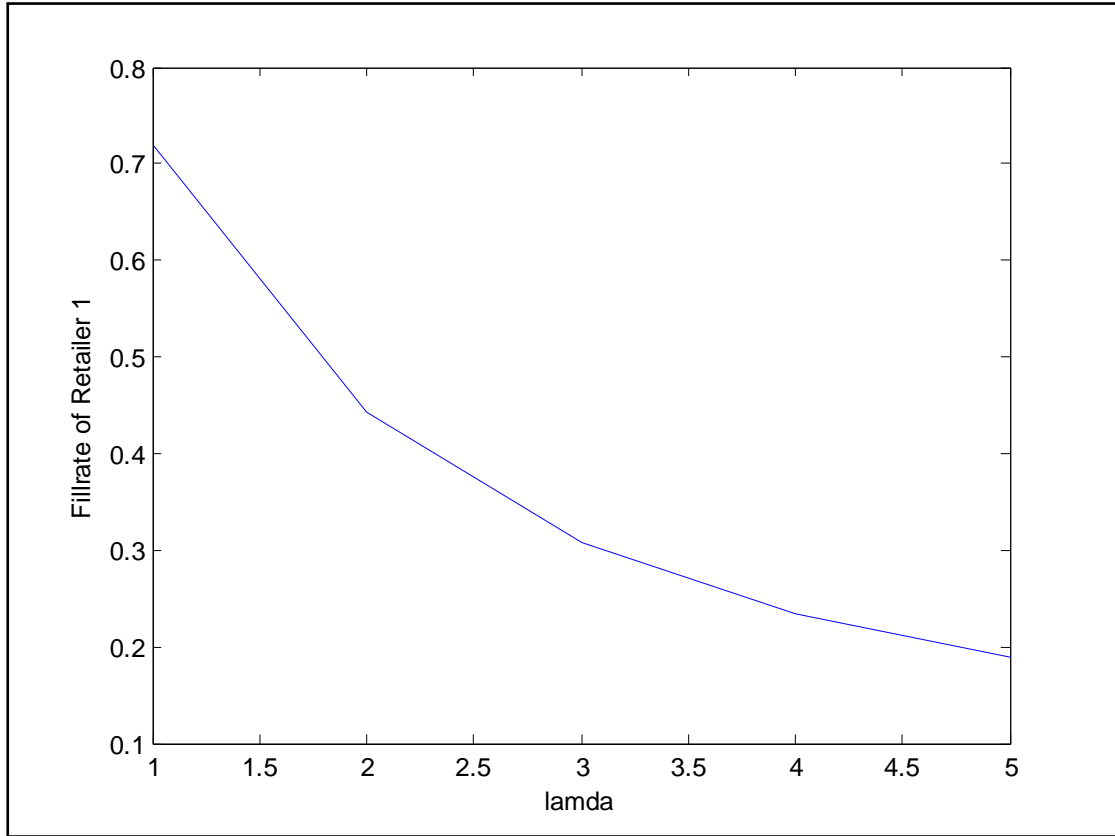
Εικόνα 61: Η σχέση των μ_{41} , μ_{42} με το $\text{fillrate}_{\text{retailer4}}$, αν $\lambda_1-\lambda_2=\lambda_3-\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{24}=1, d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$

7.4.4 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ λ ΣΤΟ WIP ΚΑΙ ΤΟ FILLRATE

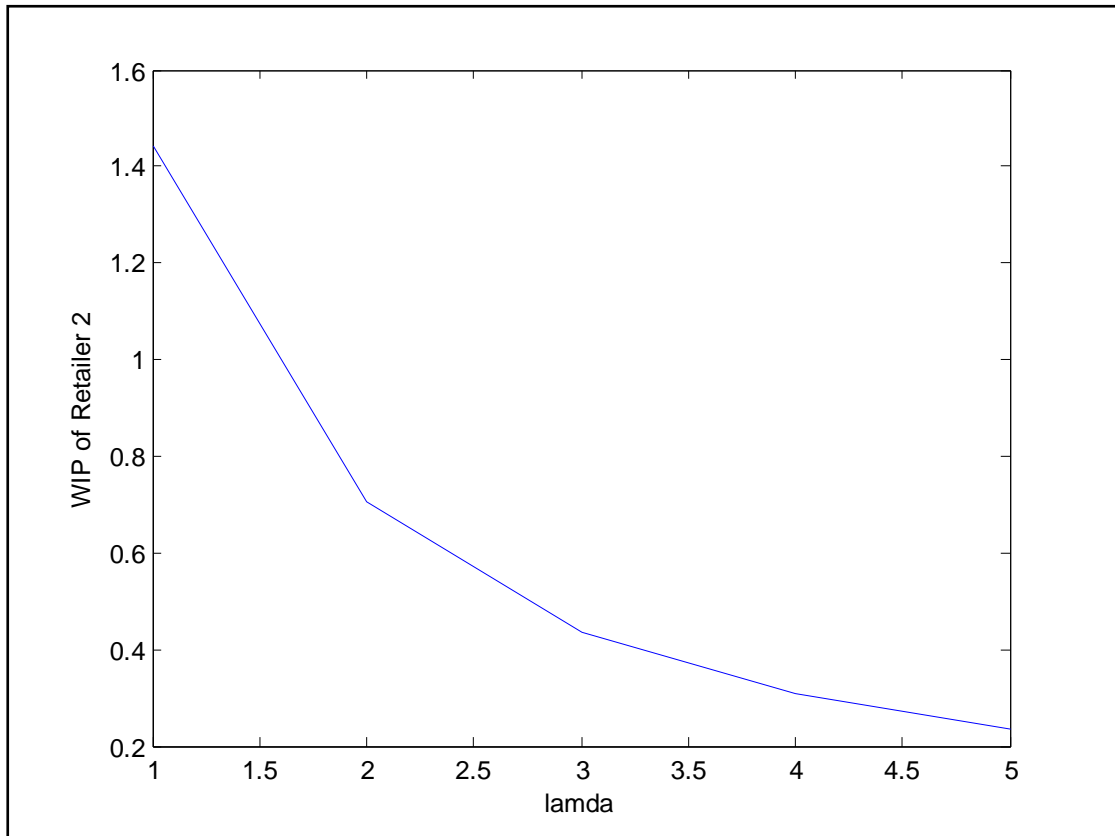
Στην ενότητα αυτή εξετάζουμε την επίδραση του μέσου ρυθμού εκδήλωσης ζήτησης λ στο WIP και fillrate του κάθε λιανοπωλητή. Στα διαγράμματα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνεται ο ρυθμός εκδήλωσης ζήτησης μειώνονται τόσο WIP όσο και το fillrate. Η συμπεριφορά είναι αναμενόμενη, καθώς όσο αυξάνεται ο ρυθμός ανάλωσης αποθέματος, τόσο μειώνεται το απόθεμα στις εγκαταστάσεις των λιανοπωλητών και συνεπακόλουθα τόσο αυξάνεται η πιθανότητα ελλείψεων.



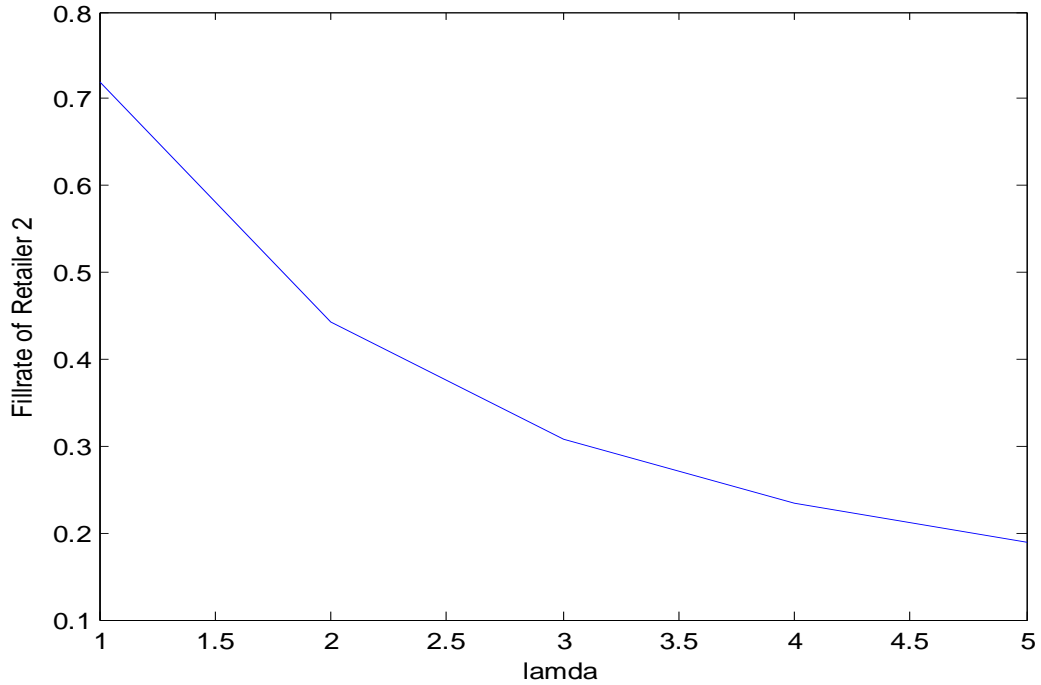
Εικόνα 62: Η σχέση του λ_1 με το $WIP_{\text{retailer1}}$, αν $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



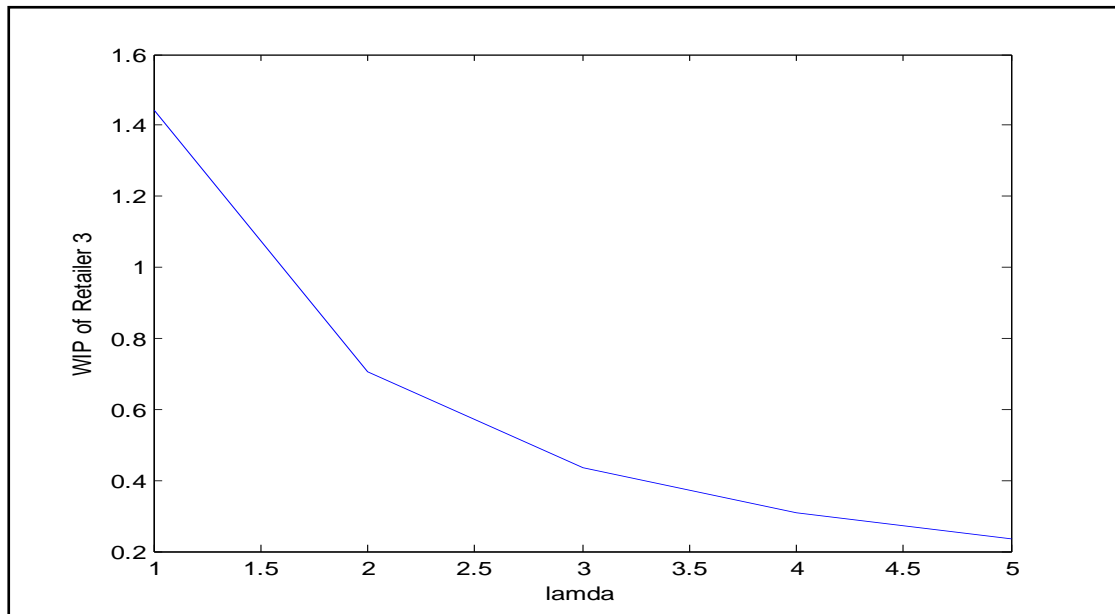
Εικόνα 63: Η σχέση του λ_1 με το $fillrate_{retailer1}$, αν $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41} = 1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



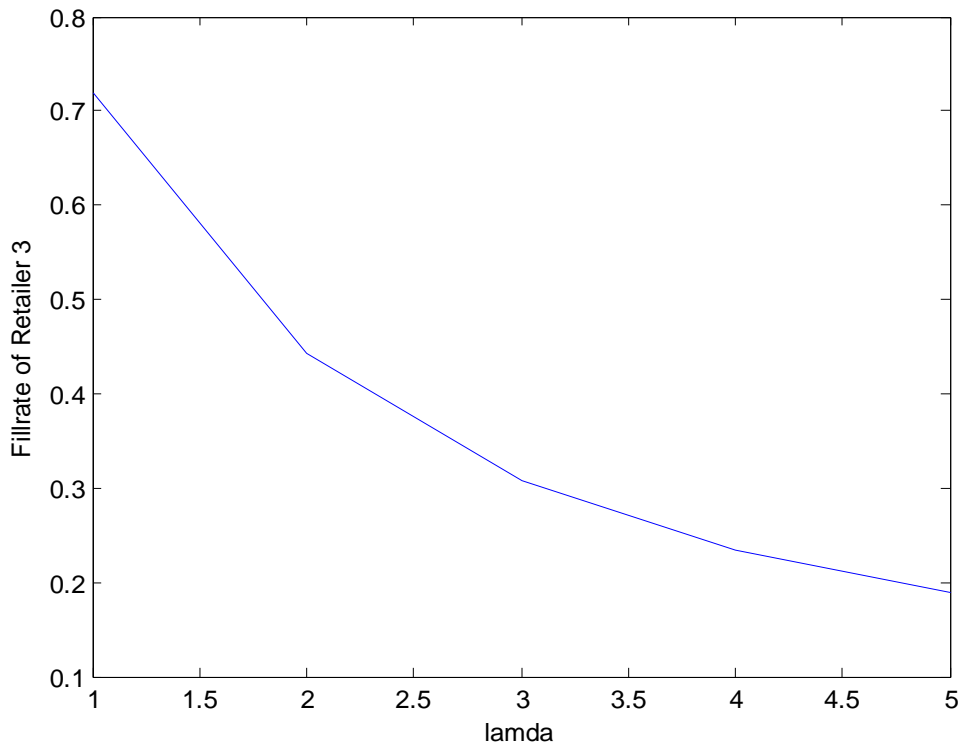
Εικόνα 64: Η σχέση του λ_2 με το $WIP_{retailer2}$, αν $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



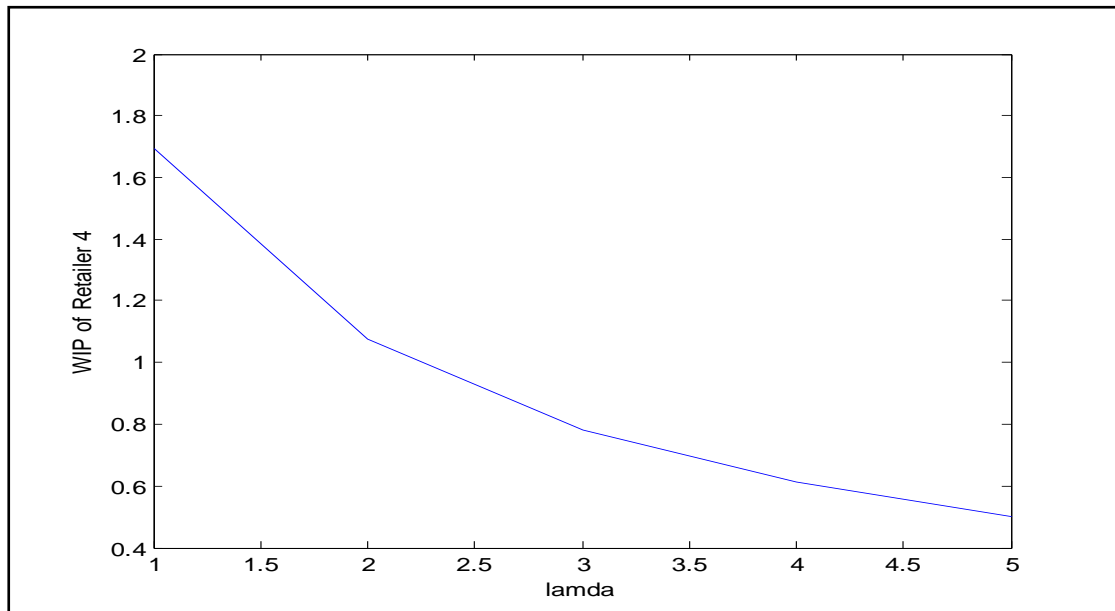
Εικόνα 65: Η σχέση του λ_2 με το $fillrate_{retailer2}$, αν $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



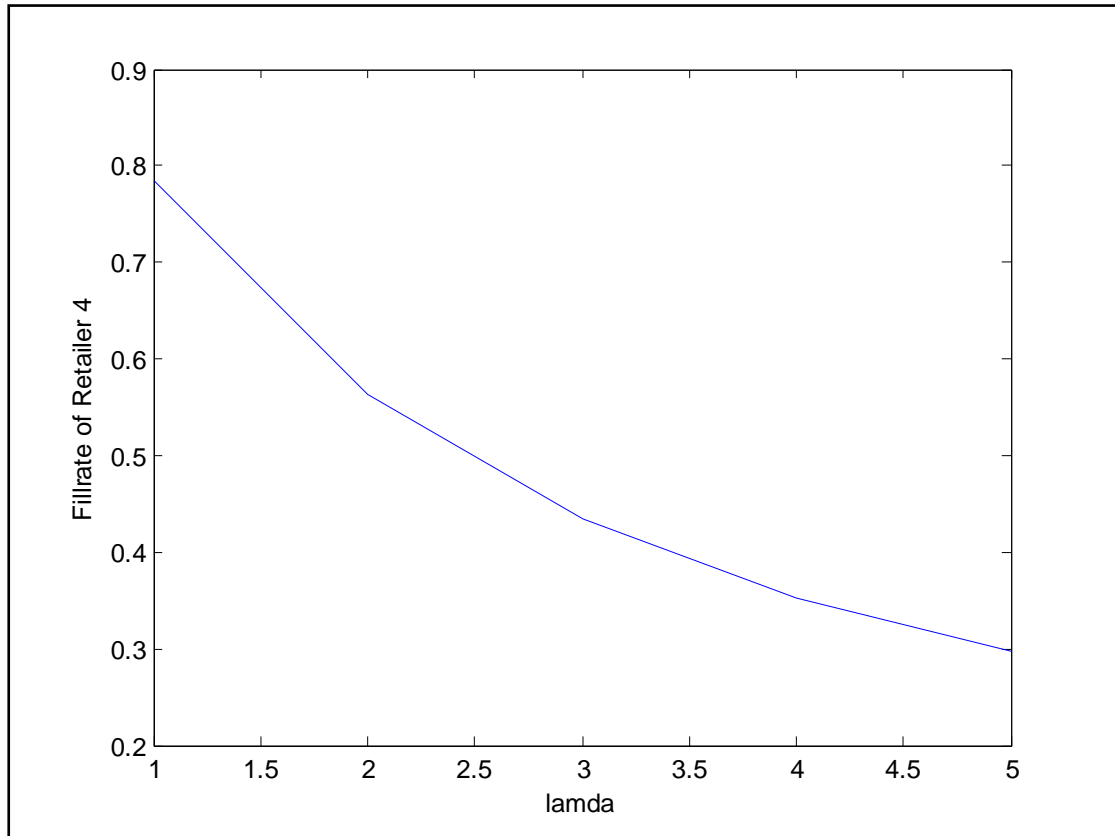
Εικόνα 66: Η σχέση του λ_3 με το $WIP_{retailer3}$, αν $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



Εικόνα 67: Η σχέση του λ_3 με το $fillrate_{retailer3}$, αν $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$



Εικόνα 68: Η σχέση του λ_4 με το $WIP_{retailer4}$, αν $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7, d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$

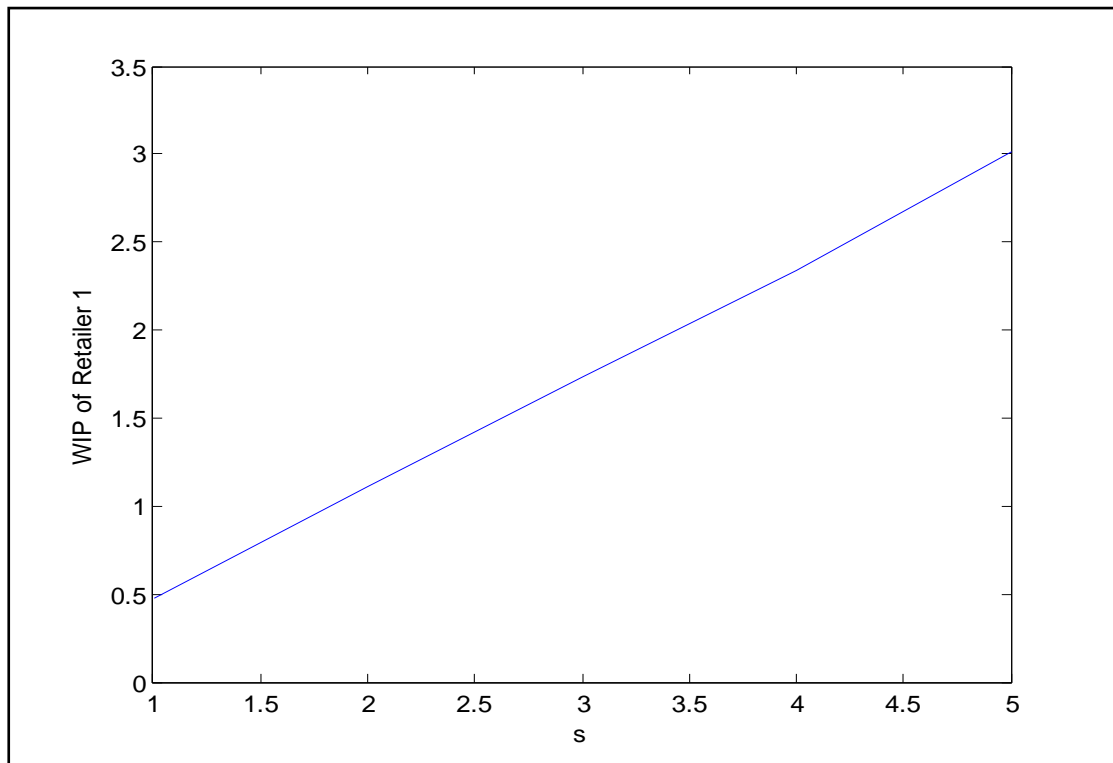


Εικόνα 69: Η σχέση του λ_4 με το $\text{fillrate}_{\text{retailer4}}$, αν $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 1$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 1$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$

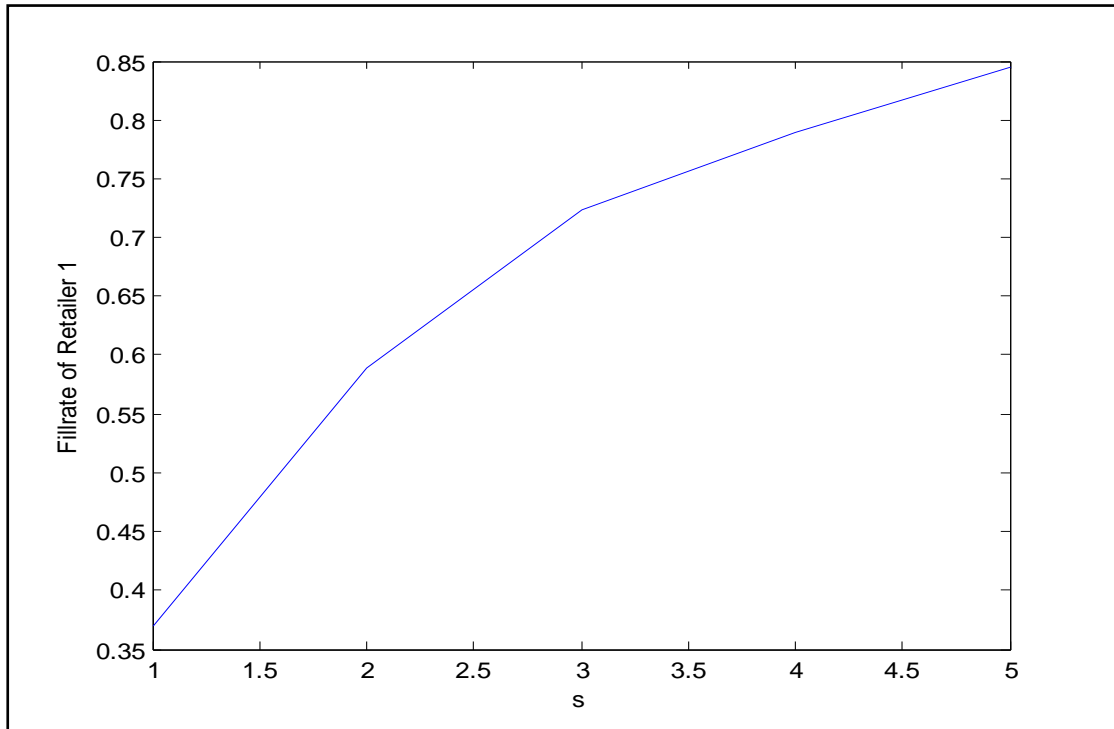
7.4.5 Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΘΕΜΑΤΟΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ S ΜΕ ΤΟ WIP ΚΑΙ ΤΟ FILLRATE ΤΟΥ ΚΑΘΕ ΛΙΑΝΟΠΩΛΗΤΗ

Στη συνέχεια διερευνούμε τη σχέση του αποθέματος ασφάλειας s με το WIP και fillrate του κάθε λιανοπωλητή. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το s , αυξάνεται και το WIP του πρώτου και τέταρτου λιανοπωλητή. Στον δεύτερο και τον τρίτο λιανοπωλητή, το WIP παρουσιάζει αρχικά αύξηση και στη συνέχεια μείωση. Ωστόσο, το WIP για τον τέταρτο λιανοπωλητή είναι πάντα μεγαλύτερο εκείνου του πρώτου, υποδεικνύοντας μια αυξητική σχέση, αφού όσο πιο μεγάλο απόθεμα το απόθεμα ασφάλειας, τόσο αυξάνεται λογικά και το συνολικό απόθεμα που διατηρείται στο σύστημα.

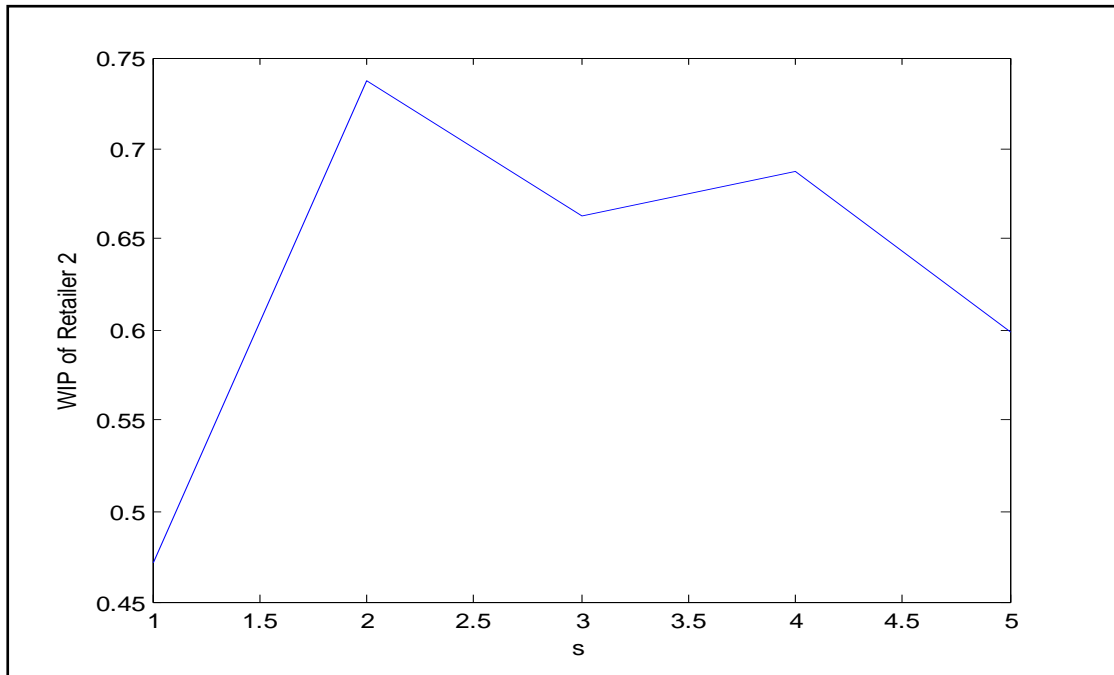
Παρατηρούμε επίσης ότι όσο αυξάνεται το απόθεμα ασφάλειας, τόσο αυξάνεται και ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης. Η συμπεριφορά είναι λογική, δεδομένου ότι όσο περισσότερο απόθεμα διαθέτει ο λιανοπωλητής στις εγκαταστάσεις του τόσο περισσότερη ζήτηση μπορεί να καλύψει.



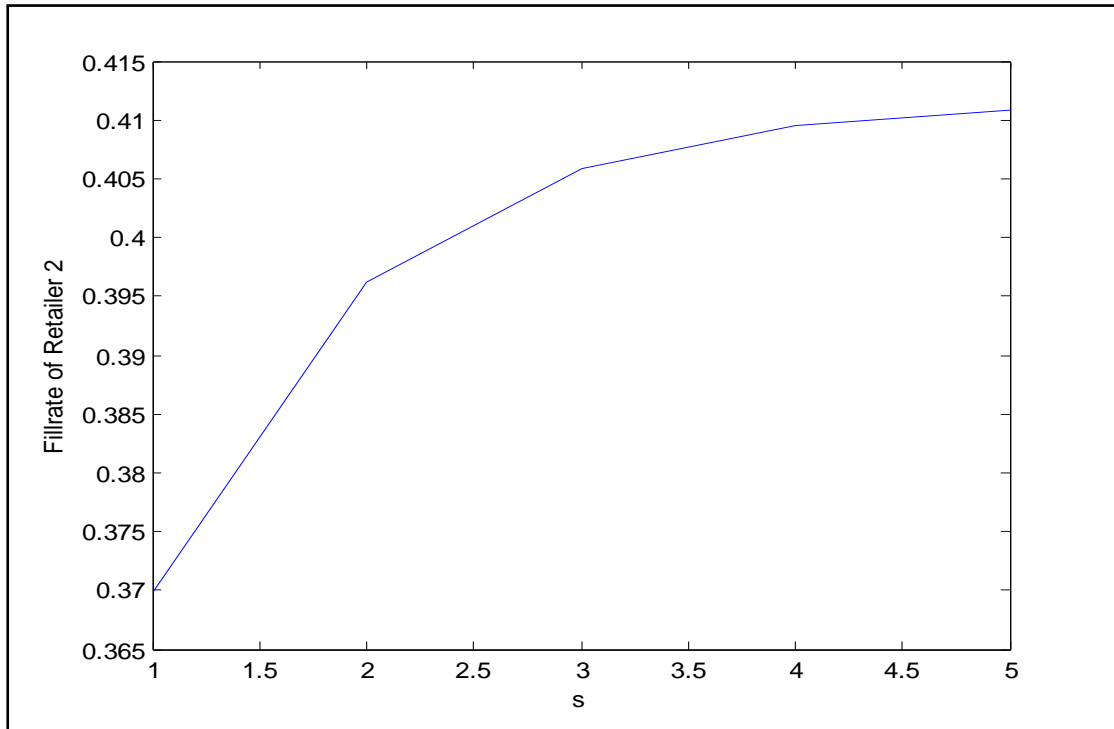
Εικόνα 70: Η σχέση του s με το $WIP_{\text{retailer1}}$, αν $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda_4=1$, $\mu_{11}=\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=0,5$, $\mu_{12}=\mu_{22}=\mu_{32}=\mu_{42}=0,7$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$, $q_{R1}=q_{R2}=q_{R3}=q_{R4}=1$



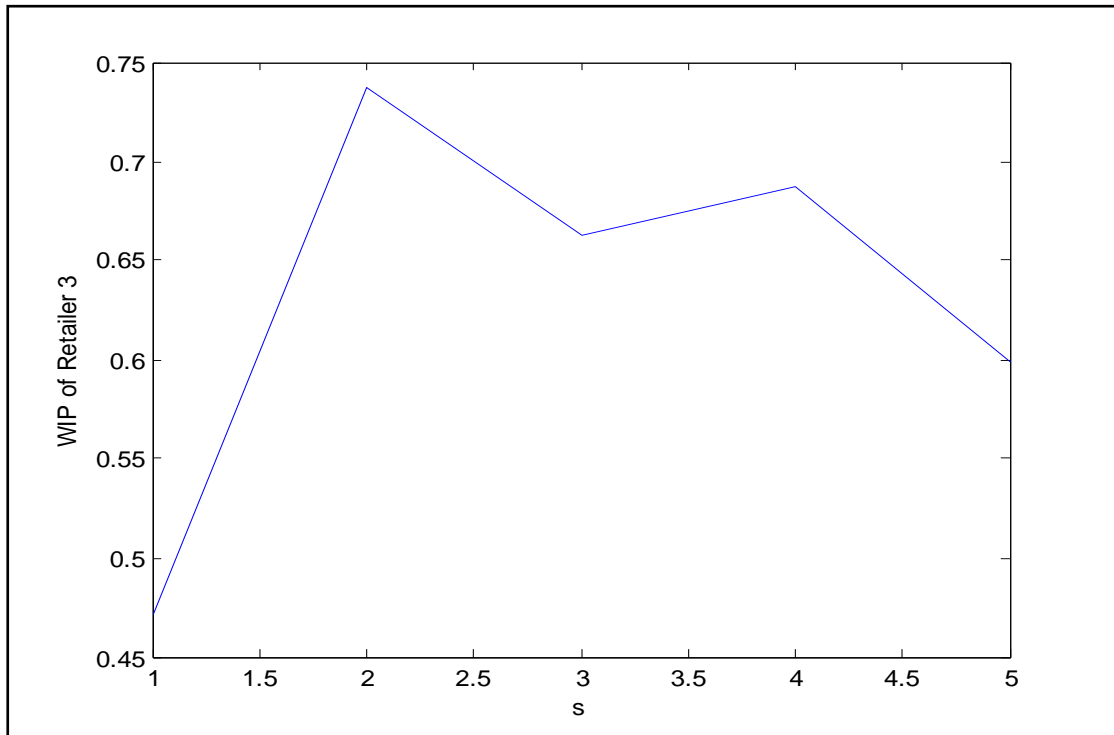
Εικόνα 71: Η σχέση του s με το $\text{fillrate}_{\text{retailer1}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



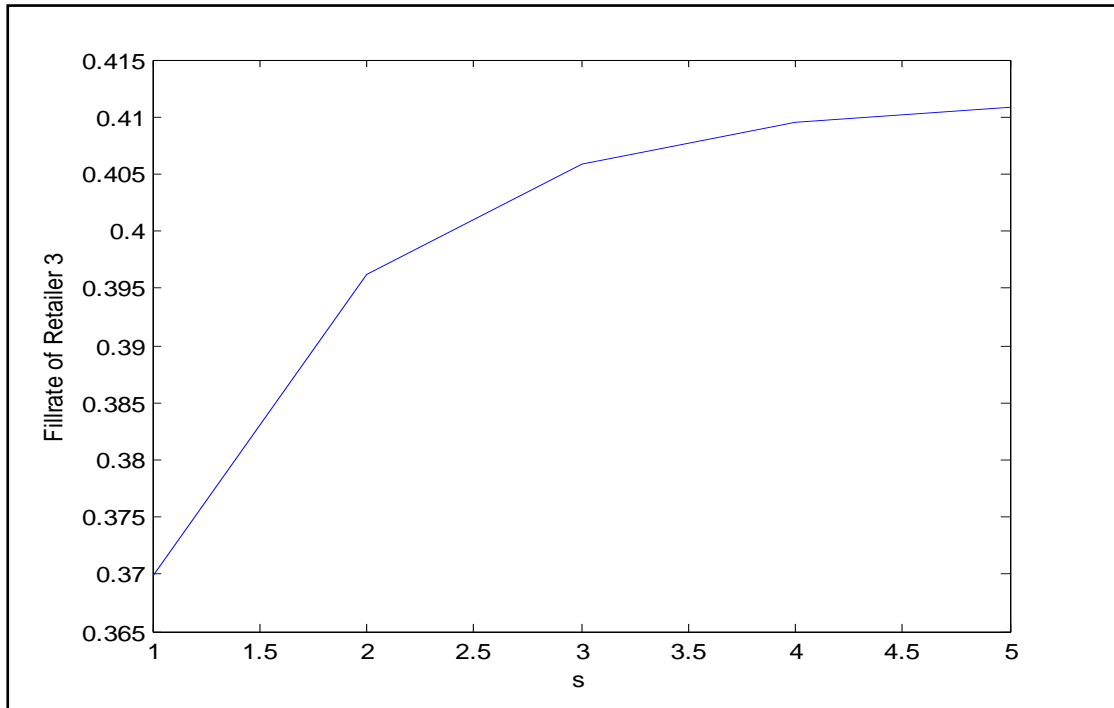
Εικόνα 72: Η σχέση του s με το $\text{WIP}_{\text{retailer2}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



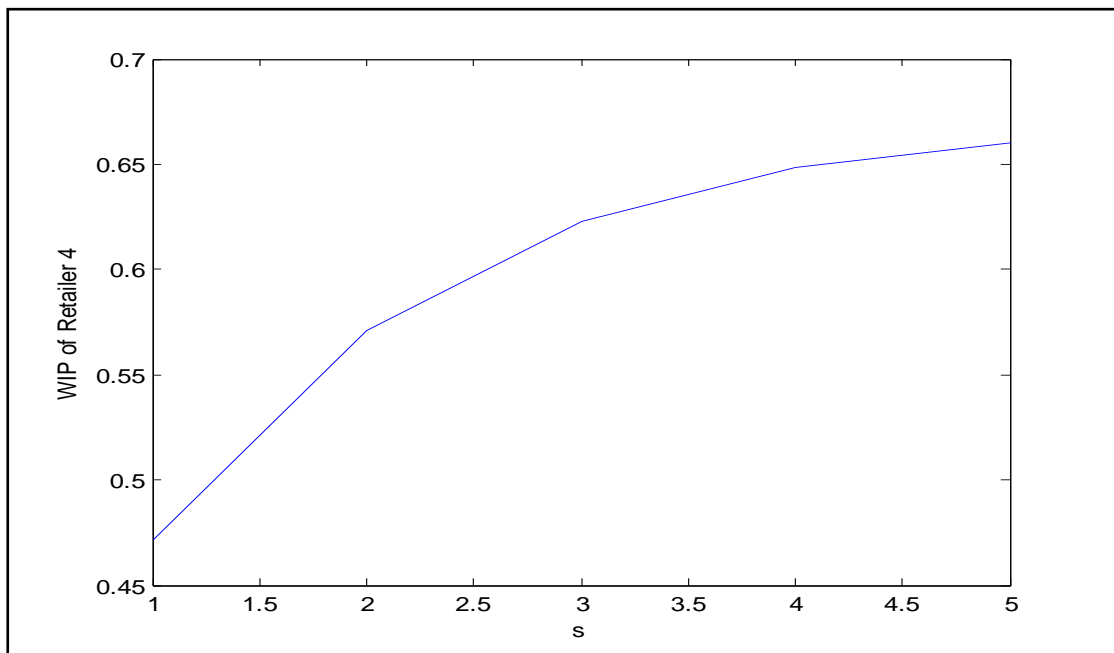
Εικόνα 73: Η σχέση του s με το $\text{fillrate}_{\text{retailer2}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



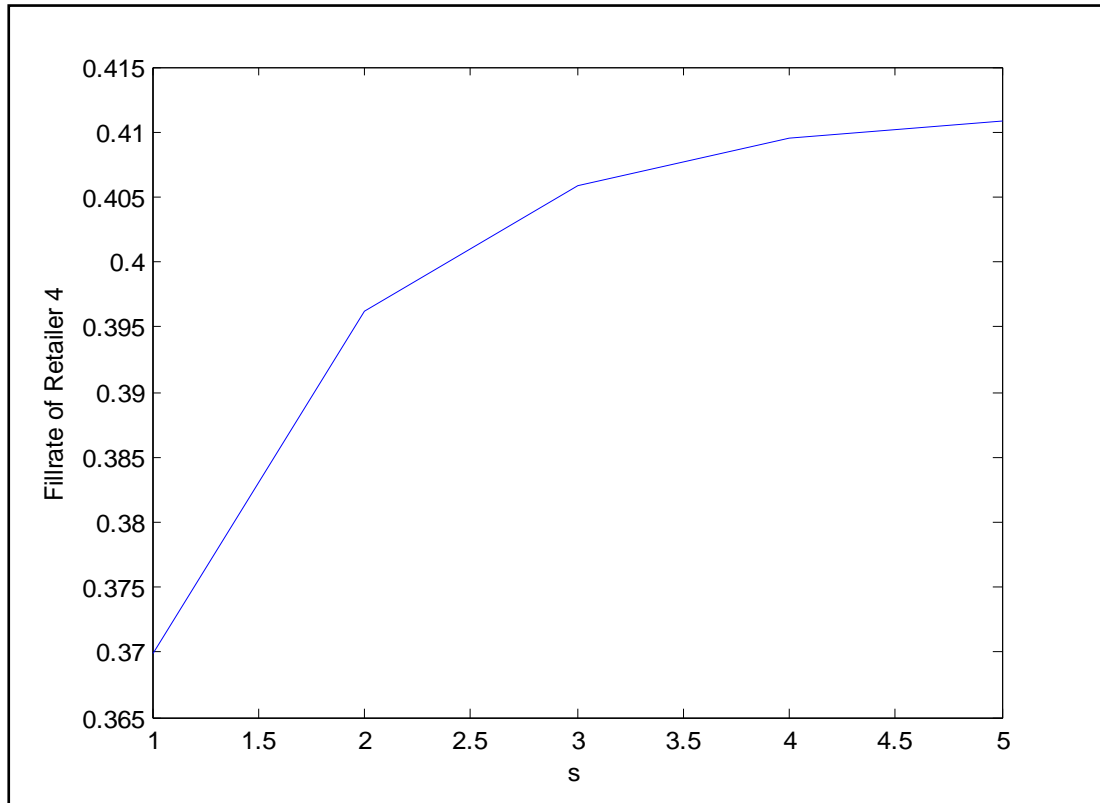
Εικόνα 74: Η σχέση του s με το $\text{WIP}_{\text{retailer3}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



Εικόνα 75: Η σχέση του s με το $\text{fillrate}_{\text{retailer3}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



Εικόνα 76: Η σχέση του s με το $\text{WIP}_{\text{retailer4}}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11} = d_{21} = d_{31} = d_{41} = 0,7$, $d_{12} = d_{22} = d_{32} = d_{42} = 0,3$, $q_{R1} = q_{R2} = q_{R3} = q_{R4} = 1$



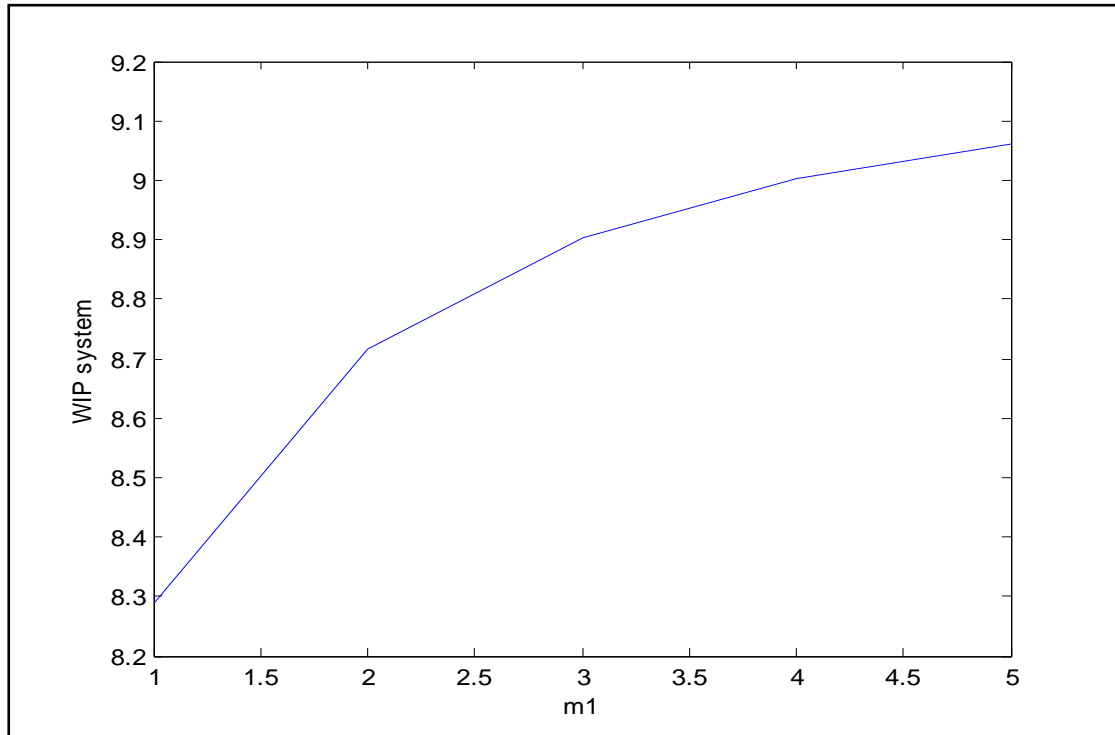
Εικόνα 77: Η σχέση του s με το $fillrate_{retailer4}$, αν $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 1$, $\mu_{11} = \mu_{21} = \mu_{31} = \mu_{41} = 0,5$, $\mu_{12} = \mu_{22} = \mu_{32} = \mu_{42} = 0,7$, $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0,7$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=0,3$, $q_{R1}=q_{R2}=q_{R3}=q_{R4}=1$

7.4.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ d_{1i}, d_{2i} ΣΤΑ WIP_{SYSTEM} ΚΑΙ $FILLRATE_{SYSTEM}$

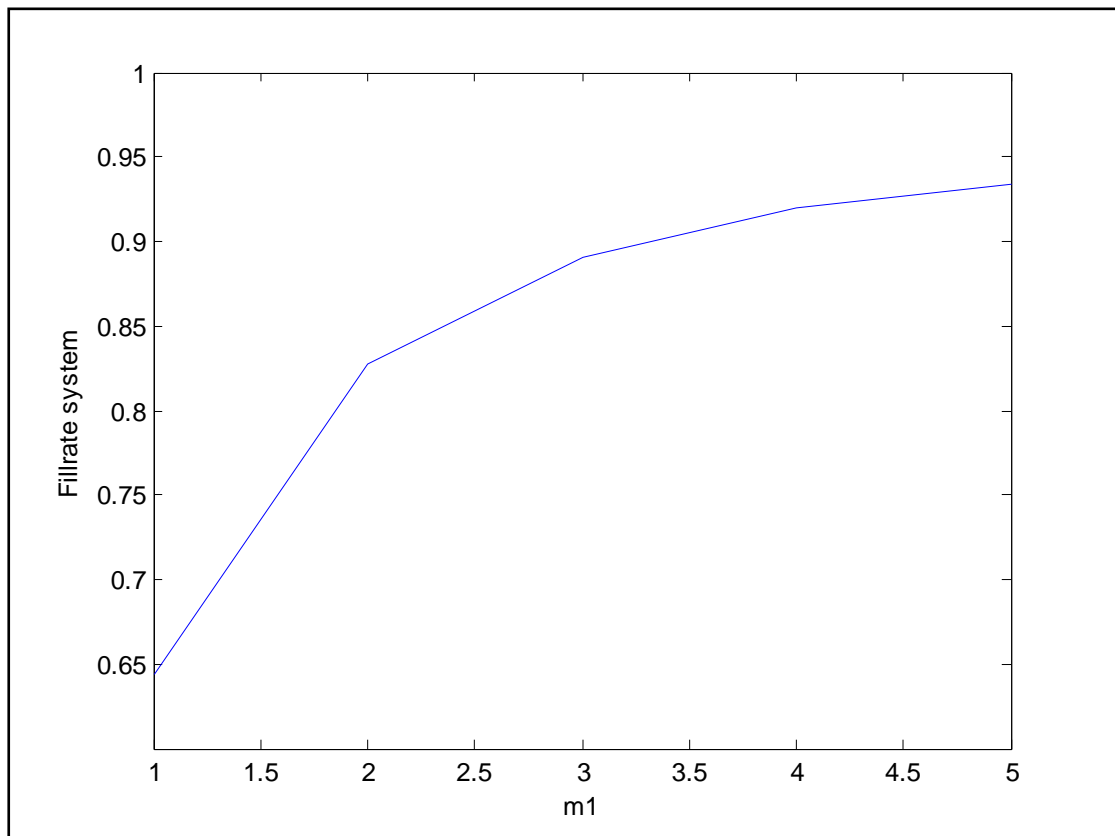
Ολοκληρώνουμε την ενότητα των αριθμητικών αποτελεσμάτων με την ανάλυση των ακραίων τιμών των παραμέτρων d_{1i}, d_{2i} της κατανομής τύπου φάσης Coxian-2. Συγκεκριμένα, υποθέτοντας $d_1=0$ και $d_2=1$, μετατρέπουμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2 σε Erlang-2, ενώ αν $d_1=1$ και $d_2=0$, μετατρέπουμε την κατανομή τύπου φάσης Coxian-2 σε εκθετική. Εξετάζουμε τη σχέση των χρονορυθμών μ_1, μ_2 με το WIP_{system} και το $fillrate_{system}$.

A) $d_1=0$ και $d_2=1$. Κατανομή τύπου φάσης Erlang-2

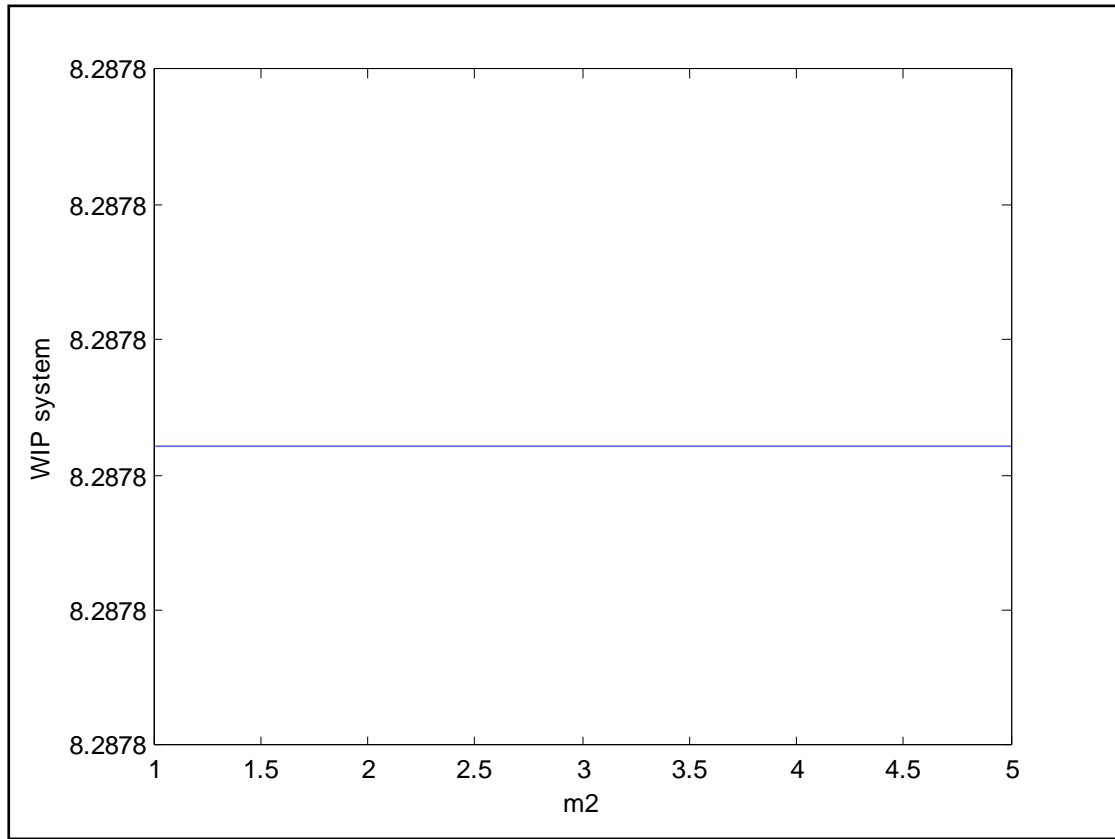
Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε ότι όταν αυξάνεται ο χρονορυθμός μ_1 αυξάνονται το WIP_{system} και το $fillrate_{system}$, όπως αναλύθηκε παραπάνω. Επίσης, όταν αυξάνεται ο χρονορυθμός μ_2 παραμένουν και τα δύο αμετάβλητα, λόγω του μηδενισμού πολλών στοιχείων του πίνακα μεταπήδησης.



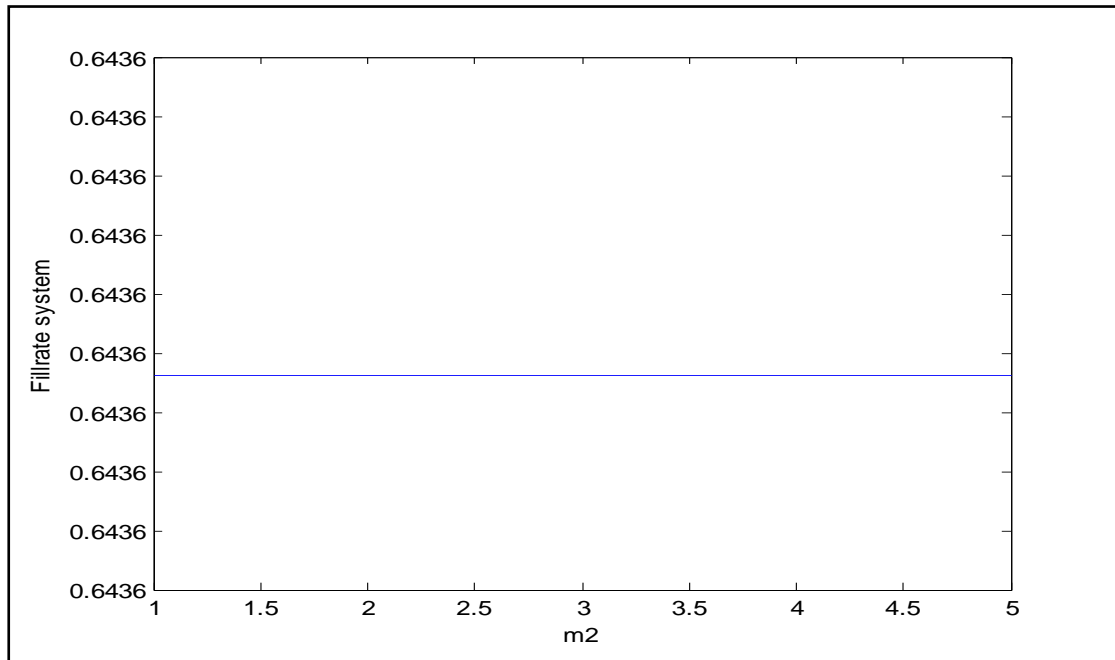
Εικόνα 78: Η σχέση του μ_{1i} με το WIP_{system} στην περίπτωση της Erlang-2 κατανομής, για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, και $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$



Εικόνα 79: Η σχέση του μ_{1i} με το $\text{fillrate}_{\text{system}}$ στην περίπτωση της Erlang-2κατανομής, για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, και $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$



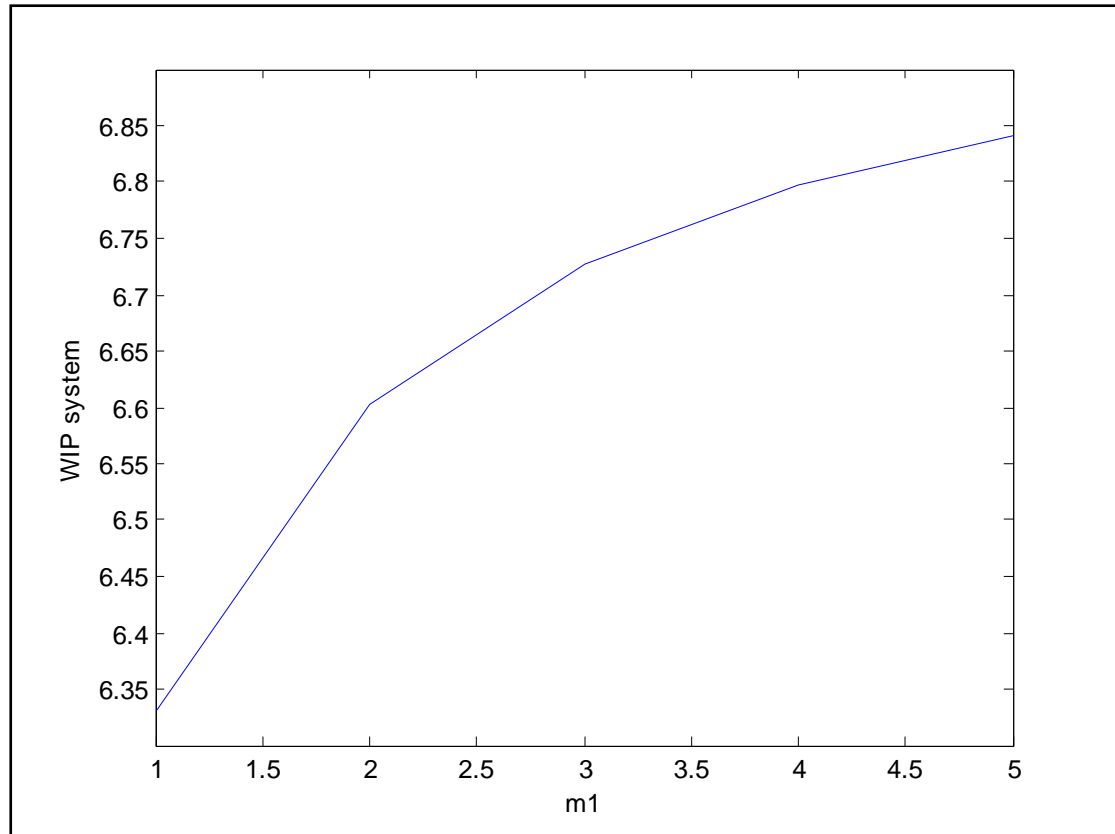
Εικόνα 80: Η σχέση του μ_{2i} με το $\text{WIP}_{\text{system}}$ στην περίπτωση της Erlang-2κατανομής, για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, και $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$



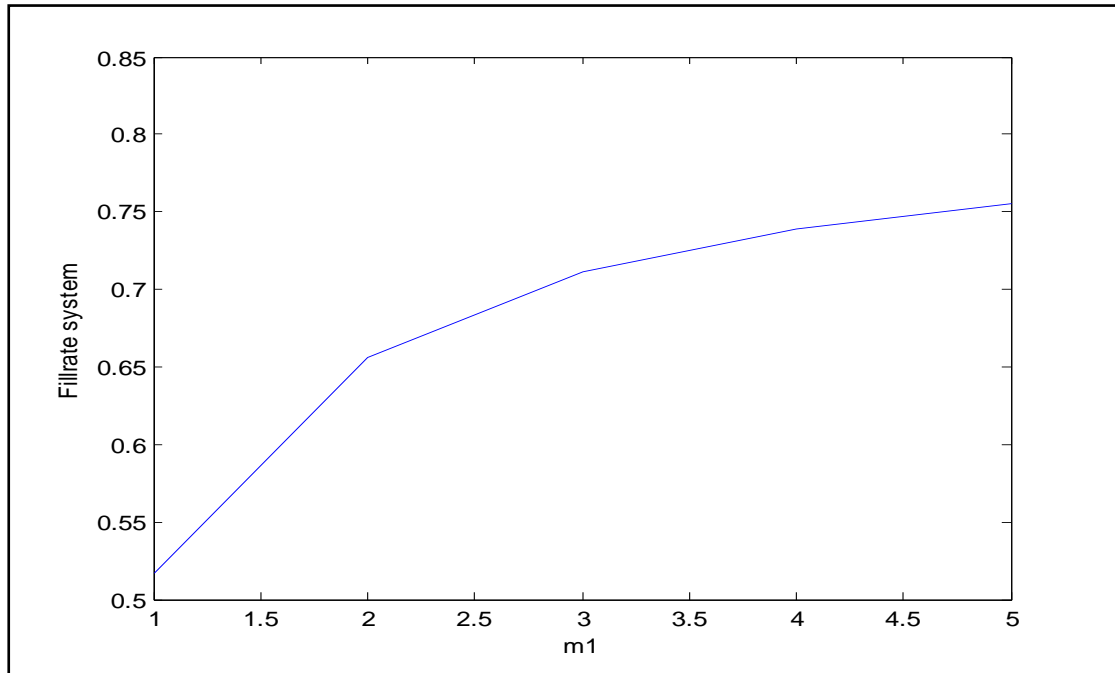
Εικόνα 81: Η σχέση του μ_{2i} με το $\text{fillrate}_{\text{system}}$ στην περίπτωση της Erlang-2κατανομής, για $\mu_{21}=\mu_{31}=\mu_{41}=1$, και $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=1$

B) $d_1=1$ και $d_2=0$. Εκθετική κατανομή

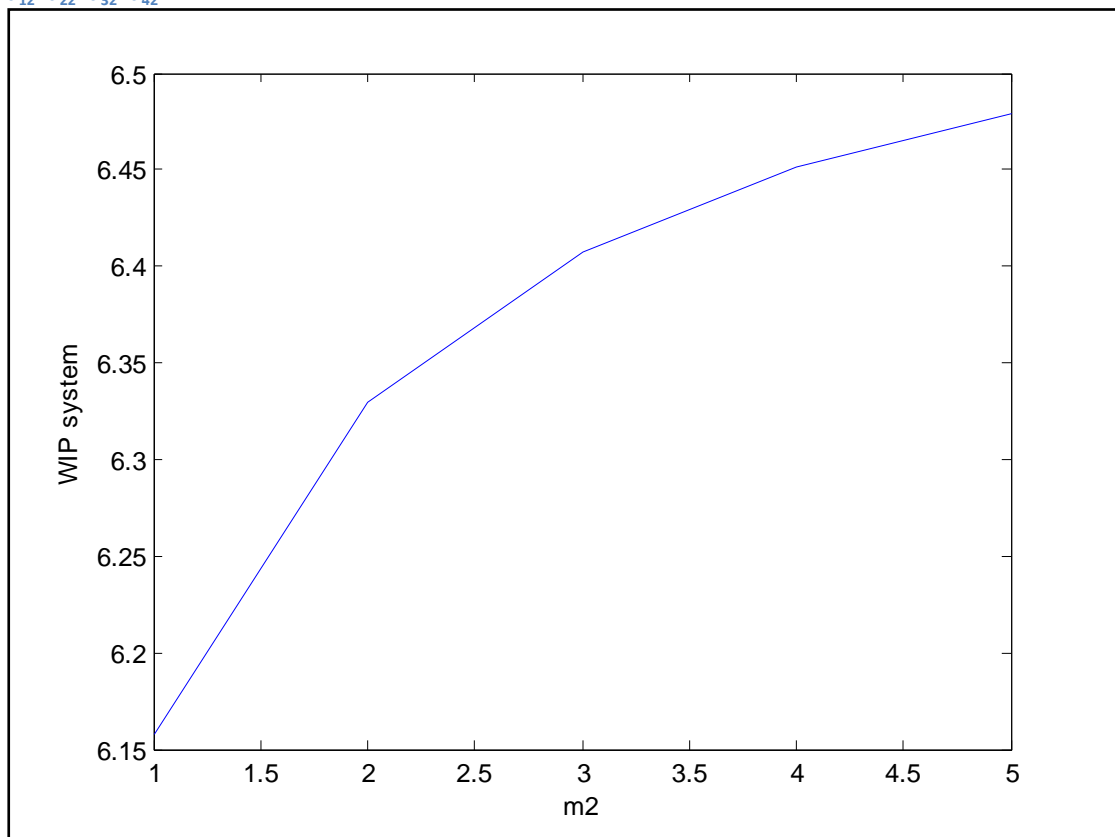
Στα παρακάτω διαγράμματα παρατηρούμε ότι καθώς αυξάνονται οι χρονορυθμοί μ_1, μ_2 αυξάνεται τόσο το WIP_{system} λόγω συσσώρευσης αποθέματος, όσο και το $fillrate_{system}$ λόγω μείωσης της πιθανότητας έλλειψης.



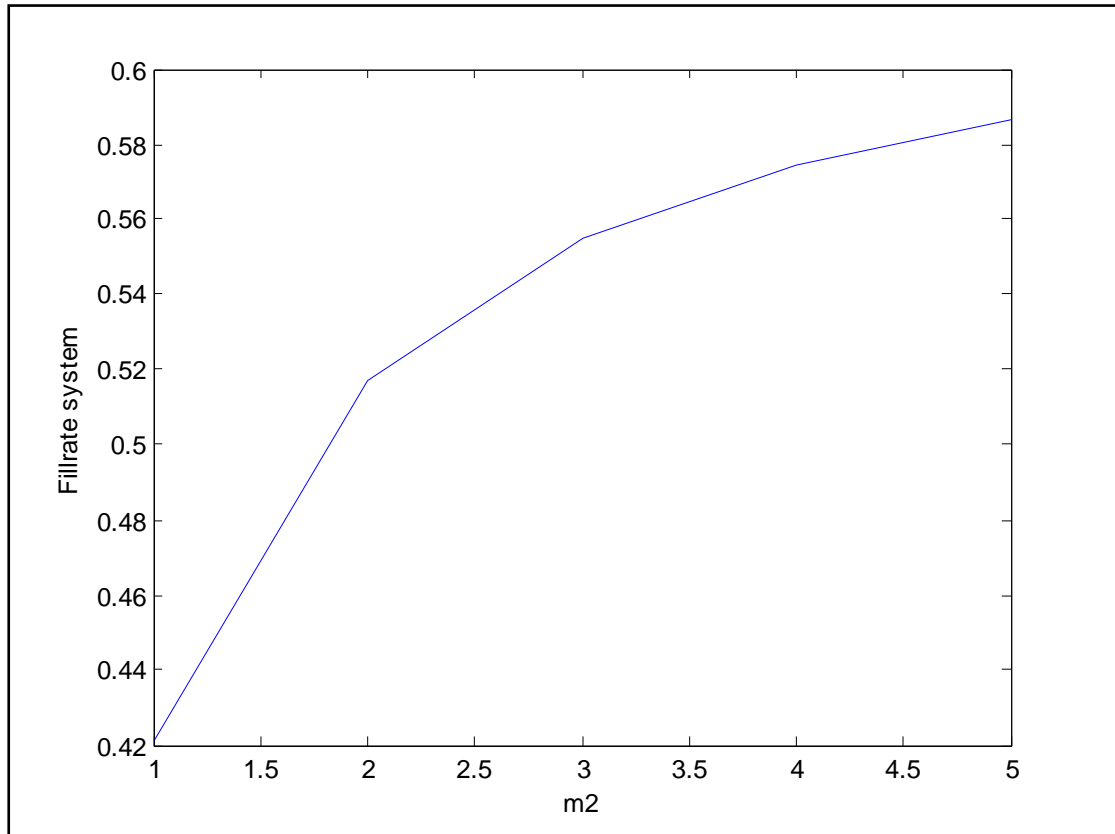
Εικόνα 82: Το WIP_{system} σε σχέση με το μ_1 στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής, για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$



Εικόνα 83: Η σχέση του $fillrate_{system}$ με το μ_{11} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής, για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$



Εικόνα 84: Η σχέση του WIP_{system} με το μ_{21} στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής, για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$



Εικόνα 85: Ησχέση του $fillrate_{system}$ με το μ_2 στην περίπτωση της εκθετικής κατανομής, για $d_{11}=d_{21}=d_{31}=d_{41}=0$, $d_{12}=d_{22}=d_{32}=d_{42}=1$

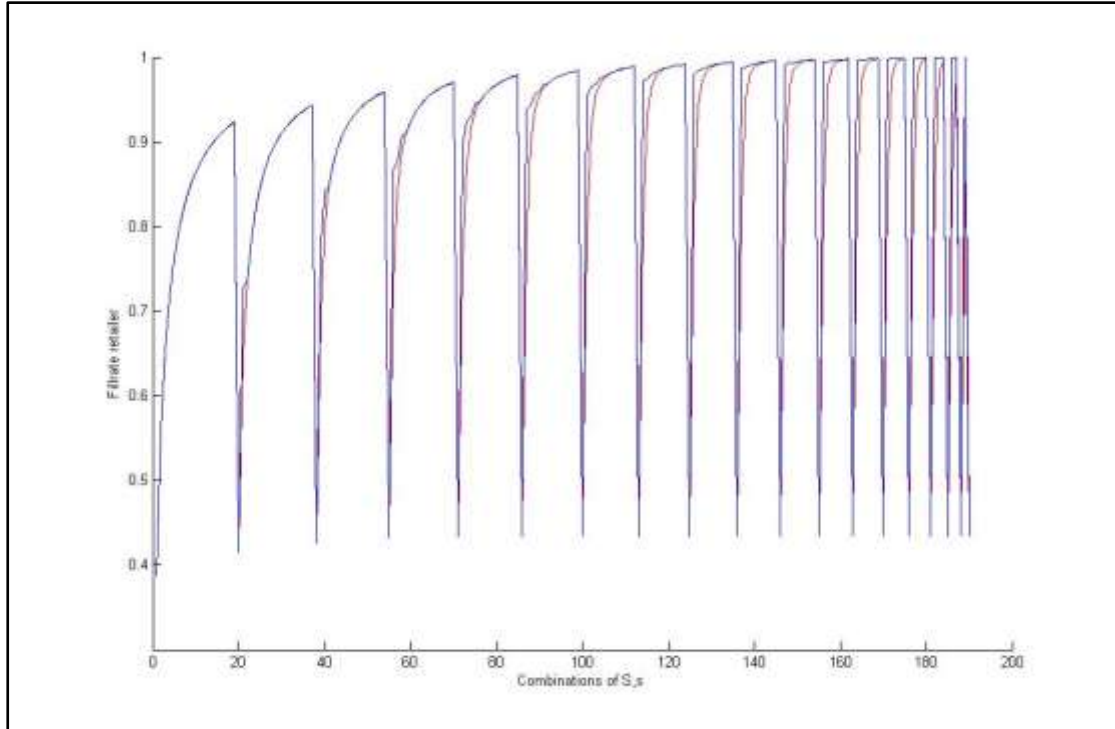
7.5 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Για την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων του αναλυτικού υποδείγματος αναπτύξαμε και υπόδειγμα προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα μεταξύ προσομοιωτικού και αναλυτικού υποδείγματος ταυτίζονται, τεκμηριώνοντας την ορθότητα των αρχικών αποτελεσμάτων. Παραθέτουμε στη συνέχεια πίνακα και διάγραμμα των τιμών $fillrate$ και WIP για κάθε λιανοπωλητή, για υπόδειγμα δύο λιανοπωλητών:

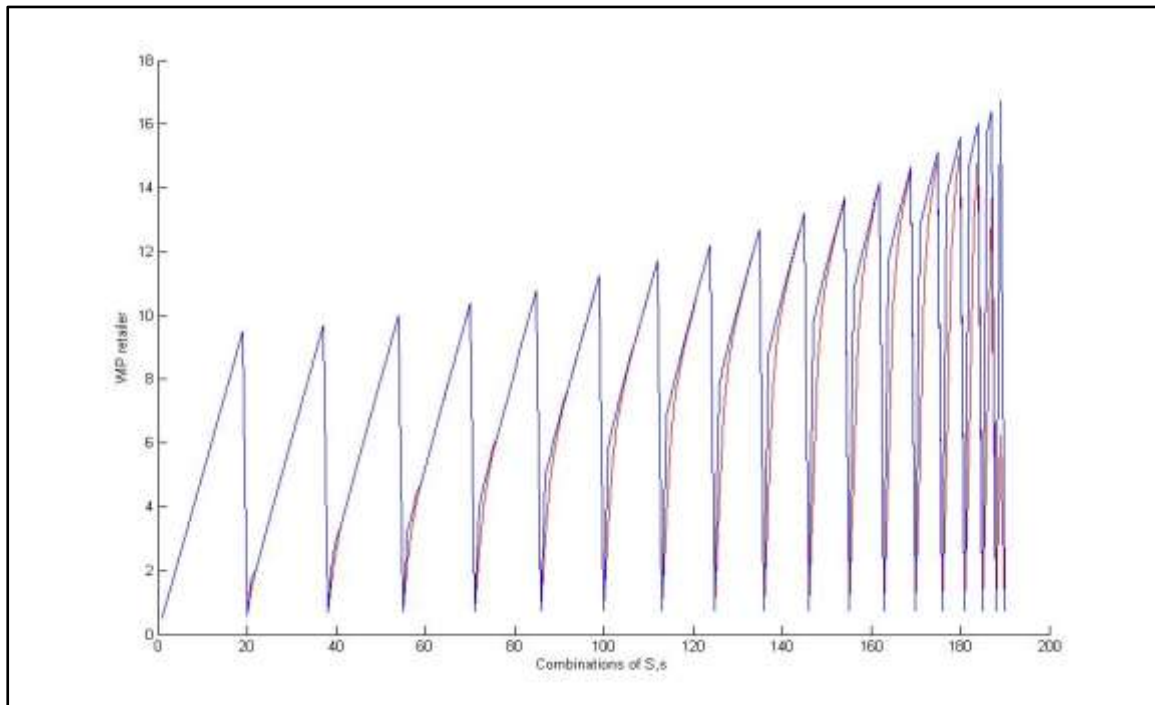
				ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ				ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ			
S ₁	s ₁	S ₂	s ₂	WIP1	FR1	WIP2	FR2	WIP 1	WIP 2	FR1	FR2
2	1	2	1	0,496774	0,387097	0,951724	0,643678	0,498	0,951	0,388	0,644
3	1	3	1	0,995349	0,55814	1,54965	0,783217	0,994	1,549	0,558	0,783
4	1	4	1	1,494545	0,654545	2,092462	0,844221	1,492	2,093	0,654	0,845
5	1	5	1	1,99403	0,716418	2,616471	0,878431	1,992	2,616	0,717	0,878
6	1	6	1	2,493671	0,759494	3,131833	0,900322	2,493	3,131	0,760	0,900
7	1	7	1	2,993407	0,791209	3,642507	0,915531	2,992	3,644	0,791	0,916
8	1	8	1	3,493204	0,815534	4,150355	0,926714	3,494	4,151	0,816	0,927
9	1	9	1	3,993043	0,834783	4,656367	0,935282	3,991	4,655	0,835	0,935
10	1	10	1	4,492913	0,850394	5,161121	0,942056	4,495	5,158	0,850	0,942
11	1	11	1	4,992806	0,863309	5,664975	0,947547	4,992	5,667	0,864	0,947
12	1	12	1	5,492715	0,874172	6,168161	0,952087	5,490	6,170	0,874	0,952
13	1	13	1	5,992638	0,883436	6,670839	0,955903	5,999	6,672	0,884	0,956
14	1	14	1	6,492571	0,891429	7,173123	0,959157	6,497	7,176	0,892	0,959
15	1	15	1	6,992513	0,898396	7,675092	0,961963	6,998	7,673	0,899	0,962
16	1	16	1	7,492462	0,904523	8,176808	0,964409	7,501	8,179	0,905	0,964
17	1	17	1	7,992417	0,909953	8,678317	0,966559	7,990	8,678	0,910	0,967
18	1	18	1	8,492377	0,914798	9,179654	0,968464	8,491	9,175	0,915	0,968
19	1	19	1	8,99234	0,919149	9,680847	0,970164	8,997	9,681	0,920	0,970
20	1	20	1	9,492308	0,923077	10,18192	0,971689	9,498	10,180	0,924	0,972
3	2	3	2	0,608856	0,416299	1,40869	0,724114	0,607	1,408	0,416	0,724
4	2	4	2	1,797417	0,728006	2,372207	0,875782	1,478	2,372	0,649	0,875
5	2	5	2	2,044248	0,735194	2,931479	0,913611	2,045	2,932	0,736	0,914
6	2	6	2	2,582832	0,787315	3,463078	0,933778	2,579	3,464	0,787	0,934
7	2	7	2	3,108725	0,822293	3,982715	0,946311	3,108	3,984	0,822	0,946
8	2	8	2	3,627305	0,847391	4,496103	0,954855	3,626	4,497	0,848	0,955
9	2	9	2	4,141286	0,866277	5,005814	0,961054	4,142	5,006	0,866	0,961
10	2	10	2	4,652187	0,881003	5,513181	0,965755	4,655	5,513	0,882	0,966
11	2	11	2	5,160926	0,892808	6,01896	0,969444	5,161	6,020	0,893	0,969
12	2	12	2	5,668087	0,902482	6,523616	0,972415	5,670	6,523	0,903	0,973
13	2	13	2	6,174063	0,910554	7,027446	0,97486	6,179	7,031	0,911	0,975
14	2	14	2	6,679125	0,917392	7,530653	0,976906	6,680	7,526	0,917	0,977
15	2	15	2	7,183468	0,923259	8,033377	0,978645	7,180	8,034	0,923	0,979
16	2	16	2	7,687235	0,928348	8,535719	0,98014	7,690	8,535	0,928	0,980
17	2	17	2	8,190534	0,932804	9,037755	0,981439	8,184	9,034	0,933	0,981
18	2	18	2	8,693446	0,936738	9,539541	0,982579	8,691	9,540	0,936	0,982
19	2	19	2	9,196036	0,940237	10,04112	0,983587	9,198	10,039	0,940	0,984
20	2	20	2	9,698355	0,943369	10,54253	0,984485	9,688	10,542	0,943	0,984

Πίνακας 23: Σύγκριση τιμών WIP&fillrateγια 2 retailersμεταξύ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος

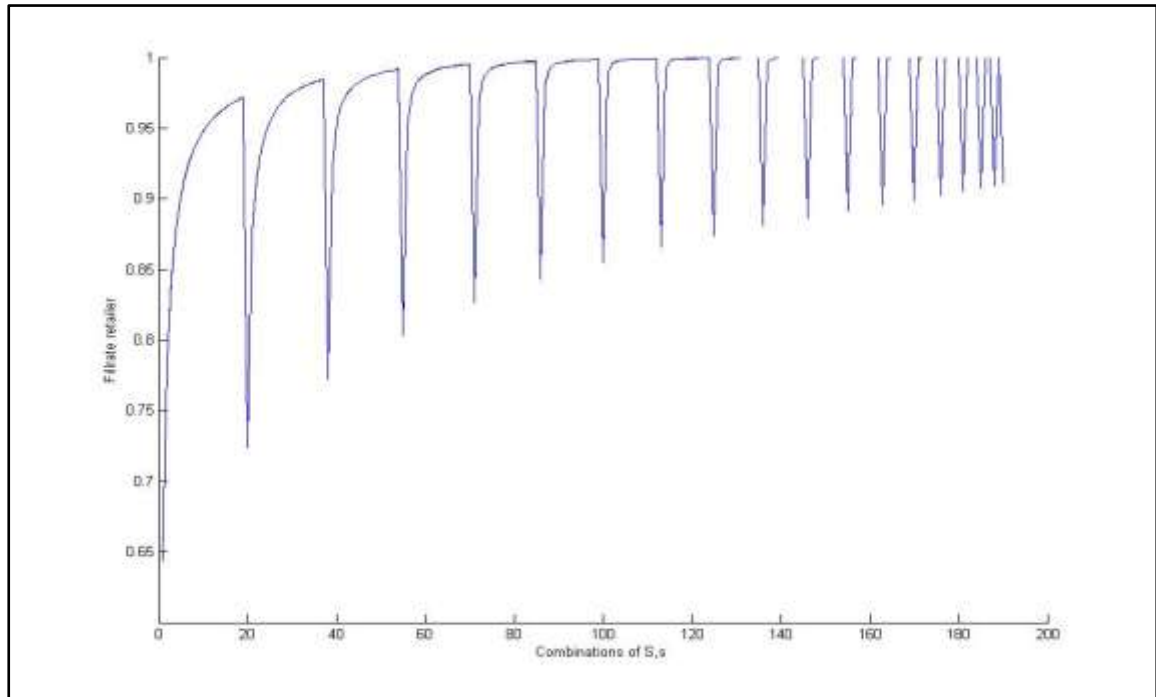
Παραθέτουμε επίσης διαγράμματα για τη σύγκριση των τιμών WIP και fillrate για τους δύο λιανοπωλητές ξεχωριστά.



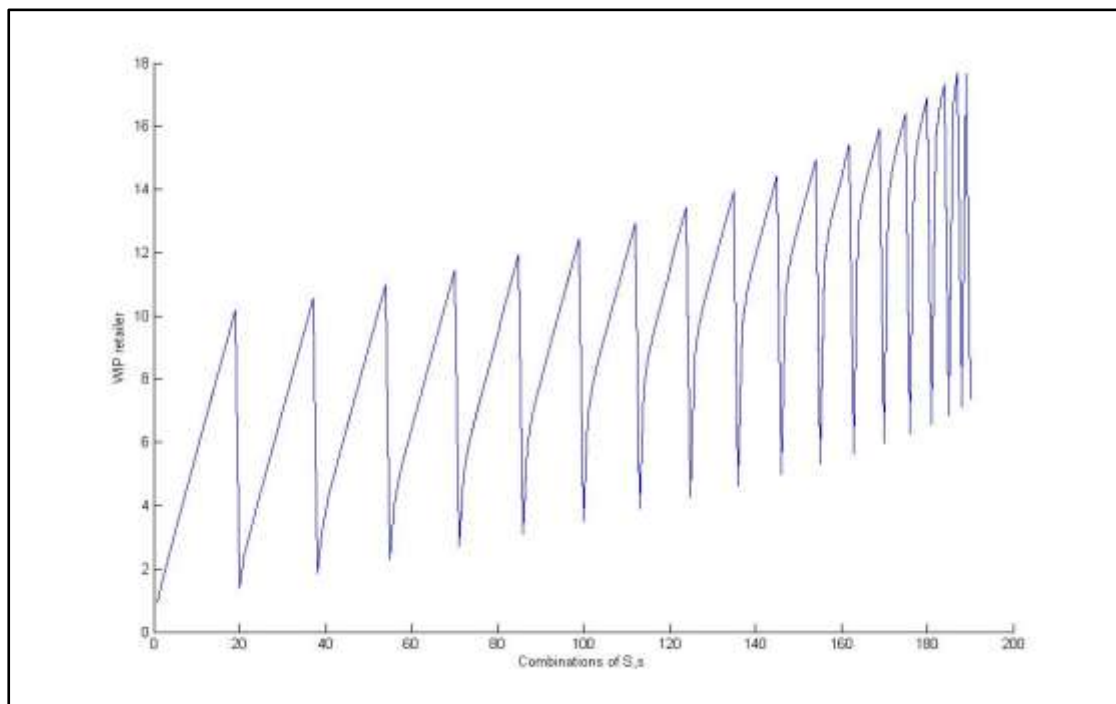
Εικόνα 86: Σύγκριση τιμών $fillrate_{retailer1}$ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος



Εικόνα 87: Σύγκριση τιμών $WIP_{retailer1}$ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος



Εικόνα 88: Σύγκριση τιμών $fillrate_{retailer2}$ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος



Εικόνα 89: Σύγκριση τιμών $WIP_{retailer2}$ αναλυτικού και προσομοιωτικού υποδείγματος

7.6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Συμπερασματικά, στα πλαίσια του κεφαλαίου αναλύσαμε ένα αποκλίνων εφοδιαστικό σύστημα και μοντελοποιήσαμε την λειτουργία και δομή του. Μετά την εύρεση του διανύσματος των στάσιμων πιθανοτήτων υπολογίσαμε τα μέτρα απόδοσης ενώ τέλος διενεργήσαμε μια σειρά πειραμάτων για την σχέση των μεταβλητών του υποδείγματος με τα μέτρα απόδοσης. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήσαμε :

- ότι καθώς αυξάνονται ο μέσοι ρυθμοί ολοκλήρωσης παραγγελιών (μ_1, μ_2) αυξάνεται το μέσο διατηρούμενο απόθεμα και ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης
- ότι καθώς αυξάνεται ο μέσος ρυθμός εμφάνισης της ζήτησης (λ) μειώνεται ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης και το μέσο διατηρούμενο απόθεμα
- καθώς αυξάνεται το απόθεμα ασφαλείας (s_i) του κάθε λιανοπωλητή αυξάνεται ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης και το μέσο διατηρούμενο απόθεμα

Σε σχέση με προτάσεις για μελλοντική έρευνα , μια πρώτη κατεύθυνση για μελλοντικές έρευνες θα ήταν η ανάπτυξη ενός αποκλίνοντος δικτύου με την προσθήκη ενός ακόμα ενδιάμεσου μεταξύ κεντρικής αποθήκης και λιανοπωλητών κόμβου (χονδρέμπορος), ο οποίος θα λειτουργεί με συνεχή πολιτική αποθεμάτων (s, S) και δεν θα έχει απεριόριστη χωρητικότητα. Ένας άλλος ερευνητικός προσανατολισμός θα ήταν η αλλαγή των κατανομών της ζήτησης από απλή Poisson σε compound Poisson και της κατανομής του χρόνου διεκπεραίωσης παραγγελιών από Coxian-2 σε Coxian-n.

7.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΚΕΦΑΛΛΑΙΟΥ 7

1. Andersson, J. & Melchior, P., "A two-echelon inventory model with lost sales", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 69, 2001, σ.307-315.
2. Monthatipkul, C. & Yenradee, P., "Inventory distribution control system in a one-warehouse multi-retailer supply chain", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 114, 2008, σ. 119-133.
3. Axsater, S., "Approximate optimization of a two-level distribution inventory system", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 81-82, 2003, σ.545-553.
4. Axsater, S., Kleun, M., De Kok, Ton G., "Stock Rationing in a Continuous Review Two-Echelon Inventory Model", στο *Annals of Operations Research*, Τόμος 126, 2004, σ. 177-194.
5. Ahire, S. L. & Schmidt, C. P., "A model for a mixed continuous-periodic review one-warehouse, N-retailer inventory system", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 92, 1996, σ. 69-82.
6. Marklund, J., "Centralized Inventory Control in a Two-Level Distribution System with Poisson Demand", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 49, 2002, σ. 798-822.
7. Al-Rifai Mohammad H. Rossetti Manuel, "An efficient heuristic optimization algorithm for a two-echelon (R, Q) inventory system", στο *International Journal Production Economics*, Τόμος 109, 2007, σ. 195-213.
8. Thangam, A. & Uthayakumar, R., "A two-level supply chain with partial backordering and approximated Poisson demand", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 187, 2008, σ. 228-242.
9. Bessler, S. A. & Veinott, A. (1977), Optimal Policy for a dynamic multi-echelon inventory model, στο *Naval Research Logistics Quarterly*, Τόμος 13 τεύχος 4, 1966, pp 355 -387.
10. Lau, H. C., Song, H., See, C. T. & Cheng, S. Y., (2006), "Evaluation of time-varying availability in multi-echelon spare parts systems with passivation", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 170, 2006, σ. 91-105.
11. Muckstadt, J. A., (1975) A three-echelon, multi-item model for recoverable items, στο *Naval Research Logistics Quarterly*, Τόμος 26, τεύχος 2, 1979,, pp 199- 221.
12. Rappold, J. A. & Van Roo, B. D., "Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 199, 2009, σ. 781-792.

13. Gupta, A. & Albright, S. C., "Steady-state approximations for a multi-echelon multi-indentured repairable-item inventory system", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 62, 1992, σ. 340-353.
14. Brandimarte, P. & Zotteri, G., *Introduction to Distribution Logistics*, Willey and Sons inc. Publication, New Jersey, 2007, σ. 49.
15. Xu, K., Evers, P.T. & Fu, M.C., "Estimating customer service in a two-location continuous review inventory model with emergency transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 145, 2003, σ. 569-584.
16. Hu, J., Watson, E. & Schneider, H., "Approximate solutions for multi-location inventory systems with transshipments", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 97, 2005, σ. 31-43.
17. Herer, Y.T., Tzur, M. & Yucesan, E., "Transshipments: An emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 80, 2002, σ. 201-212.
18. Burton, J. & Banerjee, A., "Cost-parametric analysis of lateral transshipment policies in two-echelon supply chains", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 93-94, 2005, σ. 169-178.
19. Lee, Y. H., Jung, J. W. & Jeon, Y. S., "An effective lateral transshipment policy to improve service level in the supply chain", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 106, 2007, σ. 115-126.
20. Olsson, F., "An inventory model with unidirectional lateral transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 200, 2010, σ. 725-732
21. Jung, B.R., Sun, B.G., Kim, J.S. & Ahn, S.E., "Modeling lateral transshipments in multi-echelon repairable-item inventory systems with finite repair channels", στο *Computers & Operation Research*, Τόμος 30, 2003, σ. 1401-1417.
22. Minner, S., Silver, E. A. & Robb, D. J., "An improved heuristic for deciding on emergency transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 148, 2003, σ. 384-400.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑ

Κατασκευή εντολών ψευδοκώδικα

Είσοδος : Διάβασε λ_1 : Μέσος ρυθμός ζήτησης για τον πρώτο λιανοπωλητή

μ_{11} : μέσος χρονορυθμός εξυπηρέτησης με μία φάση για τον πρώτο λιανοπωλητή

μ_{12} : μέσος χρονορυθμός εξυπηρέτησης με δύο φάσεις για τον πρώτο λιανοπωλητή

α_{R-1} : Κατάστασεις υποδείγματος για R-1 λιανοπωλητές

k_R : φάσεις για λιανοπωλητή ($k_R=2$)

q_R : Παραγγελλόμενη ποσότητα για τον Rλιανοπωλητή

Πίνακες D: Είναι οι πίνακες που περικλείουν την κύρια διαγώνιο του πίνακα μεταπήδησης.

Διακρίνονται σε δύο είδη υποπινάκων :

- $s_R + 1$ πίνακες διαστάσεων $k_R a_{R-1}$
- a_R πίνακες διαστάσεων a_{R-1}
- $s_R + 1$ πίνακες συμπληρώνονται ως εξής:
 - Με την τοποθέτηση σε διαγώνια διάταξη $(s_R + 1)k_R$ φορές τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για R-1 λιανοπωλητές
 - Αύξηση του πρώτου ψηφίου όλων των δεικτών των στοιχείων κατά ένα
 - Προσθήκη στα a_{R-1} στοιχεία της διαγωνίου στοιχείου $-\mu_{11}$ και στα επόμενα στοιχεία a_{R-1} στοιχεία της διαγωνίου στοιχείου $-\mu_{12}$ και επανέλαβε ενάλλαξ άλλες $s_R k_R$
 - Με την προσθήκη μετά τα πρώτα $k_R a_{R-1}$ στοιχεία της διαγωνίου πρόσθεσε στοιχείο $-\lambda_1$
 - Με την προσθήκη εκτός διαγωνίου στοιχείου $d_{12}\mu_{11}$ σε διαγώνια διάταξη

Οι επόμενοι q_R υποπίνακες συμπληρώνονται με τον ίδιο τρόπο και ως εξής

- Με την τοποθέτηση σε διαγώνια διάταξη του πίνακα μεταπήδησης για R-1 υπόδειγμα
- Με την αύξηση του πρώτου ψηφίου όλων των δεικτών των στοιχείων κατά ένα
- Με την τοποθέτηση στα πρώτα K στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\lambda_1$ σε q_R επαναλήψεις

Εντολές δημιουργίας πινάκων D

- Εντολή 1 : Βάλε $(s_R+1) k_R$ φορές τον πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για R-1 λιανοπωλητές διαγώνια
- Εντολή 2 : Αύξησε κατά ένα (1) όλους τους δείκτες των στοιχείων του πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για R-1 λιανοπωλητές
- Εντολή 3 : Πρόσθεσε στα πρώτα a_{R-1} στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\mu_{11}$
- Εντολή 4 : Πρόσθεσε στα επόμενα a_{R-1} στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\mu_{12}$
- Εντολή 5 : Επανέλαβε τις εντολές 3,4 $s_R k_R$ σε διαγώνια διάταξη
- Εντολή 6 : Μετά τα πρώτα $a_{R-1} k_R$ στοιχεία της διαγωνίου πρόσθεσε σε όλα τα στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-\lambda_1$

- Εντολή 7 : Από την πρώτη γραμμή και την a_{R-1} στήλη κάθε υποπίνακα D μέχρι την a_{R-1} στήλη και την $a_{R-1}k_R$ στήλη πρόσθεσε στην διαγώνιο στοιχείο $d_{12\mu_{11}}$
- Εντολή 8 : Βάλε τον πίνακα μεταπήδησης για $R-1$ λιανοπωλητές διαγώνια q_R φορές
- Εντολή 9 : Αύξησε κατά ένα (1) όλους τους δείκτες των στοιχείων του πίνακα μεταπήδησης του υποδείγματος για $R-1$ λιανοπωλητές
- Εντολή 10 : Να προσθέτεις στα πρώτα k_R στοιχεία της διαγωνίου στοιχείο $-λ_1$
- Εντολή 11 : Επανάλαβε q_R φορές την εντολή 10

Εντολές δημιουργίας πινάκων K

- Εντολή 1 : Δημιούργησε s_R πίνακες διαστάσεων $k_R a_{R-1} \times k_R a_{R-1}$
- Εντολή 2 : Στους s_R πίνακες βάλε διαγώνια στοιχείο $λ_1 k_R a_{R-1}$ φορές
- Εντολή 3 Δημιούργησε 1 πίνακα διαστάσεων $a_{R-1} \times a_{R-1}$
- Εντολή 4 : Βάλε διαγώνια στοιχείο $λ_1 a_{R-1}$ φορές
- Εντολή 5 : Δημιούργησε q_R πίνακες διαστάσεων $a_{R-1} \times k_R a_{R-1}$
- Εντολή 6 : Βάλε στοιχείο διαγώνια στοιχείο $λ_1 a_{R-1}$ φορές

Εντολές δημιουργίας πινάκων A

Δημιουργία πινάκων A (1^H περίπτωση $S_R \leq 2s_R + 1$)

Εντολή 1 : Δημιούργησε s_R πίνακες διαστάσεων $k_R a_{R-1} \times k_R a_{R-1}$

Εντολή 2 : Δημιούργησε 1 πίνακα διαστάσεων $k_R a_{R-1} \times a_{R-1}$

Εντολή 3 : Από την γραμμή 1 και την στήλη $k_R a_{R-1} q_R + 1$ ως την γραμμή a_{R-1} και την στήλη $(q_R k_R + 1) a_{R-1}$ βάλε διαγώνια στοιχείο $d_{11\mu_{11}}$ a_{R-1} φορές

Εντολή 4 : Από την γραμμή a_{R-1} και την στήλη $k_R a_{R-1} q_R + 1$ έως την γραμμή $k_R a_{R-1}$ και την στήλη $(q_R k_R + 1) a_{R-1}$ βάλε στοιχείο μ_{12} διαγώνια a_{R-1} φορές

Εντολή 5 : Επανάλαβε τις εντολές 18,19 σε διαγώνια μορφή $s_R + 1$ φορές

Περίπτωση $S_R > 2s_R + 1$

Εντολή 6 : Δημιούργησε $s_R + 1$ πίνακες διαστάσεων $k_R a_{R-1} \times a_{R-1}$

Εντολή 7 : Από την γραμμή 1 και την στήλη $[(s_R + 1)k_R + (q_R - s_R - 1)a_{R-1}]$ έως την γραμμή a_{R-1} και την στήλη $[(s_R + 1)k_R + (q_R - s_R - 1)a_{R-1}] + a_{R-1}$ βάλε διαγώνιο στοιχείο $d_{11\mu_{11}}$ a_{R-1} φορές

Εντολή 8 : Από την γραμμή a_{R-1} και την στήλη $[(s_R + 1)k_R + (q_R - s_R - 1)a_{R-1}]$ έως την γραμμή $2a_{R-1}$ και την στήλη $[(s_R + 1)k_R + (q_R - s_R - 1)a_{R-1}] + a_{R-1}$ βάλε

ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

WIPsystem

Εντολή 1 : Υπολόγισε το WIP για το υπόδειγμα $R-1$ λιανοπωλητές και επανάλαβε k_R φορές για τις πρώτες $k_R a_{R-1}$ πιθανότητες

Εντολή 2 : Επανάλαβε την εντολή 1 $s_R + 1 + q_R$ φορές αυξάνοντας σε κάθε επανάληψη τον πρώτο παράγοντα όλων των γινομένων

WIP για κάθε από τους N λιανοπωλητές

- WIP 1^ο λιανοπωλητή :
 1^η εντολή : Υπολόγισε : $0 \times$ [τις πρώτες k_R πιθανότητες] + $1 \times$ [τις επόμενες k_R πιθανότητες] + ... + s_R [τις επόμενες k_2 πιθανότητες] + (s_R+1) [πιθανότητα s_R+1] + ... S_R [πιθανότητα $(s_R+1)k_R+q_R$]
 2^η εντολή : Υπολόγισε την 1^η εντολή $(s_R+1)k_R+q_R$
- WIP R^ο λιανοπωλητή
 Υπολόγισε τον τύπο $0 \times$ [τις πρώτες $k_{R \alpha_{R-1}}$ πιθανότητες] + $1 \times$ [τις επόμενες $k_{R \alpha_{R-1}}$ πιθανότητες] + ... + $s_R \times$ [τις $k_{R \alpha_{R-1}}$ πιθανότητες] + $(s_R+1) \times$ [τις α_{R-1} πιθανότητες] + ... $S_R \times$ [τις α_{R-1} πιθανότητες]

FILLRATE

FILLRATE system. Ισχύει FillRate system = $1 - \Sigma_1 \pi$

Υπολογισμός του $\Sigma_1 \pi$

Εντολή 1 : Άθροισε τις πρώτες k_R πιθανότητες

Εντολή 2 : Άφησε $s_R \alpha_{R-2} + q_R$ πιθανότητες κενό

Εντολή 3 : Μετά την πρώτη επανάληψη άφησε $s_R \alpha_{R-1} + q_R$ πιθανότητες κενό

Εντολή 4 : Επανάλαβε τις εντολές 2,3 για τις πιθανότητες α_{R-1} έως $k_R \alpha_{R-1}$

Εντολή 5 : Τερμάτισε την διαδικασία στις πρώτες $k_R \alpha_{R-1}$

FillRate λιανοπωλητών

1^ο λιανοπωλητής : Αθροίζεις τις πρώτες $k_R \alpha_{R-1}$ πιθανότητες επαναλαμβάνοντας $[(s_1+1)k_1+q_1]^0$ φορές

2^{ος} λιανοπωλητής : Αθροίζεις τις πρώτες $k_R \alpha_{R-2}$ πιθανότητες επαναλαμβάνοντας $[(s_1+1)k_1+q_1]^1$ φορές

R-1 ος λιανοπωλητής : Αθροίζεις τις πρώτες $k_R \alpha_1$ πιθανότητες επαναλαμβάνοντας $[(s_1+1)k_1+q_1]^{R-2}$ φορές

Rος λιανοπωλητής : Αθροίζεις τις πρώτες $k_R \alpha_0$ πιθανότητες επαναλαμβάνοντας $[(s_1+1)k_1+q_1]^{R-1}$ φορές

8. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Συνοψίζοντας, στην εργασία μας εστιάσαμε σε τέσσερις βασικούς άξονες: α) τη σχέση αναγωγής ανάμεσα στους πίνακες μετάβασης, β) την ανάλυση συμπεριφοράς των ροών σε στοχαστικά εφοδιαστικά δίκτυα σειριακών, συγκλινουσών και αποκλινουσών τοπολογιών, γ) στη δημιουργία αναλυτικών αλγορίθμων ως εργαλεία αξιολόγησης πολιτικών αποθεμάτων σε εφοδιαστικά συστήματα, και δ) την τεκμηρίωση και επαλήθευση των αποτελεσμάτων των αναλυτικών υποδειγμάτων μέσω της σύγκρισής τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα προσομοιωτικών υποδειγμάτων

A) Η σχέση αναγωγής ανάμεσα στους πίνακες μετάβασης:

Παρατηρούμε ότι σε συγκλίνοντα και σε αποκλίνοντα εφοδιαστικά δίκτυα, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των προμηθευτών και των λιανοπωλητών οι πίνακες μετάβασης που προκύπτουν αποτελούν διεύρυνση των πινάκων που αφορούν υποδείγματα με μικρότερο αριθμό προμηθευτών και των λιανοπωλητών. Η παρατήρηση αυτή μας έδωσε την δυνατότητα δημιουργίας γενικευμένων κανόνων δόμησης πινάκων μετάβασης για μεγάλο αριθμό προμηθευτών και λιανοπωλητών.

B) Η ανάλυση της συμπεριφοράς των ροών στα εφοδιαστικά δίκτυα:

Με βάση τις υποθέσεις α) ότι οι χρόνοι ολοκλήρωσης των ροών έχουν κατανομή τύπου φάσης Coxian-2 και β) ότι ο μέσος ρυθμός εκδήλωσης της ζήτησης έχει κατανομή Poisson αναλύσαμε την επίδραση της μεταβολής των μεταβλητών εισόδου, δηλαδή των μεταβλητών που ελέγχονται από τους διαχειριστές των εφοδιαστικών συστημάτων, πάνω στα μέτρα απόδοσης (βαθμός κάλυψης ζήτησης, μέσο απόθεμα, μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα). Μέσω της διενέργειας ενός αριθμού πειραμάτων καταλήξαμε σε μια σειρά από γενικά συμπεράσματα:

1. Σε εφοδιαστικά δίκτυα pull, όταν αυξάνεται το σημείο αναπαραγγελίας (s) και το μέγιστο επίπεδο αποθέματος (S), αυξάνεται ο βαθμός κάλυψης της ζήτησης, το μέσο απόθεμα, καθώς και ο μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα.
2. Σε εφοδιαστικά δίκτυα push, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των προμηθευτών, αυξάνεται το μέσο απόθεμα.
3. Επίσης, σε εφοδιαστικά συστήματα push, καθώς αυξάνεται ο αριθμός των θέσεων στο buffer, αυξάνεται το μέσο απόθεμα.

Γ) Η δημιουργία αναλυτικών αλγορίθμων ως εργαλεία αξιολόγησης των πολιτικών αποθεμάτων:

Παρατηρούμε ότι χάρη στα ποσοτικά υποδείγματα που αναπτύξαμε επιτύχαμε να προσδιορίσουμε τις τιμές των s , που ελαχιστοποιούν το μέσο απόθεμα και μεγιστοποιούν τον βαθμό κάλυψης της ζήτησης, καθώς επίσης και το κέρδος, στην περίπτωση του σειριακού εφοδιαστικού συστήματος των δύο στοιβάδων. Κατά τη γνώμη μας, τα αποτελέσματα αυτά αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό την αξία της πρακτικής εφαρμογής της παρούσας διατριβής.

Δ) Η ενίσχυση των συμπερασμάτων μέσω σύγκρισης:

Τεκμηριώσαμε και επαληθεύσαμε τα αποτελέσματα του αναλυτικού αλγορίθμου συγκρίνοντάς τα με τα αποτελέσματα υποδειγμάτων προσομοίωσης, παρουσιάζοντας την ταύτιση των αποτελεσμάτων και γραφικά. Έτσι, συνδυάσαμε δύο φαινομενικά πολύ διαφορετικές μεθοδολογίες ανάλυσης εφοδιαστικών υποδειγμάτων, τονίζοντας τη συμπληρωματικότητά τους.

Η προτάσεις μας για περαιτέρω έρευνα αφορούν δύο άξονες:

α) την εφαρμογή κατανομών τύπου φάσης Coxian-k (Coxian με k φάσεις): αυτή η οικογένεια κατανομών τύπου φάσης έχει εφαρμογή σε πληθώρα πραγματικών εφοδιαστικών συστημάτων, λόγω του χαρακτηριστικού της υψηλής μεταβλητότητας.

β) τη διερεύνηση της οικονομικής συμπεριφοράς των ήδη αναλυθέντων εφοδιαστικών υποδειγμάτων. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία δεν εξάγει άμεσα συμπεράσματα για την οικονομική λειτουργία των συστημάτων. Έτσι, προτείνεται η ανάπτυξη ποσοτικών υποδειγμάτων τα οποία θα βελτιστοποιούν την οικονομική απόδοση των εφοδιαστικών συστημάτων.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 1^{ΟΥ} ΜΕΡΟΥΣ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

Bearmon, B. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operation and Production Economics* , σσ. 275-292.

Bijvank, M., & Vis, I. F. (2011). Lost sales inventory theory: A review. *European Journal of Operational Research* , σσ. 1-13.

Brandimante, P., & Zotteri, G. (2007). *Introduction to Distribution Logistics*. Hoboken New Jersey: John Wiley & Sons.

Cassandras, C., & Lafortune, S. (2008). *Introduction to Discrete Event Systems*. N.Y.: Springer .

Chopra, S., & Meindl, P. (2004). *Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Heragu, S. (2008). *Facilities Design 3rd Edition*. Philadelphia: Taylor and Francis.

Latouche, G., & Ramaswami, V. (1999). *Introduction to Matrix Analytic Methods in Stochastic Modeling* . Philadelphia: ASA-SIAM University City Science Center.

Marquez, A. C. (2010). *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*. London: Springer Verlag London.

Neubauer, R. (2010). *Business Models in Logistics Area*.

Persson, E., & Olhanger, J. (2002). Performance Simulation of supply chain designs. *International Journal of Production Economics* , σσ. 231-245.

Schutt, J. (2004). *Directing the flow. A guide to improving supply chain planning*. Boca Raton: Ross Publishing.

Taylor, D. (2006). *Διαχείριση Εφοδιαστικής Αλυσίδας*. ΑΘΗΝΑ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ.

Βιδάλης, Μ. (2009). *Εφοδιαστική (Logistics) Μια ποσοτική προσέγγιση* . ΑΘΗΝΑ: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ .

Βιδάλης, Μ. (2009). *Σημειώσεις για το μεταπτυχιακό μάθημα ανάλυση βιομηχανικών συστημάτων* . Χίος .

Δάρας, Τ., & Σύψας, Π. (2003). *Στοχαστικές Ανελίζεις : Θεωρία & Πράξη*. Θεσσαλονική: Εκδόσεις Ζήτη.

Ιωάννου, Γ. (2005). *Διοίκηση Παραγωγής & Υπηρεσιών*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 5^{ου} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. 1. Abdel –Malek, L. & Ziegler, H., “Age dependent perishability in two-echelon serial inventory systems”, στο *Computers & Operational Research*, Τόμος 15, Τεύχος 3, 1988, σ. 227-238
2. Aharon, B.T., Boaz, G. & Shimrit, S., “Robust multi-echelon, multi-period inventory control”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 199, 2009, σ. 922-935.
3. Balcioglu, B. & Gurler G., “On the use of phase-type distributions for inventory management with supply disruptions”, στο *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, 2011.
4. Chao, X. & Zhou, S.X., “Probabilistic Solutions and Bounds for Serial Inventory Systems with Discounted and Average Costs”, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 54, 2007, σ. 623-631.
5. Chiang, C. & Guterriez, G., “A periodic review inventory system with two supply modes”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 94, 1996, σ. 527-547.
6. Chung, C. S., Flynn, J. & Stalinski, P., “A Single-Period Inventory Placement Problem for a Serial Supply Chain”, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 48, 2001, σ. 506-517.
7. Daniel, J.S.R. & Rajendran C., “A simulation-based genetic algorithm for inventory optimization in a serial supply chain”, στο *Operational Transactions in Operational Research*, Τόμος 12, 2005, σ. 101-127.
8. Daniel, J.S. R. & Rajendran, C., “Heuristic approaches to determine base-stock levels in a serial supply chain with a single objective and with multiple objectives”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 175, 2006, σ. 566-592.
9. Dekker, R., Hill, R.M., Kleijn, M. J. & Teunter, R.H., “On the (S - 1, S) Lost Sales Inventory Model with Priority Demand Classes”, στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 49, 2002, σ. 593-610.
10. Gallego, G. & Ozer, O., “A new algorithm and a new heuristic for serial supply systems”, στο *Operations Research Letters*, Τόμος 33, 2005, σ. 349-362.
11. Federgruen, A. & Zipkin, P., “Computational issues in a infinite-horizon, multi-echelon inventory model”, στο *Operations Research*, Τόμος 32, Τεύχος 4, 1984, σ. 818-836.
12. Feng, K. & Rao, U.S., “Echelon-stock (R, nT) control in two-stage serial stochastic inventory systems”, στο *Operations Research Letters*, Τόμος 35, 2007, σ. 95-104.
13. Iida, T., “The infinite horizon of non-stationary stochastic multi-echelon inventory problem and near-myopic policies”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 134, 2001, σ. 525-539.
14. Inderfurth, K. & Minner, S., “Safety stocks in multi-stage inventory systems under different service measures”, στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 106, 1998, σ. 57-73.
15. Johansen, S.G., “Base-stock policies for the lost sales inventory system with Poisson demand and Erlangian lead times”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 93-94, 2005, σ. 429-437.
16. Kerbache, L. & MacGregor, S. J., “Queueing networks and the topological design of supply chain systems”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 91, 2004, σ. 251-263.
17. Kochel, P., (1996), “On queueing models for some multi-location problems”, στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 45, 1996, σ. 429-433.

18. Liu, J. & Lee, C.G., "Evaluation of inventory policies with unidirectional substitutions", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 182, 2007, σ. 145-163.
19. Muharremoglu, A. & Tsitsiklis, J. N., "A Single-Unit Decomposition Approach to Multi-echelon Inventory Systems", στο *Operations Research*, Τόμος 56, Τεύχος 5, 2008, σ. 1089-1103.
20. Ouyang, L. Y. & Wu, K. S., "Mixture inventory model involving variable lead time with a service level constraint", στο *Computers Operations Research*, Τόμος 24, Τεύχος 9, 1997, σ. 875-882
21. Shang, S. H. & Song, J.S., "A Closed-Form Approximation for Serial Inventory Systems and Its Application to System Design", στο *Manufacturing, Service and Operations Management*, Τόμος 8, Τεύχος 4, 2006, σ. 394-406.
22. Smith, M.A.J. & Dekker, J., "On the (S-1,S) stock model for renewal demand process", στο *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, Τόμος 11, 1997, σ. 375-386.
23. Snyder, L. V. & Shen Z.-J. Max., *Supply and Demand Uncertainty in Multi-Echelon Supply Chains*, 2006.
24. Schwarz, M. & Daduna, H., "Queueing systems with inventory management with random lead times and with backordering", στο *Mathematical Methods on Operational Research*, Τόμος 64, 2006, σ. 383-414.
25. Van Eijs, M.J.G., "Multi-item inventory systems with joint ordering and transportation decisions", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 35, 1994, σ. 285-294.
26. Zipkin, P., "Stochastic Leadtimes in Continuous-Time Inventory Models", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 33, 1986, σ. 763-774

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 6^{ΟΥ} ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Arts J.J., and Kiesmuller G.P. (2010), "*Analysis of a two-echelon inventory system with two supply modes*". (BETA publicatie : working papers, No. 339). Technische Universiteit Eindhoven, available at: http://cms.ieis.tue.nl/Beta/Files/orkingPapers/wp_339.pdf.
2. Bernstein F., and deCroix G.A. (2006), "Inventory Policies in a Decentralized Assembly System *Operations Research*", Vol. 54, No. 2, pp. 324-336.
3. Bogataj L., and Horvsat L. (1996), "Stochastic considerations of Grubbstrom-Molinder model of MRP, input-output and multi-echelon inventory systems", *International Journal of Production Economics*, Vol. 45, pp. 329-336.
4. Boucherie, R.B., Heidevelt M.C., and van Houtum G. (2007), "A product-form solution for two-echelon spare parts networks with emergency shipments", Working paper, Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, NL.
5. Gupta A., and Maranas C.D. (2003), "Managing demand uncertainty in supply chain planning", *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 27, No. 8, pp. 1219-27.
6. Heavey C., Papadopoulos H.T., and Browne J. (1993), "The Throughput Rate of Multi station Unreliable Production Lines", *European Journal of Operational Research*, Vol. 68, pp. 69-89.

7. Heijden M.C., Van der Diks E.B., and de Kok A.G. (1999), "Inventory control in multi-echelon divergent systems with random lead times", *Operational Research (OR) Spektrum* 21, pp. 331-359.
8. Kaplan R. (1970), "Dynamic Inventory Model with Stochastic Lead Times", *Management Science*, Vol. 16, No. 7, Theory Series, pp. 491-507.
9. Nagar L., and Jain K. (2008), "Supply chain planning using multi-stage stochastic programming", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 13, Iss. 3, pp. 251- 256.
10. Papadopoulos H.T. (1989), "Mathematical Modelling of Reliable Production Lines", Ph.D. Thesis in Industrial Engineering/Operations Research, Department of Industrial Engineering, National University of Ireland, Galway, Ireland.
11. Papadopoulos, H.T., and O' Kelly M.E.J. (1989), "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrix of Multistation Series Production Lines", *Computers in Industry*, Vol. 12, pp. 227-240.
12. Papadopoulos H.T., Heavey C. and O' Kelly M.E.J. (1989a), "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with inter station buffers (I) Exponential Case", *Computers in Industry*, Vol. 13, pp. 229-244.
13. Papadopoulos H.T., Heavey C., and O' Kelly M.E.J. (1989b), "Throughput Rate of Multistation Reliable Production Lines with inter station buffers (II) Erlang Case", *Computers in Industry*, Vol. 13, pp. 317-335.
14. Papadopoulos H.T., Heavey C., and Browne L. (1993), *Queuing Theory in Manufacturing Systems Analysis and Design*, Chapman and Hall.
15. Pyke D.,E., and Cohen M.A., (1993), "Performance characteristics of stochastic integrated production-distribution systems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 68, pp. 23-48.
16. Sheffi Y. (2005), *The Resilient Enterprise*, MIT Press, Cambridge, MA.
17. Song J.S., and Zipkin P. (2009), "Inventories with multiple supply sources and networks of queues with overflow bypasses", *Management Science*, Vol. 55, No. 3, pp.362-372.
18. Vidalis M.I. (1998), "Performance Evaluation and Optimal Buffer Allocation in Serial Production Lines", Ph.D. Thesis in Operations Research, Department of Mathematics, University of the Aegean, Samos island, Greece.
19. Vidalis M.I., and Papadopoulos H.T. (1999), "Markovian Analysis of production Lines with Coxian-2 service times", *International Transactions in Operations Research*, Vol. 6, pp. 495-524.
20. Vidalis M.I., and Papadopoulos H.T. (2001), "A Recursive Algorithm for Generating the Transition Matrices of Multistation Multiserver Exponential Reliable Queueing Networks", *Computers & Operations Research*, Vol. 28, No 9, pp.853–883.

1. [1] : Andersson, J. & Melchior, P., "A two-echelon inventory model with lost sales", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 69, 2001, σ.307-315.
2. Monthatipkul, C. & Yenradee, P., "Inventory distribution control system in a one-warehouse multi-retailer supply chain", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 114, 2008, σ. 119-133.
3. Axsater, S., "Approximate optimization of a two-level distribution inventory system", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 81-82, 2003, σ.545-553.
4. Axsater, S., Kleun, M., De Kok, Ton G., "Stock Rationing in a Continuous Review Two-Echelon Inventory Model", στο *Annals of Operations Research*, Τόμος 126, 2004, σ. 177-194.
5. Ahire, S. L. & Schmidt, C. P., "A model for a mixed continuous-periodic review one-warehouse, N-retailer inventory system", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 92, 1996, σ. 69-82.
6. Marklund, J., "Centralized Inventory Control in a Two-Level Distribution System with Poisson Demand", στο *Naval Research Logistics*, Τόμος 49, 2002, σ. 798-822.
7. Al-Rifai Mohammad H. Rossetti Manuel, "An efficient heuristic optimization algorithm for a two-echelon (R, Q) inventory system", στο *International Journal Production Economics*, Τόμος 109, 2007, σ. 195-213.
8. Thangam, A. & Uthayakumar, R., "A two-level supply chain with partial backordering and approximated Poisson demand", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 187, 2008, σ. 228-242.
9. Bessler, S. A. & Veinott, A. (1977), Optimal Policy for a dynamic multi-echelon inventory model, στο *Naval Research Logistics Quarterly*, Τόμος 13 τεύχος 4, 1966, pp 355 -387.
10. Lau, H. C., Song, H., See, C. T. & Cheng, S. Y., (2006), "Evaluation of time-varying availability in multi-echelon spare parts systems with passivation", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 170, 2006, σ. 91-105.
11. Muckstadt, J. A., (1975) A three-echelon, multi-item model for recoverable items, στο *Naval Research Logistics Quarterly*, Τόμος 26, τεύχος 2, 1979,, pp 199- 221.
12. Rappold, J. A. & Van Roo, B. D., "Designing multi-echelon service parts networks with finite repair capacity", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 199, 2009, σ. 781-792.
13. Gupta, A. & Albright, S. C., "Steady-state approximations for a multi-echelon multi-indentured repairable-item inventory system", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 62, 1992, σ. 340-353.
14. Brandimarte, P. & Zotteri, G., *Introduction to Distribution Logistics*, Willey and Sons inc. Publication, New Jersey, 2007, σ.49.

15. Xu, K., Evers, P.T. & Fu, M.C., "Estimating customer service in a two-location continuous review inventory model with emergency transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 145, 2003, σ. 569-584.
16. Hu, J., Watson, E. & Schneider, H., "Approximate solutions for multi-location inventory systems with transshipments", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 97, 2005, σ. 31-43.
17. Herer, Y.T., Tzur, M. & Yucesan, E., "Transshipments: An emerging inventory recourse to achieve supply chain leagility", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 80, 2002, σ. 201-212.
18. Burton, J. & Banerjee, A., "Cost-parametric analysis of lateral transshipment policies in two-echelon supply chains", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 93-94, 2005, σ. 169-178.
19. Lee, Y. H., Jung, J. W. & Jeon, Y. S., "An effective lateral transshipment policy to improve service level in the supply chain", στο *International Journal of Production Economics*, Τόμος 106, 2007, σ. 115-126.
20. Olsson, F., "An inventory model with unidirectional lateral transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 200, 2010, σ. 725-732
21. Jung, B.R., Sun, B.G., Kim, J.S. & Ahn, S.E., "Modeling lateral transshipments in multi-echelon repairable-item inventory systems with finite repair channels", στο *Computers & Operation Research*, Τόμος 30, 2003, σ. 1401-1417.
22. Minner, S., Silver, E. A. & Robb, D. J., "An improved heuristic for deciding on emergency transshipments", στο *European Journal of Operational Research*, Τόμος 148, 2003, σ. 384-400.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ-ΣΥΝΕΔΡΙΩΝ

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

1. **Vidalis M. and Vrysagotis V. and Varlas G.**, “Performance evaluation of a two echelon supply chain with stochastic demand, lost sales and Coxian 2-phase replenishment times”, International Transactions in Operational Research, (accepted).
2. **Vidalis M., Papadopoulos, C. T., Vrisagotis V** Continuous-review, lost-sales stochastic-inventory model for a three echelon supply chain with Poisson demand and Coxian 2 lead times (submitted)

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΕΘΝΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

1. **Vidalis Michael and Vrysagotis Vasilios**, “Modeling a Supply Chain with two members, (S, s) inventory policy Poisson external demand and Coxian-2 Lead times” 9th Special Conference of the Hellenic Operational Research society (HELORS), 27 - 29 May 2010, Agios Nikolaos, Greece.
2. **Vidalis M., Marinagi K. & Brysagotis B.**, “Modelling a merge in supply network with K suppliers, 1 client and Coxian-2 replenishment times”, 2nd Olympus International Conference On Supply Chains (ICSC_2012), 05-06 October 2012 Katerini –Greece.
3. **Vidalis M., Vrisagotis V.**, «Modeling the uncertainties of the provision of R dispersed attacking or defending units from a Logistics center», 2nd International Conference Applications of Mathematics and Informatics in Military Science, Hellenic Military Academy, April 11-12 2013, Vari, Athens.
4. **Vidalis M., Papadopoulos, C., Vrisagotis V.**, “Performance evaluation of a three echelon supply chain with stochastic demand, lost sales, (S, s) continuous review policies and Coxian 2-phase replenishment times.” 24th 24th National Conference on Operational Research, Athens, 26-28 September 2013.
5. **Vidalis M., Reklitis P. and Vrisagotis V.**, « Modelling a merge in network of warehouse facilities with two modes of operation: cross docking and traditional warehousing”, 2nd International Symposium and 24th National Conference on Operational research, Athens, Greece, 26-28 September 2013

ΑΡΘΡΑ ΣΕ ΔΙΕΘΝΗ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

1. **Vidalis M. and Vrysagotis V.**, Modelling a supply Chain with two members, (S, s) inventory policy Poisson external demand and Coxian-2 Lead time, 24th European Conference on Operations Research July 11-14, 2010 Lisbon.
2. **Vidalis M. and Vrisagotis V.**, “Modelling a 3-stage Supply Chain with continuous review (S,s) inventory policies, Poisson external Demand and Coxian-2 Replenishment times”, 2nd International Conference on Computational Logistics, 19-22 September 2011, Hamburg, Germany.
3. **Vidalis M., Papadopoulos C., Vrisagotis V.**, “Markovian Analysis of a three echelon supply chain with stochastic demand, lost sales, continuous review (S, s)

policies and Coxian 2-phase lead times”, 3rd Stochastic Modelling Techniques and Data Analysis International Conference SMTDA, Lisbon, Portugal, June 11 - 14, 2014.